



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μηχανική συμπεριφορά κραμάτων αλουμινίου σε
μηχανικές δοκιμές

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

Ηλιάδη Στυλιανού (ΑΜ: ΜΗ08886) και

Μαραγκού Ιωάννη (ΑΜ: ΜΗ08880)

Επιβλέπων : Παπανικολάου Σοφία

Κοζάνη - Φεβρουάριος 2023

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την καθηγήτρια μας κα. Παπανικολάου Σοφία που μας εμπιστεύτηκε την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την καθοδήγηση και γενικά για την συνεχή βοήθεια που μας παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησής της. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές και συμφοιτητές που συναντήσαμε σε αυτή η διαδρομή των σπουδών μας, καθώς όλοι συνετέλεσαν με τον δικό τους τρόπο για να φτάσουμε κοντά στο τέλος των προπτυχιακών μας σπουδών.

Και τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τα μέλη των οικογενειών μας για την υποστήριξη και τη ενθάρρυνση που μας παρείχαν, τόσο κατά την σύνταξη της παρούσας εργασίας όσο και κατά την διάρκεια των σπουδών μας όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία με θέμα “Μηχανική συμπεριφορά κραμάτων αλουμινίου σε μηχανικές δοκιμές” παρουσιάζονται και αναλύονται όλες εκείνες οι επιστημονικές πληροφορίες που αφορούν τις ιδιότητες των μετάλλων και ιδιαίτερα του αλουμινίου και των κραμάτων αλουμινίου. Παρουσιάζονται μηχανικές συμπεριφορές των μετάλλων σε συνθήκες θερμότητας, σε συνθήκες κόπωσης, εκφυλισμού και διάβρωσης.

Αρχικά αναφερόμαστε σε ιστορικά στοιχεία και εισαγωγικές έννοιες γύρω από το αλουμίνιο. Ειδικότερα στις ιδιότητες του αλουμινίου και στη συνέχεια αναφερόμαστε στη σημασία που έχει το αλουμίνιο στη σημερινή εποχή και γενικότερα στις χρήσεις που μπορεί να έχει. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε γενικότερα σε όλα τα μεταλλικά υλικά στα χαρακτηριστικά τους και στις ιδιότητές τους. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζουμε τις πέντε βασικές κατηγορίες μετάλλων που είναι τα ευγενή μέταλλα, τα αλκαλικά μέταλλα, τα μέταλλα των αλκαλικών γαιών, τα μεταβατικά μέταλλα και τέλος τα φτωχά μέταλλα.

Μέσα από τη μελέτη των βασικότερων μετάλλων όπως είναι ο σίδηρος, το αλουμίνιο, ο μόλυβδος, ο χαλκός, το νικέλιο, ο ψευδάργυρος, ο κασσίτερος κ.α. κατανοούμε πιο συγκεκριμένα τη χρησιμότητα και την θέση του αλουμινίου στον τομέα της τεχνολογίας αλλά και στη γενικότερη χρήση του από την πληθώρα των εφαρμογών που έχει σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Στη συνέχεια αναφερόμαστε στις μηχανικές ιδιότητες που έχουν τα μέταλλα, όπως είναι η μηχανική αντοχή, η σκληρότητα, η ελαστικότητα και πλαστικότητα, το εύθραυστο και η αντοχή σε δυναμικές φορτίσεις (αντοχή σε κόπωση). Αλλά και στις τεχνολογικές ιδιότητες όπως είναι η ελατότητα, η ολκιμότητα, το εύτυχο και το συγκολλητό.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφερόμαστε εξειδικευμένα στα κράματα του αλουμινίου, στις μηχανικές χρήσεις και τις ιδιότητες που έχουν και στη συμπεριφορά τους σε συγκεκριμένες συνθήκες. Ακόμη αναφερόμαστε και στις ονομασίες που τους δίνονται καθώς και στο σύστημα που χρησιμοποιείται για την ονοματοδοσία τους βάση κάποιων κανόνων, και αναφερόμαστε και στην χρήση τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις βασικότερες μηχανικές συμπεριφορές του αλουμινίου και γενικότερα των μετάλλων. Αυτές είναι η κόπωση η οποία δημιουργεί συνήθως ρωγμές στα μέταλλα. Ο εφελκυσμός ο οποίος παραμορφώνει τα υλικά υπό την άσκηση δυνάμεων και διακρίνεται σε κεντρικό εφελκυσμό και έκκεντρο εφελκυσμό. Και τέλος η διάβρωση η οποία αποτελεί ένα αυθόρμητο φαινόμενο χημικής διεργασίας που προκαλεί βλάβες στα μέταλλα, υπάρχουν πολλές κατηγορίες διάβρωσης των μετάλλων οι οποίοι απαριθμούνται και αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο.

Στο πέμπτο και προ τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας μας αναφερόμαστε στις θερμικές κατεργασίες των μετάλλων που είναι η ανόπτηση και η βαφή. Πιο συγκεκριμένα η ανόπτηση είναι μια διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που αλλάζει τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες ενός υλικού με σκοπό να αυξήσει την ολκιμότητα και να μειώσει την σκληρότητά του κάνοντάς το πιο λειτουργικό. Από την άλλη πλευρά η βαφή είναι μια διαδικασία απότομης ψύξης του μετάλλου, η οποία συνήθως γίνεται όταν βάζουμε το μέταλλο σε κρύο νερό. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να σκληραίνει το μέταλλο αλλά παράλληλα να γίνεται και πιο εύθραυστο.

Και καταλήγοντας στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας μας, έχοντας ως βάση όλες τις πληροφορίες και τις γνώσεις γύρω από τα μέταλλα και ειδικότερα γύρω από το αλουμίνιο και τα κράματά του που έχουν αναφερθεί ήδη, παρουσιάζουμε δύο μελέτες περιπτώσεων που έχουν δημοσιευθεί, έπειτα από πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν και παρουσιάζουν εφαρμογές που σχετίζονται με τα κράματα του αλουμινίου. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη μελέτη περίπτωσης αναφέρεται σε εφαρμογή των κραμάτων αλουμινίου ως έμβολο κινητήρα και η δεύτερη μελέτη περίπτωσης αναφέρεται στη συγκόλληση ανόμοιων κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο συγκόλλησης με τριβή ανάδευσης.

Λέξεις Κλειδιά: μέταλλα, αλουμίνιο, κράματα, ανόπτηση, βαφή, μηχανική αντοχή, ελαστικότητα, ολκιμότητα, συγκόλληση, κόπωση αλουμινίου, εφελκυσμός, διάβρωση.

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Ιστορικά στοιχεία – εισαγωγικές έννοιες γύρω από το αλουμίνιο	2
1.1 Το αλουμίνιο	2
1.2 Ιστορικά στοιχεία σχετικά με το αλουμίνιο	2
1.3 Το αλουμίνιο στη σημερινή εποχή	4
1.4 Χρήσεις και ιδιότητες του αλουμινίου	5
1.5 Ενώσεις αλουμινίου	6
Κεφάλαιο 2: Ιδιότητες των μεταλλικών υλικών	8
2.1 Τα μέταλλα	8
2.2 Βασικές κατηγορίες μετάλλων	9
2.3 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες των μετάλλων	10
Κεφάλαιο 3: Κράματα αλουμινίου	15
3.1 Τι είναι τα κράματα αλουμινίου	15
3.2 Μηχανική χρήση και ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου	16
3.3 Κράματα αλουμινίου έναντι τύπων χάλυβα	16
3.4 Συμπεριφορά του μετάλλου στη θερμότητα	17
3.5 Σύρματα αλουμινίου	18
3.6 Ονομασίες κραμάτων	19
Κεφάλαιο 4: Μηχανική συμπεριφορά αλουμινίου	25
4.1 Κόπωση αλουμινίου	25
4.1.1 Έναρξη και διάδοση ρωγμών	26
4.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής σε καταστάσεις κόπωσης υλικού 28	
4.2 Εφελκυσμός	29
4.2.1 Κεντρικός εφελκυσμός	30
4.2.2 Έκκεντρος εφελκυσμός	31
4.3 Διάβρωση	31
4.3.1 Χημική και ηλεκτροχημική διάβρωση	32
4.3.2 Διάβρωση σε μικροκυψέλες	35
4.3.3 Τύποι διάβρωσης	37
4.3.4 Διάβρωση αλουμινίου	40
Κεφάλαιο 5: Θερμικές κατεργασίες μετάλλων	43
5.1 Ανόπτηση	43

5.2 Βαφή	45
5.3 Συγκόλληση	45
Κεφάλαιο 6: Μελέτες περιπτώσεων.....	48
6.1 Εφαρμογή των κραμάτων αλουμινίου ως έμβολα κινητήρα	48
6.2 Μελέτη περίπτωσης για τη συγκόλληση ανόμοιων κραμάτων αλουμινίου EN AW 6082 και EN AW 5083 με συγκόλληση με τριβή ανάδευσης	51
Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία.....	62

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Αλουμινένια δεκάρα του 1966	3
Εικόνα 2: Κομμάτι αλουμινίου	5
Εικόνα 3: Μέταλλα.....	8
Εικόνα 4: Μέταλλα σε μορφή σύρματος και φύλλου	13
Εικόνα 5: Κράματα αλουμινίου σε μορφή ράβδων.....	15
Εικόνα 6: Σύρμα αλουμινίου σε κουβάρι	19
Εικόνα 7: Απεικόνιση εργαστηριακής δοκιμής υλικού	26
Εικόνα 8: Θραυστογραφία ηλεκτρονικής μικροσκοπίας διερχόμενης δέσμης(TEM) που απεικονίζει ραβδώσεις κόπωσης σε αλουμίνιο (μεγέθυνση 9000x)	27
Εικόνα 9: Κόπωση ημιαξονίου αλουμινίου	28
Εικόνα 10: Δείγμα δοκιμής τάσης: αύξηση του μήκους Δl υπό αντοχή F	29
Εικόνα 11: Καταπόνηση σε πρισματική ράβδο που φορτίζεται αξονικά από μια δύναμη F	30
Εικόνα 12: Οξείδωση μετάλλου σε διαφορετικές θερμοκρασίες.....	33
Εικόνα 13: Διαδικασία υγρής διάβρωσης.....	34
Εικόνα 14: Σχηματισμός διμεταλλικού κυττάρου κατά τη διαδικασία διάβρωσης	35
Εικόνα 15: Διαδικασία διάβρωσης σε μικροκυψέλες.....	36
Εικόνα 16: Γενική διάβρωση σε αντλία από χυτοσίδηρο	37
Εικόνα 17: Διάγραμμα διάβρωσης ISO για ανοξείδωτους χάλυβες σε θειικό οξύ	38
Εικόνα 18: Διάβρωση ρωγμής σε παξιμάδι από ανοξείδωτο χάλυβα	39
Εικόνα 19: Διάβρωση μεταξύ των ορίων των κόκκων σε ένα μέταλλο	39
Εικόνα 20: Πλάκα αλουμινίου υπό διάβρωση	41
Εικόνα 21: Έμβολο κινητήρα από αλουμίνιο	49
Εικόνα 22: Πείραμα συγκόλλησης με τριβή ανάδευσης (FSW).....	55

Εικόνα 23: Τα προφίλ καρφίτσας εργαλείου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα FSW.....	55
Εικόνα 24: Απεικόνιση των διατομών των αρθρώσεων συγκόλλησης.....	58
Εικόνα 25: Απεικόνιση των δακτυλίων συγκόλλησης.....	59

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Ιδιότητες του αλουμινίου	2
Πίνακας 2: Φυσικές Ιδιότητες των βασικότερων δομικών μετάλλων.....	11
Πίνακας 3: Ονομαστική σύνθεση κράματος αλουμινίου σειράς 1000 (% βάρος) και εφαρμογές	21
Πίνακας 4: Σύνθεση κραμάτων	50
Πίνακας 5. Η χημική σύνθεση των κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη	54
Πίνακας 6. Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου.	54
Πίνακας 7. Παράμετροι διαδικασίας FSW και τα επίπεδά τους.....	56
Πίνακας 8. Πειραματική διάταξη με τη διαδικασία FSW με αποτελέσματα	56

Εισαγωγή

Αρχικά θα θέλαμε να αναφέρουμε πως το θέμα της εργασίας μας με τίτλο “Μηχανική συμπεριφορά κραμάτων αλουμινίου σε μηχανικές δοκιμές” σχετίζεται με τις μηχανικές εφαρμογές του αλουμινίου και των κραμάτων του, θέλοντας να αναδείξουμε το όλο και πιο αυξανόμενο ενδιαφέρον γύρω από τα κράματα αλουμινίου το οποίο οφείλεται στην εξαιρετική ολκιμότητα και μηχανική δύναμη που εμφανίζουν, ειδικά σε σχέση με την ελαφρότητά τους. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τα κράματα αλουμινίου ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα και ανταγωνιστικά υλικά στους κλάδους της αυτοκινητοβιομηχανίας αλλά και σε πολλούς άλλους κλάδους που βρίσκουν εφαρμογή στις μέρες μας.

Έτσι ξεκινώντας στο πρώτο κεφάλαιο παραθέτουμε Ιστορικά στοιχεία και εισαγωγικές έννοιες γύρω από το αλουμίνιο, τις χρήσεις του αλλά και τις ιδιότητές του. Στη συνέχεια, στο επόμενο κεφάλαιο αναφερόμαστε γενικότερα στα βασικότερα μέταλλα, στις ιδιότητές τους, στις βασικές κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται αλλά και στα γενικότερα χαρακτηριστικά τους έχοντας ως βάση σύγκρισης και το αλουμίνιο. Παρακάτω, στο επόμενο κεφάλαιο κάνουμε αναλυτική αναφορά στα κράματα του αλουμινίου, στις ιδιότητές τους, στις μηχανικές χρήσεις τους, στις συμπεριφορές τους αλλά και στο σύστημα ονοματολογίας που έχει χρησιμοποιηθεί για αυτά.

Στη συνέχεια τις εργασίας αναφερόμαστε σε πιο εξειδικευμένες έννοιες όπως είναι οι διάφορες μηχανικές συμπεριφορές των μετάλλων (κόπωση, εφελκυσμός, διάβρωση). Επίσης στο επόμενο και προ τελευταίο κεφάλαιο εξετάζουμε τις θερμικές κατεργασίες των μετάλλων και πιο συγκεκριμένα την ανόπτηση και την βαφή.

Φτάνοντας στο τέλος της εργασίας, παρουσιάζουμε δύο διαφορετικές μελέτες περιπτώσεων που αφορούν τα κράματα αλουμινίου. Η πρώτη μελέτη περίπτωσης αναφέρεται σε μια εφαρμογή κραμάτων αλουμινίου ως έμβολα κινητήρα, και η δεύτερη μελέτη περίπτωσης αναφέρεται στη συγκόλληση ανόμοιων κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο συγκόλλησης με τριβή ανάδευσης. Μέσα από αυτό το κεφάλαιο και έχοντας ως βάση όλες τις πληροφορίες που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια κατανοούμε σε πρακτικό επίπεδο τη χρησιμότητα και την εφαρμογή που έχουν τα κράματα αλουμινίου υποβαλλόμενα σε συγκεκριμένες μηχανικές δοκιμές.

Κεφάλαιο 1: Ιστορικά στοιχεία – εισαγωγικές έννοιες γύρω από το αλουμίνιο

1.1 Το αλουμίνιο

Το αλουμίνιο (aluminium) ή αλλιώς αργίλιο [1] αποτελεί χημικό στοιχείο και περιγράφεται ως ένα χαμηλού βάρους ασημί λευκό μέταλλο της ομάδας 13 ή ομάδας βορίου που περιλαμβάνεται στον περιοδικό πίνακα. Το αλουμίνιο είναι το μεταλλικό στοιχείο που συναντάμε συχνότερα στον φλοιό της Γής και το πιο έντονα χρησιμοποιούμενο μέταλλο που δεν περιέχει σίδηρο. Εξαιτίας της χημικής του δραστηριότητας, το αλουμίνιο δεν το συναντάμε ποτέ στην μεταλλική μορφή του στο έδαφος, αλλά σε διάφορες μορφές ενώσεων του, που βρίσκουμε σε μεγάλο ή μικρό βαθμό σχεδόν σε όλα τα πετρώματα της γης, στη βλάστηση και στα ζώα. Το μέταλλο του αλουμινίου συγκεντρώνεται στα πρώτα 16 χιλιόμετρα του υπέδαφους της Γής και αντιστοιχεί σχεδόν στο 8 % του συνολικού βάρους του φλοιού της Γής. Σε ποσότητα το υπερβαίνει μόνο το πυρίτιο και το οξυγόνο. Η ονομασία του αλουμινίου έχει ρίζα ετυμολογικά από τη λατινική λέξη *alumen*, όπου συνηθίζεται να αναφέρεται για να ονομάσει την ποτάσα ή το θεικό αλουμίνιο κάλιο $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

Πίνακας 1: Ιδιότητες του αλουμινίου

Ιδιότητες Στοιχείων	
Ατομικός αριθμός	13
Ατομικό βάρος	26,9815384
Σημείο τήξης	660 °C (1.220 °F)
Σημείο βρασμού	2,467 °C (4.473 °F)
Ειδικό βάρος	2,70 (στους 20 °C [68 °F])
Σθένος	3
Διαμόρφωση ηλεκτρονίων	1 s 2 2 s 2 2 p 6 3 s 2 3 p 1

1.2 Ιστορικά στοιχεία σχετικά με το αλουμίνιο

Το αλουμίνιο απαντάται σε πυριγενή πετρώματα κυρίως ως αργιλοπυριτικά άλατα σε άστρο και μαρμαρυγία του εδάφους και προέρχεται από αυτά ως άργιλος. Έπειτα από περαιτέρω διάβρωση εξέρχεται ως βωξίτης και λατερίτης πλούσιος σε σίδηρο. Ο βωξίτης, ένα μείγμα ενυδρών οξειδίων του αλουμινίου, είναι το βασικότερο μέταλλευμα

αλουμινίου. Το κρυσταλλικό οξείδιο του αλουμινίου (σμύριδα , κορούνδιο), που απαντάται σε λίγα πυριγενή πετρώματα, εξορύσσεται ως φυσικό λειαντικό ή στις λεπτότερες μορφές του ως ζαφείρια και ρουμπίνια. Το μέταλλο του αλουμινίου υπάρχει και σε άλλους λίθους μεγάλης αξίας, όπως είναι το τοπάζι, ο γρανάτης και το χρυσοβέρυλο. Από τις πολλές άλλες ποικιλίες των ορυκτών του αλουμινίου, ο κρυσθόλιθος και ο αλουνίτης παρουσιάζουν κάποια εμπορική σημασία.

Πριν από το 5000 π.Χ., οι άνθρωποι στη Μεσοποταμία κατασκεύαζαν εκλεκτά αγγεία από πηλό που αποτελούνταν σε μεγάλο βαθμό από μια ένωση αλουμινίου και σχεδόν πριν από 4.000 χρόνια οι Αιγύπτιοι και οι Βαβυλώνιοι χρησιμοποιούσαν ενώσεις αλουμινίου σε διάφορα χημικά και φάρμακα. Ο Πλίνιος αναφέρεται στο αλουμίνιο, πλέον ως γνωστό στυπτηρία, μια ένωση αλουμινίου που χρησιμοποιείται ευρέως στον αρχαίο και μεσαιωνικό κόσμο για τη στερέωση βαφών σε υφάσματα. Στο δεύτερο μισό του 18ου αιώνα, χημικοί όπως ο Antoine Lavoisier αναγνώρισαν την αλουμίνα ως την πιθανή πηγή ενός μετάλλου.

Το ακατέργαστο αλουμίνιο απομονώθηκε το 1825 από τον επιστήμονα φυσικής Hans Christian Ørsted με καταγωγή από τη Δανία με αναγωγή του χλωριούχου αλουμινίου με αμάλαμα καλίου. Ο Άγγλος χημικός Sir Humphry Davy είχε παρασκευάσει περίπου το έτος 1809 ένα μείγμα σιδήρου-αλουμινίου ηλεκτρολύοντας τηγμένη αλουμίνα (οξείδιο του αλουμινίου) και είχε ήδη ονομάσει το στοιχείο αλουμίνιο. Η λέξη αργότερα τροποποιήθηκε σε αλουμίνιο στην Βρετανία και σε κάποιες άλλες χώρες της Ευρώπης. Ο χημικός Friedrich Wöhler από τη Γερμανία, χρησιμοποιώντας το μέταλλο καλίου ως αναγωγικό παράγοντα, κατάφερε να φτιάξει σκόνη αλουμινίου το έτος 1827 και μικρά σφαιρίδια του μετάλλου το 1845, μέσω των οποίων κατάφερε να εντοπίσει κάποιες από τις ιδιότητές του.



Εικόνα 1: Αλουμινένια δεκάρα του 1966

Πηγή:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%BB%CE%B9%CE%BF>

Το καινούριο μέταλλο παρουσιάστηκε δημόσια το έτος 1855 σε Έκθεση που έλαβε χώρα στο Παρίσι σχεδόν τη στιγμή όπου διατέθηκε σε λιγοστές ποσότητες με αυξημένη τιμή με την αναγωγή νατρίου του τηγμένου χλωριούχου αλουμινίου μέσω της διαδικασίας Deville. Την περίοδο όπου η ηλεκτρική ενέργεια άρχισε να διατίθεται ελεύθερα και σε χαμηλό κόστος, παράλληλα εκείνη τη περίοδο ο Charles Martin Hall στις ΗΠΑ και ο Paul-Louis-Toussaint Héroult στη χώρα της Γαλλίας δημιούργησαν το 1886 την έως και σήμερα σύγχρονη τακτική εμπορικής παραγωγής αλουμινίου που ονομάζουμε ηλεκτρόλυση καθαρής αλουμίνιας (Al_2O_3) διαλυμένης σε τετηγμένο κρυσθίθο (Na_3AlF_6). Περίπου στα μέσα της δεκαετίας του 1960 το μέταλλο του αλουμινίου ήταν το πρώτο, μπροστά από το μέταλλο του χαλκού, σε παγκόσμιο επίπεδο στην παραγωγή μετάλλων που δεν περιέχουν σίδηρο.

1.3 Το αλουμίνιο στη σημερινή εποχή

Το μέταλλο του αλουμινίου έχει κατακτήσει τον τίτλο του υλικού του 21^{ου} αιώνα, οι φυσικές και χημικές του ιδιότητες το καθιστούν μια από τις πλέον χρησιμότερες πρώτες ύλες στη βιομηχανία όπου σημάδεψαν μεγάλα επιτεύγματα της σύγχρονης εποχής όπως είναι η εξερεύνηση του διαστήματος. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το μέταλλο αυτό είναι το τρίτο πιο συχνό στοιχείο έπειτα από το οξυγόνο και το πυρίτιο που συναντάμε στον φλοιό της γης. Το αλουμίνιο δεν το συναντάμε στη φύση σε μορφή απλών χημικών ενώσεων εύκολα διασπασίμων όπως είναι ο χαλκός ο χρυσός και ο σίδηρος. Και ως εκ τούτου η απομόνωσή του ως ξεχωριστό μέταλλο άργησε σημαντικά στην πορεία των αιώνων. Η διάκρισή του και η εμπορική του εκμετάλλευση έγινε εφικτή μετά από την ανακάλυψη και την διάδοση του ηλεκτρισμού. Στην εξέλιξη της τεχνολογίας και στις ιδιότητες του αλουμινίου και των πολλών κραμάτων του οφείλετε η επιλογή του ως πρώτη ύλη σε τεράστιο φάσμα εφαρμογών στη σημερινή βιομηχανία. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την μεταποίησή του είναι η διέλαση, η έλαση, η χύτευση κ.α. Ένα βασικό πλεονέκτημα της χρήσης αυτού του μετάλλου αλλά και των κραμάτων του είναι η εξασφάλιση μεγάλης μηχανικής αντοχής σε σύγκριση με το βάρος του, και έτσι αποτελεί ένα ιδανικό υλικό για την κατασκευή οχημάτων εξαιτίας της λιγότερης ενέργειας που απαιτείται. Το αλουμίνιο δεν είναι τοξικό όταν χρησιμοποιείται σαν υλικό συσκευασίας δεν διαπερνάται από υγρά και αέρια και διασφαλίζει υγιεινή αποθήκευση σε πολλές τροφές. Στον τομέα της δόμησης αποτελεί μια από τις βασικότερες πρώτες ύλες. Χάρη στην αντοχή που παρουσιάζει απέναντι στη διάβρωση π.χ. από καιρικές συνθήκες αποτελεί ιδανική επιλογή για την κατασκευή κτιρίων και οικοδομικών εργασιών.

Το αλουμίνιο μέσα στα περίπου 200 χρόνια της πορείας του ως εμπορικό υλικό σχετίζεται μια τεράστια γκάμα προϊόντων από μαγειρικά σκεύη έως εξαρτήματα αυτοκινήτων. Ουσιαστικά από ένα σπάνιο και ακριβό υλικό μετατράπηκε σε ένα χαμηλού κόστους εύχρηστο και ιδιαίτερα χρήσιμου μετάλλου για τη σύγχρονη βιομηχανία. Αποτελεί μια καινοτομία των τελευταίων ετών και έχει χαρακτηριστεί ως το μέταλλο του μέλλοντος.

1.4 Χρήσεις και ιδιότητες του αλουμινίου

Το μέταλλο του αλουμινίου το προσθέτουμε σε μικρές ποσότητες σε κάποια μέταλλα για να βελτιώσουμε τις ιδιότητές τους για να μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε ευκολότερα, όπως στους μπρούτζους αλουμινίου και στα πιο πολλά από τα κράματα με βάση το μαγνήσιο ή για βάση σε κράματα αλουμινίου, μέτριες ποσότητες άλλων μετάλλων και πυριτίου προστίθενται στο αλουμίνιο. Το μέταλλο και τα κράματα του τα χρησιμοποιούμε εκτενώς για την κατασκευή αεροσκαφών, σε οικοδομικά υλικά, σε ανθεκτικά καταναλωτικά είδη (ψυγεία, κλιματιστικά, μαγειρικά σκεύη), σε ηλεκτρικούς αγωγούς και χημικό εξοπλισμό και σε εξοπλισμό επεξεργασίας τροφίμων.



Εικόνα 2: Κομμάτι αλουμινίου

Πηγή: <https://melscience.com/US-en/articles/characteristics-aluminum-and-combustion-reaction-m/>

Το γνήσιο και καθαρό αλουμίνιο (99,996 %) είναι ιδιαίτερα μαλακό και πολύ αδύναμο. Το αλουμίνιο του εμπορίου (99 έως 99,6 % καθαρό) με μικρές ποσότητες πυριτίου και σιδήρου είναι σκληρότερο και πιο ισχυρό. Λόγω του ότι είναι εύκαμπτο και ιδιαίτερα ελατό, το αλουμίνιο μπορεί να σχηματιστεί σε μορφή σύρματος ή να τυλιχτεί σε λεπτά φύλλα. Το μέταλλο αποτελεί σχεδόν το ένα τρίτο της πυκνότητας αντίστοιχα του σιδήρου ή του χαλκού. Αν και χημικά ενεργό, το αλουμίνιο είναι ωστόσο ιδιαίτερα ανθεκτικό στη διάβρωση, επειδή στον αέρα σχηματίζεται στην επιφάνειά του ένας σκληρός φλοιός οξειδίου.

Το αλουμίνιο αποτελεί έναν ιδιαίτερα καλό αγωγό της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Η θερμική του αγωγιμότητα είναι περίπου η μισή από αυτήν του χαλκού. Όλο το φυσικό αλουμίνιο είναι το σταθερό ισότοπο αλουμίνιο-27. Το μεταλλικό αλουμίνιο και το οξείδιο και το υδροξείδιο του είναι μη τοξικά.

Το αλουμίνιο προσβάλλεται αργά από τα περισσότερα αραιά οξέα και διαλύεται γρήγορα σε πυκνό υδροχλωρικό οξύ. Το συμπυκνωμένο νιτρικό οξύ, ωστόσο, μπορεί να αποσταλεί σε βυτιοφόρα αλουμινένια, επειδή καθιστά το μέταλλο παθητικό. Ακόμη και το πολύ καθαρό αλουμίνιο προσβάλλεται έντονα από αλκάλια όπως το υδροξείδιο του νατρίου και του καλίου για να δώσει υδρογόνο και το αργιλικό ιόν. Λόγω της μεγάλης του συγγένειας με το οξυγόνο, το λεπτός διαιρεμένο αλουμίνιο εάν αναφλεγεί, θα καεί σε μονοξείδιο του άνθρακα ή διοξείδιο του άνθρακα με το σχηματισμό οξειδίου και καρβιδίου του αργιλίου, αλλά σε μεγάλες θερμοκρασίες το αλουμίνιο είναι αδρανές στο θείο.

Το αλουμίνιο μπορεί να ανιχνευθεί σε συγκεντρώσεις τόσο χαμηλές όσο ένα μέρος ανά εκατομμύριο μέσω φασματοσκοπίας ατομικών εκπομπών. Το αλουμίνιο μπορεί να αναλυθεί ποσοτικά ως οξείδιο (τύπος Al_2O_3) ή ως παράγωγο της οργανικής ένωσης αζώτου 8-υδροξυκινολίνη. Το παράγωγο έχει τον μοριακό τύπο $Al(C_9H_6ON)_3$.

1.5 Ενώσεις αλουμινίου

Συνήθως, το αλουμίνιο είναι τρισθενές. Σε υψηλές θερμοκρασίες, ωστόσο έχουν παρασκευαστεί μερικές αέριες μονοσθενείς και δισθενείς ενώσεις ($AlCl$, Al_2O , AlO). Στο αλουμίνιο η διαμόρφωση των τριών εξωτερικών ηλεκτρονίων είναι τέτοια ώστε σε μερικές ενώσεις (π.χ. κρυσταλλικό φθοριούχο αργίλιο $[AlF_3]$ και χλωριούχο αλουμίνιο $[AlCl_3]$) το γυμνό ιόν, Al^{3+} , που σχηματίζεται από την απώλεια αυτών των ηλεκτρονίων, είναι γνωστό ότι συμβαίνει. Η ενέργεια που απαιτείται για το σχηματισμό του ιόντος Al^{3+} , ωστόσο, είναι πολύ υψηλή και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ενεργειακά πιο ευνοϊκό για το άτομο αλουμινίου να σχηματίσει ομοιοπολικές ενώσεις μέσω sp^2 υβριδισμού, όπως κάνει το βόριο. Το ιόν Al^{3+} μπορεί να σταθεροποιηθεί με ενυδάτωση και το οκταεδρικό ιόν $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ εμφανίζεται τόσο σε υδατικό διάλυμα όσο και σε πολλά άλατα.

Ορισμένες ενώσεις αλουμινίου έχουν σημαντικές βιομηχανικές εφαρμογές. Η αλουμίνα, η οποία εμφανίζεται στη φύση ως κορούνδιο, παρασκευάζεται επίσης εμπορικά σε μεγάλες ποσότητες για χρήση στην παραγωγή μετάλλου αλουμινίου και στην κατασκευή μονωτών, μπουζί και διαφόρων άλλων προϊόντων. Κατά τη θέρμανση η αλουμίνα αναπτύσσει μια πορώδη δομή η οποία της επιτρέπει να απορροφά τους υδρατμούς. Αυτή η μορφή οξειδίου του αλουμινίου είναι εμπορικά γνωστή ως ενεργοποιημένη αλουμίνα και χρησιμοποιείται για την ξήρανση αερίων και ορισμένων υγρών. Χρησιμεύει επίσης ως φορέας για καταλύτες διαφόρων χημικών αντιδράσεων.

Το ανοδικό οξείδιο του αργιλίου (AAO), που παράγεται συνήθως μέσω της ηλεκτροχημικής οξείδωσης του αλουμινίου είναι ένα νανοδομημένο υλικό με βάση το αλουμίνιο με μια πολύ μοναδική δομή. Το AAO περιέχει κυλινδρικούς πόρους που παρέχουν ποικίλες χρήσεις. Είναι μια θερμικά και μηχανικά σταθερή ένωση ενώ είναι επίσης οπτικά διαφανής και ηλεκτρικός μονωτήρας. Το μέγεθος πόρων και το πάχος του AAO μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν σε ορισμένες εφαρμογές,

συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας ως πρότυπο για τη σύνθεση υλικών σε νανοσωλήνες και νανοράβδους.

Μια άλλη σημαντική ένωση είναι το θειικό αλουμίνιο, είναι ένα χωρίς χρώμα άλας που το παίρνουμε από τη δράση του θειικού οξέος σε ένυδρο οξείδιο του αργιλίου. Η εμπορική μορφή του είναι ένα ένυδρο κρυσταλλικό στερεό με τον χημικό τύπο $Al_2(SO_4)_3$. Χρησιμοποιείται εκτενώς στην κατασκευή χαρτιού ως συνδετικό για βαφές και ως πληρωτικό επιφανειών. Το θειικό αλουμίνιο συνδυάζεται με τα θειικά άλατα μονοσθενών μετάλλων για να σχηματίσει ενυδατωμένα διπλά θειικά άλατα που ονομάζονται στυπτηρίες. Οι στυπτηρίες είναι διπλά άλατα του τύπου $MAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (όπου το M είναι ένα μεμονωμένα φορτισμένο κατιόν όπως το K^+), περιέχουν επίσης το ιόν Al^{3+} . Το M μπορεί να είναι το κατιόν του νατρίου, του καλίου, του ρουβιδίου, του καισίου, του αμμωνίου ή του θαλλίου και το αλουμίνιο μπορεί να αντικατασταθεί από μια ποικιλία άλλων ιόντων M^{3+} —π.χ. το γάλλιο, το ίνδιο, το τιτάνιο, το βανάδιο, το χρώμιο, το μαγγάνιο, τον σίδηρο ή το κοβάλτιο. Το πιο σημαντικό από αυτά τα άλατα είναι το θειικό κάλιο αργιλίου, γνωστό και ως στυπτηρία καλίου ή στυπτηρία καλίου. Αυτές οι στυπτηρίες έχουν πολλές εφαρμογές, ειδικά στην παραγωγή φαρμάκων, υφασμάτων και χρωμάτων.

Η αντίδραση του αερίου χλωρίου με τηγμένο μέταλλο αλουμινίου παράγει χλωριούχο αλουμίνιο, ο τελευταίος είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος καταλύτης σε Αντιδράσεις Friedel-Crafts —δηλαδή, συνθετικές οργανικές αντιδράσεις που εμπλέκονται στην παρασκευή μιας μεγάλης ποικιλίας ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων των αρωματικών κετόνων και της ανθροκινόνης και των παραγώγων της. Ενυδατωμένο χλωριούχο αλουμίνιο, κοινώς γνωστό ως το χλωροένυδρο αλουμίνιο, $AlCl_3 \cdot H_2O$, χρησιμοποιείται ως τοπικό αντιδρωτικό ή αποσμητικό σώματος, το οποίο δρα συστέλλοντας τους πόρους. Είναι ένα από τα πολλά άλατα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία καλλυντικών.

Το υδροξείδιο του αργιλίου, $Al(OH)_3$, χρησιμοποιείται για την αδιάβροχη υφή και για την παραγωγή ορισμένων άλλων ενώσεων αλουμινίου, συμπεριλαμβανομένων των αλάτων που ονομάζονται αργιλικά που περιέχουν την ομάδα AlO_2^- . Με το υδρογόνο, σχηματίζεται αλουμίνιουδρίδιο του αργιλίου, AlH_3 , ένα πολυμερές στερεό από το οποίο προέρχονται τα τετραϋδροαργιλικά άλατα (σημαντικοί αναγωγικοί παράγοντες). Το υδρίδιο του αργιλίου λιθίου ($LiAlH_4$), όπου δημιουργείται από την αντίδραση του χλωριούχου αργιλίου με το υδρίδιο του λιθίου, χρησιμοποιείται ευρέως στην οργανική χημεία - π.χ. για την αναγωγή αλδεϋδων και κετόνων σε πρωτοταγείς και δευτεροταγείς αλκοόλες, αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 2: Ιδιότητες των μεταλλικών υλικών

2.1 Τα μέταλλα

Τα μέταλλα [3] ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των χημικών στοιχείων που εμφανίζουν κάποιες όμοιες ιδιότητες κάποιες από αυτές είναι η λάμψη, η μεγάλη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, η διαμόρφωση ελασμάτων (ελατά) και συρμάτων (όλκιμα). Τα πιο πολλά από τα μέταλλα συνήθως διαθέτουν αρκετά μεγάλη πυκνότητα και είναι ιδιαίτερα σκληρά και ανθεκτικά επίσης. Αυτό που τα ξεχωρίζει από την άλλη μεγάλη κατηγορία των στοιχείων που είναι τα αμέταλλα είναι οι φυσικές και οι χημικές τους ιδιότητες. Κάποια από τα πιο δημοφιλή μέταλλα είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, ο χρυσός, το αργίλιο (αλουμίνιο), το νάτριο, ο ψευδάργυρος, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το ουράνιο και το τιτάνιο. Με διαφορετικό τον υδράργυρο ο οποίος γίνεται σταθερός στους $-38,87^{\circ}\text{C}$ και έτσι σε φυσιολογικές θερμοκρασίες είναι υγρός, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα μέταλλα όπου σε θερμοκρασίες κανονικές περίπου 20°C είναι σε στερεή μορφή. Ακόμη ένα κοινό χαρακτηριστικό τους είναι το αργυρό ή αλλιώς πλατινένιο χρώμα, με εξαιρέσεις τον χρυσό και τον χαλκό που είναι κίτρινο και ερυθρό χρώμα αντίστοιχα.



Εικόνα 3: Μέταλλα

Πηγή: <https://sites.google.com/site/tecnologiadomikwnylikwn/metalla>

Ο τομέας που ασχολείται με τους τρόπους με τους οποίους εξάγουμε τα διάφορα μέταλλα από τα μεταλλεύματα, καθώς και με τους τρόπους καθαρισμού τους αλλά και με όλες τις απαραίτητες διαδικασίες για την λήψη καθαρών μετάλλων ή κραμάτων ή άλλων ενώσεων τους ονομάζεται μεταλλουργία. Τα μέταλλα είναι κατάλληλα για την κατασκευή ευρείας γκάμας προϊόντων με τρόπους και μεθόδους οι οποίες αποτελούν το βασικό θέμα μελέτης της μεταλλοτεχνίας ή της μεταλλοτεχνικής που αποτελεί εξειδικευμένο τομέα της μεταλλογνωσίας. Για την αποδοτικότερη και πιο ποιοτική παραγωγή προϊόντων πολύ συχνά επιλέγονται και χρησιμοποιούνται αναμειγύει των μετάλλων που τα ονομάζουμε ως κράματα.

Τα μέταλλα που χρησιμοποιούμε [4] για την παρασκευή δομικών υλικών είναι κατά βάση ο σίδηρος, ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος και έπειτα σε δεύτερη θέση έρχονται το νικέλιο, ο κασσίτερος, το χρώμιο και το βολφράμιο. Αυτά τα χρησιμοποιούμε σε μικρές ποσότητες, με σκοπό την κατασκευή κραμάτων με τα βασικά μέταλλα. Τα μέταλλα δεν χρησιμοποιούνται πολύ συχνά αμιγή και απαλλαγμένα από άλλες προσμίξεις. Τις περισσότερες φορές αναμιγνύονται με διάφορα άλλα μέταλλα ή αμέταλλα στοιχεία, και με αυτό τον τρόπο έχουμε τη δημιουργία των κραμάτων. Σε αυτό το είδος κραμάτων, που παρουσιάζουν ιδιότητες πολύ ανώτερες από τα απλά μέταλλα οφείλονται οι μεγάλες πρόοδοι στις μεταλλικές κατασκευές. Τα βασικότερα κράματα που χρησιμοποιούμε στην κατασκευή των δομικών μεταλλικών υλικών είναι τα παρακάτω:

- Ο χυτοσίδηρος και ο χάλυβας (κράματα σιδήρου και άνθρακα)
- Τα κράματα του αλουμινίου
- Ο μπρούντζος (κράμα χαλκού και κασσίτερου)
- Ο νικελιούχος και ο χρωμιούχος χάλυβας (κράματα σιδήρου και χρωμίου ή/και νικελίου)
- Ο ορείχαλκος (κράμα χαλκού και ψευδάργυρου)

2.2 Βασικές κατηγορίες μετάλλων

Οι πέντε βασικότερες κατηγορίες διάκρισης των μετάλλων:

Τα ευγενή μέταλλα, [5] βρίσκονται ως καθαρά μέταλλα επειδή δεν αντιδρούν και δεν συνδυάζονται με άλλα στοιχεία για να σχηματίσουν ενώσεις. Επειδή είναι τόσο μη αντιδραστικά, δεν διαβρώνονται εύκολα. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για κοσμήματα και νομίσματα. Τα ευγενή μέταλλα περιλαμβάνουν χαλκό, παλλάδιο, ασήμι, πλατίνα και χρυσό.

Τα αλκαλικά μέταλλα, είναι πολύ αντιδραστικά. Έχουν χαμηλά σημεία τήξης και είναι αρκετά μαλακά ώστε να κόβονται με μαχαίρι. Το κάλιο και το νάτριο είναι δύο αλκαλικά μέταλλα.

Τα μέταλλα των αλκαλικών γαιών, βρίσκονται σε ενώσεις με πολλά διαφορετικά ορυκτά. Είναι λιγότερο αντιδραστικά από τα αλκαλικά μέταλλα, καθώς και πιο σκληρά και έχουν υψηλότερα σημεία τήξης. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει ασβέστιο, μαγνήσιο και βάριο.

Τα Μεταβατικά Μέταλλα, είναι αυτό που συνήθως σκεφτόμαστε όταν σκεφτόμαστε τα μέταλλα. Είναι σκληρά και γυαλιστερά, δυνατά και διαμορφώνονται εύκολα. Χρησιμοποιούνται για πολλούς βιομηχανικούς σκοπούς. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει σίδηρο, χρυσό, ασήμι, χρώμιο, νικέλιο και χαλκό, μερικά από τα οποία είναι επίσης ευγενή μέταλλα.

Τα φτωχά μέταλλα είναι αρκετά μαλακά και τα περισσότερα δεν χρησιμοποιούνται πολύ από μόνα τους. Ωστόσο, γίνονται πολύ χρήσιμα όταν προστίθενται σε άλλες ουσίες. Τα φτωχά μέταλλα περιλαμβάνουν το αλουμίνιο, το γάλλιο, τον κασσίτερο, το θάλλιο, το αντιμόνιο και το βισμούθιο.

2.3 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες των μετάλλων

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά [4] των μετάλλων και των κραμάτων τους αναφέρονται παρακάτω:

- Η αυξημένη μηχανική αντοχή που εμφανίζουν σε όλα τα είδη καταπόνησης όπως είναι ο εφελκυσμός, η θλίψη, η κάμψη, η διάτμηση, η στρέψη κ.τ.λ.
- Η ελαστικότητα που παρουσιάζουν μέσα σε ευρεία περιοχή φόρτισης, η οποία τους επιτρέπει να μην υφίστανται μόνιμες παραμορφώσεις
- Η καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα τους
- Το όλκιμο (η δυνατότητα που έχουν να μεταποιούνται με έλξη σε μορφή σύρματος)
- Το ελατό, η δυνατότητά τους δηλαδή να μεταποιούνται με έλαση ή σφυρηλάτηση σε ελάσματα και λεπτότατα φύλλα
- Το εύτηκτο, η δυνατότητά τους να λιώνουν υπό τη δράση μεγάλων θερμοκρασιών και να επανέρχονται στην πρότερη στερεά κατάσταση έπειτα από την επαναφορά της θερμοκρασίας, χωρίς να μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά τους
- Το συγκολλητό, η δυνατότητα που έχουν δύο κομμάτια του ίδιου μετάλλου ή κράματος να ενώνονται σε ένα ενιαίο σώμα με τα κτυπήματα σφυριού κάτω από συγκεκριμένη για κάθε μέταλλο ή κράμα υψηλή θερμοκρασία
- Η δυνατότητα να αυξάνεται η επιφανειακή σκληρότητα τους και η αντοχής τους, όταν θερμανθούν και στη συνέχεια ψυχθούν απότομα

Όλα αυτά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που αναφέραμε και περιγράψαμε παραπάνω δεν συμβαίνουν με την ίδια ένταση σε όλα τα μέταλλα και κράματα. Κάποιες φορές οι αποκλίσεις είναι αρκετά μεγάλες μεταξύ δυο διαφορετικών μετάλλων και έτσι η επιλογή του καταλληλότερου υλικού σε κάθε περίπτωση και σε κάθε ξεχωριστή εφαρμογή γίνεται με κριτήριο τον βαθμό εκδήλωσης των ιδιοτήτων του και των χαρακτηριστικών του και τις προϋποθέσεις του έργου για το οποίο προορίζεται το αντίστοιχο σε κάθε περίπτωση μέταλλο.

Οι βασικότερες ιδιότητες των μετάλλων χωρίζονται σε τρεις γενικότερες κατηγορίες:

- Τις φυσικές και χημικές ιδιότητες
- Τις μηχανικές Ιδιότητες
- Τις τεχνολογικές Ιδιότητες

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες σχετίζονται με το ειδικό βάρος, τις θερμοκρασίες τήξης, την ευχέρεια χημικής ένωσής τους με διάφορα άλλα στοιχεία και την ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητά που έχουν. Οι μηχανικές ιδιότητες αφορούν τη συμπεριφορά τους, την επιρροή των πάσης φύσης εξωτερικών δυνάμεων σε αυτά. Οι τεχνολογικές ιδιότητες καταλήγοντας, σχετίζονται με την συμπεριφορά τους στις διάφορες μηχανικές και θερμικές κατεργασίες τους.

Πίνακας 2: Φυσικές Ιδιότητες των βασικότερων δομικών μετάλλων

ΟΝΟΜΑ ΣΙΑ	Σύμβολο	Πυκνότητα 20 C	Μέτρο Ελαστιότητας KP/mm ³	Συντ.Θερμικής διαστολής 10 ^{**} -6/grad
Σίδηρος	Fe	0,86	21500	11,7
Αλουμίνιο	Al	2,7	7220	24,6
Μόλυβδος	Pb	11,34	1600	29
Χαλκός	Cu	8,94	12500	16,2
Νικέλιο	Ni	8,9	21500	13,3
Ψευδάργυρος	Zn	7,14	9400	29,8
Κασσίτερος	Sn	7,28	5500	20,5

Μηχανικές Ιδιότητες

- 1) **Η Σκληρότητα.** Ονομάζεται η αντίσταση που παρουσιάζει η επιφάνεια ενός στερεού σώματος στη χάραξή του από ένα άλλο σώμα. Τα μέταλλα διακρίνονται με βάση την σκληρότητα τους μεταξύ των ορυκτών αυτών και συγκεκριμένα μεταξύ εκείνου, το οποίο χαράσσουν και εκείνου από το οποίο χαράσσονται.
- 2) **Η Μηχανική Αντοχή.** Με αυτήν την ονομασία περιγράφεται η δυνατότητα των στερεών σωμάτων να αντιστέκονται στις εξωτερικές δυνάμεις που τείνουν να τα παραμορφώσουν και να τα σπάσουν. Το μέτρο της αντοχής εκτιμάται από την τιμή που έχουν οι τάσεις (εσωτερικών δυνάμεων) κατά τη στιγμή της θραύσης του σώματος και συμβολίζεται με σ_e (τάση αντοχής) ή σ_{tr} (τάση θραύσης). Γενικότερα τα μέταλλα εμφανίζουν αυξημένη αντοχή σε κάθε είδος καταπόνησης (εφελκυσμός, θλίψη, κάμψη, διάτμηση, στρέψη). Ανάμεσα σε όλα τα είδη των αντοχών που υπάρχουν η πιο σημαντική για τις μεταλλικές κατασκευές είναι η αντοχή στον εφελκυσμό, η οποία χαρακτηρίζει την ποιότητα του υλικού και την καταλληλότητά του για κάθε έργο ξεχωριστά, όπως είναι η αντοχή σε θλίψη (πίεση) η οποία αποτελεί κριτήριο της ποιότητας των φυσικών και τεχνητών λίθων και των σκυροδεμάτων .

- 3) **Η Ελαστικότητα και η πλαστικότητα.** Από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των μεταλλικών υλικών είναι η ελαστικότητα και η πλαστικότητά τους, δηλαδή ο τρόπος που παραμορφώνονται κατά τη διάρκεια της φόρτισής τους από εξωτερικές δυνάμεις.
- 4) **Το εύθραυστο (η αντοχή στην κρούση).** Γενικότερα τα μέταλλα έχουν ιδιαίτερα μεγάλη αντοχή στις διάφορες κρούσεις. Σε περιπτώσεις όπου προορίζεται να γίνει χρήση των μετάλλων σε δομικές κατασκευές, τότε η ιδιότητά τους αυτή δεν έχει κάποια σημασία διότι αυτές οι κατασκευές σχεδόν ποτέ παρά μόνο σε εξειδικευμένες περιπτώσεις όπως είναι οι σιδηροδρομικές γέφυρες που υφίστανται κρουστικές δυνάμεις. Από την άλλη πλευρά, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε μηχανολογικές κατασκευές, ο έλεγχος της αντοχής τους σε κρούση πρέπει να είναι λεπτομερής.
- 5) **Η Αντοχή σε δυναμικές φορτίσεις (η αντοχή σε κατάσταση κόπωσης).** Γενικότερα τα μέταλλα εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στις δυναμικές φορτίσεις. Για να πραγματοποιηθεί έλεγχος της αντοχής τους σε κόπωση απαιτούνται ειδικές μηχανές, όπου το μέταλλο όπου δοκιμάζεται δέχεται την επίδραση δυνάμεων εναλλασσόμενης φοράς.

Τεχνολογικές Ιδιότητες

- 1) **Η Ελατότητα.** Με αυτόν τον όρο ονομάζεται η δυνατότητα καποιου μετάλλου να αλλάζει σχήμα και μορφή υπό την ενέργεια εξωτερικών δυνάμεων, χωρίς να επηρεάζονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητές του και χωρίς να υφίσταται ρήγματα ή θραύση. Είναι ουσιαστικά ιδιότητα ανάλογη προς την πλαστικότητα του αργίλου. Η αλλαγή του σχήματος δύναται να συμβεί σε συνθήκες «εν ψυχρώ» ή «εν θερμώ». Ανάλογα δηλαδή με την περίπτωση, το μέταλλο μπορεί να πάρει τη νέα μορφή είτε όταν βρίσκεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, είτε στη θερμοκρασία της ερυθροπυρώσεως. Χάρη στην ικανότητα αυτή ένα μεταλλικό τεμάχιο (κομμάτι) είναι δυνατό να υποστεί τις παρακάτω κατεργασίες:
 - Έλαση ψυχρή ή θερμή. Μέσω αυτής της κατεργασίας επιτυγχάνεται η μετατροπή σε λεπτά φύλλα (λαμαρίνες), ράβδους κανονικής διατομής, ράβδους τυποποιημένης διατομής (γωνιακά, ταυ κλπ.), σωλήνες (τραβηχτοί σωλήνες), καθώς και σε διάφορα άλλα υλικά με πολλές μορφές.
 - Εξέλαση. Μέσω αυτής της κατεργασίας επιτυγχάνεται η μετατροπή τους σε λεπτά επίπεδα φύλλα σε κοίλα ή κυρτά αντικείμενα διαφόρων μορφών (τμήματα αμαξωμάτων, περιβλήματα συσκευών και μηχανών κ.ά.).
 - Εξέγκυση. Μέσω αυτής της κατεργασίας είναι εφικτό να δημιουργηθούν ελάσματα τυποποιημένης μορφής με διέλευση του υλικού μέσω ειδικών τύπων (καλουπιών).

- Σφυρηλάτηση «Εν ψυχρώ» ή «Εν θερμώ». Μέσω αυτής της κατεργασίας και με τη βοήθεια σφυριών ή πρεσών το μέταλλο δύναται να πάρει διαφορετικές μορφές.
 - Τύπωση (στάμπωμα) «Εν θερμώ» ή «Εν ψυχρώ». Μέσω αυτής της κατεργασίας αποτυπώνονται πάνω στο μέταλλο μέσω κάποιας πίεσης που ασκείται με τη χρήση ειδικών καλουπιών σε διάφορα σχήματα. Τα μέταλλα εμφανίζουν διαφορετικό βαθμό ελατότητας. Το μέταλλο που έχει μεγαλύτερη ελατότητα είναι ο χρυσός, που μπορεί να μετατραπεί σε φύλλα πάχους ενός χιλιοστού, του χιλιοστού του μέτρου.
- 2) **Ολκιμότητα.** Σε αυτήν την κατεργασία τα μέταλλα έχουν την ικανότητα να μετατρέπονται σε συρμάτινη μορφή, εάν υποστούν εφελκυστικές δυνάμεις με τη χρήση ειδικής συσκευής γνωστής με το όνομα συρματοσύρτης. Η ικανότητα αυτή λέγεται ολκιμότητα και διαφέρει σημαντικά από μέταλλο σε μέταλλο. Το μέταλλο που εμφανίζει την μεγαλύτερη ολκιμότητα είναι ο χρυσός. Με ένα γραμμάριο χρυσού είναι δυνατό να κατασκευαστεί συνεχές σύρμα συνολικού μήκους 3000 m. Τα επόμενα σε σειρά δομικά μέταλλα με αρκετά μικρότερη ολκιμότητα είναι το Αλουμίνιο, το Νικέλιο, ο Σίδηρος, ο Χαλκός, ο Ψευδάργυρος, ο Κασσίτερος και ο Μόλυβδος. Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την ολκιμότητα ενός μετάλλου αρκεί να μετρήσουμε το μήκος του σύρματος που είναι δυνατό να παραχθεί από ένα κυλινδρικό δοκίμιο ορισμένου βάρους του κάθε μετάλλου.



Εικόνα 4: Μέταλλα σε μορφή σύρματος και φύλλου

Πηγή: [https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/ On-Metals-1.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/On-Metals-1.pdf)

- 3) **Το Εύχυτο.** Το εύχυτο είναι η ιδιότητα που έχουν τα μέταλλα να μπορούν να παίρνουν το σχήμα που θέλουμε να τους δώσουμε, η διαδικασία που ακολουθούμε είναι μετά την τήξη τους να μπουν μέσα σε κατάλληλα καλούπια που θα τους δώσουν το σχήμα που επιθυμούμαι. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται χύτευση και τα προϊόντα που παράγονται από αυτή τα αποκαλούμαι χυτά ή χυτευθέντα αντικείμενα, γενικότερα διατηρούν τις φυσικές και μηχανικές

ιδιότητες του μετάλλου και μετά από αυτή την επεξεργασία. Στην πράξη όμως κάποια από τα χυτά ορισμένων μετάλλων δεν είναι κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν έπειτα από τη διαδικασία της χύτευσης, διότι είναι πορώδη και δεν έχουν μεγάλη αντοχή. Αυτό είναι αποτέλεσμα της φύσης αυτών των μετάλλων και στη παχύρρευστη ή μη του τήγματος και όχι στο σημείο τήξης τους. Για παράδειγμα ενώ ο χαλκός έχει σημείο τήξης αρκετά χαμηλό (1084°C), σε σύγκριση με το σημείο τήξης του χυτοσίδηρου (1260°C περίπου) και αντίστοιχα του χάλυβα (1450°C περίπου), τα χυτά προϊόντα που παράγονται από αυτόν είναι αρκετά πορώδη και ασθενικά και χάνουν κάποια από τα πλεονεκτήματα των ιδιοτήτων τους. Σε αντίθεση με τα χυτά που προκύπτουν από το χυτοσίδηρο και το χάλυβα που προκύπτουν με συμπαγή σύσταση, και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα και δεν χάνουν καθόλου τις αρχικές τους ιδιότητες.

- 4) **Το συγκολλητό.** Το συγκολλητό ονομάζεται η ιδιότητα που έχουν δύο κομμάτια του ίδιου μεταλλικού υλικού να συγκολλούνται μεταξύ τους και να αποτελούν ένα ενιαίο κομμάτι, χωρίς να εμφανίζεται στη διατομή συγκόλλησης μείωση των φυσικών ή μηχανικών ιδιοτήτων που έχουν. Με σκοπό να επιτευχθεί αυτή η συγκόλληση, αυξάνουμε τη θερμοκρασία των κομματιών έως ένα συγκεκριμένο σημείο που καθορίζεται ανάλογα το είδος του μετάλλου. Έπειτα οι πλευρές των κομματιών που θέλουμε να συγκολλήσουμε τοποθετούνται η μια επάνω στην άλλη και σφυρηλατούνται με μεγάλη δύναμη και πίεση. Μια διαφορετική μέθοδος είναι να λιώσουμε τις επιφάνειες των πλευρών των κομματιών που θέλουμε να ενώσουμε με τη χρήση φλόγας ή ηλεκτρικού τόξου, οπότε, μετά τη στερεοποίηση του λιωμένου υλικού, επέρχεται απόλυτη ένωση των κομματιών (αυτογενής συγκόλληση). Ο βαθμός του συγκολλητού ενός μετάλλου προκύπτει από την αντοχή του σε εφελκυσμό όπου εμφανίζει η περιοχή της συνένωσης. Σε αυτήν την ιδιότητα και την γενικότερη ανάπτυξη που πήρε κατά τη περίοδο του Β' παγκοσμίου πολέμου η αυτογενής συγκόλληση οφείλετε το γεγονός ότι οι μεταλλικές κατασκευές αναπτύχθηκαν πολύ.

Κεφάλαιο 3: Κράματα αλουμινίου

3.1 Τι είναι τα κράματα αλουμινίου

Ένα κράμα [6] αλουμινίου είναι ένα μείγμα στο οποίο το μέταλλο του αλουμινίου (Al) είναι το επικρατέστερο μέταλλο της σύνθεσης. Κάποια από τα βασικά μέταλλα που υπάρχουν στα κράματα είναι ο χαλκός, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, το πυρίτιο, ο κασσίτερος, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος. Υπάρχουν δύο κύριες ταξινομήσεις, αυτές είναι τα κράματα χύτευσης και τα σφυρήλατα κράματα, τα οποία χωρίζονται επίσης στις υποκατηγορίες των θερμικά επεξεργασμένων και μη θερμικά επεξεργασμένων κραμάτων. Κατά προσέγγιση το 85% του αλουμινίου χρησιμοποιείται για σφυρήλατα προϊόντα, παραδείγματος χάρη ως ελασματοποιημένες πλάκες, φύλλα κτλ. Τα χυτά κράματα αλουμινίου παράγουν προϊόντα χαμηλότερου κόστους εξαιτίας του χαμηλού σημείου τήξης, αν και γενικά έχουν χαμηλότερες αντοχές σε συνθήκες εφελκυσμού από τα σφυρήλατα κράματα. Το σημαντικότερο σύστημα χυτού κράματος αλουμινίου είναι το Al-Si, όπου τα μεγάλα επίπεδα πυριτίου (4–13%) συμβάλλουν στην απόδοση καλών χαρακτηριστικών χύτευσης. Τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται κατά βάση σε μηχανολογικές κατασκευές και εξαρτήματα όπου απαιτείται μικρό βάρος ή αντοχή στη διάβρωση.

Τα κράματα που έχουν ως βάση το αλουμίνιο είναι πολύ χρήσιμα στην αεροδιαστημική κατασκευή διότι το χαμηλό τους βάρος και η αντοχή τους τα καθιστά ιδανικά σε αυτή την κατηγορία. Τα κράματα αλουμινίου-μαγνησίου είναι ελαφρύτερα από άλλα κράματα αλουμινίου και πολύ λιγότερο εύφλεκτα από άλλα κράματα που περιέχουν πολύ μεγάλο ποσοστό μαγνησίου.



Εικόνα 5: Κράματα αλουμινίου σε μορφή ράβδων

Πηγή: <http://www.niki-chrome.com/cramal.html>

Οι επιφάνειες των κραμάτων αλουμινίου θα αναπτύξουν ένα λευκό, προστατευτικό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου σε περίπτωση που αφεθούν απροστάτευτες με ανοδίαση ή και σωστές διαδικασίες βαφής. Σε υγρό περιβάλλον, η γαλβανική διάβρωση μπορεί να συμβεί όταν ένα κράμα αλουμινίου τίθεται σε ηλεκτρική επαφή με άλλα μέταλλα με πιο θετικά δυναμικά διάβρωσης από το αλουμίνιο και υπάρχει ηλεκτρολύτης που επιτρέπει την ανταλλαγή ιόντων. Αναφέρεται επίσης ως διάβρωση ανόμοιου μετάλλου, αυτή η διαδικασία μπορεί να συμβεί ως απολέπιση ή ως διακοκκώδης διάβρωση. Τα κράματα αλουμινίου μπορεί να υποστούν ακατάλληλη θερμική επεξεργασία, προκαλώντας διαχωρισμό του εσωτερικού στοιχείου που διαβρώνει το μέταλλο εσωτερικά με φορά προς τα έξω.

Οι συνθέσεις κραμάτων του αλουμινίου έχουν εγγραφεί στο The Aluminium Association. Πολλοί οργανισμοί δημοσιεύουν πιο συγκεκριμένα πρότυπα για την κατασκευή κράματος αλουμινίου, συμπεριλαμβανομένου του οργανισμού προτύπων της Εταιρείας Μηχανικών Αυτοκινήτων, συγκεκριμένα των υποομάδων προτύπων αεροδιαστημικής, και της ASTM International.

3.2 Μηχανική χρήση και ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου

Τα κράματα του αλουμινίου [6] έχοντας ένα μεγάλο φάσμα ιδιοτήτων βρίσκουν εφαρμογή σε μηχανικές εφαρμογές. Τα είδη των κραμάτων κατηγοριοποιούνται με ένα σύστημα αριθμών (ANSI) ή με ονόματα που υποδεικνύουν τα βασικά συστατικά του κράματος (DIN και ISO). Η επιλογή του σωστού κράματος για μια δεδομένη εφαρμογή απαιτεί τις εκτιμήσεις της αντοχής σε εφελκυσμό, της πυκνότητας του, της ολκιμότητας του, της μορφοποίησης του, της ικανότητας συγκόλλησης του και της αντοχής του στη διάβρωση. Τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται εκτενώς στα αεροσκάφη λόγω της υψηλής αναλογίας αντοχής προς το βάρος τους. Από την άλλη πλευρά, το καθαρό μέταλλο αλουμινίου είναι πολύ μαλακό για τέτοιες χρήσεις και δεν έχει την υψηλή αντοχή εφελκυσμού που απαιτείται για αεροπλάνα και ελικόπτερα.

3.3 Κράματα αλουμινίου έναντι τύπων χάλυβα

Τα κράματα αλουμινίου [6] έχουν συνήθως συντελεστή ελαστικότητας περίπου 70 GPa, που είναι περίπου το ένα τρίτο του συντελεστή ελαστικότητας των κραμάτων χάλυβα. Επομένως, για ένα δεδομένο φορτίο, ένα εξάρτημα ή μονάδα κατασκευασμένη από κράμα αλουμινίου θα παρουσιάσει μεγαλύτερη παραμόρφωση στο ελαστικό καθεστώς από ένα τμήμα χάλυβα ίδιου μεγέθους και σχήματος.

Με εντελώς νέα μεταλλικά προϊόντα, οι σχεδιαστικές επιλογές συχνά διέπονται από την επιλογή της τεχνολογίας κατασκευής. Οι εξωθήσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές από αυτή την άποψη, λόγω της ευκολίας με την οποία τα κράματα αλουμινίου, ιδιαίτερα η σειρά Al-Mg-Si, μπορούν να εξωθηθούν για να σχηματίσουν σύνθετα προφίλ.

Γενικά, πιο άκαμπτα και ελαφρύτερα σχέδια μπορούν να επιτευχθούν με το κράμα αλουμινίου από ότι είναι εφικτό με τους χάλυβες. Για παράδειγμα, λάβετε υπόψη την κάμψη ενός σωλήνα με λεπτά τοιχώματα: η δεύτερη ροπή της περιοχής σχετίζεται αντιστρόφως με την τάση στο τοίχωμα του σωλήνα, δηλαδή οι τάσεις είναι χαμηλότερες

για μεγαλύτερες τιμές. Η δεύτερη ροπή του εμβადού είναι ανάλογη με τον κύβο της ακτίνας επί το πάχος του τοιχώματος, επομένως η αύξηση της ακτίνας (και του βάρους) κατά 26% θα οδηγήσει σε μείωση κατά το ήμισυ της τάσης του τοίχου. Για το λόγο αυτό, οι σκελετοί ποδηλάτων από κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούν μεγαλύτερες διαμέτρους σωλήνων από τον χάλυβα ή το τιτάνιο προκειμένου να αποδώσουν την επιθυμητή ακαμψία και αντοχή. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, τα αυτοκίνητα που κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούν διαστημικά πλαίσια κατασκευασμένα από εξωθημένα προφίλ για εξασφάλιση ακαμψίας. Αυτό αντιπροσωπεύει μια ριζική αλλαγή από την κοινή προσέγγιση για την τρέχουσα σχεδίαση αυτοκινήτων από χάλυβα, η οποία εξαρτάται από τα κελύφη του αμαξώματος για ακαμψία, γνωστή ως σχεδίαση unibody.

Τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε κινητήρες αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε μπλοκ κυλίνδρων και στροφαλοθαλάμους λόγω της πιθανής εξοικονόμησης βάρους. Δεδομένου ότι τα κράματα αλουμινίου είναι επιρρεπή σε στρέβλωση σε υψηλές θερμοκρασίες, το σύστημα ψύξης τέτοιων κινητήρων είναι κρίσιμο. Οι κατασκευαστικές τεχνικές και οι μεταλλουργικές εξελίξεις έχουν επίσης καθοριστική σημασία για την επιτυχή εφαρμογή στους κινητήρες αυτοκινήτων. Στη δεκαετία του 1960, οι κυλινδροκεφαλές αλουμινίου του Corvaίr κέρδισαν τη φήμη για την αστοχία και την απογύμνωση των νημάτων, κάτι που δεν φαίνεται στις τρέχουσες κυλινδροκεφαλές αλουμινίου.

Ένας σημαντικός δομικός περιορισμός των κραμάτων αλουμινίου είναι η χαμηλότερη αντοχή τους σε κόπωση σε σύγκριση με τον χάλυβα. Σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, οι χάλυβες εμφανίζουν ένα όριο κόπωσης, το οποίο είναι το πλάτος τάσης κάτω από το οποίο δεν συμβαίνουν αστοχίες. Το μέταλλο δεν συνεχίζει να εξασθενεί με εκτεταμένους κύκλους τάσης. Τα κράματα αλουμινίου δεν έχουν αυτό το χαμηλότερο όριο κόπωσης και θα συνεχίσουν να εξασθενούν με τους συνεχείς κύκλους καταπόνησης. Επομένως, τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται αραιά σε μέρη που απαιτούν υψηλή αντοχή σε κόπωση στο καθεστώς υψηλού κύκλου.

3.4 Συμπεριφορά του μετάλλου στη θερμότητα

Συχνά, πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη [6] η ευαισθησία του μετάλλου στη θερμότητα. Ακόμη και μια σχετικά συνηθισμένη διαδικασία εργαστηρίου που περιλαμβάνει θέρμανση περιπλέκεται από το γεγονός ότι το αλουμίνιο, σε αντίθεση με τον χάλυβα, θα λιώσει χωρίς πρώτα να ανάψει κόκκινο. Οι εργασίες διαμόρφωσης όπου χρησιμοποιείται πυρσός φυσήματος μπορούν να αντιστρέψουν ή να αφαιρέσουν τα αποτελέσματα της θερμικής επεξεργασίας. Κανένα οπτικό σημάδι δεν αποκαλύπτει πώς το υλικό είναι εσωτερικά κατεστραμμένο. Όπως ακριβώς η θερμική επεξεργασία συγκόλλησης, η αλυσίδα συνδέσμων υψηλής αντοχής, όλη η αντοχή χάνεται τώρα από τη θερμότητα του φακού. Η αλυσίδα είναι επικίνδυνη και πρέπει να απορριφθεί.

Το αλουμίνιο υπόκειται σε εσωτερικές καταπονήσεις. Μερικές φορές χρόνια αργότερα, ακατάλληλα συγκολλημένοι σκελετοί ποδηλάτων αλουμινίου μπορεί σταδιακά να στρίψουν εκτός ευθυγράμμισης από τις καταπονήσεις της διαδικασίας συγκόλλησης. Έτσι, η αεροδιαστημική βιομηχανία αποφεύγει εντελώς τη θερμότητα ενώνοντας μέρη με πριτσίνα παρόμοιας μεταλλικής σύνθεσης, άλλους συνδετήρες ή κόλλες.

Οι πιέσεις στο υπερθερμασμένο αλουμίνιο μπορούν να ανακουφιστούν με θερμική επεξεργασία των εξαρτημάτων σε ένα φούρνο και σταδιακή ψύξη του. Ωστόσο, αυτά τα εξαρτήματα μπορεί να παραμορφωθούν, έτσι ώστε η θερμική επεξεργασία των συγκολλημένων πλαισίων ποδηλάτων, για παράδειγμα, να έχει ως αποτέλεσμα την κακή ευθυγράμμιση ενός σημαντικού κλάσματος. Εάν η κακή ευθυγράμμιση δεν είναι πολύ σοβαρή, τα ψυχόμενα μέρη μπορεί να λυγίσουν σε ευθυγράμμιση. Εάν το πλαίσιο είναι σωστά σχεδιασμένο για ακαμψία, αυτή η κάμψη θα απαιτήσει τεράστια δύναμη.

Η δυσανεξία του αλουμινίου στις υψηλές θερμοκρασίες δεν έχει αποκλείσει τη χρήση του στην πυραυλική βιομηχανία. Ακόμη και για χρήση στην κατασκευή θαλάμων καύσης όπου τα αέρια μπορούν να φτάσουν τα 3500 K. Ο κινητήρας ανώτερης βαθμίδας Agona χρησιμοποίησε σχέδιο αλουμινίου με αναγεννητική ψύξη για ορισμένα μέρη του ακροφυσίου, συμπεριλαμβανομένης της θερμικά κρίσιμης περιοχής του λαιμού. Στην πραγματικότητα, η εξαιρετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου εμπόδισε τον λαιμό να φτάσει στο σημείο τήξης ακόμη και υπό τεράστια ροή θερμότητας, με αποτέλεσμα ένα αξιόπιστο, ελαφρύ εξάρτημα.

3.5 Σύρματα αλουμινίου

Λόγω της υψηλής αγωγιμότητας [6] και της σχετικά χαμηλής τιμής του σε σύγκριση με τον χαλκό τη δεκαετία του 1960, το αλουμίνιο εισήχθη εκείνη την εποχή στις οικιακές ηλεκτρικές καλωδιώσεις στη Βόρεια Αμερική, παρόλο που πολλά εξαρτήματα δεν είχαν σχεδιαστεί για να δέχονται σύρματα αλουμινίου. Αλλά η νέα χρήση έφερε ορισμένα προβλήματα:

- Ο μεγαλύτερος συντελεστής θερμικής διαστολής του αλουμινίου αναγκάζει το σύρμα να διαστέλλεται και να συστέλλεται σε σχέση με την ανόμοια μεταλλική βιδωτή σύνδεση, χαλαρώνοντας τελικά τη σύνδεση.
- Το καθαρό αλουμίνιο έχει την τάση να σέρνεται κάτω από σταθερή παρατεταμένη πίεση (σε μεγαλύτερο βαθμό καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία), χαλαρώνοντας ξανά τη σύνδεση.
- Η γαλβανική διάβρωση από ανόμοια μέταλλα αυξάνει την ηλεκτρική αντίσταση της σύνδεσης.



Εικόνα 6: Σύρμα αλουμινίου σε κουβάρι

Πηγή: <https://www.marb.gr/shop/syrma/>

Όλα αυτά οδήγησαν σε υπερθέρμανση και χαλαρές συνδέσεις, και αυτό με τη σειρά του είχε ως αποτέλεσμα ορισμένες πυρκαγιές. Στη συνέχεια, οι οικοδόμοι έγιναν επιφυλακτικοί σχετικά με τη χρήση του καλωδίου και πολλές δικαιοδοσίες απαγόρευσαν τη χρήση του σε πολύ μικρά μεγέθη, σε νέες κατασκευές. Ωστόσο, τελικά εισήχθησαν νεότερα εξαρτήματα με συνδέσεις σχεδιασμένες για την αποφυγή χαλάρωσης και υπερθέρμανσης. Στην αρχή έφεραν την ένδειξη "Al/Cu", αλλά τώρα φέρουν κωδικοποίηση "CO/ALR".

Ένας άλλος τρόπος για να αποτρέψετε το πρόβλημα θέρμανσης είναι να τσακίσετε τη κοντή "κοτσίδα" του χάλκινου σύρματος. Η σωστή πτύχωση υψηλής πίεσης από το κατάλληλο εργαλείο είναι αρκετά σφιχτή για να μειώσει τη θερμική διαστολή του αλουμινίου. Σήμερα, νέα κράματα, σχέδια και μέθοδοι χρησιμοποιούνται για καλωδιώσεις αλουμινίου σε συνδυασμό με απολήξεις αλουμινίου.

3.6 Ονομασίες κραμάτων

Τα σφυρήλατα και χυτά κράματα αλουμινίου [6] χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα αναγνώρισης. Το σφυρήλατο αλουμίνιο προσδιορίζεται με έναν τετραψήφιο αριθμό που προσδιορίζει τα στοιχεία κράματος.

Τα χυτά κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούν τετραψήφιο έως πενταψήφιο αριθμό με υποδιαστολή. Το ψηφίο στη θέση εκατοντάδων δηλώνει τα στοιχεία κράματος, ενώ το ψηφίο μετά την υποδιαστολή υποδηλώνει τη μορφή (σχήμα χυτού ή πλινθώματος).

Ονομασία ιδιοσυγκρασίας

Ο χαρακτηρισμός ιδιοσυγκρασίας ακολουθεί τον αριθμό ονομασίας cast ή σφυρήλατο με μια παύλα, ένα γράμμα και ενδεχομένως έναν αριθμό ενός έως τριών ψηφίων, π.χ. 6061-T6. Οι ορισμοί για τις ιδιοσυγκρασίες είναι:

- F** : Όπως κατασκευάζεται
- H** : Σκληρυμένο με στέλεχος (ψυχρή κατεργασία) με ή χωρίς θερμική επεξεργασία
- H1** : Σκληρυμένο στέλεχος χωρίς θερμική επεξεργασία
- H2** : Στέλεχος σκληρυνθεί και μερικώς ανόπτηση
- H3** : Σκληρώνεται και σταθεροποιείται με θέρμανση σε χαμηλή θερμοκρασία

Δεύτερο ψηφίο : Ένα δεύτερο ψηφίο υποδηλώνει το βαθμό σκληρότητας

- HX2 = 1/4 σκληρό
- HX4 = 1/2 σκληρό
- HX6 = 3/4 σκληρό
- HX8 = full hard
- HX9 = έξτρα σκληρό
- O** : Πλήρως μαλακό (ανοπτημένο)
- T** : Θερμικά επεξεργασμένο για την παραγωγή σταθερών ιδιοσυγκρασιών
- T1** : Ψύχεται από ζεστή εργασία και παλαιώσε φυσικά (σε θερμοκρασία δωματίου)
- T2** : Ψύχεται από ζεστή εργασία, κρύα επεξεργασία και φυσικά παλαιωμένο
- T3** : Διάλυμα με θερμική επεξεργασία και ψυχρή επεξεργασία
- T4** : Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο και φυσικά παλαιωμένο
- T5** : Ψύχεται από θερμή εργασία και τεχνητά παλαιωμένο (σε υψηλή θερμοκρασία)
- T51** : Η πίεση ανακουφίζεται με διατάσεις
- T510** : Χωρίς περαιτέρω ίσιωμα μετά το τέντωμα
- T511** : Μικρό ίσιωμα μετά από διάταση
- T52** : Ανακουφίζεται από την πίεση με θερμική επεξεργασία
- T6** : Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο και τεχνητά παλαιωμένο
- T7** : Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο και σταθεροποιημένο
- T8** : Διάλυμα επεξεργασμένο με θερμότητα, ψυχρή κατεργασία και τεχνητή γήρανση
- T9** : Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο, τεχνητά παλαιωμένο και ψυχρό
- T10** : Ψύξη από θερμή εργασία, ψυχρή επεξεργασία και τεχνητή παλαίωση
- W** : Διάλυμα μόνο με θερμική επεξεργασία

Σημείωση: -Το W είναι μια σχετικά μαλακή ενδιάμεση ονομασία που ισχύει μετά τη θερμική επεξεργασία και πριν ολοκληρωθεί η γήρανση. Η συνθήκη -W μπορεί να επεκταθεί σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες αλλά όχι επ' αόριστον και ανάλογα με το υλικό τυπικά δεν θα διαρκέσει περισσότερο από 15 λεπτά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Σφυρήλατα κράματα

Το Διεθνές Σύστημα Ονομασίας Κραμάτων είναι το πιο ευρέως αποδεκτό σχήμα ονομασίας για σφυρήλατα κράματα. Σε κάθε κράμα δίνεται ένας τετραψήφιος αριθμός, όπου το αρχικό ψηφίο υποδεικνύει τα βασικά στοιχεία του κράματος, το επόμενο εάν διαφέρει από το 0 υποδηλώνει μια παραλλαγή του κράματος και το τρίτο και το τέταρτο ψηφίο προσδιορίζουν το συγκεκριμένο κράμα της σειράς. Για παράδειγμα, στο κράμα 3105, ο αριθμός 3 υποδεικνύει ότι το κράμα είναι στη σειρά μαγανιού, το 1 υποδεικνύει την πρώτη τροποποίηση του κράματος 3005 και τέλος το 05 το προσδιορίζει στη σειρά 3000.

1000 series (ουσιαστικά καθαρό)

Η σειρά 1000 είναι ουσιαστικά καθαρό αλουμίνιο με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο τουλάχιστον 99% κατά βάρος και μπορεί να σκληρυνθεί .

Πίνακας 3: Ονομαστική σύνθεση κράματος αλουμινίου σειράς 1000 (% βάρος) και εφαρμογές

Κράμα	Ποσοστό Αλουμινίου	Στοιχεία Κράματος	Χρήσεις και Αναφορές
1441 #		Si 0,08; Fe 0,12; Cu 1,5–1,8; Mn 0,001–0,010; Mg 0,7–1,1; Ti 0,01–0,07; Ni 0,02–0,10; Li 1,8–2,1; Zr 0,04–0,16; Na είναι 0,02–0,20	Υδροπλάνα Be-103 και Be-200
1420 #	92,9	Mg 5,0; Li 2,0; Zr 0,1	Αεροδιαστημική
<u>1199</u>	99,99	–	Αλουμινόχαρτο
<u>1070</u>	99,7	–	Σωλήνας με παχύ τοίχωμα
<u>1370</u>	99,7	–	Ηλεκτρικοί αγωγοί
1230 (VAD23) #		Si 0,3; Fe 0,3; Cu 4,8–5,8; Mn 0,4–0,8; Mg 0,05; Zn 0,1; Ti 0,15; Li 0,9–1,4; Cd 0,1–0,25	Αεροσκάφος Tu-144

V-1464 #		Si 0,03–0,08; Fe 0,03–0,10; Cu 3,25–3,45; Mn 0,20–0,30; Mg 0,35–0,45; Ti 0,01–0,03; Li 1,55–1,70; Zr 0,08–0,10; Sc 0,08–0,10; Na είναι 0,0003–0,02; Na 0,0005	
1440 #		Si 0,02–0,1; Fe 0,03–0,15; Cu 1,2–1,9; Mn 0,05; Mg 0,6–1,1; Cr 0,05; Ti 0,02–0,1; Li 2,1–2,6; Zr 0,10–0,2; Na είναι 0,05–0,2; Na 0,003	
1450 #		Si 0,1; Fe 0,15; Cu 2,6–3,3; Mn 0,1; Mg 0,1; Cr 0,05; Zn 0,25; Ti 0,01–0,06; Li 1,8–2,3; Zr 0,08–0,14; Na είναι 0,008–0,1; Na 0,002; Ce 0,005–0,05	Αεροσκάφη A n-124 και An-225
1430 #		Si 0,1; Fe 0,15; Cu 1,4–1,8; Mn 0,3–0,5; Mg 2,3–3,0; Zn 0,5–0,7; Ti 0,01–0,1; Li 1,5–1,9; Zr 0,08–0,14; Na είναι 0,02–0,1; Sc 0,01–0,1; Na 0,003; Ce 0,2–0,4; Y 0,05–0,1	

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy

Σειρά 2000 (χαλκός)

Η σειρά 2000 είναι κράμα με χαλκό, μπορεί να σκληρυνθεί με καθίζηση σε αντοχές συγκρίσιμες με τον χάλυβα. Παλαιότερα ονομάζονταν duralumin, ήταν κάποτε τα πιο κοινά κράματα αεροδιαστημικής, αλλά ήταν επιρρεπή στη διάβρωση λόγω της καταπόνησης και αντικαθίστανται όλο και συχνότερα από τη σειρά 7000 σε νέους σχεδιασμούς.

Σειρά 3000 (μαγγάνιο)

Η σειρά 3000 είναι κράμα με μαγγάνιο και μπορεί να σκληρυνθεί .

Σειρά 4000 (πυρίτιο)

Η σειρά 4000 είναι κράμα με πυρίτιο. Οι παραλλαγές των κραμάτων αλουμινίου-πυριτίου που προορίζονται για χύτευση (και επομένως δεν περιλαμβάνονται στη σειρά 4000) είναι επίσης γνωστές ως σιλουμίνιο .

Σειρά 5000 (μαγνήσιο)

Η σειρά 5000 είναι κράμα με μαγνήσιο και προσφέρει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση, καθιστώντας τα κατάλληλα για θαλάσσιες εφαρμογές. Επίσης, το κράμα 5083 έχει την υψηλότερη αντοχή από τα μη θερμικά επεξεργασμένα κράματα. Τα περισσότερα κράματα της σειράς 5000 περιλαμβάνουν και μαγγάνιο .

Σειρά 6000 (μαγνήσιο και πυρίτιο)

Η σειρά 6000 είναι κράμα με μαγνήσιο και πυρίτιο. Είναι εύκολο να επεξεργαστούν, είναι συγκολλησίμα και μπορούν να σκληρυνθούν λόγω κατακρήμνισης, αλλά όχι στις υψηλές αντοχές που μπορούν να φτάσουν το 2000 και το 7000. Το κράμα 6061 είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα κράματα αλουμινίου γενικής χρήσης.

Σειρά 7000 (ψευδάργυρος)

Η σειρά 7000 είναι κράμα με ψευδάργυρο και μπορεί να σκληρυνθεί με καθίζηση στις υψηλότερες αντοχές οποιουδήποτε κράματος αλουμινίου (τελική αντοχή εφελκυσμού έως 700 MPa για το κράμα 7068). Τα περισσότερα κράματα της σειράς 7000 περιλαμβάνουν επίσης μαγνήσιο και χαλκό.

Σειρά 8000 (άλλα στοιχεία)

Η σειρά 8000 είναι κράμα με άλλα στοιχεία που δεν καλύπτονται από άλλες σειρές. Τα κράματα αλουμινίου-λιθίου είναι ένα παράδειγμα.

Χυτά κράματα

Η Ένωση Αλουμινίου (AA) υιοθέτησε μια ονοματολογία παρόμοια με αυτή των σφυρήλατων κραμάτων. Το British Standard και το DIN έχουν διαφορετικές ονομασίες. Στο σύστημα AA, τα δύο δεύτερα ψηφία αποκαλύπτουν το ελάχιστο ποσοστό αλουμινίου, π.χ. 150,x αντιστοιχούν σε ελάχιστο 99,50% αλουμίνιο. Το ψηφίο μετά την υποδιαστολή παίρνει τιμή 0 ή 1, που δηλώνει χύτευση και πλινθώματα αντίστοιχα. Τα κύρια στοιχεία κράματος στο σύστημα AA είναι τα εξής:

- Η σειρά 1xx.x είναι τουλάχιστον 99% αλουμίνιο
- Χαλκός σειράς 2xx.x
- Πυρίτιο σειράς 3xx.x, με προσθήκη χαλκού ή μαγνησίου
- Πυρίτιο σειράς 4xx.x
- Μαγνήσιο σειράς 5xx.x
- 6xx.x αχρησιμοποίητη σειρά
- Ψευδάργυρος σειράς 7xx.x
- Κασσίτερος σειράς 8xx.x
- 9xx.x άλλα στοιχεία

Ονομασμένα κράματα

- Το A380 προσφέρει έναν εξαιρετικό συνδυασμό χύτευσης, μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων, παρουσιάζει εξαιρετική ρευστότητα, στεγανότητα και αντοχή σε θερμό ράγισμα. Χρησιμοποιείται στην αεροδιαστημική βιομηχανία
- Alferium ένα κράμα αλουμινίου-σιδήρου που αναπτύχθηκε από τη Schneider , που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αεροσκαφών από την εταιρεία Société pour la Construction d'Avions Métallique "Avim  ta"
- Φύλλο αλουμινίου Alclad που σχηματίζεται από επιφανειακά στρώματα αλουμινίου υψηλής καθαρότητας συνδεδεμένα με υλικό πυρήνα από κράμα αλουμινίου υψηλής αντοχής
- Birmabright (αλουμίνιο, μαγνήσιο) προϊόν της The Birmetals Company, βασικά ισοδύναμο με 5251
- Duralumin (χαλκός, αλουμίνιο)
- Προϊόν Hindalium (αλουμίνιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, πυρίτιο) της Hindustan Aluminium Corporation Ltd, κατασκευασμένο σε ρολά φύλλα 16ga για μαγειρικά σκεύη
- Το Lockalloy είναι ένα κράμα που αποτελείται από 62% βηρύλλιο και 38% αλουμίνιο. Χρησιμοποιήθηκε ως δομικό μέταλλο στην αεροδιαστημική βιομηχανία, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 από την εταιρεία Lockheed Missiles and Space Company .
- Ιδιόκτητο κράμα Pandalloy Pratt & Whitney, που υποτίθεται ότι έχει υψηλή αντοχή και ανώτερη απόδοση υψηλής θερμοκρασίας.
- Magnalium
- Magnox (μαγνήσιο, αλουμίνιο)
- Αλουμίνιο (αλουμίνιο, πυρίτιο)
- Titanal (αλουμίνιο, ψευδάργυρος, μαγνήσιο, χαλκός, ζirkόνιο) προϊόν της Austria Metall AG . Χρησιμοποιείται συνήθως σε αθλητικά προϊόντα υψηλής απόδοσης, ιδιαίτερα σε snowboard και σκι.
- Κράμα Υ, Hiduminium, κράματα RR: κράματα νικελίου-αλουμινίου προπολεμικά, που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική και στα έμβολα κινητήρα, για την ικανότητά τους να διατηρούν την αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά αντικαθίστανται σήμερα από κράματα σιδήρου-αλουμινίου υψηλότερης απόδοσης, όπως το 8009, ικανά να λειτουργούν με χαμηλό ερπυσμό έως και 300C.

Κεφάλαιο 4: Μηχανική συμπεριφορά αλουμινίου

Σε αυτό εδώ το κεφάλαιο θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε τη μηχανική συμπεριφορά του αλουμινίου σε συνθήκες κόπωσης, εφελκυσμού και διάβρωσης.

4.1 Κόπωση αλουμινίου

Η συμπεριφορά των υλικών [7] που ονομάζεται κόπωση είναι μια μορφή αστοχίας που συμβαίνει σε διάφορες κατασκευαστικές εφαρμογές όπως σε μεταλλικές γέφυρες, σε αεροπλάνα και γενικά σε μεταλλικά εξαρτήματα μηχανών, υπό την επίδραση δυναμικών και κυμαινόμενων τάσεων. Σε τέτοιου είδους συνθήκες είναι δυνατόν να προκύψει κόπωση δηλαδή αστοχία σε επίπεδα τάσεων πολύ πιο χαμηλά από την αντοχή σε εφελκυσμό ή την αντοχή διαρροής σε στατική φόρτιση.

Η έννοια της κόπωσης έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει αυτή την κατάσταση αστοχίας του υλικού, διότι εμφανίζεται η κατάσταση αυτή τις περισσότερες φορές έπειτα από μια μεγάλη χρονική περίοδο κυκλικών τάσεων οι οποίες επαναλαμβάνονται. Η κόπωση αποτελεί τον μεγαλύτερο λόγο αστοχίας στα μέταλλα με ποσοστό μεγαλύτερο του ενενήντα τοις εκατό. Και η εμφάνισή της συμβαίνει τόσο στα πολυμερή όσο και στα κεραμικά υλικά με εξαίρεση τις υάλους. Αποτελεί μια κατάσταση ιδιαίτερα καταστρεπτική και ύπουλη, διότι συμβαίνει ξαφνικά χωρίς κάποιες πρότερες ενδείξεις ή κάποια προειδοποίηση. Ο τύπος της αστοχίας σε κατάσταση κόπωσης έχει ομοιότητες με την ψαθυρή αστοχία ακόμη και στα συνήθως όλκιμα μέταλλα.

Τα μέταλλα [9] και τα κράματα που δεν είναι όλκιμα, τέτοια συνήθως είναι εκείνα που κρυσταλλώνονται στο εξαγωγικό συμπαγούς συσσωμάτευσης κρυσταλλικό σύστημα, παρουσιάζουν ψαθυρή θραύση. Η αστοχία αυτών των υλικών προχωράει κατά την διεύθυνση συγκεκριμένων κρυσταλλογραφικών επιπέδων, τα οποία είναι κάθετα στη διεύθυνση της τάσης. Ο τρόπος αυτός της κατά αποχωρισμό θραύσης οφείλεται στην έλλειψη επιπέδων ολίσθησης, η δε όψη των επιφανειών θραύσης είναι στιλπνή.

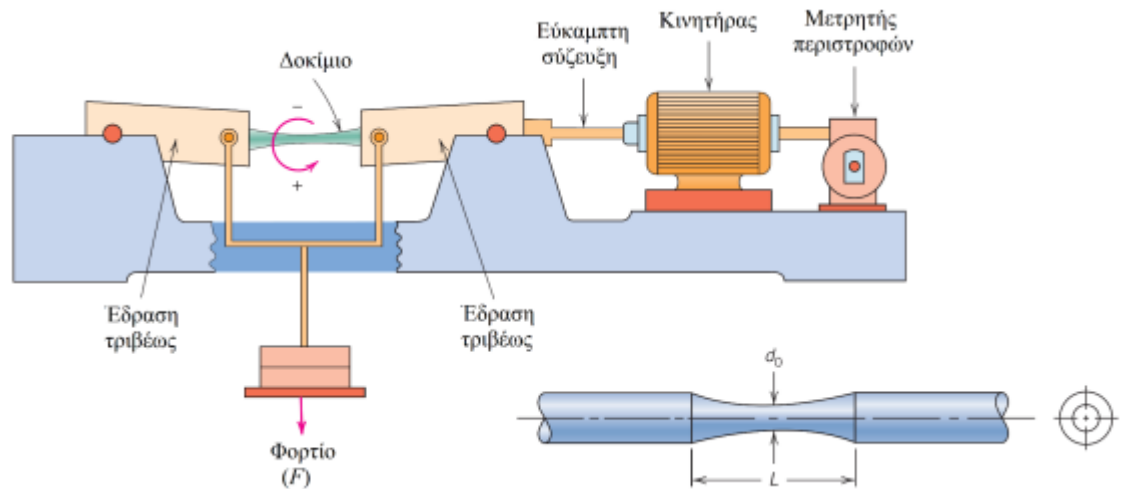
Η όλκιμη θραύση [9] παρατηρείται σε υλικά με μεγάλη ολκιμότητα και μετά από σημαντικές πλαστικές μεταμορφώσεις. Τρεις χαρακτηριστικές φάσεις μπορούμε να αναγνωρίσουμε κατά την όλκιμη θραύση:

1. Δημιουργία λαιμού στο μέσον συνήθως του υλικού που δοκιμάζουμε και μικροσκοπικών κοιλοτήτων στο εσωτερικό αυτού.
2. Συνένωση αυτών των κοιλοτήτων σε ρωγμή η οποία επεκτείνεται προς την εξωτερική κάθετη προς την διεύθυνση της τάσης.
3. Καθώς η ρωγμή πλησιάζει την εξωτερική επιφάνεια, η διεύθυνση μετάδοσης αλλάζει κατά 45 μοίρες και έτσι δημιουργείται η χαρακτηριστική όψη που θυμίζει κύπελλο και κώνο.

Όταν αναφερόμαστε σε επίδραση δυναμικών και κυμαινόμενων τάσεων τότε κάποιες από αυτές μπορεί να είναι:

- Η αξονική τάση (εφελκυσμός – θλίψη)
- Η καμπτική τάση (λυγισμός)
- Η στρεπτική τάση (συστροφές)

Γενικότερα μπορούν να υπάρχουν τρεις ξεχωριστοί τύποι χρονικά κυμαινόμενης τάσης, ο αντιστρεπτικός κύκλος φόρτισης, ο επαναλαμβανόμενος κύκλος φόρτισης και τέλος ο τυχαίος κύκλος φόρτισης. Οι ιδιότητες της κόπωσης των υλικών μπορούν να προσδιοριστούν μέσω εργαστηριακών δοκιμών.



Εικόνα 7: Απεικόνιση εργαστηριακής δοκιμής υλικού

Πηγή: <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php.pdf>

Η κατάσταση αστοχίας σε κόπωση κάποιου υλικού συμβαίνει σε τρία ξεχωριστά στάδια.

- Στο πρώτο στάδιο έχουμε την έναρξη της ρωγμής, όπου μια πολύ μικρή ρωγμή ξεκινά να εμφανίζεται σε κάποιο σημείο μεγάλης συγκέντρωσης τάσης.
- Στο δεύτερο στάδιο έχουμε τη διάδοση της ρωγμής όπου σε κάθε κύκλο τάσης η ρωγμή αυξάνεται και προχωράει.
- Και στο τρίτο στάδιο έχουμε την τελική αστοχία όπου η ρωγμή πλέον είναι αρκετά μεγάλη και δημιουργεί το τελικό πρόβλημα στη κανονική κατάσταση του υλικού.

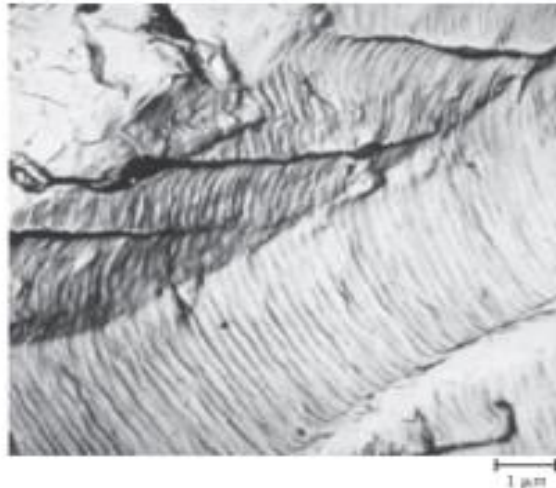
4.1.1 Έναρξη και διάδοση ρωγμών

Οι ρωγμές που δημιουργούνται και σχετίζονται με αστοχία υλικού λόγω κόπωσης τις περισσότερες φορές δημιουργούνται στην επιφάνεια του μετάλλου σε κάποιο σημείο στο οποίο συγκεντρώνονται τάσεις. Το σημείο του μετάλλου που σχηματίζεται η θραύση

κατά τη διάρκεια της μετάδοσης της ρωγμής χωρίζεται σε δύο κατηγορίες τις κυματοειδείς πτυχώσεις και μικροραβδώσεις.

- Οι κυματοειδείς πτυχώσεις ή και οστρακοειδείς ραβδώσεις έχουν μακροσκοπικές διαστάσεις και μπορούν να παρατηρηθούν διά γυμνού οφθαλμού. Τέτοια σημάδια συναντώνται σε περιπτώσεις εξαρτημάτων στα οποία συμβαίνουν διακοπές λειτουργίας κατά το στάδιο διάδοσης της ρωγμής, για παράδειγμα, σε ένα εξάρτημα μηχανής η οποία λειτουργεί μόνο κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας. Κάθε ζώνη κυματοειδών πτυχώσεων αναπαριστά ένα χρονικό διάστημα τη διάρκεια του οποίου έλαβε χώρα η δημιουργία της ρωγμής.
- Οι μικροραβδώσεις είναι πολύ μικρού μεγέθους και μπορούν να παρατηρηθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Κάθε μικροράβδωση θεωρείται ότι αναπαριστά την απόσταση κατά την οποία αναπτύχθηκε το μέτωπο της ρωγμής κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης. Το πλάτος των μικροραβδώσεων μεγαλώνει καθώς μεγαλώνει το εύρος της τάσης.

Κόπωση αλουμινίου



Εικόνα 8: Θραυστογραφία ηλεκτρονικής μικροσκοπίας διερχόμενης δέσμης (TEM) που απεικονίζει ραβδώσεις κόπωσης σε αλουμίνιο (μεγέθυνση 9000x)

Πηγή: <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php.pdf>



Εικόνα 9: Κόπωση ημιαξονίου αλουμινίου

Πηγή: <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php.pdf>

Οι κυματοειδείς πτυχώσεις και μικροραβδώσεις συνήθως δεν παρουσιάζονται στο σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η γρήγορη αστοχία. Η γρήγορη αστοχία μπορεί να είναι είτε όλκιμη είτε ψαθυρή. Ίχνη πλαστικής παραμόρφωσης θα υπάρχουν στην όλκιμη και δεν θα υπάρχουν στην ψαθυρή αστοχία.

4.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής σε καταστάσεις κόπωσης υλικού

Η συμπεριφορά των τεχνικών υλικών σε καταστάσεις κόπωσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μία σειρά από μεταβλητούς παράγοντες όπως είναι:

- Το μέσο επίπεδο τάσης. Η αύξηση του επιπέδου της μέσης τάσης οδηγεί σε μείωση της διάρκειας ζωής σε κατάσταση κόπωσης.
- Ο γεωμετρικός σχεδιασμός. Η πρόβλεψη της κόπωσης εξαρτάται από το αν το δείγμα περιέχει ρωγμές ή ατέλειες πριν την καταπόνηση ή είναι άνευ ρωγμών ατελειών.
- Επιφανειακά φαινόμενα. Σε πολλές κοινές συνθήκες φόρτισης, η μέγιστη τάση στο εσωτερικό ενός εξαρτήματος ή μιας κατασκευής εμφανίζεται στην επιφάνειά του. Ως αποτέλεσμα, πολλές από τις ρωγμές που οδηγούν σε αστοχία λόγω κόπωσης δημιουργούνται αρχικά σε σημεία στην επιφάνεια, ειδικότερα σε θέσεις ενίσχυσης της τάσης. Διαπιστώθηκε ότι η διάρκεια ζωής σε κόπωση είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις συνθήκες και στη διαμόρφωση της επιφάνειας των εξαρτημάτων. Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση στην κόπωση,

περιλαμβάνονται σχεδιαστικά κριτήρια καθώς και διάφορες επιφανειακές κατεργασίες.

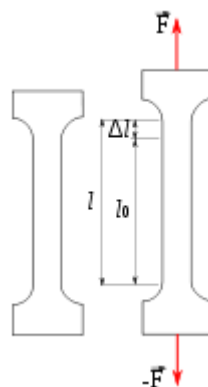
- Μεταλλουργικές μεταβλητές.
- Το περιβάλλον. Οι γενικότεροι παράγοντες του περιβάλλοντος μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη συμπεριφορά σε κόπωση των υλικών. Η θερμική κόπωση συνήθως συμβαίνει σε μεγάλες θερμοκρασίες από κυμαινόμενες θερμικές τάσεις, ενώ δεν απαιτείται η παρουσία μηχανικών τάσεων από εξωτερική πηγή. Η αστοχία που δημιουργείται με την ταυτόχρονη δράση κυκλικής τάσης και χημικής προσβολής αποκαλείται κόπωση από διάβρωση. Διαβρωτικά περιβάλλοντα έχουν επιβλαβή επίδραση και παράγουν πιο σύντομη διάρκεια ζωής σε κατάσταση κόπωση. Επίσης και οι συνηθισμένες συνθήκες της ατμόσφαιρας του περιβάλλοντος επηρεάζει τη συμπεριφορά σε κόπωση ορισμένων υλικών. Για την παρεμπόδιση της κόπωσης από διάβρωση συνήθως εφαρμόζουμε μία προστατευτική επιφανειακή επικάλυψη.

4.2 Εφελκυσμός

Εφελκυσμός [8] αποκαλείται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν (εικόνα 10). Ο εφελκυσμός είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι η θλίψη.

Η ισοροπία δυνάμεων είναι μηδέν:

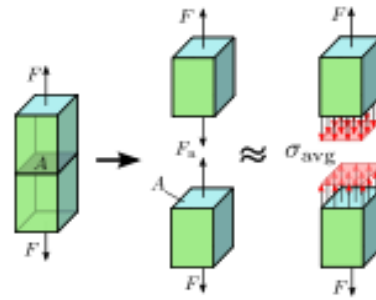
$$\sum \vec{F} = 0.$$



Εικόνα 10: Δείγμα δοκιμής τάσης: αύξηση του μήκους Δl υπό αντοχή F

Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/Εφελκυσμός>

Ιωάννης



Εικόνα 11: Καταπόνηση σε πρισματική ράβδο που φορτίζεται αξονικά από δύναμη F

Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/Εφελκυσμός>

Θεωρώντας νοητή τομή σε κάποια θέση (εικόνα 11) από την ισορροπία δυνάμεων μπορούμε να υπολογίσουμε τις εφελκυστικές (ορθές) τάσεις στη διατομή.

Η δοκιμή του εφελκυσμού είναι η συνηθέστερη μηχανική δοκιμή. Από τα αποτελέσματα αυτής προκύπτουν οι σημαντικότερες σταθερές του εξεταζόμενου υλικού, όπως το όριο και το μέτρο της ελαστικότητας, το όριο θραύσης και άλλες. Συνίσταται στην υποβολή δοκιμίου του προς χαρακτηρισμό υλικού, σε εφελκυστική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφεται η προκαλούμενη επιμήκυνση.

4.2.1 Κεντρικός εφελκυσμός

Στην περίπτωση όπου η εξωτερική δύναμη ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής ο εφελκυσμός ονομάζεται κεντρικός. Με την προϋπόθεση ότι το στοιχείο είναι ευθύγραμμο, η διατομή παραμένει σταθερή και η εξωτερική δύναμη ασκείται ομοιόμορφα ισχύει ότι οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

με σ την εφελκυστική τάση, F την εξωτερική δύναμη και A το εμβαδόν της διατομής.

Ακόμα και στην περίπτωση που η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται ομοιόμορφα στα άκρα του στοιχείου, μετά από κάποιο μήκος η κατανομή γίνεται ομοιόμορφη λόγω της αρχής του Saint Venant. Στα γραμμικά ελαστικά υλικά ισχύει ο νόμος του Χούκ και η επιμήκυνση θα είναι:

$$\Delta L = \frac{\sigma}{E} L$$

όπου σ η εφελκυστική τάση, E το μέτρο ελαστικότητας του υλικού και L το αρχικό μήκος.

Για να ισχύει ο νόμος του Χουκ η τάση δεν πρέπει να ξεπερνά μια τιμή χαρακτηριστική του υλικού. Στα ψαθυρά υλικά η υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής

οδηγεί σε θραύση, ενώ στα όλκιμα υλικά αν οι τάσεις ξεπεράσουν το όριο διαρροής αρχικά θα έχουμε πλαστική παραμόρφωση και τελικά θραύση του στοιχείου.

4.2.2 Έκκεντρος εφελκυσμός

Στην περίπτωση όπου η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής, τότε ο εφελκυσμός ονομάζεται έκκεντρος. Έκκεντρότητα e αποκαλείται η απόσταση της συνισταμένης της δύναμης από το κέντρο βάρους της διατομής. Ένας απλός τρόπος να υπολογιστούν οι ορθές τάσεις της διατομής είναι να μεταφερθεί η εξωτερική δύναμη στο κέντρο βάρους με ταυτόχρονη εφαρμογή καμπτικής ροπής

$$M = Fe \quad \{\displaystyle M=Fe\}$$

Η λύση προκύπτει από την επαλληλία του κεντρικού εφελκυσμού λόγω της F και της κάμψης λόγω της M . Βασική προϋπόθεση για να ισχύει η επαλληλία είναι οι συνολικές παραμορφώσεις να παραμείνουν εντός της ελαστικής περιοχής.

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_M = \frac{F}{A} + \frac{Fe}{I_z} y$$

Όπου:

- I_z : Η ροπή αδράνειας ως προς τον κεντροβαρικό άξονα που είναι παράλληλος στον άξονα της κάμψης.
- Y : απόσταση του σημείου με τάση σ από τον παραπάνω άξονα.

4.3 Διάβρωση

Η έννοια της διάβρωσης ή χημική διάβρωση [10] είναι ένα αυθόρμητο φαινόμενο χημικής διεργασίας και η φυσική του εξήγηση ανήκει στον επιστημονικό κλάδο της ηλεκτροχημείας. Στην περίπτωση της διάβρωσης το μεταλλικό υλικό υπό την επίδραση του περιβάλλοντος χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται συνήθως από το οξυγόνο του περιβάλλοντος.

Το φαινόμενο είναι τις περισσότερες φορές επιφανειακό, ουσιαστικά εντοπίζεται στην εκτεθειμένη προς το περιβάλλον επιφάνεια του μετάλλου. Υπάρχουν πολλά είδη και κατηγοριοποιήσεις διάβρωσης (ανάλογα με την επίδραση του περιβάλλοντος του υλικού, αν το υλικό υφίσταται μηχανική καταπόνηση, κ.α.). Παρόλα αυτά, υπάρχουν και περιπτώσεις εσωτερικής διάβρωσης, όπως για παράδειγμα, στους σωλήνες εξάτμισης των οχημάτων, όπου η διάβρωση συμβαίνει από την εσωτερική πλευρά της σωλήνωσης, υπό την επίδραση των καυσαερίων.

Τις περισσότερες φορές, η έννοια της διάβρωσης απευθύνεται σε μεταλλικά υλικά και κράματα μετάλλων, και όχι σε άλλου είδους υλικά (για παράδειγμα δεν είναι σύνηθες να αναφέρεται για την διάβρωση του ξύλου και άλλων όμοιων υλικών).

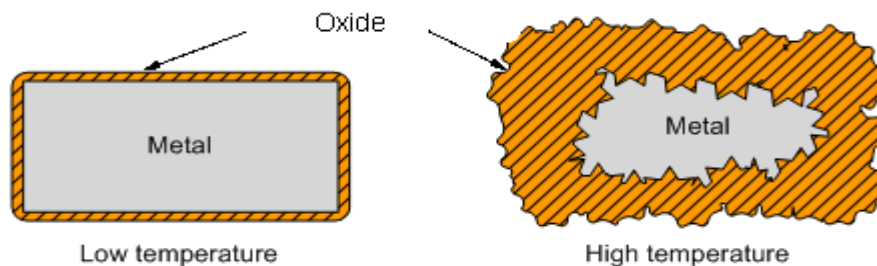
Η διαδικασία της διάβρωσης υπάρχει παντού στη φύση και τα αποτελέσματά της είναι ορατά σε μεταλλικές, και όχι μόνο, κατασκευές. Το φυσικό φαινόμενο της βροχής, για παράδειγμα, μπορεί να διαβρώσει αργά αργά ένα μαρμάρινο άγαλμα, όπου αυτό συμβαίνει από τις διάφορες μικροποσότητες οξέων που περιέχονται στο νερό της βροχής, που αντιδρούν με ενώσεις του μαρμάρου σχηματίζοντας νέες ενώσεις σε μορφή κόνεως, γεγονός που συνεπάγεται την φθορά και τη διάβρωση. Η δημοφιλέστερη και πιο γνωστή μορφή διάβρωσης είναι το σκούριασμα του σιδήρου, που είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης του σιδήρου με το οξυγόνο του αέρα με την βοήθεια και της βροχής, όπου και εδώ η σκουριά παίρνει γρήγορα τη μορφή σκόνης. Πιο συγκεκριμένα ο όρος σκουριά απευθύνεται σε κατασκευές από σίδηρο (είναι σπάνιο για παράδειγμα να αναφέρεται ο τρόπος με τον οποίο "σκουρίασε" ένα χάλκινο σκεύος, σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως χρησιμοποιείται η έννοια της οξειδωσης).

Γιατί διαβρώνονται τα μέταλλα; Εκτός από τον χρυσό [11], την πλατίνα και μερικά άλλα, τα μέταλλα δεν υπάρχουν στη φύση στην καθαρή τους μορφή. Συνήθως συνδέονται χημικά με άλλες ουσίες στα μεταλλεύματα, όπως τα σουλφίδια, και τα οξείδια κ.λπ. Πρέπει να δαπανηθεί ενέργεια (π.χ. σε υψικάμινο) για να εξαχθούν τα μέταλλα από τα σουλφίδια, τα οξείδια κ.λπ. για να ληφθούν καθαρά μέταλλα.

4.3.1 Χημική και ηλεκτροχημική διάβρωση

Η χημική διάβρωση μπορεί να θεωρηθεί ως οξειδωση και συμβαίνει με τη δράση ξηρών αερίων, συχνά σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ηλεκτροχημική διάβρωση από την άλλη λαμβάνει χώρα με αντιδράσεις ηλεκτροδίων, συχνά σε υγρά περιβάλλοντα, δηλαδή υγρή διάβρωση. Όλα τα μέταλλα στον ξηρό αέρα καλύπτονται από ένα πολύ λεπτό στρώμα οξειδίου, πάχους περίπου 100\AA ($10^{-2}\text{ }\mu\text{m}$). Αυτό το στρώμα δημιουργείται από χημική διάβρωση με το οξυγόνο στον αέρα. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, η αντίδραση με το οξυγόνο στον αέρα μπορεί να συνεχιστεί χωρίς περιορισμό και το μέταλλο θα μετατραπεί γρήγορα σε οξείδιο.

Ιωάννης



Εικόνα 12: Οξείδωση μετάλλου σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Πηγή:

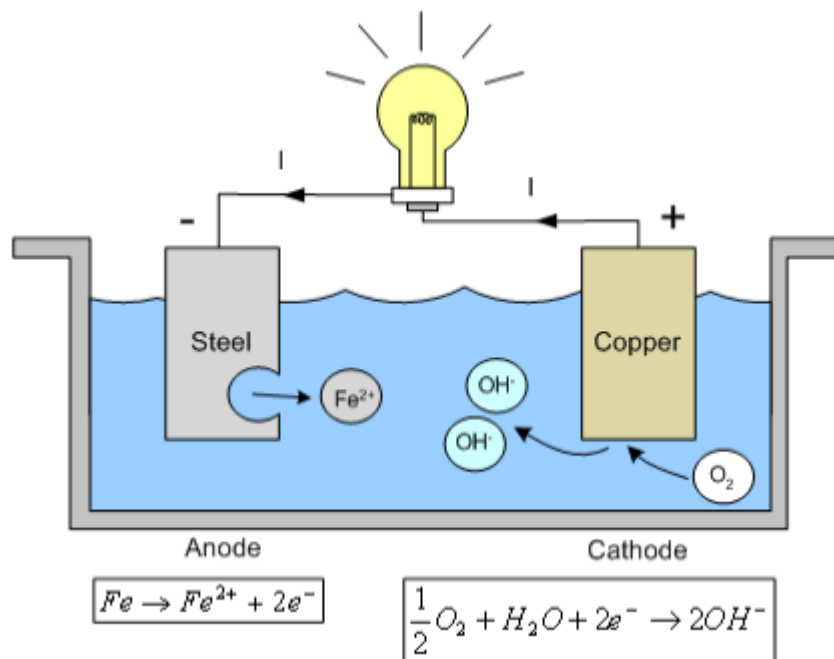
<https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

Σε θερμοκρασία δωματίου η αντίδραση σταματά όταν το στρώμα είναι λεπτό. Αυτά τα λεπτά στρώματα οξειδίου μπορούν να προστατεύσουν το μέταλλο από συνεχείς επιθέσεις, π.χ. σε υδατικό διάλυμα. Στην πραγματικότητα, είναι αυτά τα στρώματα οξειδίου και τα προϊόντα διάβρωσης που σχηματίζονται στην επιφάνεια του μετάλλου που προστατεύουν το μέταλλο από συνεχή επίθεση σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από την αντίσταση στη διάβρωση του ίδιου του μετάλλου. Αυτά τα στρώματα οξειδίου μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο ανθεκτικά στο νερό, για παράδειγμα γνωρίζουμε ότι ο απλός ανθρακούχος χάλυβας διαβρώνεται γρηγορότερα στο νερό από τον ανοξειδωτο χάλυβα. Η διαφορά εξαρτάται από τη σύνθεση και τη διαπερατότητα των αντίστοιχων στρωμάτων οξειδίου τους. Η παρακάτω περιγραφή του φαινομένου της διάβρωσης αφορά μόνο την ηλεκτροχημική διάβρωση, δηλαδή την υγρή διάβρωση.

Η υγρή διάβρωση στα μέταλλα συμβαίνει χρησιμοποιώντας ένα φαινόμενο διάβρωσης που ονομάζεται διμεταλλική διάβρωση ή γαλβανική διάβρωση. Το διμεταλλικό στοιχείο διάβρωσης μπορεί π.χ. να αποτελείται από μια πλάκα χάλυβα και μια πλάκα χαλκού σε ηλεκτρική επαφή μεταξύ τους και βυθισμένα σε ένα υδατικό διάλυμα (ηλεκτρολύτη). Ο ηλεκτρολύτης περιέχει διαλυμένο οξυγόνο από τον αέρα και διαλυμένο αλάτι. Εάν συνδεθεί μια λάμπα μεταξύ της χαλύβδινης πλάκας και της πλάκας χαλκού, θα ανάψει. Αυτό δείχνει ότι το ρεύμα ρέει μεταξύ των μεταλλικών πλακών. Ο χαλκός θα είναι το θετικό ηλεκτρόδιο και ο χάλυβας το αρνητικό ηλεκτρόδιο.

Η κινητήρια δύναμη του ρεύματος είναι η διαφορά στο ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ του χαλκού και του χάλυβα. Το κύκλωμα πρέπει να είναι κλειστό και κατά συνέπεια το ρεύμα θα ρέει στο υγρό (ηλεκτρολύτη) από τη χαλύβδινη πλάκα στη χάλκινη πλάκα. Η ροή του ρεύματος πραγματοποιείται από τα θετικά φορτισμένα άτομα σιδήρου (ιόντα σιδήρου) αφήνοντας τη χαλύβδινη πλάκα και η χαλύβδινη πλάκα διαβρώνεται. Η διαβρωτική μεταλλική επιφάνεια ονομάζεται άνοδος. Το οξυγόνο και το νερό καταναλώνονται στην επιφάνεια της πλάκας χαλκού και σχηματίζονται ιόντα υδροξυλίου (OH⁻), τα οποία είναι αρνητικά φορτισμένα. Τα αρνητικά ιόντα υδροξυλίου

«εξουδετερώνουν» τα θετικά φορτισμένα άτομα σιδήρου. Τα ιόντα σιδήρου και υδροξυλίου σχηματίζουν υδροξείδιο του σιδήρου (σκουριά).



Εικόνα 13: Διαδικασία υγρής διάβρωσης

Πηγή:

<https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

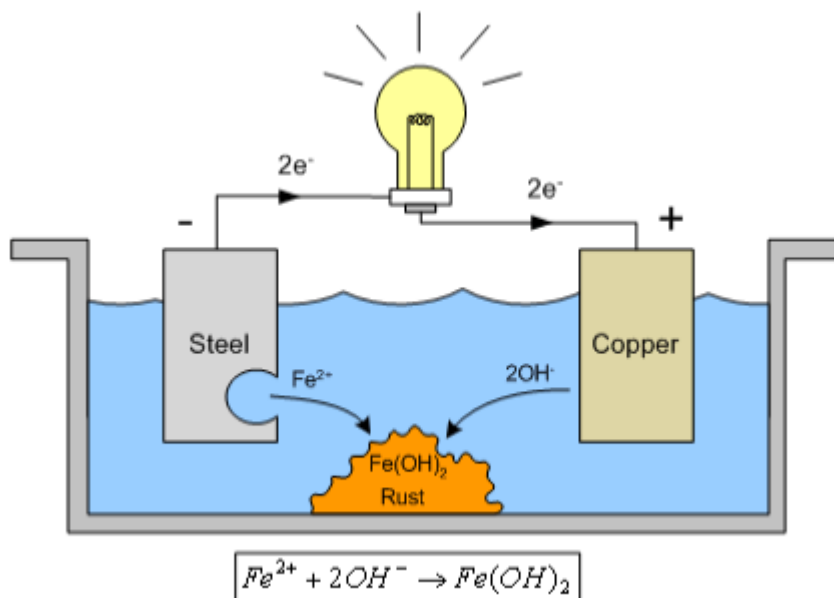
Στο κελί διάβρωσης που περιγράφεται παραπάνω, το μέταλλο χαλκού ονομάζεται κάθοδος. Και οι δύο μεταλλικές πλάκες αναφέρονται ως ηλεκτρόδια και ο ορισμός της ανόδου και της καθόδου δίνεται παρακάτω.

Άνοδος: Ηλεκτρόδιο από το οποίο ρέει θετικό ρεύμα σε έναν ηλεκτρολύτη.

Κάθοδος: Ηλεκτρόδιο μέσω του οποίου θετικό ηλεκτρικό ρεύμα αφήνει έναν ηλεκτρολύτη.

Όταν θετικά άτομα σιδήρου μπαίνουν σε διάλυμα από τη χαλύβδινη πλάκα, τα ηλεκτρόνια παραμένουν στο μέταλλο και μεταφέρονται προς την αντίθετη κατεύθυνση, προς το θετικό ρεύμα.

Ιωάννης



Εικόνα 14: Σχηματισμός διμεταλλικού κυττάρου κατά τη διαδικασία διάβρωσης

Πηγή: <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

Οι προϋποθέσεις για το σχηματισμό ενός διμεταλλικού κυττάρου είναι:

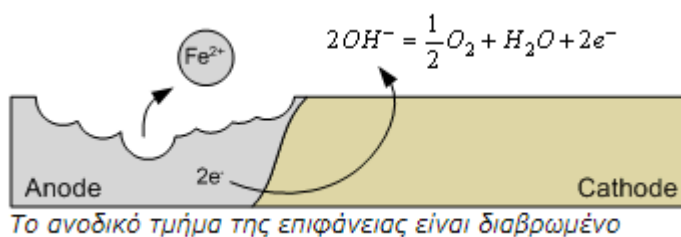
1. Ηλεκτρολύτης
2. Άνοδος
3. Κάθοδος
4. Μέσο οξειδωσης, όπως διαλυμένο οξυγόνο (O_2) ή ιόντα υδρογόνου (H^+).

Στο παραπάνω παράδειγμα, είδαμε ότι η κινητήρια δύναμη για τη ροή του ρεύματος και συνεπώς τη διάβρωση είναι η διαφορά στο δυναμικό του ηλεκτροδίου. Το δυναμικό ηλεκτροδίου ενός μετάλλου είναι μια ένδειξη της τάσης του μετάλλου να διαλύεται και να διαβρώνεται σε έναν συγκεκριμένο ηλεκτρολύτη. Αναφορά γίνεται και στην «δυναμική» του μετάλλου. Όσο πιο ευγενές είναι το μέταλλο, τόσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό, τόσο μικρότερη είναι η τάση που έχει να διαλυθεί σε έναν ηλεκτρολύτη. Τα δυναμικά ηλεκτροδίων διαφορετικών μετάλλων μπορούν να καθοριστούν σε σχέση μεταξύ τους σε γαλβανικές σειρές για διαφορετικούς ηλεκτρολύτες.

4.3.2 Διάβρωση σε μικροκυψέλες

Το παράδειγμα χάλυβα-χαλκού έχει δείξει πώς λαμβάνει χώρα η διάβρωση όταν δύο διαφορετικά υλικά συνδέονται σε ένα υδατικό διάλυμα. Πώς γίνεται όμως η διάβρωση

στην επιφάνεια ενός μόνο μετάλλου; Όταν η επιφάνεια ενός μετάλλου μελετηθεί με μικροσκόπιο, θα φανεί ότι δεν είναι ένα ενιαίο ομοιογενές μέταλλο. Διαφορές στη δομή και το μέγεθος των κόκκων εμφανίζονται στην επιφάνεια. Η χημική σύνθεση μπορεί να ποικίλλει και μπορεί να υπάρχουν διάφορες ακαθαρσίες. Εάν το δυναμικό του ηλεκτροδίου μετρηθεί σε μια φαινομενικά ομοιογενή επιφάνεια, θα διαπιστωθεί ότι ποικίλλει σημαντικά σε περιοχές μόνο κλασμάτων του τετραγωνικού χλιοστού. Έτσι, κάθοδοι και άνοδοι, πιθανώς μικρές αλλά αρκετά μεγάλες ώστε να προκαλούν διάβρωση, μπορούν να σχηματιστούν στην ίδια μεταλλική επιφάνεια. Έχει σχηματιστεί ένα μικροκύτταρο διάβρωσης με τις αντιδράσεις άνοδου και καθόδου που περιγράφονται παρακάτω.



Εικόνα 15: Διαδικασία διάβρωσης σε μικροκυψέλες

Πηγή: <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

Μερικές από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης των μετάλλων περιγράφονται παρακάτω:

- **Οξειδωτικά μέσα:** Η διαδικασία διάβρωσης εξαρτάται από την ταυτόχρονη ανοδική και καθοδική αντίδραση. Η ανοδική αντίδραση προκαλεί τη διάλυση του μετάλλου. Για την καθοδική αντίδραση πρέπει να υπάρχει ένας οξειδωτικός παράγοντας και οι πιο συνηθισμένοι παράγοντες είναι το διαλυμένο οξυγόνο ή τα ιόντα υδρογόνου. Εάν η διαθεσιμότητα οξειδωτικών παραγόντων είναι περιορισμένη, η διαδικασία διάβρωσης θα ανασταλεί ή θα σταματήσει εντελώς. Η συγκέντρωση υδρογόνου μπορεί εύκολα να μετρηθεί ως τιμή pH. Το οξυγόνο υπάρχει συνήθως στο νερό, αλλά όχι στα λύματα λόγω των βακτηρίων που καταναλώνουν οξυγόνο.
- **Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη:** Η διάβρωση περιλαμβάνει ηλεκτροχημικές αντιδράσεις και, επομένως, η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του ηλεκτρολύτη θα αυξήσει τον ρυθμό διάβρωσης. Στο θαλασσινό νερό η περιεκτικότητα σε χλώριο προκαλεί ταχεία αυξημένη αγωγιμότητα.
- **Θερμοκρασία:** Η αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει γενικά αύξηση του ρυθμού διάβρωσης. Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι η άνοδος της θερμοκρασίας κατά 10°C θα διπλασιάσει τον ρυθμό διάβρωσης.
- **Συγκέντρωση:** Μια αυξημένη συγκέντρωση θα αυξήσει κανονικά τον ρυθμό διάβρωσης μέχρι ένα μέγιστο επίπεδο. Υψηλότερη συγκέντρωση πάνω από αυτό

δεν θα δώσει υψηλότερο ρυθμό διάβρωσης. Π.χ. συγκέντρωση χλωρίου πάνω από περίπου 1500 ppm δεν θα αυξήσει τον ρυθμό διάβρωσης.

4.3.3 Τύποι διάβρωσης

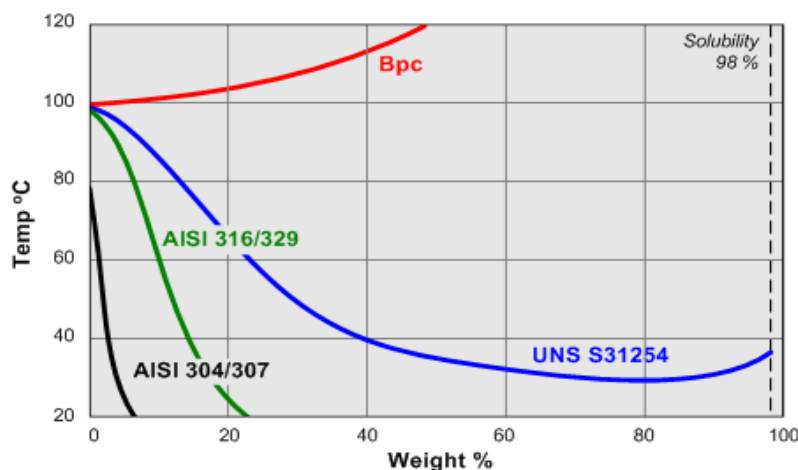
Διάφορες μορφές διάβρωσης σε μέταλλα και τα χαρακτηριστικά τους παρατίθενται παρακάτω.

Η **γενική διάβρωση** χαρακτηρίζεται από μια συνολική προσβολή στην επιφάνεια. Η διάβρωση λαμβάνει χώρα χωρίς διακριτές ανοδικές και καθοδικές περιοχές. Η αντοχή στη διάβρωση των μεταλλικών υλικών μπορεί να απεικονιστεί σε διαγράμματα ισοδιάβρωσης. Οι καμπύλες δείχνουν ρυθμό διάβρωσης 0,1 mm/έτος σε ένα συγκεκριμένο υγρό σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και θερμοκρασίες. Αυτά τα διαγράμματα ισχύουν μόνο για υγρά σε στάσιμες συνθήκες. Ο ρυθμός διάβρωσης θα αυξηθεί σημαντικά σε περιοχές υψηλής ταχύτητας.



Εικόνα 16: Γενική διάβρωση σε αντλία από χυτοσίδηρο

Πηγή: <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>



Εικόνα 17: Διάγραμμα διάβρωσης ISO για ανοξείδωτους χάλυβες σε θειικό οξύ

Πηγή: <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

Το αντίθετο από τη γενική διάβρωση είναι η τοπική διάβρωση η οποία χωρίζεται σε διαφορετικούς τύπους π.χ. διάβρωση με κοιλότητες, ρωγμές και διακοκκώδη διάβρωση. Στην τοπική διάβρωση, το μεγαλύτερο μέρος της μεταλλικής επιφάνειας είναι ανεπηρέαστο και μόνο μικρές περιοχές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό.

Η **γαλβανική διάβρωση** είναι όταν δύο διαφορετικά μέταλλα συνδέονται ηλεκτρικά και έρθουν σε επαφή με έναν ηλεκτρολύτη (υγρό), θα σχηματίσουν ένα γαλβανικό στοιχείο όπου το πιο ευγενές υλικό είναι καθοδικό και το λιγότερο ευγενές ανοδικό. Το ανοδικό υλικό θα διαβρωθεί. Τα ηλεκτροδυναμικά των μετάλλων μπορούν να μετρηθούν σε διαφορετικά υδατικά διαλύματα και να καταγραφούν σε γαλβανικές σειρές, όπως για το θαλασσινό νερό στο διάγραμμα. Ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται από:

- Την αναλογία επιφάνειας μεταξύ καθόδου και ανόδου (μια μεγαλύτερη επιφάνεια ανόδου σε σύγκριση με την περιοχή της καθόδου μειώνει τα γαλβανικά φαινόμενα, π.χ. συνδετήρες από ανοξείδωτο χάλυβα σε μια αντλία από χυτοσίδηρο).
- Το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού (συγκρίνετε το αλουμίνιο μπρούτζο σε επαφή με ανοξείδωτο χάλυβα και το χυτοσίδηρο σε επαφή με το ανοξείδωτο χάλυβα).
- Την αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη (υγρού).

Η **διάβρωση διάτρησης**. Τυπικά παραδείγματα διάβρωσης με κοιλότητες μπορούν να παρατηρηθούν σε αλουμίνιο και ανοξείδωτους χάλυβες σε υγρά που περιέχουν χλωρίδια, π.χ. θαλασσινό νερό. Αυτά τα υλικά εξαρτώνται από μια λεπτή επιφανειακή μεμβράνη οξειδίου για την αντιδιαβρωτική τους προστασία. Η μηχανική βλάβη ή ένα ανομοιογενές σημείο στο φιλμ οξειδίου μπορεί να είναι το σημείο εκκίνησης για επιθέσεις διάβρωσης. Οι συνθήκες στο λάκκο χαρακτηρίζονται από ανεπάρκεια οξυγόνου και χαμηλό pH, το οποίο εντείνει την επίθεση και μπορεί επίσης να το καταστήσει αυτοσυντηρούμενο. Ο ρυθμός διάβρωσης με κοιλότητες μπορεί να είναι πολύ υψηλός με

την προσβολή να εντοπίζεται σε σημαντικό βάθος. Η διάβρωση με κοιλότητες είναι πιο πιθανό να συμβεί σε στάσιμα νερά. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες όπως ο AISI 316L (M 0344.2343.02) και ο AISI 329 (M 0344.2324.02) δεν είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση με κοιλότητες στο θαλασσινό νερό. Άλλοι ανώτεροι κραματοποιημένοι ανοξείδωτοι χάλυβες όπως ο UNS S31254 θεωρούνται ανθεκτικοί στο θαλασσινό νερό.

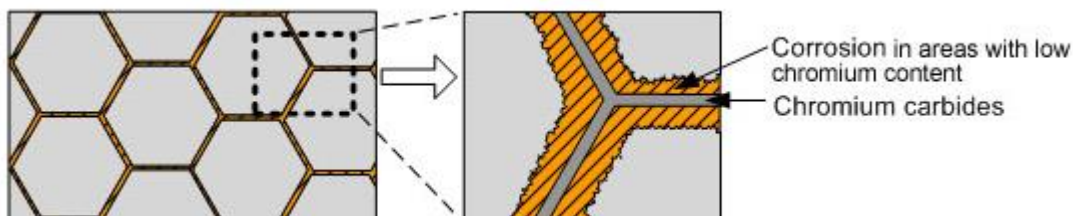
Η διάβρωση ρωγμών. Ο μηχανισμός για τη διάβρωση με ρωγμές είναι παρόμοιος με αυτόν για τη διάβρωση με κοιλότητες. Η διάβρωση των ρωγμών λαμβάνει χώρα σε περιορισμένες σχισμές και σχισμές γεμάτες υγρό όπου εμποδίζεται η κυκλοφορία του υγρού. Μόλις εμφανιστεί η διάβρωση, οι συνθήκες στη σχισμή αλλάζουν. π.χ. η τιμή του pH μειώνεται και η συγκέντρωση χλωρίου αυξάνεται. Συνεπώς, η διαβρωτικότητα του περιορισμένου υγρού θα αυξηθεί. Η διάβρωση από ρωγμές εμφανίζεται κυρίως στον ανοξείδωτο χάλυβα και το αλουμίνιο σε υγρά που περιέχουν χλωρίδια.



Εικόνα 18: Διάβρωση ρωγμής σε παξιμάδι από ανοξείδωτο χάλυβα

Πηγή: <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

Η διάβρωση μεταξύ των κόκκων εμφανίζεται μεταξύ των ορίων των κόκκων μέσα σε ένα μέταλλο. Αυτός ο τύπος διάβρωσης είναι ευρέως γνωστός για ανοξείδωτους χάλυβες που έχουν εμποτιστεί για υπερβολικό χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες μεταξύ 500 και 800 °C. Σε αυτή τη θερμοκρασία το χρώμιο θα αντιδράσει με τον άνθρακα στα όρια των κόκκων και θα σχηματίσει καρβίδια. Αυτό προκαλεί εξάντληση χρωμίου σε άμεση γειτνίαση με τα όρια των κόκκων. Εάν η περιεκτικότητα σε χρώμιο πέσει κάτω από το 12%, μπορεί εύκολα να ξεκινήσει η διάβρωση.



Εικόνα 19: Διάβρωση μεταξύ των ορίων των κόκκων σε ένα μέταλλο

Πηγή: <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>

Η **διάβρωση λόγω καταπόνησης**. Η διάβρωση είναι μια συνδυασμένη επίδραση των εφελκυστικών τάσεων, είτε εσωτερικών είτε εφαρμοζόμενων, και μιας τοπικής διάβρωσης. Οι εφελκυστικές τάσεις προκύπτουν για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της ψυχρής κατεργασίας φύλλου χάλυβα ή ως αποτέλεσμα απευθείας εφαρμοζόμενου φορτίου. Η διάβρωση λόγω καταπόνησης συνδέεται γενικά με ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες σε επαφή με υγρά που περιέχουν χλωρίδια. Ωστόσο, είναι απίθανο να εμφανιστούν ρωγμές κάτω από τους $+60^{\circ}\text{C}$. Οι χάλυβες με άνθρακα και τα χαμηλά κράματα μπορεί να υπόκεινται σε ρωγμές τάσης σε διαλύματα καυστικής σόδας σε υψηλές συγκεντρώσεις και θερμοκρασίες. Για να αποφευχθεί η διάβρωση λόγω τάσης, οι τάσεις εφελκυσμού πρέπει να αφαιρούνται, π.χ. με θερμική επεξεργασία μετά από ψυχρή κατεργασία ή συγκόλληση. Η διάβρωση λόγω καταπόνησης μπορεί επίσης να αποφευχθεί με την επιλογή ενός ανθεκτικού υλικού.

Η **διάβρωση της σπηλαιώσης** εμφανίζεται σε περιοχές όπου σχηματίζονται φυσαλίδες ατμού λόγω χαμηλής πίεσης. Όταν οι φυσαλίδες εκρήγνυνται σε μια επιφάνεια, το προστατευτικό οξείδιο καταστρέφεται και διαβρώνεται και μετά συσσωρεύεται ξανά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και στην επιφάνεια σχηματίζονται χαρακτηριστικές βαθιές οπές διάβρωσης με σπηλαιώση. Συνήθως φαίνεται στο πίσω άκρο των φτερών και των ελίκων.

Η **επιλεκτική διάβρωση** εμφανίζεται σε μέταλλα στα οποία τα στοιχεία κράματος δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα. Τυπικά παραδείγματα αυτού του τύπου διάβρωσης είναι:

- Αποψευδάργυρος ορείχαλκου, όπου ο ψευδάργυρος διαλύεται και αφήνει πίσω του ένα πορώδες υλικό χαλκού.
- Γραφίτιοποίηση χυτοσιδήρου, όπου ο σίδηρος διαλύεται και αφήνει πίσω του ένα δίκτυο γραφίτη χαμηλής μηχανικής αντοχής.

4.3.4 Διάβρωση αλουμινίου

Η κατανόηση της έννοιας της διάβρωσης [12] μεταξύ δύο εφραπτόμενων μετάλλων είναι το μυστικό στην κατανόηση της διαφορετικής αντοχής που παρουσιάζουν σε διάβρωση τα κράματα του αλουμινίου. Ξένα άτομα, ειδικότερα σε μορφή σωματιδίων ξεχωριστής μορφής ενσωματωμένα στο αλουμίνιο μπορούν να δημιουργήσουν τοπικά γαλβανικά κελιά που επιταχύνουν τη διάβρωση. Το υπερκαθαρό αλουμίνιο δεν διαβρώνεται από διάλυμα οξέος σε αξιοσημείωτο βαθμό, το κοινό αλουμίνιο που κυκλοφορεί στο εμπόριο διαβρώνεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό, και επίσης τα κράματα αλουμινίου χαλκού διαβρώνονται σε σημαντικό βαθμό.

Το καθαρό Αλουμίνιο (Al 99.99%) έχει μια ενιαία σύσταση. Εκτός από εναποθέσεις λόγω διαδικασίας, το γνήσιο αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο που δεν παρουσιάζει συνθήκες ανάπτυξης γαλβανικού κελιού. Σε αυτό οφείλετε το γεγονός ότι

έχει τη δυνατότητα να βυθίζεται σε πολύ επιθετικούς ηλεκτρολύτες για μεγάλες χρονικά διαστήματα. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται καθώς το αλουμίνιο βυθίζεται δεν μπορούν εύκολα να βρουν περιοχές για να ανάγουν τα ιόντα υδρογόνου σε αέριο υδρογόνο. Από την άλλη πλευρά, το κοινό αλουμίνιο του εμπορίου διαβρώνεται αρκετά πιο γρήγορα σε ένα διαβρωτικό υγρό. Τα κράματα που περιέχουν σίδηρο και πυρίτιο είναι ευγενέστερες από το καθαρό αλουμίνιο και, επομένως, δημιουργούν συνθήκες τοπικών γαλβανικών κελιών. Το κοινό αλουμίνιο του εμπορίου με τουλάχιστον 99,5% ΑΙ και με μια περιεκτικότητα σε Fe λιγότερο από 0,40% , μπορεί να θεωρηθεί αντιδιαβρωτικό για τους περισσότερους σκοπούς, χάρη στην προστασία που το στρώμα οξειδίων του παρέχει. Ωστόσο, στο εμπορικής καθαρότητας αλουμίνιο καθώς επίσης και στα περισσότερα κράματα διαμόρφωσης που δεν περιέχουν χαλκό, η αντοχή στη διάβρωση μειώνεται σε μεγάλο βαθμό καθώς ανεβαίνει η περιεκτικότητα σε Fe (π.χ., Fe από 0,2% έως 0.7%), ακόμη και μέσα σε αρκετά αδύναμο περιβάλλον διάβρωσης. Ομοίως συμβαίνει και για την περιεκτικότητα σε πυρίτιο, ειδικότερα στα κράματα Al-Mg.

Όταν στο κράμα υπάρχει χαλκός τότε η διάβρωση του αλουμινίου επέρχεται πιο σύντομα. Ο χαλκός στα κράματα αλουμινίου που τον περιέχουν λειτουργεί με έναν έμμεσο τρόπο. Αρχικά, ο χαλκός εμπεριέχεται σε στερεό διάλυμα αλουμινίου, κατόπιν ξανά διαλύεται προετοιμάζοντας έτσι τις συνθήκες για τη δημιουργία ενός τοπικού γαλβανικού κελιού. Από την άλλη πλευρά, μια μικροποσότητα χαλκού δύναται να έχει μια θετική επίδραση, με την προϋπόθεση ότι διασκορπίζεται ομοιογενώς στη δομή του κρυστάλλου. Η διάβρωση έπειτα προκαλεί έναν μεγάλο αριθμό ομοιόμορφων μικροσκοπικών κοιλωμάτων (οπών, pits) που είναι λιγότερο βλαβερές από μεγαλύτερα κοιλώματα.



Εικόνα 20: Πλάκα αλουμινίου υπό διάβρωση

Πηγή: <https://www.alumeco.com/knowledge-technique/general/aluminium-corrosivity-categories/>

Τα ανθεκτικά στη διάβρωση κράματα αλουμινίου εμπεριέχουν μαγνήσιο και μαγγάνιο ως βασικά στοιχεία της σύνθεσής του. Τέτοιου είδους κράματα και κράματα πυριτίου έχουν περίπου το ίδιο ηλεκτροχημικό δυναμικό μέσα σε υγρά, συμπεριλαμβανομένου και του θαλάσσιου νερού, και ως αποτέλεσμα αυτού η επαφή μεταξύ τους δεν αυξάνει τις πιθανότητες να διαβρωθούν. Τα κράματα που δεν εμπεριέχουν ψευδάργυρο εάν έρθουν σε επαφή με κράματα που εμπεριέχουν ψευδάργυρο, κάτω από διαβρωτικές συνθήκες, τότε τα κράματα που εμπεριέχουν ψευδάργυρο έχουν αρνητικό δυναμικό και διαβρώνονται.

Κεφάλαιο 5: Θερμικές κατεργασίες μετάλλων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε δύο θερμικές κατεργασίες μετάλλων, ειδικότερα στην ανόπτηση και την βαφή.

5.1 Ανόπτηση

Η ανόπτηση [13] αποτελεί μια διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που αλλάζει τις φυσικές και κάποιες φορές και τις χημικές ιδιότητες ενός υλικού για να αυξήσει την ολκιμότητα και να μειώσει τη σκληρότητα για να το κάνει πιο λειτουργικό. Η διαδικασία ανόπτησης απαιτεί το υλικό να έχει θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσής του για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα πριν από την ψύξη. Ο ρυθμός ψύξης εξαρτάται από τους τύπους μετάλλων που ανόπτονται. Για παράδειγμα, τα σιδηρούχα μέταλλα όπως ο χάλυβας συνήθως αφήνονται να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου σε ακίνητο αέρα, ενώ ο χαλκός, το ασήμι και ο ορείχαλκος έχουν τη δυνατότητα είτε να ψυχθούν αργά στον αέρα είτε να σβήσουν γρήγορα στο νερό.

Η διαδικασία θέρμανσης προκαλεί τη μετανάστευση των ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα και ο αριθμός των εξαρθρώσεων μειώνεται, γεγονός που οδηγεί σε αλλαγή στην ολκιμότητα και τη σκληρότητα. Το θερμικά επεξεργασμένο υλικό ανακρυσταλλώνεται καθώς ψύχεται. Το μέγεθος των κρυστάλλων και η σύνθεση φάσης εξαρτώνται από τους ρυθμούς θέρμανσης και ψύξης και αυτοί, με τη σειρά τους, καθορίζουν τις ιδιότητες του υλικού.

Η θερμή ή κρύα επεξεργασία των τεμαχίων μετάλλου μετά την ανόπτηση αλλάζει τη δομή του υλικού για άλλη μια φορά, επομένως ενδέχεται να απαιτούνται περαιτέρω θερμικές επεξεργασίες για να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες. Ωστόσο, με τη γνώση της σύνθεσης του υλικού και του διαγράμματος φάσεων, η θερμική επεξεργασία μπορεί να μαλακώσει τα μέταλλα και να τα προετοιμάσει για περαιτέρω εργασίες όπως μορφοποίηση, διαμόρφωση και σφράγιση, καθώς και να αποτρέψει την εύθραυστη αστοχία.

Ένας κλίβανος ανόπτησης λειτουργεί θερμαίνοντας ένα υλικό πάνω από τη θερμοκρασία αποκρυστάλλωσης και στη συνέχεια ψύχοντας το υλικό αφού διατηρηθεί στην επιθυμητή θερμοκρασία για κατάλληλο χρονικό διάστημα. Το υλικό ανακρυσταλλώνεται καθώς ψύχεται όταν η διαδικασία θέρμανσης έχει προκαλέσει την ανακατανομή της κίνησης του ατόμου και την εξάλειψη των εξαρθρώσεων στο τεμάχιο εργασίας. Η ανόπτηση λειτουργεί σε τρία διαφορετικά στάδια, το πρώτο στάδιο της ανάκτησης, το δεύτερο στάδιο της ανακρυστάλλωσης και το τρίτο στάδιο της ανάπτυξης των κρυστάλλων. Αυτά λειτουργούν ως εξής:

1. Στάδιο αποκατάστασης

Αυτό το στάδιο είναι όπου ο κλίβανος ή άλλη συσκευή θέρμανσης χρησιμοποιείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία του υλικού σε τέτοιο σημείο ώστε να εκτονωθούν οι εσωτερικές τάσεις.

2. Στάδιο ανακρυστάλλωσης

Η θέρμανση του υλικού άνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσής του αλλά χαμηλότερα από το σημείο τήξης του δημιουργεί το σχηματισμό νέων κόκκων χωρίς υπολειμματικές τάσεις.

3. Στάδιο ανάπτυξης κρυστάλλων

Η ψύξη του υλικού με συγκεκριμένο ρυθμό προκαλεί την ανάπτυξη νέων κόκκων. Μετά από αυτό το υλικό θα είναι πιο λειτουργικό. Οι επακόλουθες εργασίες για την αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων μπορούν να πραγματοποιηθούν μετά την ανόπτηση.

Η ανόπτηση χρησιμοποιείται για την αντιστροφή των επιπτώσεων της σκλήρυνσης εργασίας, δύναται να συμβεί κατά τη διάρκεια διεργασιών όπως η κάμψη, η ψυχρή διαμόρφωση ή το τράβηγμα. Εάν το υλικό γίνει πολύ σκληρό, μπορεί να καταστήσει αδύνατη την εργασία ή να οδηγήσει σε ρωγμές. Με τη θέρμανση του υλικού πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης, γίνεται πιο όλκιμο και επομένως έτοιμο για άλλη μια φορά επεξεργασία. Η ανόπτηση αφαιρεί επίσης τις τάσεις που μπορεί να προκύψουν όταν οι συγκολλήσεις στερεοποιούνται. Ο χάλυβας θερμής έλασης διαμορφώνεται επίσης και σχηματίζεται με θέρμανση πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης. Ενώ η ανόπτηση χάλυβα και κράματος χάλυβα είναι κοινή, άλλα μέταλλα μπορούν επίσης να επωφεληθούν από τη διαδικασία, όπως το αλουμίνιο, ο ορείχαλκος και ο χαλκός.

Οι κατασκευαστές μετάλλων χρησιμοποιούν την ανόπτηση για να βοηθήσουν στη δημιουργία πολύπλοκων εξαρτημάτων, διατηρώντας το υλικό λειτουργικό επιστρέφοντάς τα κοντά στην προκατεργασμένη κατάστασή τους. Η διαδικασία είναι σημαντική για τη διατήρηση της όλκιμότητας και τη μείωση της σκληρότητας μετά από ψυχρή εργασία. Επιπλέον, ορισμένα μέταλλα ανόπτονται για να αυξηθεί η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα.

Η ανόπτηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με κράματα, με τη μερική ή πλήρη ανόπτηση να είναι οι μόνες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για μη θερμικά επεξεργάσιμα κράματα. Η εξαίρεση σε αυτό είναι με τα κράματα της σειράς 5000, στα οποία μπορούν να γίνουν θεραπείες σταθεροποίησης χαμηλής θερμοκρασίας. Τα κράματα ανόπτονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 300-410°C, ανάλογα με το κράμα, με χρόνους θέρμανσης που κυμαίνονται από 0,5 έως 3 ώρες, ανάλογα με το μέγεθος του τεμαχίου εργασίας και τον τύπο του κράματος. Τα κράματα πρέπει να ψύχονται με μέγιστο ρυθμό 20°C ανά ώρα

έως ότου η θερμοκρασία μειωθεί στους 290°C, μετά την οποία ο ρυθμός ψύξης δεν είναι σημαντικός.

- Πλεονεκτήματα

Τα κύρια πλεονεκτήματα της ανόπτησης είναι στο πώς η διαδικασία βελτιώνει την χρησιμότητα ενός υλικού, αυξάνοντας τη σκληρότητα, μειώνοντας τη σκληρότητα και αυξάνοντας την ολκιμότητα και τη μηχανική κατεργασία ενός μετάλλου. Η διαδικασία θέρμανσης και ψύξης μειώνει επίσης την ευθραυστότητα των μετάλλων ενώ ενισχύει τις μαγνητικές τους ιδιότητες και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

- Μειονεκτήματα

Το κύριο μειονέκτημα της ανόπτησης είναι ότι μπορεί να είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, ανάλογα με το ποια υλικά ανόπτονται. Τα υλικά με απαιτήσεις υψηλών θερμοκρασιών μπορεί να χρειαστούν πολύ χρόνο για να κρυώσουν επαρκώς, ειδικά εάν αφήνονται να κρυώσουν φυσικά μέσα σε έναν κλίβανο ανόπτησης.

5.2 Βαφή

Η βαφή είναι [14] μια διαδικασία απότομης ψύξης του μετάλλου, η οποία τις περισσότερες φορές συμβαίνει όταν βάζουμε το εκάστοτε μέταλλο μέσα σε νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην προλάβει να συμβεί η ομαλή ανακρυστάλλωση και το μέταλλο να σκληραίνει απότομα, αλλά ταυτόχρονα να είναι και αρκετά εύθραυστο. Όταν ο ηλεκτροσυγκολλητής, μετά τη συγκόλληση βάζει το καυτό μέταλλο μέσα στο νερό με σκοπό να το ψύξει γρηγορότερα, και έτσι του προκαλεί βαφή, ουσιαστικά το κάνει σκληρό και εύθραυστο. Ένα κομμάτι μετάλλου που έχει υποστεί βαφή, αν υποστεί ανόπτηση θα αποκτήσει πάλι την ελαστικότητά του, αλλά θα χάσει τη σκληρότητά του.

5.3 Συγκόλληση

Συγκόλληση γενικότερα αποκαλείται [A] η με οποιονδήποτε τρόπο ένωση δυο μετάλλων. Η ένωση αυτή συνήθως συμβαίνει με τη χρήση της θερμότητας ή της πίεσης ή και με κάποιον συνδυασμό αυτών των δύο τρόπων, με ή χωρίς την προσθήκη όμοιου υλικού. Οι συγκολλήσεις αποτελούν ένα μέσο μόνιμης ένωσης, κοινώς γνωστό τόσο στον τομέα της κατασκευής μηχανών όσο και σε οποιεσδήποτε μεταλλικές κατασκευές. Επίσης, βρίσκουν εφαρμογή σε στεφάνες τροχών, πλαίσια, κιβώτια μειωτήρων, δοχεία, λέβητες, σιδηρές κατασκευές κ.α. Ακόμη χρησιμοποιούνται για επισκευές ρωγμών και σπασιμάτων, ενώ είναι γνωστή και η συγκόλληση επιθέματος σε θέσεις φθοράς και σε ενισχύσεις. Καταλήγοντας, η "φλογοκοπή" είναι ιδιαίτερα συνδεδεμένη με την τεχνική της συγκόλλησης και χρησιμοποιείται για κοπή κομματιών και διάλυση μεταλλικών όγκων.

Οι συγκολλήσεις βρίσκουν με πολλούς τρόπους εφαρμογές όχι μόνο σε υλικά, όπως ο χάλυβας, ο χυτοχάλυβας αλλά και σε κράματα χαλκού, αλουμινίου και μαγνησίου, στο νικέλιο, τον ψευδάργυρο και το μόλυβδο, ακόμη και σε θερμοπλαστικές συνθετικές ύλες κλπ.

Οι συγκολλήσεις εμφανίζουν τα παρακάτω προτερήματα:

- Οι συγκολλητές κατασκευές είναι πιο ελαφρές έως και 20% από τις αντίστοιχες καρφωτές, τις κοχλιωτές και συνήθως χαμηλότερου κόστους. Ακόμη, από τις χυτές κατασκευές είναι ελαφρότερες έως και 50%.
- Δεν εμφανίζεται φθορά του υλικού εξαιτίας των οπών που δημιουργούνται για τις καρφοσυνδέσεις.
- Αποφεύγονται οι επικαλύψεις ελασμάτων, οπότε έχουμε επιφάνειες λείες, με χαμηλότερο κίνδυνο οξειδωσης, πιο εύκολο καθαρισμό και καλύτερη εμφάνιση.
- Σε ορισμένες κατασκευές, εξαιτίας του γρηγορότερου χρόνου παράδοσης, είναι οικονομικότερες κατασκευές από τις χυτές. Σε παραγωγή σειράς όμως, η κατασκευή χυτών κομματιών είναι τις περισσότερες φορές χαμηλότερου κόστους.

Από την άλλη πλευρά κάποια από τα αρνητικά χαρακτηριστικά που έχουν οι συγκολλητές ενώσεις είναι:

- Είναι πιο δύσκολο να ελεγχθεί η ποιότητα της σύνδεσης και έτσι η κατασκευή απαιτεί ιδιαίτερα μεγάλη εμπειρία.
- Η συναρμολόγηση των δοκών στα δικτυώματα είναι πιο δύσκολη στην περίπτωση της συγκόλλησης παρά στην ήλωση, όπου η θέση της δοκού είναι καθορισμένη από της οπές.
- Αρνητικό ακόμη θεωρείται και το γεγονός ότι συγκολλούνται όμοια υλικά, κατά κανόνα.
- Ενέχει πιθανότητες στρέβλωσης και επιβλαβούς μεταβολής του κρυσταλλικού ιστού των κομματιών, εξαιτίας της αυξημένης τοπικής θερμοκρασίας και της ψύξης που ακολουθεί.

Κατηγορίες συγκολλήσεων, στη συγκόλληση οι επιφάνειες που θα ενωθούν πρέπει να θερμανθούν σε θερμοκρασίες συγκόλλησης και να έρθουν σε εσωτερική επαφή. Ανάλογα με την κατάσταση στην οποία φθάνουν οι επιφάνειες αυτές από τη θέρμανση χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Συγκολλήσεις τήξης

Στις συγκολλήσεις αυτές, όταν η κόλληση και τα κομμάτια που θα συγκολληθούν είναι από το ίδιο υλικό ή παρόμοιο, η συγκόλληση λέγεται αυτογενής. Αν το υλικό της κόλλησης είναι διαφορετικό από το υλικό των προς συγκόλληση κομματιών, η συγκόλληση τότε ονομάζεται ετερογενής. Η συγκόλληση τήξης συμβαίνει με τοπική θέρμανση έως του σημείου τήξης των άκρων των προς συγκόλληση κομματιών, κατά μήκος της γραμμής που πρέπει να γίνει η συγκόλληση. Με αυτόν τον τρόπο

δημιουργείται ένα αυλάκι ρευστού μετάλλου μεταξύ των άκρων των κομματιών, το οποίο μόλις στερεοποιηθεί, δημιουργεί τη συγκόλληση.

Μια διαφορετική μέθοδος συγκόλλησης τήξης συμβαίνει με τήξη και του χρησιμοποιούμενου συγκολλητικού υλικού (κόλληση), εκτός από την τήξη των άκρων των κομματιών. Επίσης, ένας ακόμη τρόπος συγκόλλησης τήξεως είναι με τήξη μόνο της κόλλησης. Η κόλληση αυτή είναι από υλικό τελείως διαφορετικό από το υλικό των προς συγκόλληση αντικειμένων και έχει υποχρεωτικά μικρότερο σημείο τήξης από αυτά. Τα μέταλλα που θα ενωθούν με αυτό τον τρόπο μπορεί να είναι και από διαφορετικό υλικό.

- Συγκολλήσεις πίεσης (πλαστικές συγκολλήσεις)

Σε αυτές τις συγκολλήσεις τα μέταλλα που θερμαίνονται θα ενωθούν στη θέση συγκόλλησης, σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο τήξης του μετάλλου τους και πιέζονται δυνατά οι επιφάνειες συγκόλλησης, χωρίς την προσθήκη κόλλησης. Με πίεση μπορούν να συγκολληθούν μέταλλα και εν ψυχρώ. Στη συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση (ποντάρισμα) τα μέταλλα στη θέση επαφής θερμαίνονται με τη βοήθεια ηλεκτρικής αντίστασης και έπειτα συγκολλούνται με πίεση. Χρησιμοποιείται συνήθως για συγκόλληση λεπτών ελασμάτων, σωλήνων με διατομή μέχρι 200 εκατοστά κ.α. Στη συγκόλληση με τριβή, η θερμοκρασία παράγεται με την τριβή των μετάλλων που θα συγκολληθούν και στη συνέχεια πιέζονται. Χρησιμοποιείται κυρίως για μικρά κομμάτια μαζικής παραγωγής.

Κεφάλαιο 6: Μελέτες περιπτώσεων

6.1 Εφαρμογή των κραμάτων αλουμινίου ως έμβολα κινητήρα

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον [15] για τα κράματα αλουμινίου οφείλεται στην εξαιρετική ολκιμότητα και μηχανική δύναμη, ειδικά σε σχέση με την ελαφρότητά τους. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τα κράματα αλουμινίου ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα και ανταγωνιστικά υλικά στους κλάδους της αυτοκινητοβιομηχανίας. Τα εξαρτήματα στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας πρέπει να εγγυώνται υψηλές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες προκειμένου να διασφαλίζονται χαμηλές εκπομπές του οχήματος. Παρόλα αυτά, οι σκληρές συνθήκες λειτουργίας μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβες στα εξαρτήματα αλουμινίου, ειδικά εάν υπόκεινται τόσο σε θερμικά όσο και σε μηχανικά φορτία. Ειδικότερα, το αλουμίνιο λειτουργικά θα μπορούσε να εισαχθεί σε διαβαθμισμένα υλικά (FGMs), προκειμένου να παραχθεί ένα ενιαίο προϊόν με διαφορετικές ιδιότητες που πληρούν όλες τις απαιτήσεις του εξαρτήματος. Σε αυτή την διαδικασία, λαμβάνοντας υπόψη την τυπική εφαρμογή από τα κράματα αλουμινίου ως έμβολα κινητήρα, τα FGM πραγματοποιούνται με διαδοχική χύτευση βαρύτητας με κράμα εμβόλου EN AB 48000 και το κράμα EN AB 42100. Οι δοκιμές εφελκυσμού σε αυτά τα διμεταλλικά μέρη δίνουν καλά αποτελέσματα όσον αφορά τη μηχανική αντοχή, τους ρυθμούς επιμήκυνσης και τη συγκόλληση κραμάτων.

Τα λειτουργικά διαβαθμισμένα υλικά (FGM) είναι προηγμένα σύνθετα υλικά μηχανικής που παρουσιάζουν χωρική κλίση στη σύνθεση και τη μορφολογία με στόχο την ικανοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι FGM: χημική σύσταση κλιμακωτών FGM, FGM μικροδομικής κλίσης και FGM βαθμίδωσης πορώδους σύστασης. Στη βαθμίδα χημικής σύνθεσης στα FGMs, η χημική σύνθεση μεταβάλλεται σταδιακά κατά μήκος της χωρικής θέσης στο υλικό. Τα FGM βαθμίδωσης μικροδομής χαρακτηρίζονται από μια μικροδομική παραλλαγή σε αυτά τα υλικά: η μικροδομή είναι προσαρμοσμένη με στόχο την απόκτηση των απαιτούμενων ιδιοτήτων σε ορισμένα μέρη του κομματιού. Τέλος, στα FGM βαθμίδωσης πορώδους σύστασης, το πορώδες αλλάζει με τη θέση του χώρου και το υλικό, αλλάζοντας το σχήμα των πόρων ή και το μέγεθός τους. Αυτά τα υλικά έχουν βρει εφαρμογές σε μια ποικιλία από τομείς όπως η αεροδιαστημική, η πυρηνική, η ηλεκτρική, η βιοϊατρική, η άμυνα και η αυτοκινητοβιομηχανία.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη λήψη FGM: μέθοδοι που βασίζονται σε αέριο, μέθοδοι υγρής φάσης και μέθοδοι στερεάς φάσης, και μεταξύ όλων αυτών των διεργασιών παραγωγής, είναι συνήθως μεταλλικοί FGM που λαμβάνονται με φυγοκεντρική χύτευση, χύτευση με συμπίεση, χύτευση βαρύτητας, χύτευση επένδυσης, πυροσυσσωμάτωση και τεχνικές διήθησης. Μέσα στο σύνολο των διαδικασιών χύτευσης, η χύτευση με βαρύτητα είναι μία από τις απλούστερες μεθόδους για την παραγωγή προϊόντων. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί ένα μόνιμο καλούπι, κατασκευασμένο από χάλυβα. Το καλούπι επικαλύπτεται κατάλληλα με ένα προστατευτικό χρώμα και στη συνέχεια προθερμαίνεται σε ορισμένο βαθμό θερμοκρασίας που πρέπει να είναι σταθερή θέση για να διευκολυνθεί η αφαίρεση του γύψου. Η σειρά παραγωγής του προϊόντος

περιλαμβάνει διάφορα στάδια: (i) καθαρισμό καλουπιών. (ii) διαδικασία χύτευσης· (iii) εκχύλιση χυτού· και (iv) κοπή ελατηρίου.

Αυτή η διαδικασία χύτευσης προκαλεί ένα ορισμένο πλήθος ελαττωμάτων, που δημιουργούνται εξαιτίας αυτής της διαδικασίας, και το τελικό αποτέλεσμα των χυτών σχετίζεται με τέτοιου είδους ελαττώματα στο σχεδιασμό του προϊόντος και στις μικροδομές του. Οι παράμετροι που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη διαδικασία χύτευσης προκαλώντας ελαττώματα είναι: (i) οι θερμοκρασίες (έκχυση, προθέρμανση), (ii) ο χρόνος (έκχυση, συγκράτηση τήγματος, απαερίωση), (iii) το υλικό και το πάχος που έχει το καλούπι-επικάλυση, (iv) ο σχεδιασμός του καλουπιού και (v) η ταχύτητα έκχυσης. Τα είδη των ελαττωμάτων και η κατάταξή τους με βάση τη χύτευση με βαρύτητα ταξινομήθηκε ως εξής: (i) το πορώδες αερίου/αέρα περίπου 45%, (ii) η συρρίκνωση 44%, (iii) σχετικά προβλήματα γέμισης 38%, (iv) ρωγμές 33%, (v) εγκλείσματα 28%, και (vi) οι αλληλεπιδράσεις μετάλλου/καλουπιού 23%.

Εστιάζοντας στον συνδυασμό FGM-εφαρμογές αυτοκινήτων και λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή παρουσία των κραμάτων αλουμινίου σε αυτόν τον τομέα, είναι σίγουρα πολύ καλή επιλογή ο συνδυασμός των κραμάτων αλουμινίου με την έννοια του FGM. Στην πραγματικότητα, τα κράματα αλουμινίου θεωρούνται ως πολύ ενδιαφέροντα υλικά, λόγω του χαμηλού τους βάρους, ειδικά αν συγκριθούν με κράματα σιδήρου, τα οποία οδηγούν σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου μειώνοντας τις ρυπογόνες εκπομπές και την υψηλή ειδική αντίστασή τους και την ολκιμότητα. Ειδικότερα, τα FGM στις αυτοκινητοβιομηχανίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως έμβολα κινητήρα, φυλλωτά ελατήρια και πολλές άλλες εφαρμογές. Εστιάζοντας περισσότερο στις τεχνικές παραγωγής εμβόλων. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται είναι η χύτευση και η σφυρηλάτηση.



Εικόνα 21: Έμβολο κινητήρα από αλουμίνιο

Πηγή: https://www.mototriti.gr/motoaccessories/news/data/synthrhsh-motosikletas/Embolo-To-pio-shmantiko-kommati-toy-moter_120606.asp

Τα έμβολα κινητήρα παράγονται συνήθως χρησιμοποιώντας κράματα αλουμινίου-πυριτίου εξαιτίας της υψηλής μηχανικής αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες και καλή συμπεριφορά κόπωσης. Ιδιαίτερα, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο κράμα εμβόλων είναι το EN AC 48000. Ωστόσο, αυτό το κράμα παρουσιάζει κακή ολκιμότητα και χαμηλή επιμήκυνση κατά τη ρήξη που θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία κόπωσης στο χιτώνιο του εμβόλου. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση ενός FGM που χρησιμοποιεί ένα πιο όλκιμο κράμα στη βάση και ένα μηχανικό και θερμικό ανθεκτικό κράμα στην κορώνα του εμβόλου. Σε αυτό το άρθρο, ένα FGM χημικής σύνθεσης κλίσης για έμβολο αυτοκινήτου παρασκευάστηκε με διαδοχική χύτευση βαρύτητας χρησιμοποιώντας το κράμα εμβόλου (EN AC 48000) σε επαφή με μια περισσότερο όλκιμη σύνθεση (EN AC 42100). Αυτός ο FGM τύπος δημιουργήθηκε εστιάζοντας στις μεταβλητές της διαδικασίας και στην επίδραση που έχουν στις μηχανικές ιδιότητες τους.

Η FGM σύνθεση δημιουργήθηκε με τη μέθοδο χύτευσης με βαρύτητα χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά κράματα αλουμινίου: το EN AC 48000 (AlSi12CuNiMg) και το EN AC 42100 (AlSi7Mg0.3) με τις συνθέσεις που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Σύνθεση κραμάτων

EN AC 48000 (AlSi12CuNiMg)									
Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	Al
Min (%)	10.5	-	0.8	-	0.8	0.7	-	-	Res.
Max (%)	13.5	0.7	1.5	0.35	1.5	1.3	0.35	0.25	Res.
EN AC 42100 (AlSi7Mg0.3)									
Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al	
Min (%)	6.5	-	-	-	0.25	-	-	-	Res.
Max (%)	7.5	0.19	0.05	0.10	0.45	0.07	0.25	Res.	

Πηγή: UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione. UNI EN 1706'; UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione: Geneva, Switzerland, 2010

Το κράμα AlSi12CuNiMg, γνωστό και ως κράμα εμβόλου, χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή εμβόλου στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Έχει ευτηκτική σύσταση και τη μέγιστη επιμήκυνση σε ρήξη περίπου 1%. Από την άλλη πλευρά, το κράμα AlSi7Mg0.3 είναι υποευτηκτικό με επιμήκυνση 8% στη ρήξη. Ο χαλκός (Cu) και το μαγνήσιο (Mg) προστίθενται για να αυξηθούν οι μηχανικές ιδιότητες ως αποτέλεσμα της ενίσχυσης της καθίζησης μετά από θερμική επεξεργασία, ενώ το νικέλιο (Ni) που προστίθεται στο κράμα του εμβόλου, αυξάνει την αντίσταση σε υψηλή θερμοκρασία.

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του FGM κράματος αλουμινίου είναι με τη διαδοχική χύτευση βαρύτητας της σύνθεσης A (AlSi7Mg0.3) ακολουθούμενη από τη σύνθεση B (AlSi12CuNiMg). Συνολικά, πέντε τύποι χειροκίνητων χυτών λήφθηκαν χρησιμοποιώντας καλούπι (κατασκευασμένο από θερμικά επεξεργασμένο χάλυβα) που επέτρεπε τη λήψη τετράγωνων ράβδων από 25 mm X 125 mm X 15 mm. Η βελτιστοποίηση της διαδικασίας χύτευσης περιλάμβανε: (i) την επιλογή της έκχυσης σε σχέση με τις δύο συνθέσεις, (ii) τις θερμοκρασίες χύτευσης των κραμάτων, (iii) τον χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ των διαδοχικών χυτεύσεων και (iv) τη θερμοκρασία του καλουπιού. Η σειρά έκχυσης εξαρτάται από το διάκενο κράματος μεταξύ των θερμοκρασιών στερεού και υγρού. Το υποευθηκτικό κράμα (AlSi7Mg0.3) ήταν η πρώτη σύνθεση που χύθηκε για το μεγαλύτερο διάκενο της στερεοποίησης.

Συνοπτικά πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές χυτεύσεις βαρύτητας σε FGM κράματα αλουμινίου. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της χύτευσης των δύο κραμάτων επιλέχθηκε ως παράμετρος προτεραιότητας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία αποτελεσματικής σύνδεσης μεταξύ των δύο συνθέσεων. Μετά από διάφορες διεργασίες χύτευσης σε διαφορετικό χρόνο έως και 50 δευτερόλεπτα, έγιναν δοκιμές εφελκυσμού για να χαρακτηρίσει τη συμπεριφορά συγκόλλησης σε κάθε χύτευση. Οι δοκιμές έδειξαν αύξηση στη μηχανική αντοχή μετά από 20 δευτερόλεπτα και μετά μείωση πριν από 30 δευτερόλεπτα. Για μικρότερο χρονικό διάστημα, τα κράματα αναμειγνύονταν μεταξύ τους σε μια μεγαλύτερη και μη καθορισμένη περιοχή: ο στόχος του FGM χάθηκε και οι τελικές μηχανικές ιδιότητες ήταν ασθενέστερες. Προκειμένου να διατηρηθούν τα κράματα και οι ιδιόμορφες ιδιότητές τους διαιρεμένες, ο βελτιστοποιημένος χρόνος ήταν μεταξύ 20 και 30 δευτερόλεπτα.

Η παρουσία του υποευθηκτικού κράματος το επιτρέπει να φτάσει σε επιμήκυνση 2%. Συνολικά, φάνηκε ότι μόνο η παρουσία οξειδίου και σκωρίας έχει προκαλέσει θραύση στη επιφάνεια των κραμάτων. Αυτά τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να βελτιωθούν περαιτέρω αφαιρώντας μερικά στοιχεία οξειδίου και την εφαρμογή της θερμικής επεξεργασίας.

6.2 Μελέτη περίπτωσης για τη συγκόλληση ανόμοιων κραμάτων αλουμινίου EN AW 6082 και EN AW 5083 με συγκόλληση με τριβή ανάδευσης

Σκοπός αυτής της μελέτης [16] είναι να διερευνήσει την επίδραση της διατήρησης σταθερής περιστροφής του εργαλείου ταχύτητας προς τον λόγο ταχύτητας συγκόλλησης (αναλογία) στις μηχανικές ιδιότητες της ανόμοιας τριβής συγκόλληση με ανάδευση των κραμάτων EN AW6082-T6 και EN AW5083-H111. Δύο διαφορετικές καρφίτσες σε σχήμα τριγωνικό και πεντάγωνο συσχετίστηκαν με τη σταθερή αναλογία. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής εφελκυσμού, βρέθηκε ότι η αναλογία δεν δημιουργεί εμφανή αλλαγή στην αντοχή της ένωσης συγκόλλησης. Παρατηρήθηκαν κάποια ελαττώματα στη ζώνη ψήγματος και εντοπίστηκαν στην πλευρά του πείρου. Αυτά τα ελαττώματα

προκάλεσαν μείωση της αντοχής και επιμήκυνσης της άρθρωσης συγκόλλησης. Το πιο σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα είναι ότι εάν η αναλογία διατηρείται σταθερή, η ένωση για κάθε συγκόλληση δεν αντιστοιχεί σε σταθερή τιμή.

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα κράματα αλουμινίου έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες και ευελιξία, όπως αντίσταση στη διάβρωση, καλή μορφοποίηση, καλή αναλογία αντοχής προς το βάρος τους, χαμηλή πυκνότητα και ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Αυτές οι ιδιότητες το καθιστούν υλικό υψηλής ζήτησης σε σύγκριση με τα κράματα χάλυβα σε βιομηχανικές εφαρμογές, ιδιαίτερα στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη ναυπηγική, τη συσκευασία, τις κατασκευές και τα πεδία αρχιτεκτονικής κ.λπ. Με την αύξηση της ζήτησης για κράματα αλουμινίου σε μεγάλη ποικιλία από εφαρμογές, η διαδικασία συγκόλλησης και κατασκευής κραμάτων αλουμινίου απαιτεί ειδικές γνώσεις και εμπειρία. Η συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου με τεχνικές συγκόλλησης σύντηξης προκαλεί ορισμένα ελαττώματα όπως πόροι, απώλεια ορισμένων στοιχείων, θερμό ράγισμα, διάβρωση λόγω καταπόνησης και αναντιστοιχία μεταξύ του κράματος πλήρωσης και του υλικού του κατεργαζόμενου τεμαχίου σε ανόμοιες συγκολλήσεις, προκαλώντας την απώλεια της αντοχής στην άρθρωση συγκόλλησης. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, οι τεχνικές συγκόλλησης στερεάς κατάστασης είναι οι καλύτερες εναλλακτικές λύσεις για τη συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου. Τα κράματα αλουμινίου-μαγνησίου είναι μη θερμικά επεξεργάσιμα κράματα που παρέχουν καλές μηχανικές ιδιότητες, αντοχή στη διάβρωση και ευκολία στη συγκόλληση. Αυτές οι εξαιρετικές ιδιότητες το κάνουν να είναι ένα ελκυστικό υλικό σε ένα ευρύ φάσμα κατασκευαστικών και δομικών εφαρμογών στην αυτοκινητοβιομηχανία και τις ναυπηγικές βιομηχανίες. Το κράμα αλουμινίου EN AW5083 είναι ένα από τα κράματα αλουμινίου-μαγνησίου και έχει υψηλή μηχανική αντοχή και συγκολλησιμότητα στη σύντηξη. Το αλουμίνιο-μαγνήσιο-πυρίτιο

Τα κράματα είναι θερμικά επεξεργασμένα και έχουν μέτρια αντοχή με εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση. Αυτά τα κράματα χρησιμοποιούνται σε εξαρτήματα αυτοκινήτων, ειδικά σε φύλλα αμαξώματος για τη μείωση του βάρους τους. Το κράμα EN AW6082 είναι ένα από τα κράματα αλουμινίου-μαγνησίου-πυριτίου και έχει πολύ καλή συγκολλησιμότητα, αλλά η αντοχή του μειώνεται στη ζώνη συγκόλλησης. Πολλές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη συγκόλληση με τριβή ανάδευσης (FSW) διαδικασία κραμάτων αλουμινίου και είναι ευρέως γνωστό ότι ορισμένα από τα κράματα αλουμινίου δεν μπορούν να συγκολλούνται με τη διαδικασία συγκόλλησης με σύντηξη. Επομένως, προκειμένου να επιτευχθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την FSW διαδικασία, έχουν εξεταστεί κρίσιμοι παράγοντες όπως ο σχεδιασμός του εργαλείου, η ταχύτητα περιστροφής και η ταχύτητα συγκόλλησης στην έρευνα. Υπάρχουν πολλές μελέτες που σχετίζονται με την FSW των EN AW5083 και EN AW6082, αλλά η ανόμοια συγκόλληση FS αυτών των κραμάτων είναι περιορισμένη. Επίσης, στις περισσότερες μελέτες, το σχήμα του πείρου εργαλείου είναι ένα ίσιο κυλινδρικό προφίλ με σπείρωμα. Υπάρχουν κάποιες μελέτες στη βιβλιογραφία για ανόμοιες συγκόλλησης FS των EN

AW6082 και EN AW5083. Πραγματοποιήθηκαν μελέτες για τον προσδιορισμό της επίδρασης του εργαλείου ταχύτητας περιστροφής και συγκόλλησης στη μικροδομή των ζωνών συγκόλλησης και τις ιδιότητες συγκόλλησης ανόμοιων αρθρώσεων FSW EN AW5083–EN AW6082. Και επικεντρώθηκαν στον εντοπισμό ευαίσθητων στη διάβρωση περιοχών ανόμοιων συγκολλήσεων τριβής ανάδευσης των κραμάτων EN AW5083-O και EN AW6082-T6. Επίσης πραγματοποιήθηκαν ανόμοιες μελέτες FSW στα κράματα EN AW5083-O και EN AW6082-T6 για να ερευνηθεί το υλικό ροής στις συγκολλήσεις τριβής ανάδευσης. Ακόμη διερευνήθηκε η επίδραση των παραμέτρων συγκόλλησης σε προφίλ υπολειπόμενης τάσης στις ίδιες συγκολλήσεις. Εκτός από αυτές τις μελέτες, διεξήχθη πειραματική μελέτη δύο σταδίων προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση των παραμέτρων FSW σε κάθε υλικό και τη συγκολλησιμότητα ανόμοιων κραμάτων σε υψηλή θερμοκρασία. Επίσης μελετήθηκε η ανόμοια ανάδευση τριβή συγκόλλησης κραμάτων αλουμινίου με εξαιρετικά λεπτούς κόκκους 1050 και 6061-T6 για την κατανόηση του χαρακτηρισμού των αρμών. Διερευνήθηκε η θερμομηχανική συμπεριφορά και τα μικροδομικά στοιχεία ανόμοιων FSW των AA6061-T6 και AA5086-O.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην επίδραση της γεωμετρίας του εργαλείου και στην αναλογία της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου ως προς την ταχύτητα συγκόλλησης (αναλογία) στις μηχανικές και μακροδομικές ιδιότητες ανόμοιων κραμάτων EN AW6082-T6 και EN AW5083-H111.

Η συγκόλληση με τριβή ανάδευσης (FSW) είναι η εναλλακτική τεχνική συγκόλλησης για ορισμένα κράματα αλουμινίου που δεν μπορούν να συγκολληθούν με τις τεχνικές συγκόλλησης με σύντηξη. Η κύρια διαφορά είναι ότι η FSW εμφανίζεται κάτω από το σημείο τήξης και βρίσκεται στην ομάδα συγκόλλησης που εμφανίζεται στη φάση στερεάς κατάστασης. Οι αρχές της διαδικασίας FSW είναι ότι ένα εργαλείο που αποτελείται από έναν ώμο και μια καρφίτσα βυθίζεται στην επιφάνεια του κοντακίου των πλακών και στη συνέχεια η περιστροφική και μεταφορική κίνηση εκτελούν τη διαδικασία συγκόλλησης. Η απαραίτητη θερμότητα για τη συγκόλληση παρέχεται από τον ώμο και τον πείρο του εργαλείου, την ταχύτητα του εργαλείου περιστροφής και κίνηση. Η τριβή μεταξύ του πείρου του εργαλείου και του τεμαχίου εργασίας παράγει τη θερμότητα και, ως εκ τούτου, το σχήμα πείρου έχει ιδιαίτερο αποτέλεσμα και αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του εργαλείου με τη ζέστη. Επίσης, η θερμότητα μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης του εργαλείου ή της ταχύτητας συγκόλλησης.

Από την διαδικασία συγκόλλησης γίνεται κατανοητό ότι η ταχύτητα περιστροφής του εργαλείου και η ταχύτητα συγκόλλησης είναι οι κύριοι παράγοντες για τον προσδιορισμό της θερμότητας ανά μονάδα εισόδου. Με την επίδραση της παραγόμενης θερμότητας, το υλικό γύρω από τον πείρο ρέει από το μπροστινό προς το πίσω μέρος του εργαλείου και εμφανίζεται μια παραμόρφωση από την κίνηση του εργαλείου. Στη συνέχεια, η ένωση συγκόλλησης ολοκληρώνεται επαναλαμβάνοντας αυτόν τον κύκλο.

Οι πλάκες από κράματα αλουμινίου EN AW5083-H111 και EN AW6082-T6 με πάχος 5 mm, χρησιμοποιήθηκαν ως πλάκες συγκόλλησης με πλάτος 150 mm και μήκος 200 mm. Η χημική σύνθεση και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών της πλάκας δίνονται

στους Πίνακες 1 και 2, αντίστοιχα. Πριν από τα πειράματα συγκόλλησης, οι επιφάνειες των πλακών καθαρίστηκαν από τη σκόνη και τυχόν υπολείμματα.

Πίνακας 5. Η χημική σύνθεση των κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη

Alloy	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
EN AW6082-T6	293.21	8.12
EN AW5083-H111	325	17.6

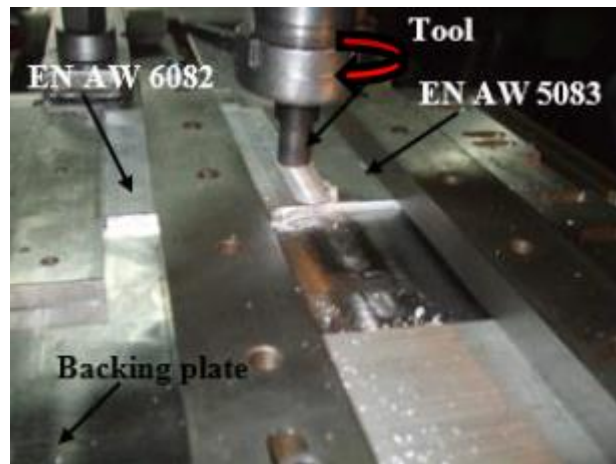
Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

Πίνακας 6. Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου.

Alloy	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
EN AW6082-T6	293.21	8.12
EN AW5083-H111	325	17.6

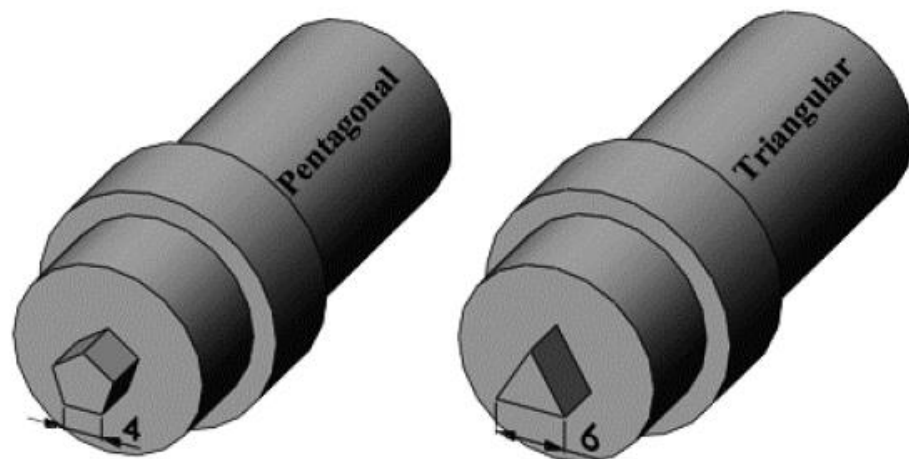
Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

Η FSW μέθοδος συγκόλλησης πραγματοποιήθηκε με μηχανή άλεσης γενικής χρήσης. Για τη συγκόλληση του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε μια πλάκα στήριξης για την τοποθέτηση και τη σύσφιξη των πλακών. Ένα σχηματικό πείραμα FSW και τα εξαρτήματα που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Η κατεύθυνση συγκόλλησης ορίστηκε ως η παράλληλη με την έλαση κατεύθυνση των πλακών και το εργαλείο είχε κλίση στο 2 προς την κανονική κατεύθυνση των πλακών. Το εργαλείο συγκόλλησης ήταν κατασκευασμένο από χάλυβα DIN EN 1.7131 και γεωμετρικά διαμορφωμένο ως τριγωνικό και πενταγωνικό που φαίνεται στο σχήμα 2. Οι ιδιότητες του εργαλείου αναφέρονται στον Πίνακα 3. Με στόχο την ανάλυση της επίδρασης του σταθερού λόγου της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου στην ταχύτητα συγκόλλησης πραγματοποιήθηκε μια πειραματική διάταξη. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4, η αναλογία διατηρήθηκε σταθερή στο 10.



Εικόνα 22: Πείραμα συγκόλλησης με τριβή ανάδευσης (FSW)

Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>



Εικόνα 23: Τα προφίλ καρφίτσας εργαλείου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα FSW.

Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

Οι μακροδομικές αναλύσεις έγιναν με κατεύθυνση στην κάθετη προς τη συγκόλληση διατομή. Κάθε δείγμα υποβλήθηκε στην τυπική διαδικασία λείανσης και χάραξης. Η χαλκογραφία εκτελείται από το τροποποιημένο διάλυμα Keller. Μετά τις επιφανειακές προετοιμασίες, έγιναν αναλύσεις με την οπτική μακροσκοπική. Ένας σύνδεσμος που κατασκευάστηκε με τη διαδικασία FSW χαρακτηρίστηκε με την απόλυτη αντοχή εφελκυσμού. Οι δοκιμές εφελκυσμού πραγματοποιήθηκαν σε υδραυλικό 500 kN μηχάνημα δοκιμών (Shimadzu, Κιότο, Ιαπωνία). Τα δείγματα παρασκευάστηκαν σύμφωνα με το ASTM E8-M. Τουλάχιστον δύο δείγματα εξετάστηκαν και ο μέσος όρος αυτών των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε στην τελική απόφαση και τις αναλύσεις.

Πίνακας 7. Παράμετροι διαδικασίας FSW και τα επίπεδά τους

Parameters (Unit)	Symbol	Levels			
Tool Rotational Speed (rpm)	TRS	400	500	630	800
Welding Speed (mm·min ⁻¹)	WS	40	50	63	80
Tool Rotational Speed-to-Welding Speed	ν	10			
Pin shape	PS	T		P	
Fixed parameters					
Tool shoulder diameter (mm)	D	20			
Tool tilt angle (°)	α	2			
Dwell time (s)	t	20			

Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

Πίνακας 8. Πειραματική διάταξη με τη διαδικασία FSW με αποτελέσματα

Exp. No.	Process Parameters				Welding Performance				Defect
	PS	TRS	WS	$\frac{\nu}{\text{TRS/WS}}$	UTS (MPa)	ϵ (%)	Efficiency		
							6082	5083	
1	T	400	40	10	164.36	0.49	56.06	50.57	Defective
2	T	500	50		188.68	4.6	64.35	58.06	Defective
3	T	630	63		198	4.7	67.53	60.92	Defective
4	T	800	80		198.48	4.26	67.69	61.07	Sound weld
5	P	400	40		180.59	4.14	61.59	55.57	Defective
6	P	500	50		192.27	4.312	65.57	59.16	Defective
7	P	630	63		181.96	0.39	62.06	55.99	Defective
8	P	800	80		187.85	4.24	64.07	57.80	Defective

Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

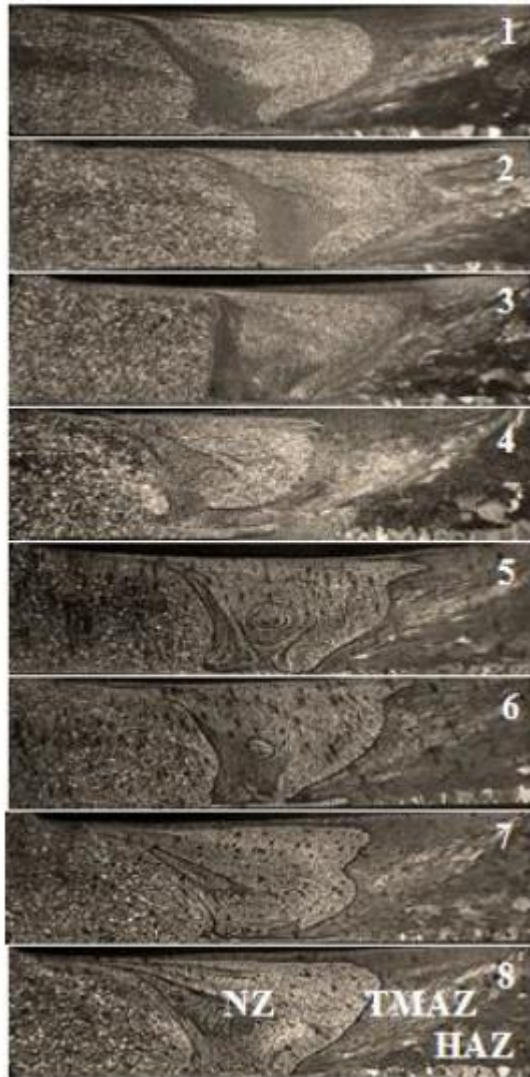
Αποτελέσματα της μελέτης. Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην επίδραση του λόγου της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου προς το ταχύτητα συγκόλλησης στη μικροδομή και τις μηχανικές ιδιότητες ανόμοιων κραμάτων συγκόλλησης του EN AW6082 και του EN AW5083. Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν οκτώ πειράματα FSW και τα αποτελέσματα έχουν αξιολογηθεί και παρουσιάζονται παρακάτω.

Ένας σύνδεσμος συγκόλλησης χαρακτηρίζεται από τρεις διακριτές ζώνες και ένα δείγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι ζώνες επηρεάζονται από την ταχύτητα περιστροφής του εργαλείου, την ταχύτητα συγκόλλησης και το σχήμα του πείρου του εργαλείου. Η έρευνα της μακροδομής για κάθε άρθρωση συγκόλλησης στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε στη διατομή των αρμών συγκόλλησης όπως δείχνει και το σχήμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το σχήμα της ζώνης ψήγματος (NZ) και η θερμομηχανικά επηρεασμένη ζώνη (TMAZ) επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις παραμέτρους FSW και το σχήμα της καρφίτσας. Το σχήμα καρφίτσας δείχνει την κυρίαρχη επίδραση στο σχήμα NZ σε σύγκριση με την αναλογία. Η δομή τύπου

δακτυλίου εντοπίστηκε σε όλη τη NZ. Η ορατότητα των δακτυλίων κρεμμυδιού που παράγεται από μια καρφίτσα πενταγωνικού σχήματος είναι πιο διακριτική και το πλάτος του NZ είναι υψηλότερο σε σύγκριση στον τριγωνικό πείρο. Ο λόγος θα μπορούσε να είναι η διάσταση της περιφέρειας του πείρου.

Η ροή των παραμορφωμένων και επιμήκων κόκκων στο TMAZ επηρεάζεται από το σχήμα του πείρου του εργαλείου και την παραγόμενη θερμότητα. Το πλάτος του TMAZ είναι μεγαλύτερο στην συνθήκη παραδείγματος 3,4,7,8. Αποδίδεται στην υψηλότερη εισροή θερμότητας. Όπως φαίνεται, μια αύξηση στο TRS αυξάνει την εισροή θερμότητας λόγω υψηλότερης θερμότητας τριβής και αυτό προκαλεί αύξηση του πλάτους του TMAZ τα παραδείγματα 3,4,7,8 πραγματοποιήθηκαν με υψηλότερο TRS.

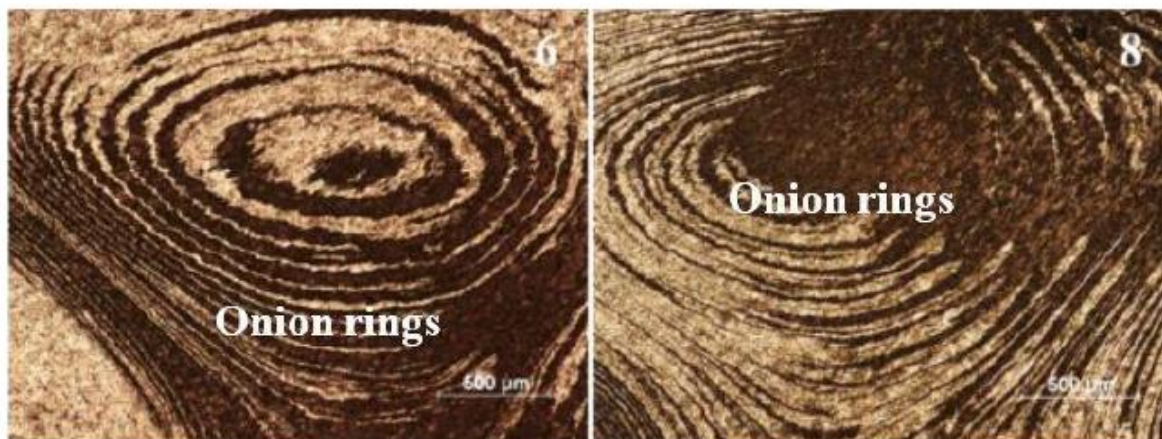
Το επόμενο σχήμα δείχνει ένα δείγμα μικροδομής που λαμβάνεται από την ένωση συγκόλλησης των παραδειγμάτων 6 και 8. Οι περιφέρειες και τα όρια των συγκολλημένων μετάλλων μπορούν να ανιχνευθούν καθαρά λόγω διαφορετικής συμπεριφοράς χάραξης. Η ροή του υλικού παρουσιάζει διαφορές ανάλογα με την τιμή των TRS και WS. Το σχήμα των δακτυλίων είναι παρόμοια για ολόκληρη την ένωση συγκόλλησης και έχει σχεδόν ελλειπτική μορφή. Όταν ο δακτύλιος είναι τεμαχισμένος ως κατακόρυφος, φαίνεται ότι αποτελείται ένα μέρος του δακτυλίου πιο κοντά στη ρίζα της άρθρωσης από το EN AW6082. Ο λόγος οφείλεται στην περιστροφή του εργαλείου και στην τοποθέτηση του EN AW6082. Ένας δακτύλιος αποτελείται από ένα σκούρο και ένα φωτεινό δακτυλίδι. Αυτοί οι δακτύλιοι αναπτύσσονται προς τα έξω από το κέντρο. Η σύνθεση των δακτυλίων εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του εργαλείου. Η ταχύτητα συγκόλλησης καθορίζει τους χρόνους περιστροφής του εργαλείου ανά λεπτό. Το υλικό σφυρηλατείται από το εργαλείο και μεταφέρεται από τη μια πλευρά προς την άλλη πλευρά που επαναλαμβάνεται πολλές φορές με την επίδραση της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου. Αυτό το αποτέλεσμα προκαλεί τη δημιουργία δακτυλίων.



Εικόνα 24: Απεικόνιση των διατομών των αρθρώσεων συγκόλλησης

Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

Δύο ελαττωματικές συγκολλήσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα ελήφθησαν από τον σύνδεσμο που κατασκευάστηκε από το τριγωνικού σχήματος πείρου. Τα ελαττώματα τύπου σήραγγας και κοιλότητας εντοπίστηκαν ξεκάθαρα από την άρθρωση συγκόλλησης και παρόμοια ελαττώματα παρατηρούνται και στις άλλες αρθρώσεις. Τα ελαττώματα εντοπίστηκαν στο πλάι της άκρης της καρφίτσας του EN AW6082. Υπάρχουν περισσότερα από ένα μικρά ελαττώματα και αυτά προκάλεσαν μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων των αρμών συγκόλλησης. Ο λόγος των σχηματισμένων ελαττωμάτων είναι η ποσότητα της θερμότητας που εισέρχεται σε ορισμένες περιπτώσεις, μια ανεπαρκής εισροή θερμότητας δημιούργησε τα ελαττώματα, και ιδιαίτερα η ανεπαρκής εισροή θερμότητας είχε ως αποτέλεσμα ανεπαρκή ροή υλικού που οδήγησε σε ελαττώματα τύπου σήραγγας ή κοιλότητας.



Εικόνα 25: Απεικόνιση των δακτυλίων συγκόλλησης

Πηγή: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες κάθε άρθρωσης συγκόλλησης, πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές εφελκυσμού και τα αποτελέσματα συσχετίστηκαν με τις παραμέτρους της διαδικασίας. Η τελική αντοχή εφελκυσμού (UTS) και το ποσοστό επιμήκυνσης (ϵ ,%) θεωρήθηκαν ως τα αποτελέσματα της διαδικασίας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού δίνονται στον πίνακα 8. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εκτός από το πείραμα 4, όλοι οι σύνδεσμοι συγκόλλησης περιείχαν πολλά μικρά ελαττώματα όπως κοιλότητες και μερικοί από τους αρμούς όπως στο παράδειγμα 2 είχαν ένα ελάττωμα τύπου σήραγγας.

Από τα αποτελέσματα των ελαττωμάτων στο UTS μπορούν να φανούν καθαρά και όλες οι τιμές UTS που είναι χαμηλότερες από εκείνες των βασικών υλικών, η τιμή UTS για τον τριγωνικό πείρο αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου ανεξάρτητα από την ταχύτητα συγκόλλησης. Ωστόσο, αυτή η τάση δεν παρατηρήθηκε για τον πενταγωνικό πείρο. Το UTS για το πείραμα 1 ήταν το χαμηλότερο (164,36 MPa) ένα από όλα στην ένωση συγκόλλησης και αντιστοιχούσε σε 56,06% της απόδοσης για το EN AW6082. Μπορεί να ληφθεί ως σημαντικό συμπέρασμα για την αντοχή και την επιμήκυνση του των συγκολλημένων δειγμάτων ότι τα αποτελέσματα είναι μικρότερα από τα UTS των βασικών μετάλλων και η απόδοση συγκόλλησης προσδιορίστηκε συγκρίνοντας τις τιμές UTS για όλους τους αρμούς συγκόλλησης με τα βασικά μέταλλα. Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν στον Πίνακα 8.

Είναι προφανές ότι η χαμηλότερη απόδοση προέκυψε από την ελαττωματική συγκόλληση των αρθρώσεων. Η απόδοση για την αντοχή της άρθρωσης κυμαινόταν από 55% έως 68%. Ως συσχέτιση μεταξύ των UTS των συγκολλήσεων και των UTS των βασικών υλικών, συμπεραίνεται ότι τα ελαττώματα προκαλούν τη μείωση του UTS και των δειγμάτων FSW σε σύγκριση με αυτά των βασικών υλικών.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην επίδραση του λόγου της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου προς τη ταχύτητα συγκόλλησης (αναλογία v) στις ιδιότητες

εφελκυσμού και την μακροδομική μεταβολή για ανόμοια ανάδευση τριβής συγκόλληση των κραμάτων αλουμινίου EN AW6082 και EN AW5083. Συσχετίστηκαν δύο διαφορετικά σχήματα καρφίτσας με σταθερό λόγο υ. Εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το σχήμα πείρου έχει σημαντική επίδραση στις ιδιότητες εφελκυσμού και στη μικροδομή.
- Οι αντοχές της ένωσης συγκόλλησης που κατασκευάστηκαν από τον πείρο πενταγωνικού σχήματος ήταν μικρότερες από αυτές της καρφίτσας τριγωνικού σχήματος για τα παραδείγματα 7 και 8.
- Η υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό ελήφθη από την ένωση συγκόλλησης που κατασκευάστηκε με τριγωνικό σχήμα και οι τιμές UTS και ϵ ήταν 198,48 MPa και 4,26%, αντίστοιχα.
- Η απόδοση για την αντοχή της άρθρωσης κυμαίνεται από 55% έως 68%. Η τάση διακύμανσης αλλάζει ανάλογα με τα ελαττώματα στην ένωση συγκόλλησης και με την αντοχή του υλικού βάσης.
- Εκτός από την τέταρτη ένωση συγκόλλησης, οι άλλες περιείχαν μικρά ελαττώματα κοιλότητας και σήραγγας.
- Το κάταγμα κάθε άρθρωσης εκτός από τα παραδείγματα 1 και 7 βρισκόταν στο πλάι του κράματος EN AW6082.
- Το προφίλ της ζώνης ψήγματος επηρεάστηκε από το σχήμα καρφίτσας. Η ζώνη ψήγματος κάθε συγκόλλησης περιείχε ροδέλες δακτύλων. Το σχήμα των δακτυλίων εξαρτιόταν από την τιμή της ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου και την ταχύτητα συγκόλλησης.
- Η επίδραση μιας σταθερής αναλογίας στο προφίλ και τη δομή της ζώνης ψήγματος εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα συγκόλλησης όσο και την ταχύτητα περιστροφής του εργαλείου.
- Σε κάθε χαμηλότερη ταχύτητα περιστροφής εργαλείου και ταχύτητα συγκόλλησης για κάθε σχήμα πείρου εργαλείου, παρατηρήθηκαν επίσης χαμηλότερες τιμές UTS. Το UTS αυξήθηκε καθώς αυξανόταν η ταχύτητα περιστροφής του εργαλείου και η ταχύτητα συγκόλλησης, ενώ διατηρείται σταθερή η αναλογία για τον τριγωνικό πείρο.

Συμπεράσματα

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της εργασίας, θα θέλαμε να αναφέρουμε συμπερασματικά πως το αλουμίνιο και τα κράματα αλουμινίου έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες, όπως είναι η αντίσταση στη διάβρωση, η καλή μορφοποίηση, η καλή αναλογία αντοχής προς το βάρος τους, η χαμηλή πυκνότητα και η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Αυτές οι ιδιότητες το καθιστούν υλικό υψηλής ζήτησης σε σύγκριση με τα κράματα χάλυβα σε βιομηχανικές εφαρμογές, ιδιαίτερα στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη ναυπηγική, τη συσκευασία, τις κατασκευές και τα πεδία της αρχιτεκτονικής κ.λπ. Έτσι λοιπόν στη σημερινή εποχή, το αλουμίνιο και τα κράματά του πρωταγωνιστούν ως κάποια από τα πιο βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται στους τομείς που προαναφέρθηκαν και αξίζει κάποιος να ασχοληθεί και να μελετήσει γύρω από αυτά.

Ωστόσο, μελετώντας στο τελευταίο κεφάλαιο τις δύο διαφορετικές μελέτες περιπτώσεων που παρουσιάζονται, διαπιστώνουμε πως υπάρχουν και αστοχίες ελαττώματα και προβλήματα που προκύπτουν από τις μηχανικές συμπεριφορές των μετάλλων και που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε πρακτικό επίπεδο όταν έχουμε πειραματικές διαδικασίες σε μηχανικές εφαρμογές. Για παράδειγμα στη πρώτη μελέτη περίπτωσης διαπιστώθηκε πως οι σκληρές συνθήκες λειτουργίας μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβες στα εξαρτήματα αλουμινίου, ειδικά εάν υπόκεινται τόσο σε θερμικά όσο και σε μηχανικά φορτία. Ειδικότερα, το αλουμίνιο λειτουργικά θα μπορούσε να εισαχθεί σε διαβαθμισμένα υλικά (FGMs), προκειμένου να παραχθεί ένα ενιαίο προϊόν με διαφορετικές ιδιότητες που πληροί όλες τις απαιτήσεις του εξαρτήματος.

Ακόμη στη δεύτερη μελέτη περίπτωσης διαπιστώνουμε ότι η συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου με τεχνικές συγκόλλησης σύντηξης προκαλεί ορισμένα ελαττώματα όπως πόροι, απώλεια ορισμένων στοιχείων, θερμό ράγισμα, διάβρωση λόγω καταπόνησης και αναντιστοιχία μεταξύ του κράματος πλήρωσης και του υλικού του κατεργαζόμενου τεμαχίου σε ανόμοιες συγκολλήσεις, προκαλώντας την απώλεια της αντοχής στην άρθρωση συγκόλλησης. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, οι τεχνικές συγκόλλησης στερεάς κατάστασης είναι οι καλύτερες εναλλακτικές λύσεις για τη συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου όπως διαπιστώνεται από την έρευνα που έχει γίνει σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης.

Κλείνοντας θα θέλαμε να επισημάνουμε πως στον τομέα των μηχανικών εφαρμογών που σχετίζονται με το μέταλλο του αλουμινίου πάντα θα υπάρχει κάτι καινούριο να ανακαλύψουμε με πολύ παρατήρηση και μελέτη στις μηχανικές συμπεριφορές σε πρακτικό και πειραματικό επίπεδο, έχοντας ως στόχο την βελτίωση των διαδικασιών που ακολουθούνται στην χρήση του και στην εφαρμογή του, έως σήμερα, στα πολλά πεδία εφαρμογής που βρίσκει.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

- [A] Στοιχεία μηχανών σχέδιο, Ιωάννης Καρβέλης, Αντώνιος Μπαλντούκας, Αικατερίνη Ντασκαγιάννη, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2005
- [B] Αντοχή ιδιότητες μηχανικών & βιολογικών υλικών, Δρ Χρυσούλα Παπαϊωάννου, Λάρισα, 2011

URL's

- [1] <https://www.britannica.com/science/aluminum>
- [2] <https://melscience.com/US-en/articles/characteristics-aluminum-and-combustion-reaction-m/>
- [3] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1>
- [4] <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/ARCH405/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%94%CE%9F%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D/0-N-On-Metals-1.pdf>
- [5] <https://learning-center.homesciencetools.com/article/metals-101/>
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy
- [7] https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2114/%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97_%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3_%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%9F%CE%A3_2022/B3.%20Fatigue_2022.pdf
- [8] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%86%CE%B5%CE%BB%CE%BA%CF%85%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>
- [9] <https://eclass.emt.ihu.gr/modules/document/file.php/PTD166/%CE%95%CF%86%CE%B5%CE%BB%CE%BA%CF%85%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82.pdf>
- [10] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7>

- [11] <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>
- [12] http://users.uoi.gr/mgeorgat/down/7_stoixeia%20antoxhs%20diavrosh%20anodios.pdf
- [13] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-annealing>
- [14] <https://welder.gr/%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%B2%CE%B1%CF%86%CE%AE-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B5%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC/>
- [15] <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/7/1113>
- [16] <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/1/6>