

τμήμα  
μηχανολογίας



---

## **Πτυχιακή Εργασία**

του φοιτητή του Τμήματος Μηχανολογίας  
της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών  
του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης

**Στεργίου – Καψάλη Σταύρου**

Αριθμός Μητρώου: 3577

με

**ΘΕΜΑ**

**Ανάλυση της συγκόλλησης του  
αλουμινίου και των κραμάτων του με την μέθοδο  
TIG (WIG - GTAW)**

Επιβλέπων Καθηγητής: Αεράκης Ζαχαρίας

Ηράκλειο, 2014

## Πρόλογος

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η Ανάλυση της Συγκόλλησης του Αλουμινίου και των Κραμάτων του με τη μέθοδο TIG, η οποία ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2014, με την σχολαστική επίβλεψη του κ. Αεράκη Ζαχαρία. Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος έγινε με κριτήριο την συνεχώς εξελισσόμενη επιστήμη των υλικών γενικότερα αλλά και της τεχνικής των συγκολλήσεων ειδικότερα. Στόχος ήταν η συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων σχετικών με την μέθοδο συγκόλλησης TIG, στοιχείων γενικών της μεθόδου αλλά και ειδικότερων στοιχείων που αφορούν στη συγκρότηση και τη ρύθμιση των μηχανών αυτού του είδους τη σε βάθος κατανόηση της λειτουργίας της μεθόδου στην συγκόλληση του αλουμινίου.

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1°: Δομή του Αλουμινίου και των Κραμάτων του</b>	1
<b>Κεφάλαιο 2°: Συγκολλητότητα του Αλουμινίου και των Κραμάτων του</b>	6
<b>Κεφάλαιο 3°: Κανονισμοί Κραμάτων Αλουμινίου</b>	12
<b>Κεφάλαιο 4°: Τεχνικές Συγκολλήσεων</b>	37
<b>Κεφάλαιο 5°: Συγκρότηση μηχανών Μεθόδου TIG και ενσωματωμένες διατάξεις</b>	42
<b>Κεφάλαιο 6°: Αέρια Προστασία της Μεθόδου TIG</b>	58
<b>Κεφάλαιο 7°: Υλικά Εναπόθεσης Μεθόδου TIG και Μηχανισμοί</b>	62
<b>Κεφάλαιο 8°: Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη Βάσης Υλικού</b>	72
<b>Κεφάλαιο 9°: Αυτοματοποίηση της Μεθόδου</b>	78
<b>Κεφάλαιο 10°: Σφάλματα Ραφών</b>	84
<b>Κεφάλαιο 11°: Προστασία από τις Συγκολλήσεις</b>	95
<b>Κεφάλαιο 12°: Προετοιμασία και Εκτέλεση της Συγκόλλησης</b>	104
<b>Κεφάλαιο 13°: Μεταλλογραφική Διερεύνηση Δοκιμίου</b>	111
<b>Κεφάλαιο 14°: Βιβλιογραφία</b>	119
<b>Συμπεράσματα</b>	121

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της συγκόλλησης του αλουμινίου και των κραμάτων του με την μέθοδο TIG (WIG - GTAW).

Το καθαρό αλουμίνιο είναι μέταλλο ελαφρύ και πολύ όλκιμο. Οι μηχανικές του ιδιότητες δεν εξαρτώνται μόνο από την καθαρότητά του, αλλά και από το ποσοστό της ενδοτράχυνσης που έχει υποστεί κατά τη διάρκεια των μηχανικών του κατεργασιών. Η σημασία του για την κατασκευαστική βιομηχανία είναι πολύ μεγάλη διότι παρουσιάζει υψηλό ειδικό μέτρο ελαστικότητας ( $E/\rho$ ) και υψηλή ειδική μηχανική αντοχή ( $\sigma_{TS}/\rho$ ), σε σχέση με άλλα μέταλλα και κράματα. Επίσης, παρουσιάζει καλή αντοχή σε διάβρωση. Όπως το καθαρό αλουμίνιο, έτσι και τα κράματά του έχουν χαμηλή πυκνότητα, καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Οι κύριες προσθήκες των κραμάτων αλουμινίου είναι ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το μαγνήσιο, το πυρίτιο και ο ψευδάργυρος. Τα κράματα του αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα διαμόρφωσης και σε κράματα χύτευσης. Τα κράματα των δύο αυτών κατηγοριών υποδιαιρούνται σε κράματα που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και σε κράματα των οποίων η θερμική κατεργασία είναι αδύνατη. Οι ιδιότητες των πρώτων εξαρτώνται από την ακολουθούμενη θερμική κατεργασία, ενώ οι ιδιότητες των δεύτερων εξαρτώνται από το ποσοστό ενδοτράχυνσης που έχουν υποστεί.

Η συγκόλληση TIG είναι αυτογενή διαδικασία συγκόλλησης, η οποία δεν απαιτεί καλώδιο γεμίματος, παρότι σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η πηγή θερμότητας είναι ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ ενός μη αναλίσκόμενου ηλεκτροδίου από βολφράμιο και της επιφάνειας εργασίας. Το ρεύμα που χρησιμοποιείται σε αυτού του τύπου τις συγκολλήσεις είναι κατά κύριο λόγο συνεχές. Η θερμοκρασία του τόξου λιώνει το ηλεκτρόδιο και το μέταλλο της επιφάνειας εργασίας, ενώ η συγκόλληση προστατεύεται από την ατμόσφαιρα, από ένα αέριο μίγμα από αργό και ήλιο. Στην ηλεκτροσυγκόλληση T.I.G. το ηλεκτρόδιο είναι από Βολφράμιο (W) και προκειμένου να αυξηθούν οι ηλεκτρικές του ιδιότητες προστίθενται Θόριο (Th) και Ζιρκόνιο (Zr). Το ηλεκτρόδιο δεν καταναλίσκεται, δηλαδή συμμετέχει στη συγκόλληση μόνο για να διατηρεί το ηλεκτρικό τόξο. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως αδρανές αέριο το Αργό ή το Ήλιο ή μείγμα των δύο αερίων. Χρησιμοποιούνται αδρανή αέρια λόγω του ότι δεν θα πρέπει να αντιδρούν με το ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Προκειμένου η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. να είναι επιτυχής, πρέπει τα κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από ακαθαρσίες. Η μέθοδος T.I.G. χρησιμοποιείται για συγκόλληση των περισσότερων μετάλλων. Ιδιαίτερη εφαρμογή είναι η συγκόλληση λεπτών αντικειμένων λόγω της εξαιρετικής ποιότητας συγκόλλησης και της ποιότητας της τελικής επιφάνειας.

Η δομή της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ακόλουθη:

- Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη δομή του αλουμινίου και των κραμάτων του. Παρουσιάζεται η κρυσταλλική δομή του αλουμινίου και οι ιδιότητες και οι εφαρμογές αυτού καθώς και των κραμάτων του.
- Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην συγκολλητότητα του αλουμινίου και των κραμάτων του.
- Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κανονισμοί των κραμάτων του αλουμινίου.
- Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνικές συγκολλήσεων,
- Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο δίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της συγκρότησης μηχανών της μεθόδου TIG.
- Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αέρια προστασίας για τη μέθοδο TIG.
- Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα υλικά εναπόθεσης και στους μηχανισμούς της μεθόδου TIG.
- Στο 8<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση της Θερμικά Επηρεαζόμενης Ζώνης βάσης υλικού.
- Στο 9<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται προτάσεις για αυτοματοποίηση της μεθόδου.
- Στο 10<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα σφάλματα ραφών.
- Στο 11<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην προστασία που πρέπει να λάβει χώρα από τις συγκολλήσεις
- Το 12<sup>ο</sup> και 13<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αποτελούν το πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται η προετοιμασία και η εκτέλεση της συγκόλλησης καθώς και η μεταλλογραφική διερεύνηση του δοκιμίου.

## Summary

The aim of this essay is to analyze the welding of aluminum and its alloys by the method TIG (WIG - GTAW).

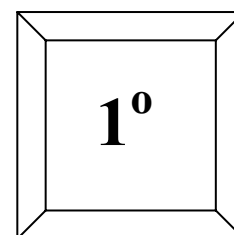
Pure aluminum metal is very ductile and lightweight. Its mechanical properties depend on its purity and the rate of hardening that has occurred during its mechanical treatments. The role of aluminum, for industry construction is very important, due to its high specific modulus ( $E/\rho$ ) and its high specific mechanical strength ( $\sigma_{TS}/\rho$ ), compared to other metals and alloys. It also presents a good resistance to corrosion. As the pure aluminum, and thus its alloys have low density, good thermal and electrical conductivity and high corrosion resistance. The major additions of aluminum alloys are copper, iron, manganese, magnesium, silicon and zinc. Alloys of aluminum are distinguished in forming alloys and casting alloys. Alloys of these two categories are subdivided into alloys that can be heat treated and alloys whose thermal treatment is impossible. The properties of the alloys that can be heat treated, depend on the heat treatment, while the properties of the latter depend on the rate of hardening suffered.

TIG welding process is autogenous welding, which requires no cable filling, although in some cases may be used. The heat source is an electric arc between a non-consumable tungsten electrode and the metal. The current that is used in this type of welding is primarily direct. The temperature of the arc melts the electrode and the metal of, while the welding process is protected by a gas mixture of argon and helium. In TIG welding, the electrode is made of tungsten (W), and in order to increase its electrical properties, Thorium (Th) and zirconium (Zr) are added. The electrode is not consumed, but it is used in the welding process, only to maintain the electric arc. In this method, argon or helium or a mixture of both gases is used. Inert gases are used, in order not to react with the tungsten electrode. TIG method would be successful, if the pieces to be bonded are clean and free from impurities T.I.G. method could be used for most metals. A particular application of this method, is the bonding of thin objects, due to the high quality of welding and the quality of final result.

The structure of this essay is given as follows:

- Chapter 1 refers to the structure of aluminum and its alloys. The crystal structure, the properties and applications of aluminum and its alloys are given in this chapter.
- Chapter 2 refers to welding ability of aluminum and its alloys.
- Chapter 3 presents the rules of aluminum and its alloys.
- Chapter 4 presents the welding techniques.
- Chapter 5 gives an overview of the process of setting up TIG machines.
- Chapter 6 refers to the protection gases, used for TIG method.
- Chapter 7 refers to the deposition materials and the mechanisms of the TIG method.
- Chapter 8 presents a theoretical approach for thermal affected zone for the base material.
- Chapter 9 presents recommendations for automating TIG method.
- Chapter 10 refers to the bugs during welding.
- Chapter 11 refers to the protection to be held from welds
- The 12th and 13th Chapter are the experimental part of this essay. More specifically, the preparation, the welding process and the metallographic analysis of the materials are presented.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ



### Δομή του Αλουμινίου και των Κραμάτων του

13	←	Atomic Number
<b>Al</b>	←	Symbol
Aluminium		
26.98154	←	Atomic Weight
2 - 8 - 3	←	Electron Configuration

#### 1.1. Γενικά Χαρακτηριστικά

Το καθαρό αλουμίνιο είναι μέταλλο ελαφρύ και πολύ όλκιμο. Οι μηχανικές του ιδιότητες δεν εξαρτώνται μόνο από την καθαρότητά του, αλλά και από το ποσοστό της ενδοτράχυνσης που έχει υποστεί κατά τη διάρκεια των μηχανικών του κατεργασιών. Η σημασία του για την κατασκευαστική βιομηχανία είναι πολύ μεγάλη διότι παρουσιάζει υψηλό ειδικό μέτρο ελαστικότητας ( $E/\rho$ ) και υψηλή ειδική μηχανική αντοχή ( $\sigma_{TS}/\rho$ ), σε σχέση με άλλα μέταλλα και κράματα. Επίσης, παρουσιάζει καλή αντοχή σε διάβρωση.

#### 1.2. Η Κρυσταλλική μορφή του Αλουμινίου

Το αλουμίνιο ανήκει στην ίδια ομάδα υλικών με τον ψευδοβρουκίτη,  $Fe_2TiO_5$  και τον αρμαλκολίτη,  $Mg_5Fe_5Ti_2O_5$ . Αυτή η ομάδα υλικών περιλαμβάνει ορυκτά που περιγράφονται από τον γενικό τύπο  $X_2YO_5$ . Στην δομή των υλικών αυτών περιέχονται δύο ειδών οκτάεδρα τα X και Y. Στα οκτάεδρα αυτά είναι δυνατό να λάβουν χώρα υποκαταστάσεις μεταξύ των



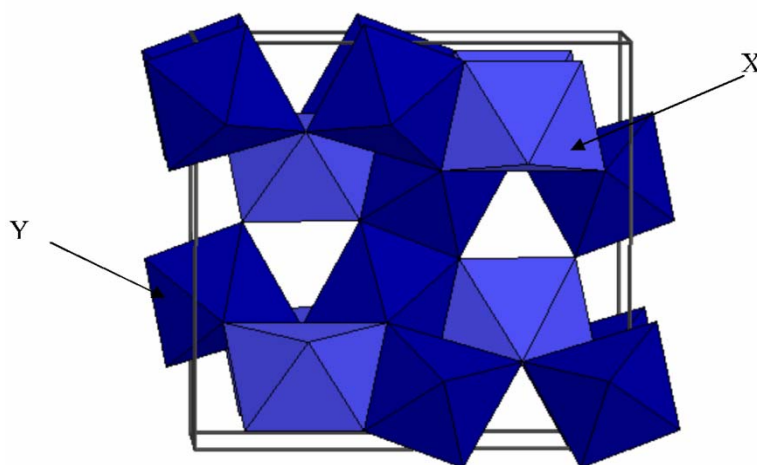
iónτων  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ti^{+}$ . Τα κυριότερα ακραία μέλη του συστήματος είναι: ο ψευδοβρουκίτης, ο σιδηροψευδοβρουκίτης και ο αρμαλκολίτης.

Το αλουμίνιο ανήκει στην ίδια ομάδα με τον ψευδοβρουκίτη και προκύπτει από την πλήρη υποκατάσταση των íόντων σιδήρου με íοντα αλουμινίου. Όλα τα παραπάνω υλικά κρυσταλλώνονται στο ορθορομβικό σύστημα, που χαρακτηρίζεται από τρεις πλεγματικές παραμέτρους.

Στον σχεδιασμό των σύνθετων κεραμικών υλικών, που βρίσκουν εφαρμογή σε διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών, είναι αναγκαία η γνώση των εσωτερικών ιδιοτήτων του καθενός από τα συστατικά, ανεξάρτητα από τον τρόπο διάταξής τους στο σύνθετο υλικό. Οι θεωρητικές προβλέψεις της συμπεριφοράς των σύνθετων υλικών, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις ιδιότητες της μοναδιαίας κυψελίδας.

Η μοναδιαία κυψελίδα του τιτανικού αλουμινίου αποτελείται από οκτάεδρα των οποίων οι κορυφές καταλαμβάνονται από íοντα οξυγόνου και στα κέντρα τους βρίσκεται είτε το íον του τιτανίου είτε το íον του αλουμινίου. Στα οκτάεδρα που σχηματίζονται γύρω από το íον του αλουμινίου, ο χώρος που καταλαμβάνεται από το íον του αλουμινίου είναι πολύ μικρός συγκρινόμενος με τον συνολικό ελεύθερο χώρο του οκταέδρου. Η προσφερόμενη θερμική ενέργεια επιτρέπει στα íοντα του αλουμινίου να μετακινούνται εύκολα από τις θέσεις τους, με αποτέλεσμα την διάσπαση του υλικού σε τιτάνια και αλουμίνα.

Τα οκτάεδρα  $AlO_6$  και  $TiO_6$  μοιράζονται τις κορυφές τους και αναπτύσσουν μεταξύ τους ασθενείς δεσμούς. Οι κινήσεις των δομικών μονάδων της μοναδιαίας κυψελίδας κατά την θέρμανση προκαλεί διαστολή του κρυστάλλου σε διαφορετικό βαθμό κατά μήκος των κρυσταλλογραφικών κατευθύνσεων (σχήμα 1.1).



**Σχήμα 1.1:** Η δομή του αλουμινίου. Οι δύο περιοχές του πλέγματος X, Y είναι οκταεδρικές και καταλαμβάνονται από  $Al_3$  και  $Ti$  αντίστοιχα .

### 1.3. Ιδιότητες Αλουμινίου και Κραμάτων του

Το αλουμίνιο είναι ένα ελαφρύ αργυρόχρωμο μέταλλο. Το ατομικό του βάρος είναι 26,9815, κρυσταλλώνεται σε δομή κυβικού εδροκεντρωμένου, λιώνει σε θερμοκρασία 660°C (1.220°F), εξατμίζεται σε θερμοκρασία 2.467°C (4.473°F), και έχει ειδικό βάρος 2,7 (kg/m<sup>3</sup> ή g/cm<sup>3</sup>).

Είναι ισχυρά ηλεκτροθετικό ως μέταλλο και εξαιρετικά αντιδρόν. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χάλυβα, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς μηχανημάτων για την τυπική συγκόλληση αντιστάσεως. Η θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι επίσης μεγαλύτερη εκείνης του χάλυβα, επομένως χρειάζεται περισσότερη θερμική ενέργεια για τη συγκόλληση.

Στην επαφή του με τον ατμοσφαιρικό αέρα οξειδώνεται ταχέως, δίνοντας ένα λεπτό συνεχές επιφανειακό στρώμα Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> το οποίο είναι αδιαπέραστο από το οξυγόνο και προσφέρει στο μέταλλο αντιοξειδωτική προστασία. Αυτό το στρώμα οξειδίου, πρέπει να αφαιρείται με βούρτσισμα, λίγο πριν τη συγκόλληση του μετάλλου. Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του αλουμινίου είναι διπλάσιος του χάλυβα, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Είναι εξαιρετικός αγωγός του ηλεκτρισμού, ενώ είναι μη μαγνητικό, μη αναφλέξιμο και μη τοξικό. Επιπλέον, είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας. Μπορεί να ανακυκλωθεί, ενώ μορφοποιείται, χυτεύεται και κατεργάζεται εύκολα. Κράματα αυτού με μικρά ποσοστά χαλκού, μαγνησίου, μαγγανίου και πυριτίου αλλά και άλλων κραματικών στοιχείων, του προσδίδουν ιδιαίτερα ξεχωριστές και χρήσιμες ιδιότητες.

Η αντοχή του εξαρτάται από την καθαρότητά του. Έτσι, καθαρό αλουμίνιο σε ποσοστό 99,996% έχει αντοχή σε εφελκυσμό περίπου 49 MPa, η οποία όμως μπορεί να φτάσει τα 700 MPa μετά από κραμάτωση και κατάλληλη θερμική κατεργασία.

Το αλουμίνιο θεωρείται ένα από τα ευκολότερα μέταλλα για συγκόλληση, μόνο που τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του απαιτούν διαφορετική πρακτική από όσα είναι γνωστά για τη συγκόλληση σιδήρου. Το λειωμένο αλουμίνιο μπορεί να απορροφήσει υδρογόνο, γεγονός που ίσως δημιουργήσει πόρους στην κόλληση. Η καλή προετοιμασία της επιφάνειας του μετάλλου (καθαρισμός από ενώσεις που μπορεί να εκλύουν υδρογόνο, π.χ. απολίπανση) προστατεύει την ποιότητα της κόλλησης.

Μια συγκεκριμένη ποσότητα μάζας αλουμινίου, ζυγίζει περίπου το 1/3 της ίδιας μάζας από σίδηρο. Ο συνδυασμός του υψηλού λόγου αντοχής προς βάρος με την υψηλή αντιδιαβρωτική αντοχή του, το κάνουν ιδιαίτερα χρήσιμο κατασκευαστικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δομική και αρχιτεκτονική (τόσο ως δομικό όσο και ως διακοσμητικό υλικό), αλλά και στην κατασκευή αυτοκινήτων, τρένων, αεροπλάνων, πλοίων και γενικότερα

σε εφαρμογές, όπου απαιτείται μεγάλο ωφέλιμο φορτίο και ταυτόχρονα εξοικονόμηση ενέργειας (π.χ. μεταφορά εμπορευμάτων, υγρών καυσίμων κ.λ.π.).

Εξαιτίας της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητάς του, χρησιμοποιείται στην κατασκευή σκευών μαγειρικής, ως περιτύλιγμα τροφίμων, αλλά και στην κατασκευή πιστονιών για κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Έχει το 63% της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χαλκού, αλλά μόνο το μισό βάρος ενός ίδιου αγωγού. Κατά συνέπεια, ένας αγωγός αλουμινίου είναι πιο μεγάλος σε διάμετρο από έναν αντίστοιχο από χαλκό, αλλά εξακολουθεί να είναι πιο ελαφρύς και θεωρείται καταλληλότερος για μεγάλου μήκους γραμμές μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης (αγωγοί αλουμινίου χρησιμοποιούνται πλέον για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχης των 700,000V ή και περισσότερο).

Το αλουμίνιο διαμορφώνεται, ελάσσεται, εξελάσσεται, διελάσσεται, συγκολλάται, συνεπώς αποτελεί ιδανικό μέταλλο κατασκευών. Το μέτρο ελαστικότητας του (70.000 MPa) είναι 3 φορές χαμηλότερο από εκείνο του σιδήρου. Σε δεδομένη κατάσταση φόρτισης, μία κατασκευή από αλουμίνιο παρουσιάζει 3 φορές μεγαλύτερη ελαστική επιμήκυνση απ' όση μία σιδερένια. Επίσης δεν μαγνητίζεται και δεν καίγεται, ιδιότητες που θεωρούνται πολύ ουσιώδεις για ειδικές εφαρμογές όπως κατασκευές θαλάσσης (πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου).

Το αλουμίνιο και τα περισσότερα κράματά του είναι ανθεκτικό έως πολύ ανθεκτικό σε πολλές μορφές διάβρωσης. Λόγω της μεγάλης χημικής συνάφειας με το οξυγόνο, η φυσική επιφάνεια του μετάλλου είναι μόνιμα καλυμμένη με στρώμα οξειδίου του αργιλίου, που αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό εμπόδιο εξάπλωσης της διάβρωσης. Το μειωμένο έως μηδενικό κόστος συντηρήσεως σε συνδυασμό με το χαμηλό ειδικό βάρος επηρεάζουν θετικά την επιλογή του αλουμινίου.

Επιπλέον, χρησιμοποιείται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας (εξαιτίας του γεγονότος ότι απορροφά σχετικά λίγα νετρόνια) και σε κρυογονικές θερμοκρασίες επειδή διατηρεί την αντοχή του και αυξάνει τη σκληρότητα του όσο μειώνεται η θερμοκρασία.

Τα κράματα του αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα διαμόρφωσης και σε κράματα χύτευσης. Τα κράματα των δύο αυτών κατηγοριών υποδιαιρούνται σε κράματα που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και σε κράματα των οποίων η θερμική κατεργασία είναι αδύνατη. Οι ιδιότητες των πρώτων εξαρτώνται από την ακολουθούμενη θερμική κατεργασία, ενώ οι ιδιότητες των δεύτερων εξαρτώνται από το ποσοστό ενδοτράχυνσης που έχουν υποστεί.

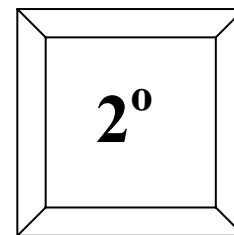
Όπως το καθαρό αλουμίνιο, έτσι και τα κράματά του έχουν χαμηλή πυκνότητα, καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Οι κύριες προσθήκες των κραμάτων αλουμινίου είναι ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το μαγνήσιο, το πυρίτιο

και ο ψευδάργυρος. Η επίδραση των προσθηκών στις ιδιότητες του αλουμινίου φαίνονται στον Πίνακα 1.1.

**Πίνακας 1.1:** Κύριες προσθήκες κραμάτων αλουμινίου και η επίδρασή τους.

<b>Προσθήκη</b>	<b>Επίδραση στις Ιδιότητες του Αλουμινίου</b>
Χαλκός	Σε ποσοστό έως 12% προκαλεί βελτίωση της μηχανικής αντοχής και της κατεργασιμότητας. Η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με κατακρήμνιση.
Σίδηρος	Σε μικρά ποσοστά βελτιώνει την αντοχή και τη σκληρότητα και, ταυτόχρονα, μειώνει τις πιθανότητες θερμής ρωγμάτωσης κατά τη χύτευση.
Μαγγάνιο	Βελτιώνει την ολκιμότητα και, σε συνδυασμό με τον σίδηρο, τη χυτευσιμότητα.
Μαγνήσιο	Βελτιώνει τη μηχανική αντοχή και την αντοχή σε διάβρωση. Σε ποσοστό μεγαλύτερο του 6% προκαλεί σκλήρυνση με κατακρήμνιση.
Πυρίτιο	Βελτιώνει, κατά πολύ, τη χυτευσιμότητα και την αντοχή σε διάβρωση.
Ψευδάργυρος	Μειώνει τη χυτευσιμότητα αλλά, σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία προσθήκης, βελτιώνει τη μηχανική αντοχή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ



# Συγκολλητότητα του Αλουμινίου και των Κραμάτων του

## 2.1. Συγκολλησιμότητα Αλουμινίου

### Το οξείδιο του αλουμινίου

Το αλουμίνιο έχει μεγάλη τάση για οξείδωση και οξειδώνεται αμέσως μόλις έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα σχηματίζοντας επιφανειακό στρώμα  $Al_2O_3$ . Θερμικές κατεργασίες και συνθήκες αποθήκευσης παρουσία υγρασίας αυξάνουν το πάχος του στρώματος οξειδίου. Στην περίπτωση των συγκολλήσεων, το φυσικό οξείδιο, όταν είναι αρκετά λεπτό σε πάχος, μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα επιλέγοντας ανάστροφη πολικότητα. Όμως, παχύτερα στρώματα οξειδίου αφαιρούνται είτε με χημικές είτε με μηχανικές μεθόδους πριν τη διενέργεια της συγκόλλησης.

### Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα των κραμάτων αλουμινίου έχει ως αποτέλεσμα να είναι εφικτή η συγκόλληση των κραμάτων αυτών έχοντας σχετικά μεγάλο μήκος τόξου (σημαντική απόσταση μεταξύ του υλικού και του πιστολιού συγκόλλησης), κάτι που επιτρέπει τη χρήση πιστολιών με σχετικά μακριά κάνη, που οδηγεί καλύτερα το αέριο προστασίας στην περιοχή της συγκόλλησης. Οι μη μαγνητικές ιδιότητες του αλουμινίου ελαχιστοποιούν τα προβλήματα, όπως «φύσημα τόξου», και κάνουν το αλουμίνιο ιδανικό υλικό για σφικτήρες και εργαλεία όταν γίνονται συγκολλήσεις άλλων υλικών.

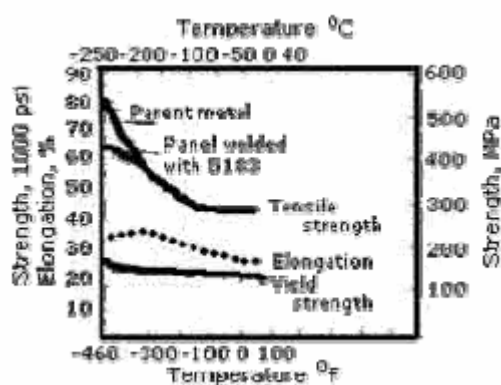
## Θερμικά χαρακτηριστικά

Η θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι περίπου 6 φορές υψηλότερη από αυτή του χάλυβα. Παρόλο που η θερμοκρασία τήξης των κραμάτων αλουμινίου είναι χαμηλότερη των σιδηρούχων κραμάτων, υψηλότερες θερμικές παροχές είναι απαραίτητες ώστε να πραγματοποιηθούν οι συγκολλήσεις αλουμινίου, εξαιτίας της μεγάλης θερμικής διάχυσης. Εάν οι συγκολλήσεις αλουμινίου πραγματοποιηθούν με έναν χαμηλό ρυθμό προχώρησης του τόξου, τότε η θερμότητα θα διαχυθεί μπροστά από το τόξο με αποτέλεσμα να απαιτείται συνεχής αλλαγή των παραμέτρων συγκόλλησης. Οι περισσότερες συγκολλήσεις αλουμινίου απαιτούν υψηλή θερμική παροχή με γρήγορη ταχύτητα προχώρησης.

Η θερμική διαστολή του αλουμινίου είναι περίπου διπλάσια από τη διαστολή του χάλυβα και οι συγκολλήσεις αλουμινίου συρρικνώνονται περίπου 6% κατ' όγκο κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης. Λεπτά ελάσματα θα πρέπει να πακτώνονται ή να πονταρίζονται, ώστε να διατηρούνται οι ακμές τους στις αρχικές αποστάσεις. Ακόμη, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή δημιουργίας κρατήρα στο πέρας της συγκόλλησης, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία ρωγμής κρατήρα.

Τέλος, το αλουμίνιο δεν αλλάζει το χρώμα του κατά τη διάρκεια της θέρμανσής του. Έτσι, ο συγκολλητής θα πρέπει να έχει την ικανότητα να παρατηρεί την τήξη που δημιουργείται από το τόξο και να ελέγχει το βαθμό τήξης και τη διάρκεια της συγκόλλησης.

Η συγκολλησιμότητα των κραμάτων του αλουμινίου δεν εξαρτάται από τη μορφή που αυτά βρίσκονται (φύλλα, ράβδοι, σωλήνες, κτλ), αλλά από τη χημική τους σύσταση. Τα κράματα του αλουμινίου χάνουν ένα μέρος από την αντοχή τους σε θερμοκρασίες πάνω από 200 °C. Τα κράματα της σειράς 2xxx παρουσιάζουν την καλύτερη αντοχή σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Με μείωση της θερμοκρασίας τα κράματα αλουμινίου και τα συγκολλημένα τεμάχια κερδίζουν σε αντοχή. Ακόμη, τα κράματα αλουμινίου είτε διατηρούν είτε αυξάνουν την ολκιμότητα τους όσο οι θερμοκρασίες μειώνονται κάτω από τους 50 °C.



Σχήμα 2.1: Τυπικές ιδιότητες του κράματος AA5083 συγκολλημένο με υλικό προσθήκης 5183

Τυπικές ιδιότητες του κράματος AA5083 συγκολλημένο με υλικό προσθήκης 5183 φαίνονται στο Σχήμα 2.1. Τα κράματα της σειράς 5xxx (Al-Mg) έχουν ευρύτατη εφαρμογή σε κρυογενικές εφαρμογές και, λόγω του ότι παρουσιάζουν εξαιρετική συγκολλησιμότητα, χρησιμοποιούνται σε δεξαμενές μεταφοράς υγροποιημένων αερίων (LPG carriers και LNG carriers).

## 2.2. Χαρακτηριστικά συγκόλλησης Αλουμινίου

Όταν τα μη θερμικά κατεργασμένα κράματα αλουμινίου, όπως αυτά της σειράς 5000, συγκολλούνται, συμβαίνουν μεταλλουργικές αλλαγές στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη τους που έχει ως συνέπεια, την πτώση της αντοχής στην περιοχή αυτή κατά ένα ποσοστό περίπου 20%. Η μικροδομή της περιοχής αυτής αποτελείται από κιονοειδείς μεγεθυμένους κόκκους με κυψελοειδή ή κιονοειδή δενδριτική δομή, που έχει ενδιάμεσα στους δενδρίτες ευτηκτικά κατακρημνίσματα, κυρίως  $Mg_3Al_2$  για κράματα της σειράς 5xxx.

Τα χαρακτηριστικά διάφορων μη θερμικά κατεργασμένων κραμάτων φαίνονται στον Πίνακα 2.1. Από τον πίνακα αυτό φαίνεται η επίδραση της σύνθεσης και του είδους της ψυχρής κατεργασίας στις μηχανικές τους ιδιότητες. Τα δυο κράματα της σειράς 5xxx παρουσιάζουν βελτίωση της αντοχής τους σε σχέση με τα κράματα των σειρών 1xxx και 3xxx, χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης του μαγνησίου. Επιπρόσθετα, τα κράματα της σειράς 5xxx με υψηλότερο ποσοστό μαγνησίου έχουν και υψηλότερη αντοχή (για παράδειγμα το κράμα 5083 σε σχέση με το κράμα 5050). Η ίδια παρατήρηση ισχύει και στο συγκολλημένο κράμα. Για παράδειγμα, η συγκόλληση ενός υψηλής περιεκτικότητας σε μαγνήσιο κράματος όπως είναι το κράμα 5083 (4% Mg), είναι ανθεκτικότερη από την συγκόλληση ενός αλλού κράματος της ίδιας σειράς, όπως το 5050 (1% Mg).

**Πίνακας 2.1:** Χαρακτηριστικά διάφορων μη θερμικά κατεργασμένων κραμάτων αλουμινίου

Βασικό Μέταλλο	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Ελαστικότητας (MPa)	Επιμήκυνση σε 50mm %	Υλικό προσθήκης	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Ελαστικότητας (MPa)	Επιμήκυνση σε 50mm %	Δυναμικότητα συγκόλλησης
1100-0	34	90	35	1100	41	93	23	100
				4043	41	90	21	100
3003-0	41	110	30	1100	41	90	20	81
				4043	48	91	17	83
3003-H18	186	200	4	1100	59	110	15	55
5050-0	55	145	24	5356	55	45	20	100
5050-H32	145	172	9	5356	97	159	15,5	92
				4043	90	152	15	88
5050-H38	200	221	6	5356	97	162	14,5	73
5083-0	145	290	22	5356	145	283	17	98
5083-H32	228	317	16	5356	145	276	16	87
				5183	152	300	12	95

### 2.3. Κριτήρια επιλογής υλικού προσθήκης

Παράγοντες για την επιλογή του βέλτιστου υλικού προσθήκης αποτελούν η ποιότητα και η αντοχή των συγκολλούμενων υλικών. Στον Πίνακα 2.2 φαίνονται οι χημικές συστάσεις και τα σημεία τήξης των ευρέως χρησιμοποιούμενων υλικών προσθήκης.

Οι κύριοι παράγοντες που τίθενται υπόψη στην επιλογή του κατάλληλου υλικού προσθήκης είναι οι εξής:

- Ευκολία συγκόλλησης και απουσία ρωγμών
- Αντοχή του συγκολλούμενου τεμαχίου
- Ολκιμότητα συγκόλλησης
- Θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής
- Αντίσταση στη διάβρωση
- Χρωματική τακτική βασικού μετάλλου και υλικού προσθήκης μετά την ανοδίωση



**Πίνακας 2.2:** Χημικές συστάσεις & σημεία τήξης, ευρέως χρησιμοποιούμενων υλικών προσθήκης

Κράμα	Χημική σύσταση % κ.β.								Σημείο τήξης °C
	Al	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	άλλα	
1100	Υπόλ.	-	0.12	-	-	-	-	-	643-657
1188	Υπόλ.	-	-	-	-	-	-	-	657-660
2319	Υπόλ.	-	6.3	0.3	-	-	0.15	0.18Zr,0.1V	543-643
4009	Υπόλ.	5	1.25	-	0.5	-	-	-	546-621
4010	Υπόλ.	7	-	-	0.35	-	-	-	557-613
4011	Υπόλ.	7	-	-	0.58	-	0.12	0.55Be	557-613
4043	Υπόλ.	5.25	-	-	-	-	-	-	574-632
4047	Υπόλ.	12	-	-	-	-	-	-	577-582
4145	Υπόλ.	10	4	-	-	-	-	-	521-585
4643	Υπόλ.	4.1	-	-	0.2	-	-	-	574-635
5183	Υπόλ.	-	-	0.75	4.75	0.15	-	-	579-638
5356	Υπόλ.	-	-	0.12	5	0.12	0.13	-	571-635
5554	Υπόλ.	-	-	0.75	2.7	0.12	0.12	-	602-646
5556	Υπόλ.	-	-	0.75	5.1	0.12	0.12	-	568-635
5654	Υπόλ.	-	-	-	3.5	0.25	0.1	-	593-643
C355.0	Υπόλ.	5	1.25	-	0.5	-	-	-	546-621
A356.0	Υπόλ.	7	-	-	0.35	-	-	-	557-613
A357.0	Υπόλ.	7	-	-	0.58	-	0.12	0.55Be	557-613

Η τελική επιλογή του βέλτιστου υλικού προσθήκης για τη συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου ή συνδυασμό κραμάτων θα πρέπει να γίνει μετά από ανάλυση της επιθυμητής συμπεριφοράς σε χρήση της συγκολλητής κατασκευής.

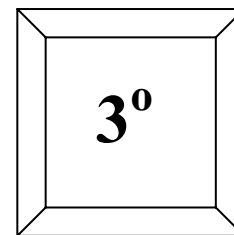
Στον Πίνακα 2.3 δίνονται στοιχεία για την επιλογή του κατάλληλου υλικού προσθήκης για τη συγκόλληση τόσο κραμάτων όσο και συνδυασμού κραμάτων.

**Πίνακας 2.3:** Επιλογή υλικού προσθήκης για την συγκόλληση κραμάτων

5454	5154-5254	5086	5083	5052-5652	5005-5050	3004	2219-2519	2014-2036	1100-3003	1060-1070-1080-1350
4043	4043	5356	5356	4043	1100	4043	4045	4145	1100	1188
4043	4043	5356	5356	4043	4043	4043	4145	4145	1100	-
-	-	-	-	-	-	-	4145	4145	-	-
4043	4043	4043	4043	4043	4043	4043	2319	-	-	-
5654	5654	5356	5356	4043	4043	4043	-	-	-	-
5654	5654	5356	5356	4043	4043	-	-	-	-	-
5654	5654	5356	5356	5654	-	-	-	-	-	-
5356	5356	5356	5183	-	-	-	-	-	-	-
5356	5356	5356	-	-	-	-	-	-	-	-
5654	5354	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5554	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί πως το υλικό προσθήκης αποθηκεύεται σε πλαστικές θήκες κλεισμένες αεροστεγώς. Το καλύτερο μέρος για αποθήκευση είναι σε ξηρό και θερμαινόμενο μέρος. Εάν αποθηκευτεί σε μη θερμαινόμενο μέρος, θα πρέπει να μεταφερθεί στον χώρο παραγωγής και να αφηθεί ώστε να έρθει στην ίδια θερμοκρασία προτού ανοιχθεί. Εάν η θερμοκρασία του ηλεκτροδίου είναι πάνω από 9 °C χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου και ανοιχθεί από την αεροστεγή συσκευασία, τότε υγρασία από την ατμόσφαιρα θα προσκολληθεί στο ηλεκτρόδιο, σχηματίζοντας ενυδατωμένο οξείδιο. Τα κράματα Al-Mg είναι περισσότερο ευαίσθητα σε αυτή την περίπτωση και μάλιστα μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένο πορώδες στη συγκόλληση. Ως λύση για το παραπάνω πρόβλημα συνιστάται η θέρμανση και ο έλεγχος της υγρασίας του χώρου με ειδικές συσκευές. Η αντοχή της συγκόλλησης είναι άλλος ένα κύριος παράγοντας επιλογής υλικού προσθήκης. Η θερμότητα κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης «μαλακώνει» το κράμα στην περιοχή που άπτεται της ζώνης τήξης. Στα μη θερμικά κατεργασμένα κράματα η ζώνη που άπτεται της συγκόλλησης ανακρυσταλλώνεται πλήρως. Λίγα δευτερόλεπτα παραμονής σε θερμοκρασία πάνω από 345 °C αφαιρεί οποιαδήποτε κατεργασία σκλήρυνσης έχει υποστεί το κράμα σε περιοχή από 25 mm έως 38 mm από τη συγκόλληση σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η μέθοδος και η διαδικασία συγκόλλησης επηρεάζουν ελάχιστα την αντοχή της συγκόλλησης. Απλά επηρεάζουν το πλάτος της θερμικά επηρεασμένης ζώνης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ



## Κανονισμοί Κραμάτων Αλουμινίου

## 3.1. Τα Κράματα του Αλουμινίου

Τα κράματα μετάλλων δημιουργούνται προκειμένου να συνδυαστούν ιδιότητες των βασικών συστατικών σε ένα νέο υλικό. Έτσι, για παράδειγμα, ο χάλυβας (κράμα σιδήρου με άνθρακα) είναι πιο σκληρός και ανθεκτικός από τον σίδηρο, ένα από τα βασικά συστατικά του. Βασικός λόγος, λοιπόν, παραγωγής κραμάτων είναι η βελτίωση σκληρότητας, αντοχής, βάρους, αντίστασης στη διάβρωση κ.λπ. των καθαρών (πρωτογενών) μετάλλων. Ένα χαρακτηριστικό των κραμάτων, σε αντίθεση με τα πρωτογενή μέταλλα, είναι ότι δεν έχουν καθορισμένο σημείο τήξης, συγκεκριμένη θερμοκρασία δηλαδή, στην οποία λιώνουν. Σε αυτά υπάρχει ένα εύρος θερμοκρασιών, μέσα στο οποίο τα κράματα βρίσκονται μεταξύ στερεάς και υγρής κατάστασης. Συνηθισμένες εφαρμογές κραμάτων απαντούν στα πολύτιμα μέταλλα, στις κατασκευές και στις οικοδομές.

Η κατασκευή κραμάτων γίνεται συνήθως με τήξη των μετάλλων που τα συνιστούν. Υφίστανται όμως και άλλοι μέθοδοι όπως με ηλεκτρόλυση (π.χ. το κράμα χαλκού και ψευδαργύρου (ο γνωστός ορείχαλκος) παρασκευάζεται με ταυτόχρονη εναπόθεση των δύο μετάλλων από κυανιούχα διαλύματα αυτών με ηλεκτρόλυση). Επίσης μέσω αναγωγής ενός ή περισσοτέρων μετάλλων π.χ. (μέσω αναγωγής ενώσεως βολφραμίου και σιδήρου σε ηλεκτρική κάμινο παράγονται κράματα αυτών). Μία ακόμη μέθοδος πιο σύγχρονης παραγωγής κραμάτων είναι η εφαρμογή πολύ ισχυρής πίεσης επί μίγματος σκόνης μετάλλων.

Εν τούτοις κύριος τρόπος παραγωγής παραμένει η τήξη κατά την οποία επιδιώκεται όσο το δυνατόν ομοιόμορφη δημιουργία μίγματος χρησιμοποιώντας διάφορα συστήματα ανάμειξης. Μετά τη ψύξη του τήγματος των μετάλλων το παραγόμενο πλέον στερεό "κράμα" μπορεί να είναι «ομοιογενές» ή «ετερογενές».

Όταν το κράμα είναι «ομοιογενές» αυτό μπορεί να είναι:

- **Στερεό διάλυμα:** Σε αυτή τη περίπτωση σχηματίζονται μικτοί κρύσταλλοι με την παρεμβολή ατόμων του ενός μετάλλου στα διάκενα του κρυσταλλικού πλέγματος του

άλλου μετάλλου, ή και με την υποκατάσταση ορισμένων ατόμων του ενός μετάλλου με άτομα του άλλου.

- **Διαμεταλλική ένωση:** Σε αυτή τη περίπτωση σχηματίζονται κρύσταλλοι χημικών ενώσεων που σχηματίζουν μεταξύ τους τα μέταλλα. Στις ενώσεις αυτές τα μέταλλα δεν ακολουθούν τους συνήθεις νόμους σθένους.
- **Στερεή διαμεταλλική ένωση:** Είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων όταν διαπιστώνεται περίσσεια του ενός εκ των συνιστώντων το κράμα μετάλλων.

Όταν όμως το κράμα είναι «ετερογενές» τότε παρουσιάζει χωριστές φάσεις που μπορεί να είναι:

- Από καθαρά μέταλλα.
- Από μία ή περισσότερες διαμεταλλικές ενώσεις και
- Από διαλύματα μετάλλων ή ενώσεων αυτών εντός μετάλλων.

Όπως ακριβώς συμβαίνει και με κάθε μέταλλο, έτσι και στην περίπτωση του καθαρού αλουμινίου, η χρησιμότητά του διευρύνεται σημαντικά έπειτα από την κραμάτωσή του με άλλα στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται ‘νέα μέταλλα’ που έχουν ως βάση το αλουμίνιο και που η χρησιμότητά τους σε διάφορες εφαρμογές είναι μεγαλύτερη από αυτήν του καθαρού αλουμινίου.

Το αλουμίνιο είναι ελαφρύ αλλά ακριβό υλικό μεταλλοτύπων. Για απευθείας επαφή με το σκυρόδεμα πρέπει να βάφεται, λόγω των χημικών επιδράσεων που προκαλεί το σκυρόδεμα. Επειδή κολλάει με το σκυρόδεμα, πρέπει προηγουμένως να αλείφεται με διευκολυντική ουσία αποκόλλησης (release agent).

Το αργίλιο βρίσκεται στη φύση υπό μορφή ενώσεων και αποτελεί το 7,3 % του στερεού φλοιού της γης. Οι περισσότερες διαδεδομένες ενώσεις, είναι υπό μορφή πυριτικών ορυκτών, οι κυριότερες των οποίων είναι η άργιλος ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), η μίκα ή μαρμαρυγίας ( $\text{KHMg}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ), η βήρυλλος ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ), ο ανορθίτης ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  ή  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Το αργίλιο βρίσκεται επίσης, ως οξείδιο  $\text{Al}_2\text{O}_3$  στο βωξίτη, το κορούνδιο ( $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ ), τη σμύριδα (με προσμίξεις σιδήρου και  $\text{SiO}_2$  υπό μορφή μαγνητίτη, αιματίτη και χαλαζία), το σπινέλιο ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Το σπουδαιότερο ορυκτό του Al είναι ο βωξίτης, ο οποίος είναι πολύ διαδεδομένος στην Ελλάδα. Ο βωξίτης αποτελείται από διάσπορο ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) και υδραργιλίτη ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), με προσμίξεις  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  και  $\text{SiO}_2$ , η δε περιεκτικότητά του σε  $\text{Al}_2\text{O}_3$  κυμαίνεται από 55-65%.

Οι κωδικές ονομασίες των κραμάτων αλουμινίου, σύμφωνα με την *Aluminum Association* (A. A.), αποτελούνται από δύο μέρη, τα οποία χωρίζονται με παύλα. Το πρώτο μέρος αποτελείται από τέσσερις αριθμούς, των οποίων η σημασία εξαρτάται από το εάν πρόκειται για κράμα διαμόρφωση ή για κράμα χύτευσης. Στα κράματα διαμόρφωσης (βλ. Πίνακα 1.2), ο πρώτος αριθμός υποδηλώνει το κύριο στοιχείο προσθήκης. Ο δεύτερος χρησιμοποιείται για να δηλώσει τροποποιήσεις των ορίων περιεκτικότητας των ακαθαρσιών. Τέλος, οι δύο

τελευταίοι αριθμοί, στην περίπτωση της σειράς *1XXX*, δίνουν τα δεκαδικά ποσοστά, για περιεκτικότητες αλουμινίου υψηλότερες του 99,00 %, ενώ στην περίπτωση κραμάτων αλουμινίου άλλων σειρών, οι δύο τελευταίοι αριθμοί χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τον προσδιορισμό της ειδικής κατηγορίας του κράματος της οικείας σειράς. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται η κωδικοποίηση των *κραμάτων διαμόρφωσης αλουμινίου* σύμφωνα με την Aluminum Association, ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης.

**Πίνακας 3.1:** Κωδικοποίηση των κραμάτων διαμόρφωσης αλουμινίου σύμφωνα με την Aluminum Association, ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης.

<b>Κωδικός Κύρια Προσθήκη</b>
1XXX Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας 99%
2XXX Χαλκός
3XXX Μαγγάνιο
4XXX Πυρίτιο
5XXX Μαγνήσιο
6XXX Μαγνήσιο και Πυρίτιο
7XXX Ψευδάργυρος
8XXX Άλλα στοιχεία
9XXX Μη χρησιμοποιούμενη σειρά

Στα κράματα χύτευσης (βλ. Πίνακα 3.2), ο πρώτος αριθμός υποδηλώνει επίσης το κύριο στοιχείο προσθήκης. Ο δεύτερος και τρίτος αριθμός δείχνουν την ειδική κατηγορία του κράματος της οικείας ομάδας. Ο τέταρτος αριθμός, ο οποίος χωρίζεται με τελεία από τους τρεις πρώτους, αφορά στη μορφολογία του προϊόντος της χύτευσης: Με μηδέν (0) υποδηλώνεται ότι πρόκειται για χυτό, το οποίο έχει αποκτήσει την τελική του μορφολογία με κατευθείαν χύτευση, ενώ με ένα (1) υποδηλώνεται ότι πρόκειται για πλίνθωμα. Μετατροπή της αρχικής χημικής σύστασης υποδηλώνεται με ένα γράμμα μπροστά από τον κωδικό. Στον Πίνακα 3.2, η κωδικοποίηση των *κραμάτων χύτευσης αλουμινίου* σύμφωνα με την Aluminum Association, ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης.

Το δεύτερο μέρος της κωδικής ονομασίας για τα κράματα διαμόρφωσης και για τα κράματα χύτευσης, αναφέρεται στην κατεργασία, μηχανική ή θερμική, που έχουν υποστεί. Η ανάλυση της κωδικοποίησης αυτής παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3. Για παράδειγμα, το 1060-H14 είναι αλουμίνιο καθαρότητας 99,60 %, το οποίο έχει υποστεί μόνον ενδοτράχυνση, η οποία έχει οδηγήσει σε αύξηση της σκληρότητάς του κατά 50 %.

**Πίνακας 3.2:** Κωδικοποίηση των κραμάτων χύτευσης αλουμινίου σύμφωνα με την Aluminum Association, ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης.

<b>Κωδικός Κύρια Προσθήκη</b>
1XXX Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας 99%
2XXX Χαλκός
3XXX Πυρίτιο και χαλκός ή μαγνήσιο
4XXX Πυρίτιο
5XXX Μαγνήσιο
6XXX Μη χρησιμοποιούμενη σειρά
7XXX Ψευδάργυρος
8XXX Κασσίτερος
9XXX Άλλα στοιχεία

**Πίνακας 3.3:** Κωδικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου σύμφωνα με την Aluminum Association, ανάλογα με τις κατεργασίες που έχουν υποστεί.

<b>Κωδικός</b>	<b>Κατεργασία</b>
F	Προϊόν όπως παρήχθη, χωρίς μηχανική ή θερμική κατεργασία
O	Ανόπτηση
H	Ενδοτράχυνση, μόνο για κράματα διαμόρφωσης
H1X	Μόνο ενδοτράχυνση, (το X αναφέρεται στο βαθμό ενδοτράχυνσης) H11: Κράμα ελάχιστης σκληρότητας H12: Κράμα σκληρυνόμενο κατά 25% H14: Κράμα σκληρυνόμενο κατά 50% H16: Κράμα σκληρυνόμενο κατά 75% H18: Κράμα σκληρυνόμενο κατά 100% H19: Υπέρσκληρο κράμα
H2X	Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από ανόπτηση αποκατάστασης. Το X κυμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης μετά την ανόπτηση.
H3X	Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από θερμική κατεργασία σταθεροποίησης σε χαμηλή θερμοκρασία, προκειμένου να αποφευχθεί σκλήρυνση λόγω γήρανσης. Το X κυμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης πριν από τη σταθεροποίηση.
T	Θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση

	<p>T1: Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και φυσική γήρανση</p> <p>T2: Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, μηχανική κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση</p> <p>T3:Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση</p> <p>T4: Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και φυσική γήρανση</p> <p>T5: Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη από του περιβάλλοντος</p> <p>T6: Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και τεχνητή γήρανση σε θερμοκρασία υψηλότερη από του περιβάλλοντος</p> <p>T7: Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, θερμική κατεργασία σταθεροποίησης</p> <p>T8: Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση</p> <p>T9: Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, τεχνητή γήρανση και κατεργασία εν ψυχρώ</p> <p>T10: Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, κατεργασία εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση</p>
W	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης. Χρησιμοποιείται μόνο για τα κράματα που υφίστανται σκλήρυνση με τη γήρανση

### 3.1.1. Κράματα Διαμόρφωσης του Αλουμινίου

➤ Κράματα αλουμινίου που δεν υφίστανται σκλήρυνση δομής με θερμική κατεργασία

Πρόκειται για κράματα των σειρών 1000, 3000 και 5000. Είναι μονοφασικά, με μικρά ποσοστά εγκλεισμάτων ή μεσομεταλλικών ενώσεων. Οι μηχανικές τους ιδιότητες ρυθμίζονται με κατεργασίες σκλήρυνσης, με τη δημιουργία οριακών στερεών διαλυμάτων και κυρίως, με την επακολουθούσα ενδοτράχυνση.

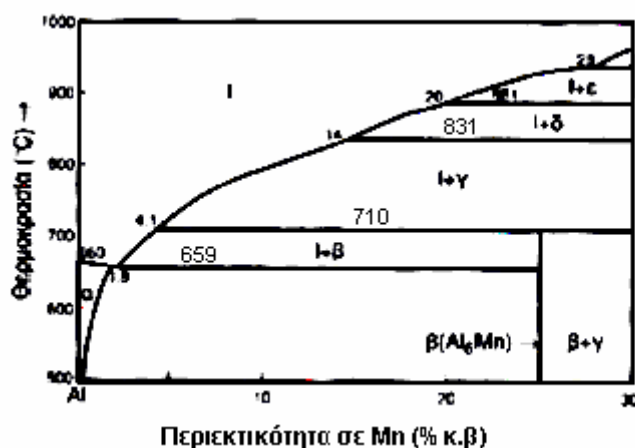
- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 1000

Τα κράματα αυτής της σειράς περιέχουν τουλάχιστο 99% Al. Οι τιμές των μηχανικών τους ιδιοτήτων είναι χαμηλές, αλλά βελτιώνονται με ενδοτράχυνση. Είναι κατάλληλα για κατεργασία εν ψυχρώ και αντέχουν σημαντικά σε υγρή και θαλάσσια ατμόσφαιρα. Παρουσιάζουν άριστη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και καλή αντοχή σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι κυριότερες ακαθαρσίες που περιέχονται στα κράματα αυτά είναι ο σίδηρος και το πυρίτιο, σε συνολικό ποσοστό 1% (κράμα 1100). Μερικές από τις εφαρμογές

τους είναι η κατασκευή συρμάτων και αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος, η κατασκευή θερμαντικών σωμάτων κ.α.

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 3000

Πρόκειται για κράματα αλουμινίου με κύρια προσθήκη το μαγγάνιο. Η μέγιστη διαλυτότητα του Mn στο Al, που είναι 1,8% στους 659 °C, ελαττώνεται γρήγορα με τη θερμοκρασία. Το Mn ενώνεται με το Al, σχηματίζοντας τη μεσομεταλλική ένωση  $Al_6Mn$ . Η σκλήρυνση του Al με προσθήκη Mn, σε ποσοστά μικρότερα από 1,5%, οφείλεται στη διασπορά της ένωσης αυτής μέσα στη μεταλλική μήτρα του αλουμινίου. Συγχρόνως, η παρουσία  $Al_6Mn$  προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης του κράματος. Η προσθήκη χαλκού, σε ποσοστό 0,12%, προκαλεί αύξηση της μηχανικής τους αντοχής. Η προσθήκη Mg, σε ποσοστά μικρότερα από 1,2%, επιφέρει δευτερογενή σκλήρυνση, λόγω του σχηματισμού στερεού διαλύματος. Τα κράματα Al-Mn μορφοποιούνται εύκολα, αντέχουν στην ατμοσφαιρική διάβρωση και συγκολλώνται εύκολα. Αντικαθιστούν τα κράματα της σειράς 1000, σε εφαρμογές όπου απαιτούνται βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες.



**Σχήμα 3.1:** Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων Αλουμινίου- Μαγγανίου. Στον x-άξονα βρίσκεται το ποσοστό περιεκτικότητας του κράματος σε μαγγάνιο.

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 5000

Πρόκειται για κράματα αλουμινίου, με κύρια προσθήκη το μαγνήσιο, σε ποσοστά μικρότερα του 4%. Σε αυτά το μεγαλύτερο μέρος του Mg βρίσκεται στο στερεό διάλυμα και το υπόλοιπο μετέχει στη μεσομεταλλική ένωση  $Mg_2Al_3$  η οποία είναι σκληρή και εύθραυστη. Τα κράματα της σειράς 5000, παρουσιάζουν μέτρια μηχανική αντοχή, που όμως βελτιώνεται με ενδοτράχυνση, σε βάρος όμως, της ολκιμότητας. Συγκολλώνται εύκολα, έχουν υψηλή αντοχή



σε θαλάσσια διάβρωση και παρουσιάζουν επιφάνεια καλής ποιότητας μετά από λείανση και ανοδίωση. Στην περίπτωση που πρόκειται να υποστούν τέτοιες επιφανειακές κατεργασίες, θα πρέπει τα ποσοστά του σιδήρου και του πυριτίου να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα

➤ Κράματα αλουμινίου που υπόκεινται σε σκλήρυνση δομής με θερμική κατεργασία

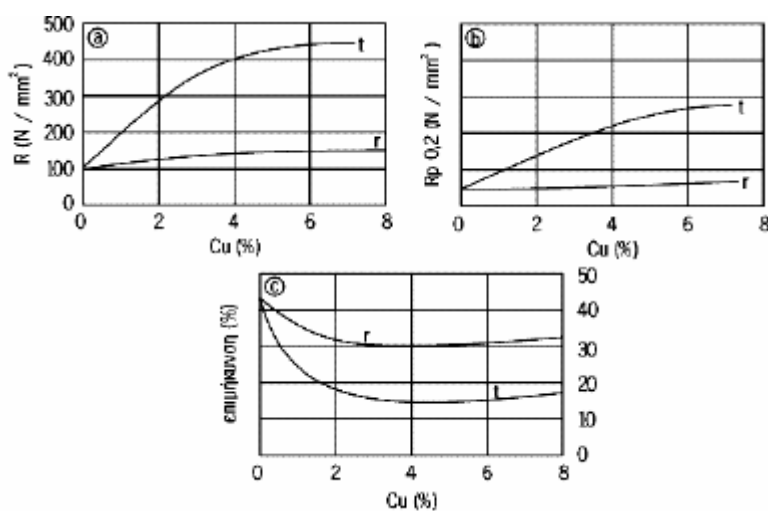
Πρόκειται για κράματα των σειρών 2000, 6000 και 7000.

• Σειρά κραμάτων αλουμινίου 2000

Πρόκειται για κράματα Al-Cu, όπου ο χαλκός περιέχεται σε ποσοστά 2,6 – 6,3% και για κράματα Al – Cu – Mg, όπου το μαγνήσιο κυμαίνεται μεταξύ 0,5 – 1,5%. Η σκλήρυνση της δομής επιτυγχάνεται με κατακρήμνιση των ενώσεων  $\text{CuAl}_2$  και  $\text{CuMgAl}_2$ , που προσδίδουν στο κράμα εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες.

Η προσθήκη Si και Mn, σε ποσοστά μικρότερα του 0,8%, ευνοεί τον σχηματισμό τετραμερών συστατικών τα οποία βρίσκονται σε διασπορά και βελτιώνουν τις ιδιότητες της μεταλλικής μήτρας.

Η παρουσία Fe συχνά αποδεικνύεται βλαβερή, εξαιτίας του σχηματισμού της ένωσης  $\text{Cu}_2\text{FeAl}_7$ , η οποία στερεί από το στερεό διάλυμα μέρος του χαλκού, ελαττώνοντας τη δυνατότητα σκλήρυνσης της δομής. Ωστόσο, αν προστεθεί συγχρόνως και Ni, σχηματίζεται η ένωση  $\text{Al}_9\text{FeNi}$ , που προσδίδει στο κράμα πολύ καλή μηχανική αντοχή, μέχρι τους 230 °C.



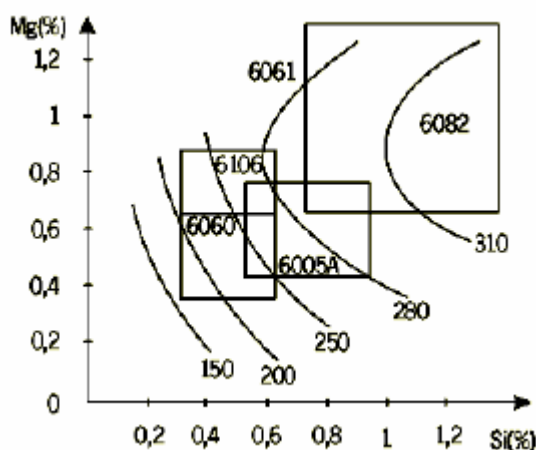
**Σχήμα 3.2:** Αντοχή σε εφελκυσμό, όριο ελαστικότητας και επιμήκυνση σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε χαλκό. Οι καμπύλες με το γράμμα r αναφέρονται σε κράμα που έχει υποστεί διαδικασία ανόπτησης, ενώ οι καμπύλες με το γράμμα t σε κράμα που έχει υποστεί σκλήρυνση.

Τα κράματα της σειράς 2000, μετά από βαφή και γήρανση, έχουν μέτρια αντοχή στη διάβρωση και συγκολλούνται δύσκολα διότι, οι γειτονικές προς την περιοχή της συγκόλλησης ζώνες, υπόκεινται σε ανόπτηση εξαιτίας του επιβαλλόμενου από τη συγκόλληση θερμικού κύκλου, με αποτέλεσμα, οι μηχανικές τους ιδιότητες να εξασθενούν σημαντικά. Η ανάπτυξη των κραμάτων αυτών ως αρχικό στόχο είχε τη μείωση του βάρους των αεροσκαφών και των δομικών στοιχείων των διαστημοπλοίων, λόγω της μικρής τους πυκνότητας, της υψηλής μηχανικής τους αντοχής και του υψηλού ειδικού μέτρου ελαστικότητας. Σήμερα πλέον, βρίσκουν και άλλες εφαρμογές λόγω της πολύ καλής αντοχής τους σε κόπωση και της υψηλής μηχανικής αντοχής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες (π.χ. δεξαμενές υγρού υδρογόνου).

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 6000

Πρόκειται για κράματα Al – Mg – Si. Η σκλήρυνση της δομής τους οφείλεται στο σχηματισμό της ένωσης  $Mg_2Si$ , στην οποία, συνήθως μετέχει το σύνολο της μάζας των στοιχείων Mg και Si, με λόγο μαζών (Mg/Si) ίσο προς 1,73. Κάποια περίσσεια Si βελτιώνει σε μερικά κράματα της σειράς τις μηχανικές τους ιδιότητες, σε βάρος όμως της αντοχής τους σε διάβρωση.

Ορισμένα κράματα της σειράς αυτής, περιέχουν προσθήκες Mn, σε ποσοστό μικρότερο του 0,8%, και Cr, σε ποσοστό μικρότερο του 0,3%. Αυτές οι προσθήκες, συντελούν στη βελτίωση της μηχανικής αντοχής, της δυσθραυστότητας και υποβοηθούν την εκλέπτυνση των κόκκων.



**Σχήμα 3.3:** Μεταβολή της μηχανικής αντοχής ανάλογα με την περιεκτικότητα σε Mg – Si .

Η προσθήκη χαλκού βελτιώνει, επίσης, τις μηχανικές ιδιότητες του κράματος, ωστόσο το ποσοστό του θα πρέπει να παραμείνει μικρότερο του 0,5%, λόγω της ταυτόχρονης μείωσης

της αντοχής σε διάβρωση που προκαλεί. Τα κράματα της σειράς 6000 μορφοποιούνται εν θερμώ και συγκολλώνται εύκολα, συγχρόνως δε παρουσιάζουν καλή μηχανική συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά η χρήση τους περιορίζεται μέχρι τους 150 °C. Τέλος, παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε ατμοσφαιρική διάβρωση και σε διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση.

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 7000

Πρόκειται για κράματα Al – Zn – Mg και για κράματα Al – Zn – Mg – Cu. Αυτά, μετά από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες, παρουσιάζουν τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου.

Το ποσοστό του Zn κυμαίνεται από 4 – 8% και αυτό του Mg από 1 – 3%. Η επιταχυνόμενη σκλήρυνση δομής οφείλεται κυρίως στην κατακρήμνιση της ένωσης MgZn<sub>2</sub>. Προσθήκη χαλκού, σε ποσοστό μικρότερο του 2%, προκαλεί σκλήρυνση λόγω της δημιουργίας στερεού διαλύματος και κατακρήμνισης. Ωστόσο, η παρουσία χαλκού, μειώνει την εμβαπτότητα, τη συγκολλησιμότητα και τη δυσθραυστότητα των κραμάτων Al – Mg – Zn. Παρουσία χρωμίου, σε ποσοστό μικρότερο του 0,3% βελτιώνει την αντοχή των κραμάτων αυτών σε διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση, ενώ η παρουσία Zn βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα τους.

Τα κράματα της σειράς 7000 υποβάλλονται εύκολα σε θερμικές κατεργασίες, λόγω του μεγάλου θερμοκρασιακού εύρους της περιοχής ομογενοποίησης τους, της καλής τους εμβαπτότητας, ενίοτε η βαφή πραγματοποιείται στον αέρα, και των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών γήρανσης, από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στους 160 °C. Λόγω του συνόλου των ιδιοτήτων αυτών, τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς 7000 δεν αλλοιώνονται κατά τη συγκόλληση τους. Ωστόσο, η συγκολλησιμότητα τους παραμένει μέτρια. Το κυριότερο μειονέκτημα των κραμάτων της σειράς αυτής είναι η μειωμένη αντοχή εν θερμώ, έτσι, η θερμοκρασία χρήσης τους παραμένει χαμηλή (έως 120 °C).

Τα κράματα του αλουμινίου της σειράς 7000 χρησιμοποιούνται, κυρίως, στην κατασκευή δομικών στοιχείων αεροσκαφών και τμημάτων κατασκευών που υφίστανται ισχυρή καταπόνηση, όπου απαιτούνται υψηλή μηχανική αντοχή και αντοχή σε διάβρωση.

### 3.1.2. Κράματα Χύτευσης του Αλουμινίου

Η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά ενός κράματος χύτευσης διαφέρουν από εκείνα των κραμάτων αλουμινίου διαμόρφωσης. Τα χυτά εξαρτήματα έχουν οριστική και καθορισμένη μορφή και δεν υφίστανται πλέον καμία πλαστική παραμόρφωση. Τα ειδικά χαρακτηριστικά που πρέπει να εξασφαλίζει ένα κράμα χύτευσης αλουμινίου είναι :

- ✓ η καλή χυτευσιμότητα
- ✓ η απουσία ρωγματώσεων
- ✓ η ομοιογενής κατανομή του πορώδους
- ✓ η παραγωγή λεπτόκοκκων χυτών αντικειμένων
- ✓ η καλή αντοχή εν θερμώ
- ✓ η καλή αντοχή σε διάβρωση

Οι χαμηλές θερμοκρασίες τήξης των κραμάτων του αλουμινίου, επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση των καλουπιών χύτευσης που πραγματοποιείται με τρεις τρόπους:

- ◆ Χύτευση σε άμμο : η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την παραγωγή μικρής ποσότητας όμοιων χυτών αντικειμένων, πολύπλοκων εξαρτημάτων ή αντικειμένων ιδιαίτερης δομής
- ◆ Χύτευση σε μεταλλικό τύπο : το κράμα χυτεύεται με τη βοήθεια της βαρύτητας ή χαμηλής πίεσης. Με τη μέθοδο αυτή τα παραγόμενα χυτά παρουσιάζουν μικρότερο πορώδες σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο χύτευσης. Ωστόσο η μέθοδος αντενδεικνύεται στην περίπτωση κατασκευής εξαρτημάτων, εργαλείων ή αντικειμένων πολύπλοκης γεωμετρία
- ◆ Χύτευση υπό πίεση: Με τη μέθοδο αυτή λαμβάνονται λεπτόκοκκα χυτά με λείες επιφάνειες και γεωμετρική ακρίβεια

Τα κράματα χύτευσης περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες στοιχείων κραμάτωσης σε σχέση με τα κράματα αλουμινίου διαμόρφωσης. Τα στοιχεία αυτά σχηματίζουν ευτηκτικά, μειώνοντας έτσι τις θερμοκρασίες χύτευσης. Παρακάτω παρατίθενται τα κυριότερα κράματα χύτευσης αλουμινίου :

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 2XX.X

Πρόκειται για κράματα αλουμινίου-χαλκού τα οποία χρησιμοποιούνται πλέον σπάνια λόγω της χαμηλής μηχανικής τους αντοχής και της κακής αντοχής σε διάβρωση.

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 3XX.X

Πρόκειται για κράματα αλουμινίου-πυριτίου, κράματα αλουμινίου-πυριτίου-μαγνησίου και κράματα αλουμινίου-πυριτίου-χαλκού. Αυτά περιέχουν πυρίτιο σε ποσοστό 5 έως 20%, αν και τις περισσότερες φορές προτιμώνται αυτά που έχουν ευτηκτική ή υποευτηκτική σύσταση. Τα κράματα αυτά χυτεύονται εύκολα και έχουν καλή αντοχή σε διάβρωση. Προσθήκη μαγνησίου σε ποσοστό 0.3 έως 1% ή χαλκού σε ποσοστό 3-5% βελτιώνει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου-πυριτίου. Κράματα αλουμινίου-πυριτίου-χαλκού, η περιεκτικότητα των οποίων σε πυρίτιο είναι κοντινή της ευτηκτικής σύστασης (12.7% Si), παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά εν θερμώ και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εμβόλων στις μηχανές εσωτερικής καύσης.

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 5XX.X

Πρόκειται για κράματα αλουμινίου-μαγνησίου. Το κυριότερο πλεονέκτημά τους είναι η εξαιρετική τους αντοχή σε θαλάσσιο περιβάλλον- στην ατμόσφαιρα ή μέσα στο θαλασσινό νερό. Έχουν καλή κατεργασιμότητα, αλλά μέτρια χυτευσιμότητα.

- Σειρά κραμάτων αλουμινίου 7XX.X

Πρόκειται για κράματα αλουμινίου-ψευδαργύρου και κράματα αλουμινίου- ψευδαργύρου-μαγνησίου. Αυτά χυτεύονται δύσκολα, αλλά έχουν καλή αντοχή σε διάβρωση. Επιπλέον, υφίστανται γήρανση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, γι' αυτό και οι μηχανικές τους ιδιότητες λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή τους μετά από ένα μέχρι δύο μήνες. Η ταχύτητα απόψυξης λίγο επηρεάζει τις μηχανικές τους ιδιότητες, οι οποίες παραμένουν σταθερές σε όλο το πάχος των χυτών αντικειμένων.

### 3.2. Αντοχή του Αλουμινίου στις εξωτερικές συνθήκες

Το αλουμίνιο δεν σκουριάζει, αλλά έχοντας μεγάλη χημική συνάφεια προς το οξυγόνο, ενώνεται άμεσα με αυτό -στο ελεύθερο περιβάλλον- παράγοντας στρώμα τριοξειδίου του αλουμινίου στην ελεύθερη επιφάνεια του μετάλλου. Το στρώμα αυτό, πάχους ελάχιστου (μεταξύ 50 και 100 Angstrom) είναι φυσικοχημικά ανθεκτικό σε ένα ευρύ φάσμα δραστηκότητας περιβάλλοντος. Η αντοχή του επιφανειακού στρώματος οξειδίου, είναι πολύ καλή για περιβάλλοντα με pH μεταξύ 4 και 8, δηλαδή στο μέσο όξινο περιβάλλον, όπου και η ανθεκτικότητα στη διάβρωση του μετάλλου είναι πολύ καλή. Κάτω από pH 4 και πάνω από 8, η μεν όξινη αντίδραση οδηγεί σε  $Al^{3+}$  ιόντα, ενώ η αλκαλική σχηματίζει  $AlO_2$ . Το υγρό περιβάλλον θεωρείται εξαιρετικά υποβοηθητικό για τη λειτουργία της χημείας της διάβρωσης. Οι συνηθέστεροι τύποι διάβρωσης του αλουμινίου είναι:

- Ομοιόμορφη προσβολή: Συνήθης μορφή διάβρωσης, όπου όλη η επιφάνεια του μετάλλου προσβάλλεται στον ίδιο βαθμό, π.χ. από χλωριόντα. Η ομοιόμορφη προσβολή, είναι δυνατόν να αποφευχθεί με διάφορες μεθόδους, από τις οποίες οι πιο σημαντικές είναι η ανοδίωση, η χρωμάτωση και η καθοδική προστασία (π.χ. ανόδιο ψευδάργυρο).
- Γαλβανική διάβρωση: Αυτή η μορφή προσβολής συμβαίνει όταν δυο αγωγοί διαφορετικής χημικής σύνθεσης (και σε απόσταση μεταξύ τους στον πίνακα ηλεκτροθετικότητας) ενώνονται ευρισκόμενοι μέσα σε αγωγίμο υγρό φορέα. Είναι από τις πιο δραστικές μορφές διάβρωσης, διότι επικεντρώνεται πάνω στο λιγότερο "ευγενές" μέταλλο από τα δύο σε επαφή, στην περιοχή και μόνο της διεπαφής των μετάλλων. Η κόλληση δυο κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο brazing (ή και άλλο τύπο συγκόλλησης) παρέχει έδαφος για ανάπτυξη γαλβανικής διάβρωσης. Όταν το αλουμίνιο

είναι σε επαφή με χαλκό, μπρούτζο ή σίδηρο σε υγρό περιβάλλον, συμβαίνει γαλβανική διάβρωση σε διάβρωση σε διάφορους βαθμούς. Ακολουθεί ο πίνακας 3.4 με τη σειρά ηλεκτροθετικότητας, ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατόν η επαφή δυο μετάλλων με σημαντική διαφορά .

**Πίνακας 3.4:** Σειρά Ηλεκτροθετικότητας

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

- Διάβρωση κοιλοτήτων (Crevice corrosion): Έντονη τοπική διάβρωση, κυμαινόμενη από μικρές κοιλοότητες έως σημαντική έκταση. Οι αιτίες δημιουργίας αυτής της διάβρωσης είναι πολλαπλές, με κυρίαρχη τη δημιουργία οξέων μέσα σε κοιλοότητες (ίσως και τυπικής γεωμετρίας της αλουμινοκατασκευής), που όμως δεν αερίζονται, ενώ παράλληλα συσσωρεύουν και αρκετή βρωμιά. Το περιβάλλον υγρασίας θεωρείται και εδώ απαραίτητο για την ανάπτυξη και διάδοση της διάβρωσης.
  
- Μικροδιάβρωση (Pitting): Η μικροδιάβρωση είναι μία μορφή εντοπισμένης διάβρωσης, που εμφανίζεται σαν νέφος πολλών μικρών σκουρόχρωμων στιγμάτων στην επιφάνεια. Τα στίγματα αυτά έχουν μικρές εσοχές, γεμάτες με οξείδια. Τα τοιχώματα των εσοχών σε μεγέθυνση μικροσκοπίου φαίνονται να έχουν ανώμαλη επιφάνεια. Μερικές φορές η μικροδιάβρωση (pitting) οδηγεί σε μορφές διάβρωσης κοιλοτήτων (crevice corrosion). Η υγρασία ή η συνεχής επαφή με επιθετικό υγρό περιβάλλον (NaCl) καθώς και κάποιοι μικροτραυματισμοί της επιφάνειας, καταλήγουν στη μικροδιάβρωση. Υπενθυμίζεται ότι η ελεύθερη επιφάνεια του αλουμινίου προστατεύεται γενικά σε ικανοποιητικό βαθμό από την ανάπτυξη του λεπτού στρώματος οξειδίου του αλουμινίου. Η παθητική αυτή προστασία λειτουργεί καλά σε περιβάλλον pH μεταξύ 4 και 8. Εάν για κάποιους λόγους, σε κάποια σημεία της επιφάνειας, ο βαθμός προστασίας είναι μικρότερος από την υπόλοιπη επιφάνεια, τότε επιθετικά ιόντα π.χ. χλωριόντα προσβάλλουν αυτά τα σημεία δημιουργώντας τις μικρές εσοχές. Στα τοιχώματα των εσοχών το μέταλλο αποσυντίθεται γρήγορα, προκαλώντας νέα εισροή χλωριόντων στην εσοχή. Έτσι, παρουσιάζεται υψηλή συγκέντρωση χλωριδίων αλουμινίου, με παράλληλη αύξηση ιόντων υδρογόνου λόγω υδρολύσεως. Το pitting είναι ίσως η συνηθέστερη μορφή οξειδωσης αλουμινίου.
  
- Περικρυσταλλική διάβρωση (Intergranular corrosion): Συμβαίνει στα όρια των κόκκων του μετάλλου και οφείλεται στην ηλεκτροχημική προσβολή σωματιδίων κατακρήμνισεων (precipitations) στα όρια των κόκκων. Τα σωματίδια αυτά (χημικές ενώσεις αλουμινίου με μέταλλα) μπορεί να συμπεριφέροντε είτε ανοδικά ως προς τους τριγύρω κόκκους μετάλλου, είτε καθοδικά. Στην περίπτωση της ανοδικής συμπεριφοράς, όπως π.χ. με κατακρήμνιση  $Mg_5Al_8$ , ακολουθεί γρήγορη προσβολή της ανοδικής κατακρήμνισης, ενώ με precipitation  $CuAl_2$  (καθοδικό ως προς περιβάλλοντα χώρο) έχουμε διάβρωση στους γειτονικούς κόκκους. Το πόσο ευαίσθητο είναι ένα κράμα αλουμινίου σε περικρυσταλλική διάβρωση, εξαρτάται από την ποιότητα της κρυσταλλικής δομής του, που με τη σειρά της διαμορφώνεται από τη μεταλλουργική και θερμική ιστορία του μετάλλου. Κατάλληλες διεργασίες προστατεύουν το μέταλλο αυτού του είδους τη διάβρωση, που πλήττει συνήθως κράματα Al - Mg - Cu.

- Τριχοειδής διάβρωση (Filiform corrosion): Έχει τριχοειδή μορφή και εμφανίζεται είτε κάτω από το πολύ λεπτό στρώμα οξειδίου παθητικής επιφανειακής αυτοπροστασίας, είτε κάτω από στρώμα επιφανειακής βαφής. Κυριότερα αίτια είναι η επιθετικότητα του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την ελλιπή προστασία (π.χ. χρωμάτωσης - προεπεξεργασίας). Η ζημία είναι κυρίως αισθητική (π.χ. στην περίπτωση μεγάλων επιφανειών εξωτερικών επικαλύψεων).
- Διάβρωση απολέπισης (exfoliation corrosion): Συμβαίνει συνήθως στα θερμοσκληρυνόμενα κράματα Al - Mg - Cu και Al- Zn- Mg-Cu. Αναπτύσσεται κατά μήκος των ορίων των κόκκων (μπορεί να θεωρηθεί είδος περικρυσταλλικής διάβρωσης) σε κάποιο μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια του μετάλλου, προκαλώντας αποκόλληση - απολέπιση φυλλαδίων μετάλλου. Συνδέεται άμεσα με "κατευθυντικότητα" της κοκκομετρίας του κράματος. Όταν εφαρμόζονται διεργασίες παραγωγής που οδηγούν σε ισοτροπικό μέταλλο, τότε ο κίνδυνος ανάπτυξης exfoliation corrosion απομακρύνεται σημαντικά.

Το όριο κόπωσης του μετάλλου είναι δυνατόν να παρουσιάσει σημαντική πτώση με φαινόμενα διαβρώσεως, γεγονός που πρέπει να προϋπολογίζεται για την περίπτωση κυκλικών (επαναλαμβανόμενων) φορτίσεων σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα. Για να βελτιωθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά (αντοχή σε θραύση, όριο διαρροής, επιμήκυνση ) το αλουμίνιο κραματοποιείται με άλλα στοιχεία . Η κραματοποίηση επηρεάζει άμεσα την αντοχή του κράματος στη διάβρωση.

### 3.3. Τύποι και Θέσεις Συγκόλλησης

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι συγκόλλησης είναι:

- Συγκόλληση άκρο με άκρο (μετωπική).
- Συγκόλληση με λωρίδες (νάρθηκες).
- Συγκόλληση κατά παράθεση.
- Συγκόλληση με επικάλυψη
- Συγκόλληση σταυρωτή.
- Εσωραφές
- Εξωραφές



**Μετωπική συγκόλληση**

Οι μετωπικές συνδέσεις πλέον δεν χρησιμοποιούνται (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 2000) γιατί έχουν σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της πλαστικότητας των μετάλλων.

**Συγκόλληση με επικάλυψη**

Η συγκόλληση με επικάλυψη εκτελείται μόνο από τη μια πλευρά της ραφής με δυο ραφές μήκους  $5d$  ( $d$ = διάμετρος οπλισμού). Αυτό φυσικά αλλάζει ανάλογα το μέγεθος της ραφής.

**Συγκόλληση κατά παράθεση**

Ισχύει το ίδιο με την συγκόλληση με επικάλυψη με τη μόνη διαφορά ότι το ελάχιστο μέγεθος ραφής συγκόλλησης είναι  $2*4d$  και διάκενο τουλάχιστον  $2d$ .

**Συγκόλληση με λωρίδες**

Η συγκόλληση με λωρίδες χρησιμοποιείται πιο συχνά σε συγκόλληση οπλισμού χάλυβα η συνολική διατομή των οποίων πρέπει να είναι ίση με τη διατομή των ράβδων που συνδέονται. Η συγκόλληση εκτελείται μόνο από τη μια πλευρά με τέσσερις ραφές μήκους  $4d$  που χωρίζονται από διάκενο τουλάχιστον  $2d$ .

**Σταυρωτές συγκολλήσεις**

Στις σταυρωτές συγκολλήσεις σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά δεδομένα πρέπει να ισχύει  $\geq 0.57 d_{max}$  ( $d$ :ονομαστική διάμετρος των προς συγκόλληση ράβδων).

**Εσωραφές**

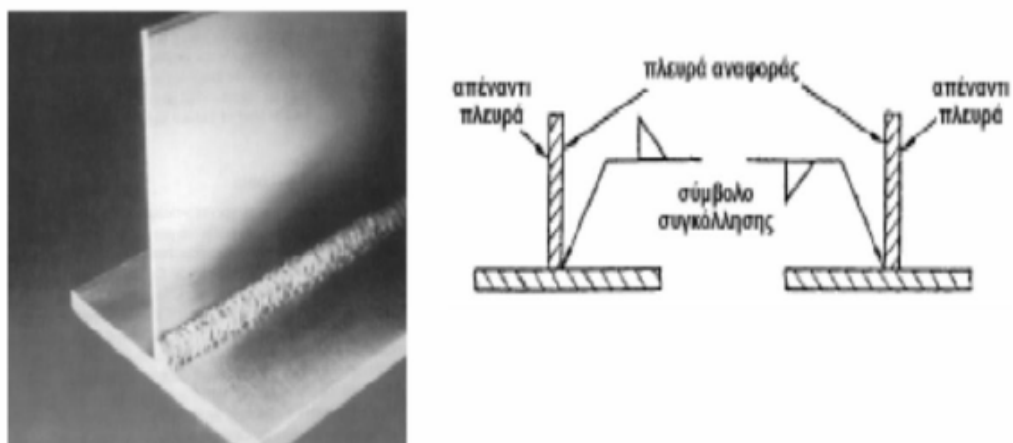
Ως εσωραφές ορίζονται οι ραφές στις οποίες τόσο η συγκόλληση όσο και τα προς συγκόλληση τεμάχια βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

**Εξωραφές**

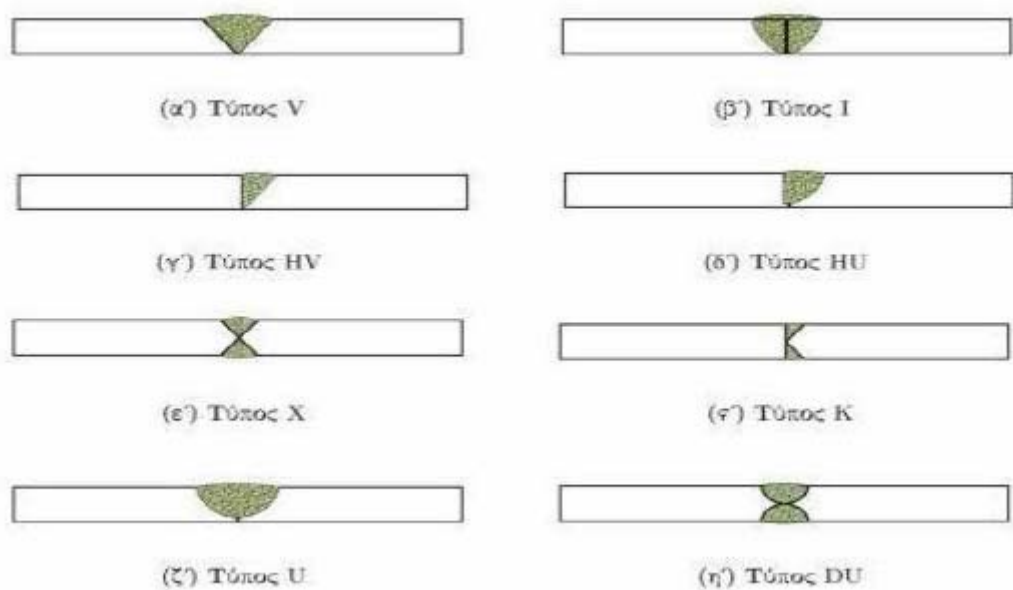
Εξωραφές ορίζονται οι ραφές εκείνες στις οποίες τα προς συγκόλληση τεμάχια βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο ή συναντώνται υπό γωνία.

Οι συνηθισμένες συγκολλήσεις, που γίνονται με ηλεκτροσυγκόλληση, είναι οι μετωπικές ραφές και οι εξωραφές. Η προετοιμασία που πρέπει να γίνει στα ελάσματα πριν την ηλεκτροσυγκόλληση διαφέρει ανάμεσα στα δύο είδη, ενώ εξαρτάται και από τα πάχη των ελασμάτων. Οι εξωραφές είναι συγκολλήσεις ελασμάτων κάθετα μεταξύ τους σε αντίθεση με τις μετωπικές ραφές, που, όπως το λέει και η λέξη, είναι συγκολλήσεις κατά πρόσωπο. Το αρνητικό στις μετωπικές είναι ότι μειώνουν σημαντικά την πλαστικότητα των μετάλλων.

Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται μία εξωραφή, καθώς και ο τρόπος συμβολισμού της στο μηχανολογικό σχέδιο. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το σύμβολο της συγκόλλησης τοποθετείται με το βέλος να δείχνει τη θέση συγκόλλησης. Σε περίπτωση που η συγκόλληση είναι από την απέναντι πλευρά, από αυτή που δείχνει το βέλος, το σύμβολο του είδους της συγκόλλησης τοποθετείται αντεστραμμένο, όπως φαίνεται στη δεύτερη περίπτωση εξωραφής του σχήματος.

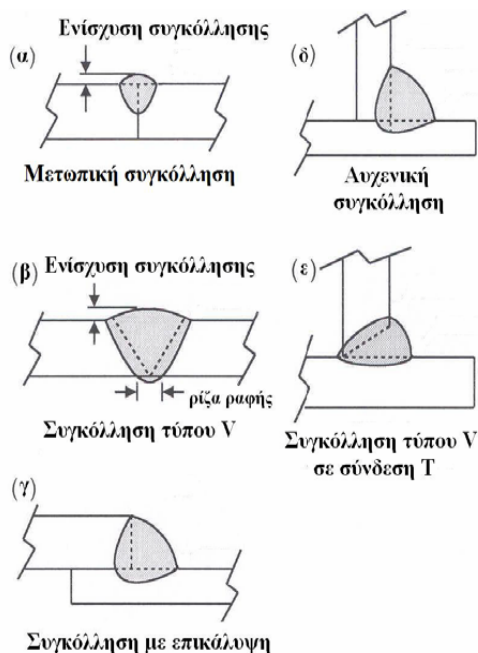


Σχήμα 3.4: Κάθετη Συγκόλληση ελασμάτων με εξωραφή

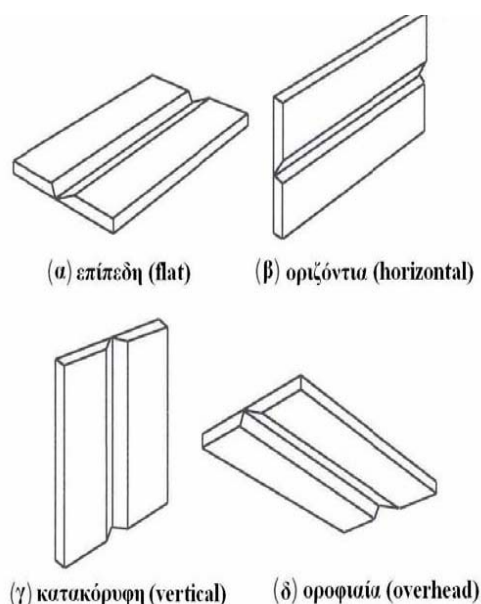


Σχήμα 3.5: Τύποι συγκόλλησης με εσωραφή

Το σχήμα 3.6 δείχνει όλους τους πιθανούς τύπους σύνδεσης μεταξύ ελασμάτων. Τέλος, το σχήμα 3.7 δείχνει τις 4 πιθανές θέσεις συγκόλλησης.



Σχήμα 3.6: Τύποι σύνδεσης μεταξύ ελασμάτων



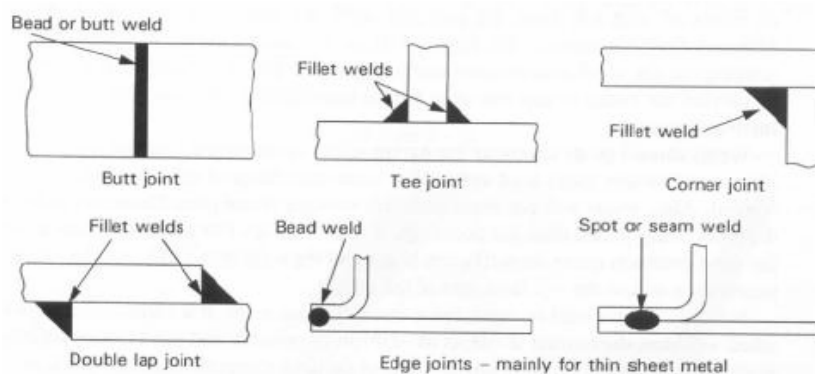
Σχήμα 3.7: Οι τέσσερις θέσεις συγκόλλησης

### 3.4. Γεωμετρία Σύνδεσης

Διακρίνονται πέντε βασικοί γεωμετρικοί τύποι σύνδεσης (joint types) μεταξύ δύο μελών.

- Σύνδεση κατά συμβολή (butt joint)
- Γωνιακή σύνδεση (corner joint)
- Σύνδεση Τα (T joint)
- Σύνδεση με επικάλυψη (lap joint)
- Σύνδεση κατά ακμή (edge joint)

Κάθε ένας από το παραπάνω γεωμετρικούς τύπους σύνδεσης μπορεί προφανώς να υλοποιηθεί με διάφορες μεθόδους συγκόλλησης.



Σχήμα 3.8: Γεωμετρίες Συγκόλλησης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4<sup>ο</sup>

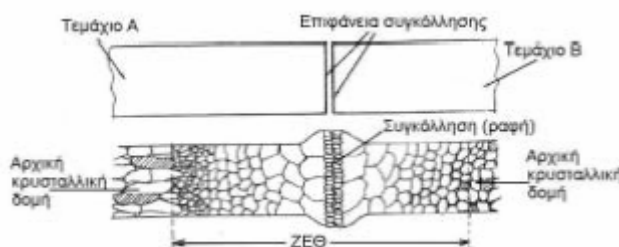
## Τεχνικές Συγκολλήσεων

## 4.1. Συγκολλήσεις

Με τον όρο **συγκόλληση** γίνεται αναφορά στην τοπική σύμφυση μετάλλων. Η σύμφυση αυτή δύο ή περισσότερων μεταλλικών κομματιών, ομοειδή ή και ετεροειδή υλικά, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια της θέρμανσης ή της πίεσης, ή ακόμη, και με ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο, με ή χωρίς προσθήκη υλικού παρόμοιας σύνθεσης. Κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης δημιουργείται ανάμεσα στα προς συγκόλληση μεταλλικά κομμάτια μία κρυσταλλική σύνδεση. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται η έννοια της κρυσταλλικής σύνδεσης δύο μεταλλικών κομματιών κατά τη συγκόλληση καθώς και η λεγομένη ζώνη συγκόλλησης ή θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη που συμβολίζεται ως ΖΕΘ.

Ζώνη συγκόλλησης ή ΖΕΘ ονομάζεται το τμήμα που περιλαμβάνει τη συγκόλληση (ραφή) μαζί με τις γειτονικές περιοχές των συνδεόμενων κομματιών, οι οποίες δέχονται την επίδραση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά τη συγκόλληση.

Η κρυσταλλική δομή των δυο κομματιών στη ΖΕΘ, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1, έχει αλλάξει. Το είδος και η έκταση της αλλαγής στην εσωτερική δομή των μετάλλων, στην περιοχή της ζώνης συγκόλλησης, εξαρτάται από το είδος των μετάλλων και από τη θερμοκρασία συγκόλλησης.



**Σχήμα 4.1:** Σχηματική παράσταση της κρυσταλλικής δομής στη ζώνη συγκόλλησης δύο μεταλλικών τεμαχίων (ΖΕΘ)

## 4.2. 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 διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Συγκολλήσεις Τήξης
- Συγκολλήσεις Πίεσης

Όλες οι κατηγορίες των συγκολλήσεων παρουσιάζονται στο σχήμα 4.2.

### 4.2.1. Συγκολλήσεις Τήξης

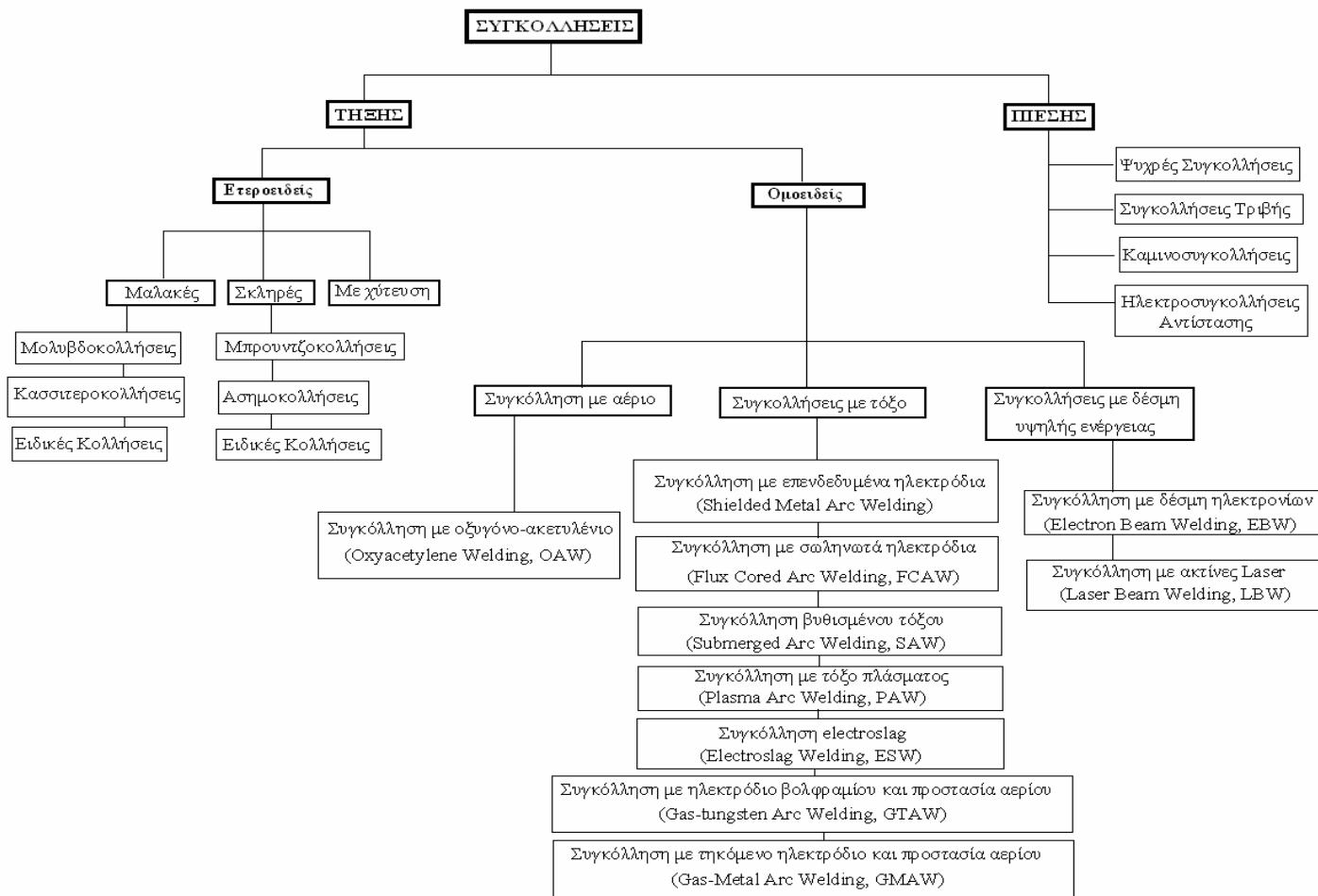
Οι συγκολλήσεις τήξης συνοδεύονται από το φαινόμενο της τήξης των μετάλλων στο σημείο συγκόλλησής τους. Η θερμοκρασία αυξάνεται μέχρι του σημείου τήξης των μετάλλων στα σημεία συγκόλλησής τους, με συνέπεια τα μόρια του ενός μετάλλου να εισχωρούν στα μόρια του άλλου και έτσι να πραγματοποιείται η σύνδεσή τους, μετά την επαναφορά τους στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η συγκόλληση τήξης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Με την τήξη και των δύο μεταλλικών κομματιών στη θέση της συγκόλλησης. Σε αυτήν την περίπτωση τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια θα πρέπει να είναι από το ίδιο μέταλλο ή από κράμα της ίδιας ή παρόμοιας χημικής σύστασης, όπως στην εικόνα Α, του σχήματος 4.3.
- Με την τήξη των δύο μεταλλικών κομματιών στη θέση συγκόλλησης και την ταυτόχρονη τήξη ενός τρίτου υλικού που ονομάζεται συγκολλητικό ή υλικό εναπόθεσης. Η κόλληση έχει την ίδια ή παρόμοια χημική σύσταση με τα κομμάτια που πρόκειται να συγκολληθούν.
- Με τήξη μόνο της κόλλησης. Η κόλληση είναι από υλικό εντελώς διαφορετικό από τα υλικά των μεταλλικών κομματιών που θα συγκολληθούν και έχει πάντα θερμοκρασία τήξης μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης των συγκολλούμενων κομματιών. Τα κομμάτια που θα συγκολληθούν με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να είναι από το ίδιο είδος μετάλλου ή από διαφορετικό μέταλλο.

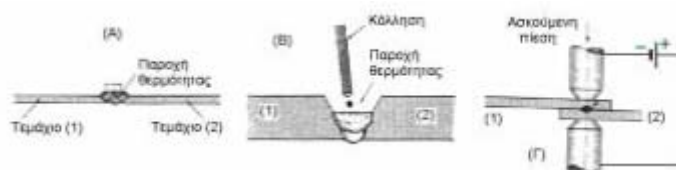
Οι συγκολλήσεις τήξης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της κόλλησης που χρησιμοποιείται:

- Τις ομοειδείς κολλήσεις
- Τις ετεροειδείς κολλήσεις

Η μέθοδος TIG κατατάσσεται στις συγκολλήσεις τήξης (ομοειδής - συγκολλήσεις με τόξο).



Σχήμα 4.2: Κατηγορίες Συγκολλήσεων



**Σχήμα 4.3:** Τρόποι συγκόλλησης μεταλλικών κομματιών: (Α) Με τήξη των σημείων συγκόλλησης των μεταλλικών τεμαχίων (Β) Με πρόσθετο συγκολλητικό υλικό (Γ) Με θέρμανση και πίεση

### Ομοειδείς Συγκολλήσεις

Ομοειδείς ονομάζονται οι συγκολλήσεις τήξης στις οποίες τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια είναι από το ίδιο ή από παρόμοιο υλικό, δηλαδή το υλικό εναπόθεσης της ίδιας ή παρόμοιας σύστασης με τη βάση. Στις ομοειδείς συγκολλήσεις περιλαμβάνονται και οι συγκολλήσεις τήξης χωρίς τη χρήση κόλλησης, εφόσον τα συγκολλούμενα τεμάχια είναι από το ίδιο υλικό ή από κράμα της ίδιας χημικής σύστασης. Για παράδειγμα, η συγκόλληση δύο τεμαχίων από μαλακό χάλυβα είναι μία ομοειδής συγκόλληση, γιατί τα προς συγκόλληση τεμάχια και η κόλληση είναι της ίδιας χημικής σύστασης

Στις ομοειδείς συγκολλήσεις, όταν στερεοποιηθούν τα τηχθέντα σημεία των μετάλλων (κομματιών και κόλλησης), πραγματοποιείται η εσωτερική κρυσταλλική σύνδεσή τους και, έτσι, η κόλληση και τα προς συγκόλληση τεμάχια αποτελούν πλέον μία ισχυρή σύνδεση. Γίνονται δηλαδή «ένα σώμα». Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τις αυτογενείς συγκολλήσεις είναι συνήθως υψηλές και εξαρτώνται από το είδος των μετάλλων που θα συγκολληθούν.

Οι ομοειδείς συγκολλήσεις χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- **Συγκόλληση με αέριο**

*Συγκόλληση με οξυγόνο-ακετυλένιο (Oxyacetylene Welding, OAW)*

Στις συγκολλήσεις οξυγόνου, η θερμότητα που χρειάζεται για την τήξη και τη συνένωση του μετάλλου με την κόλληση προέρχεται από την καύση ακετυλενίου, υδρογόνου ή αερίων υδρογονανθράκων. Το καύσιμο αέριο αναμειγνύεται στις κατάλληλες αναλογίες με το οξυγόνο και αναφλέγεται στο στόμιο κατάλληλου ακροφυσίου. Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο αέριο είναι το ακετυλένιο το οποίο παράγει φλόγα θερμοκρασίας έως 2800 °C. Το αέριο αυτό με κατάλληλη ρύθμιση των αναλογιών με το οξυγόνο έχει τη δυνατότητα παραγωγής αναγωγικής ή οξειδωτικής φλόγας. Συνήθως η χρησιμοποιούμενη φλόγα συγκόλλησης είναι ουδέτερη ή ελαφρά αναγωγική, για τον περιορισμό της οξείδωσης του μετάλλου. Ειδικά για τις συγκολλήσεις ορειχάλκου χρησιμοποιείται η οξειδωτική φλόγα. Η συγκόλληση με οξυγόνο χρησιμοποιεί κυρίως γυμνά σύρματα

κόλλησης ιδίως για τις συγκολλήσεις των μαλακών χαλύβων. Ειδικά συλλιπάσματα χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση του ανοξείδωτου χάλυβα και των μη σιδηρούχων μετάλλων εκτός του χαλκού. Πολλά από τα συλλιπάσματα που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση του αλουμινίου και του μαγνησίου περιέχουν φθορίδια και απαιτούν την καλή εξαέρωση του χώρου γιατί είναι δηλητηριώδη. Κατά τη συγκόλληση χρησιμοποιούνται δύο είδη κατεύθυνσης της φλόγας, προς το διάκενο ή προς τη ραφή. Στη πρώτη περίπτωση η φλόγα είναι τοποθετημένη υπό γωνία 45° περίπου πάνω από τη ραφή, ενώ αντίστοιχα το σύρμα της κόλλησης βρίσκεται πάνω από το διάκενο. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί μικρότερη ποσότητα λιωμένου μετάλλου και παράγει ομαλότερη κόλληση. Αντίθετα η δεύτερη μέθοδος με τη φλόγα κατευθυνόμενη προς τη ραφή δημιουργεί μεγαλύτερη ποσότητα λιωμένου μετάλλου και χρησιμοποιείται για την κόλληση ελασμάτων πάχους μεγαλύτερου από 3 mm. Η συγκόλληση οξυγόνου χρησιμοποιείται και για κολλήσεις με συμπίεση των κομματιών. Με τη μέθοδο αυτή, τα κομμάτια που πρόκειται να συγκολληθούν θερμαίνονται με τη φλόγα οξυγόνου και στη συνέχεια συμπιέζονται με μεγάλη δύναμη. Ο συνδυασμός συμπίεσης και υψηλής θερμοκρασίας δημιουργεί ικανοποιητικές συγκολλήσεις μεγάλων κομματιών, αν και παρουσιάζει το μειονέκτημα της μεγάλης παραμόρφωσης των κομματιών στην περιοχή της ραφής.

- **Συγκόλληση με τόξο**

*Συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal Arc Welding ή MMA)*

*Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (Gas-Metal Arc Welding, GMAW ή MIG / MAG)*

Αυτού του είδους η συγκόλληση γίνεται με συμπαγές σύρμα κάτω από προστατευτική ατμόσφαιρα κάποιου αερίου. Όταν το αέριο είναι αδρανές (π.χ. Ήλιο, Αργό), τότε η διαδικασία αυτή είναι γνωστή με την ονομασία MIG. Όταν το αέριο είναι δραστικό (π.χ. CO<sub>2</sub>, άζωτο, μείγμα αργού και οξυγόνου κτλ.), τότε η διαδικασία ονομάζεται MAG. Κατά τη συγκόλληση MIG/MAG, πρέπει να υπάρχει σταθερή τάση του τόξου ηλεκτροσυγκόλλησης. Αυτή είναι η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της άκρης του ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης. Κατά συνέπεια, η μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή τάση τόξου, σε αντίθεση με τη MMA, όπου το ζητούμενο είναι η σταθερή ένταση. π.χ. ρυθμίζουμε ότι η ηλεκτροσυγκόλληση θα γίνει με τάση 22 V.

*Συγκόλληση με σωληνωτά ηλεκτρόδια (Flux Cored Arc Welding, FCAW)*

*Συγκόλληση Βυθισμένου Τόξου (Submerged Arc Welding, SAW)*

*Συγκόλληση με τόξο πλάσματος (Plasma Arc Welding, PAW)*



Με τον όρο πλάσμα εννοούμε ιονισμένα αέρια, σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το τόξο ηλεκτροσυγκόλλησης είναι μία στήλη πλάσματος. Στην PAW το πλάσμα του τόξου λαμβάνει τη μορφή μιας πολύ στενής δέσμης (πλασματική δέσμη). Ενώ το κανονικό τόξο καταλήγει σε περιοχή με διάμετρο 5-10 mm, το τόξο στην PAW καταλήγει σε διάμετρο μόλις 1-2 mm, αναπτύσσοντας πολύ υψηλή θερμοκρασία. Ένα μέρος του προστατευτικού αερίου είναι σε μορφή πλάσματος και προστατεύει την πλασματική δέσμη. Γύρω από αυτό υπάρχει αέριο στην κανονική μορφή που προστατεύει το λουτρό συγκόλλησης. Το μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο είναι εσωτερικά της τσιμπιδας (δεν προεξέχει).

*Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (Gas-tungsten Arc Welding, GTAW) – (περιγραφή της οποίας θα δοθεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο).*

- **Συγκόλληση με δέσμη υψηλής ενέργειας**

*Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων (Electron Beam Welding, EBW)*

Οι συγκολλήσεις με δέσμη ηλεκτρονίων, βασίζονται στο βομβαρδισμό των προς συγκόλληση επιφανειών των μετάλλων με δέσμη ηλεκτρονίων μεγάλης ταχύτητας. Η διαδικασία της συγκόλλησης πραγματοποιείται με ειδικές μηχανές, οι οποίες έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν και να συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων (από την κάθοδο), να τα επιταχύνουν μέσα από μια μικρή τρύπα της ανόδου, ώστε να αποκτούν μεγάλη ταχύτητα και να τα επικεντρώνουν (με ηλεκτρομαγνήτες) στα σημεία συγκόλλησης. Όλες οι πιο πάνω φάσεις συντελούνται σε ειδικό χώρο της μηχανής υπό κενό. Έτσι όλη η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία θερμαίνει τα προς συγκόλληση μέταλλα, μέχρι του σημείου σύντηξής τους, με συνέπεια τη συγκόλλησή τους. Για την επιτάχυνση της δέσμης των ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται ρυθμιζόμενη τάση, η τιμή της οποίας κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100 kV, ανάλογα με την απαιτούμενη για κάθε συγκόλληση επιτάχυνση. Η ηλεκτρική τάση επηρεάζει το μέγεθος της επιτάχυνσης, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την ανάπτυξη της θερμότητας, ενώ η ένταση του ρεύματος έχει σχέση με τη διεύθυνση της συγκόλλησης. Το μεγάλο πλεονέκτημα των συγκολλήσεων με δέσμη ηλεκτρονίων είναι η εξαιρετικά μεγάλη διεύθυνση της δέσμης ηλεκτρονίων στα προς συγκόλληση μέταλλα, αλλά σε πάρα πολύ μικρή έκταση (μικρή διάμετρος των σημείων συγκόλλησης). Έτσι η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΖΕΘ) περιορίζεται σημαντικά, με όλα τα θετικά αποτελέσματα που

προκύπτουν στην κρυσταλλική δομή των γειτονικών περιοχών της συγκόλλησης. Με τη μέθοδο της δέσμης ηλεκτρονίων μπορούν να συγκολληθούν σχεδόν όλα τα μέταλλα, από τα πιο δύστηκτα όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες κτλ., μέχρι και ανόμοια μεταλλικά τεμάχια. Όμως η χρήση των συσκευών συγκόλλησης με δέσμη ηλεκτρονίων είναι πολύ περιορισμένη, γιατί το κόστος αγοράς τους είναι μεγάλο και η χρήση τους απαιτεί πολύ καλή εκπαίδευση.

#### *Συγκόλληση με ακτίνες Laser (Laser Beam Welding, LBW)*

Η συγκόλληση με ακτίνες Laser (λείζερ) είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια βομβαρδίζονται στα σημεία συγκόλλησής τους από ισχυρή δέσμη ακτινών φωτός (γνωστές ως ακτίνες λείζερ), με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται σε αυτά τα σημεία υψηλή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή φτάνει μέχρι του σημείου σύντηξης των μετάλλων στα σημεία συγκόλλησης. Έτσι προκύπτει μια ισχυρή συγκόλληση των δύο μεταλλικών τεμαχίων που μοιάζει με τη συγκόλληση της ηλεκτροπόνητας. Οι μηχανές συγκόλλησης με laser μπορούν να πραγματοποιήσουν συγκολλήσεις πολύ μικρών διαστάσεων της τάξης των 0,076 mm (διάμετρος). Επίσης, οι ίδιες μηχανές μπορούν να πραγματοποιήσουν και κοπή μετάλλων με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Λόγω όμως του μεγάλου κόστους αγοράς των μηχανών συγκόλλησης laser, η χρήση τους περιορίζεται σε μεγάλα και καλά οργανωμένα μηχανουργεία ή μεγάλες βιομηχανίες. Στην αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιούνται συσκευές laser ισχύος μέχρι 6 kW, ενώ μεγαλύτερες συσκευές της τάξης των 10 kW, κατασκευάζονται μόνο για ερευνητικούς σκοπούς. Οι συσκευές laser μπορούν να συγκολλήσουν ελάσματα από χάλυβα (κοινό και ανοξείδωτο), αλουμίνιο, τιτάνιο κτλ. Όπως και στις συγκολλήσεις με δέσμη ηλεκτρονίων, έτσι και στην περίπτωση των συγκολλήσεων με ακτίνες laser, η διείδυση είναι εξαιρετικά μεγάλη, ενώ η κυκλική έκταση της συγκόλλησης πολύ μικρή. Επίσης, με συσκευές laser μπορούμε να κάνουμε και κοπή ελασμάτων με μεγάλη ακρίβεια, με εξαιρετική εμφάνιση κοπής και με πολύ καλή ταχύτητα.

#### **4.2.2. Συγκολλήσεις Πίεσης**

Οι συγκολλήσεις πίεσης πραγματοποιούνται με διάχυση του υλικού μέσω μιας ενδιάμεσης επιφάνειας σύνδεσης ή μέσω αυτόματης σύνδεσης των επιφανειών που έρχονται σε επαφή. Στις συγκολλήσεις με πίεση θερμαίνονται τα κομμάτια που θα συνδεθούν στη θέση συγκόλλησης, σε θερμοκρασία μικρότερη από το σημείο τήξης του μετάλλου τους και πιέζονται δυνατά οι επιφάνειες συγκόλλησης, χωρίς την προσθήκη κόλλησης. Με πίεση μπορούν να συγκολληθούν κομμάτια εν ψυχρώ. Η θερμοκρασία και η πίεση που απαιτεί μία

συγκόλληση πίεσης εξαρτάται από το είδος των μετάλλων που θα συγκολληθούν. Στις συγκολλήσεις πίεσης δεν απαιτείται συγκολλητικό υλικό (κόλληση). Με τη θέρμανση των μετάλλων που θα συγκολληθούν και την εξάσκηση ισχυρής πίεσης, τα μέταλλα έρχονται σε πολύ στενή επαφή μεταξύ τους και τα μόρια του ενός εισχωρούν στα μόρια του άλλου, δημιουργώντας, έτσι, την κρυσταλλική σύνδεση των κομματιών. Οι συγκολλήσεις πίεσης διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες, ανάλογα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται, για να εξασφαλιστεί η θέρμανση και η πίεση που απαιτείται στη θέση της συγκόλλησης:

- Ψυχρές Συγκολλήσεις
- Συγκολλήσεις με Τριβή
- Καμινοσυγκολλήσεις
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις Αντίστασης

#### *Συγκόλληση με Τριβή*

Στη συγκόλληση με τριβή δύο τεμάχια συγκολλώνται με τη βοήθεια της θερμότητας, που παράγεται από την τριβή του ενός πάνω στο άλλο. Στην πράξη, το ένα από τα δύο τεμάχια περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και συμπίεζεται πάνω στο τεμάχιο που θα συγκολληθεί. Οι μεταξύ τους επιφάνειες τρίβονται έντονα, θερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία συγκόλλησης και τότε η περιστροφή σταματά. Με τη συνεχιζόμενη πίεση ανάμεσα στα δύο κομμάτια επιτυγχάνεται η συγκόλληση. Αυτή η μέθοδος έχει βρει εφαρμογές στη συγκόλληση των κοπτικών πλακιδίων σε μανέλες κοπτικών εργαλείων, συγκόλληση ράβδων κ.λπ..

#### *Ηλεκτροσυγκολλήσεις με Αντίσταση (Ηλεκτροπόντα)*

Όταν προσθέτουμε θερμότητα σ. ένα σώμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Όσο πιο μεγάλο είναι το προσφερόμενο ποσό της θερμότητας στη μονάδα του χρόνου, τόσο πιο γρήγορα αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος. Στις παραπάνω αρχές βασίζεται η λειτουργία των ηλεκτροσυγκολλήσεων αντίστασης. Η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι αυτογενής συγκόλληση, η οποία δε χρησιμοποιεί συγκολλητικό υλικό. Τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν θερμαίνονται συμπεριζόμενα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και συγκολλώνται. Για τη συγκόλληση με αντίσταση σημαντικό ρόλο παίζουν ο χρόνος συγκόλλησης και η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια. Ανάλογα με τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και το πάχος τους, επιλέγονται και οι συνθήκες αυτές της συγκόλλησης (μέχρι 100000 Amp στα 10 Volt). Χρησιμοποιείται για συγκόλληση λεπτών ελασμάτων και σωλήνων με διατομή μέχρι 200 cm<sup>2</sup>. Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μηχανή για ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι η ηλεκτροπόντα. Οι ηλεκτροπόντες που κυκλοφορούν είναι συνήθως σταθερές και ποδοκίνητες, ενώ υπάρχουν και φορητές. Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης διακρίνονται σε:

- Ηλεκτροσυγκολλήσεις κατά σημεία
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις ραφής (συνεχής συγκόλληση)
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις κατά άκρα (κατά μέτωπο)

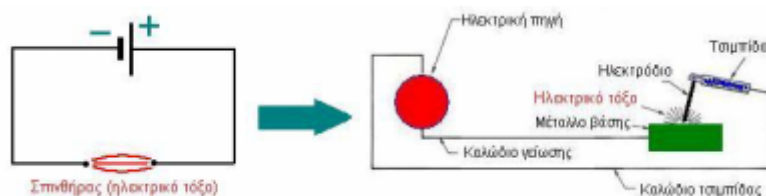
#### *Συγκολλήσεις με Υπερήχους*

Η μέθοδος συγκόλλησης με υπερήχους είναι γνωστή από τη δεκαετία του 50 και βασίζεται στη χρήση υπερήχων με συχνότητα παλμών πάνω από 4000 / s. Όμως χρησιμοποιείται και σήμερα σε ειδικές περιπτώσεις συγκολλήσεων χαλκού, νικελίου, αλουμινίου ή ακόμη και ανόμοιων μετάλλων, που η συγκόλλησή τους με άλλες μεθόδους θα απαιτούσε υψηλές θερμοκρασίες, με συνέπεια πιθανές παραμορφώσεις των μεταλλικών τεμαχίων. Στη συγκόλληση με υπερήχους, τα άκρα των προς συγκόλληση μεταλλικών τεμαχίων τοποθετούνται σε θέση επικάλυψης και στερεώνονται στη μηχανή συγκόλλησης. Σ. αυτή τη θέση τα προς συγκόλληση άκρα συμπιέζονται και ταυτόχρονα τροφοδοτούνται με ρεύμα υψηλής συχνότητας (υπερήχους). Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα σημεία επαφής των ηλεκτροδίων με τα προς συγκόλληση τεμάχια είναι επιφανειακή και σαφώς μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων. Όμως σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη πίεση επιτυγχάνεται η συγκόλληση των τεμαχίων, χωρίς παραμορφώσεις ή άλλες αρνητικές επιπτώσεις.

### **4.3. Συγκολλήσεις με Τόξο**

#### **Βασικές αρχές της συγκόλλησης τόξου**

Για να γίνει συγκόλληση δύο μεταλλικών τεμαχίων, πρέπει να προκληθεί τήξη στα σημεία συγκόλλησης. Στη συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου ή ηλεκτροσυγκόλληση, η θερμοκρασία για την τήξη παράγεται με τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Στο σχήμα 4.4, φαίνεται ο τρόπος που δημιουργείται το ηλεκτρικό τόξο. Έχουμε μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και το ηλεκτρικό τόξο δημιουργείται στο κενό που υπάρχει μεταξύ δύο μεταλλικών τεμαχίων. Το ένα ονομάζεται ηλεκτρόδιο και δημιουργεί το σπινθήρα και το άλλο ονομάζεται μέταλλο βάσης και αποτελείται από τα δύο προς συγκόλληση τεμάχια. Το τεμάχιο στο οποίο συνδέεται ο αρνητικός πόλος ονομάζεται κάθοδος και συμβολίζεται με το (-) ενώ το τεμάχιο στο οποίο συνδέεται ο θετικός πόλος ονομάζεται άνοδος και συμβολίζεται με το (+). Όταν χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε ο ρόλος της καθόδου και της ανόδου αντιστρέφεται συνέχεια.



**Σχήμα 4.4:** Η αρχή λειτουργίας της ηλεκτροσυγκόλλησης

Στο μικρό διάκενο μεταξύ ηλεκτροδίου και μετάλλου βάσης, δημιουργείται μία ισχυρά ιονισμένη ατμόσφαιρα αερίου. Το αέριο το οποίο βρίσκεται σ. αυτή την κατάσταση ονομάζεται πλάσμα. Μέσω της στήλης του πλάσματος διατηρείται το τόξο. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο σημείο επαφής του ηλεκτρικού τόξου με το μέταλλο βάσης υπερβαίνει τους 2400 °C. Εκεί δημιουργείται το λουτρό συγκόλλησης, δηλαδή μία περιοχή από τηγμένο μέταλλο, η οποία, όταν στερεοποιηθεί, προκαλεί τη συγκόλληση των δύο τεμαχίων. Μετακινώντας το ηλεκτρόδιο κατά μήκος της γραμμής επαφής των τεμαχίων, επιτυγχάνεται η συγκόλλησή τους. Το ηλεκτρικό τόξο συντηρείται από μόνο του, αρκεί να μην απομακρυνθεί πολύ το ηλεκτρόδιο από το μέταλλο βάσης. Για την έναρξή του όμως, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές. Οι πλέον διαδεδομένες είναι οι εξής:

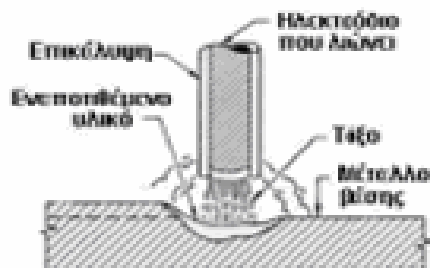
- Με τη στιγμιαία επαφή και απομάκρυνση του ηλεκτροδίου με το μέταλλο βάσης.
- Με μία στιγμιαία υψηλή τάση μεταξύ ηλεκτροδίου και μετάλλου βάσης.

#### Η προσθήκη υλικού στο σημείο συγκόλλησης

Για να επιτευχθεί καλή συγκόλληση, προσθέτουμε μέταλλο στο λουτρό συγκόλλησης. Το μέταλλο που προστίθεται, συνήθως είναι παρόμοιας χημικής σύστασης με το μέταλλο βάσης. Η ανάμειξη του μετάλλου βάσης με το κατάλληλο προστιθέμενο μέταλλο, δημιουργεί τις προϋποθέσεις, ώστε, μετά την πήξη, να προκύψει η κρυσταλλική δομή, με τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες. Η προσθήκη μετάλλου στο σημείο συγκόλλησης γίνεται με τους εξής τρόπους:

*(α) Χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο που λιώνει*

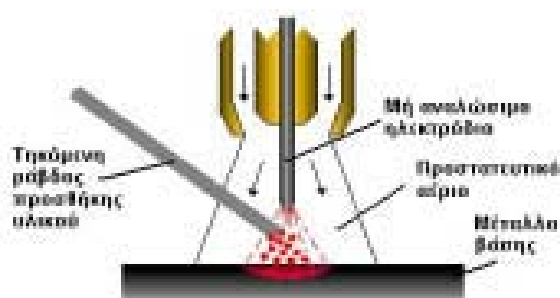
Το ηλεκτρόδιο σε αυτή την περίπτωση είναι αναλώσιμο. Χρησιμοποιείται υπό τη μορφή ράβδων επικαλυμμένων με ειδική πάστα, ή υπό τη μορφή συρμάτων. Ο τρόπος αυτός φαίνεται στο σχήμα 4.5.



**Σχήμα 4.5:** Η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο που λιώνει

(β) Χρησιμοποιώντας ένα υλικό πλήρωσης

Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 4.6 και θυμίζει τον τρόπο που προστίθεται το υλικό στην οξυγονοκόλληση. Το υλικό πλήρωσης αποτελείται από μία ράβδο που την κρατάει με το ένα χέρι ο ηλεκτροσυγκολλητής, ενώ με το άλλο κρατάει την τσιμπίδα. Το ηλεκτρόδιο είναι μέσα στην τσιμπίδα, αλλά μόνο η άκρη του είναι ορατή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7. Το ηλεκτρόδιο στην περίπτωση αυτή δεν καταναλώνεται και ονομάζεται μη αναλώσιμο.



**Σχήμα 4.6:** Ηλεκτροσυγκόλληση με υλικό πλήρωσης



**Σχήμα 4.7:** Το μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο στην άκρη της τσιμπίδας

### Η προστασία της ηλεκτροσυγκόλλησης από την ατμόσφαιρα

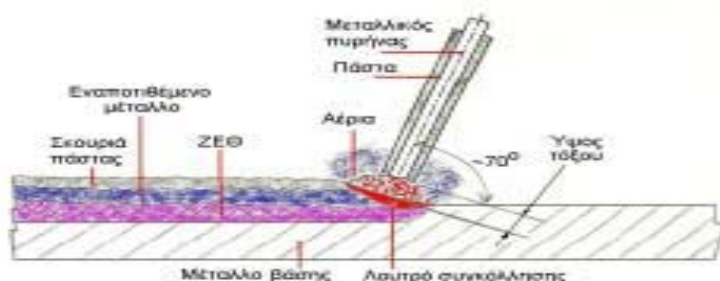
Το λιωμένο μέταλλο στο λουτρό συγκόλλησης αντιδρά με τον ατμοσφαιρικό αέρα και δημιουργούνται χημικές ενώσεις του οξυγόνου (οξειδία) και του αζώτου (νιτρίδια). Το πλέον όμως, επικίνδυνο είναι η εισροή υδρογόνου στο μέταλλο που προέρχεται από τη διάσπαση του νερού που υπάρχει σε μορφή υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές ενώσεις και η παρουσία του υδρογόνου μειώνουν πολύ την ποιότητα του μετάλλου στην ένωση.

Για να αποφευχθούν τα παραπάνω, απαιτείται μία κατάλληλη προστασία γύρω από το λουτρό συγκόλλησης η οποία επιτυγχάνεται με έναν από τους παρακάτω δύο τρόπους:

(α) Με την παρουσία ειδικής επένδυσης του υλικού επανόθεσης

Η πάστα αποτελείται από υλικά που λιώνουν, καίγονται ή εξατμίζονται γύρω από το λουτρό συγκόλλησης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.8. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία προστατευτική κρούστα πάνω από τη συγκόλληση και μία αδρανής ατμόσφαιρα γύρω από το τόξο. Έτσι εμποδίζεται η επαφή του λουτρού συγκόλλησης με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Υπάρχουν τρεις τρόποι με τους οποίους η πάστα έρχεται σε επαφή με το λουτρό συγκόλλησης:

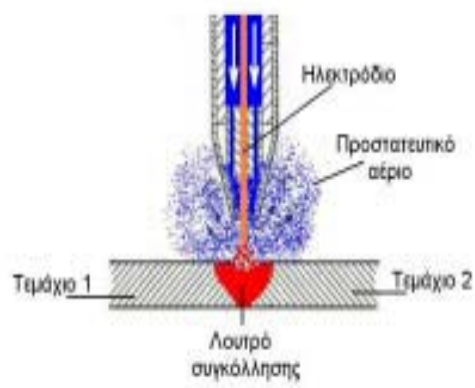
- Με την επένδυση των ηλεκτροδίων με πάστα
- Μέσω σωληνωτών ηλεκτροδίων που έχουν εσωτερικά την πάστα
- Ρίχνοντας την πάστα χύμα πάνω στο λουτρό συγκόλλησης



Σχήμα 4.8: Προστασία συγκόλλησης με τη χρήση επενδυμένου ηλεκτροδίου

(β) Με την παρουσία προστατευτικού αερίου

Μέσω ειδικών στομιών της τσιμπιδας διοχετεύεται προστατευτικό αέριο το οποίο δημιουργεί την κατάλληλη ατμόσφαιρα γύρω από το λουτρό συγκόλλησης. Η μέθοδος αυτή φαίνεται στο σχήμα 4.9. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανοικτό χώρο, επειδή το προστατευτικό αέριο παρασύρεται από τον αέρα.



**Σχήμα 4.9:** Προστασία συγκόλλησης με εκτόξευση αερίου υπό πίεση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5<sup>ο</sup>

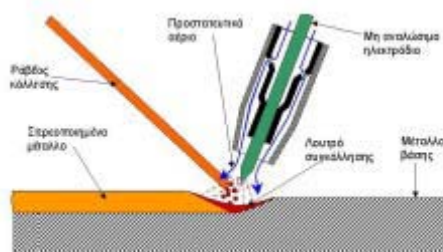
### Συγκρότηση μηχανών μεθόδου TIG και ενσωματωμένες διατάξεις



#### 5.1. Εισαγωγή

Πρόκειται για μια αυτογενή διαδικασία συγκόλλησης, η οποία δεν απαιτεί καλώδιο γεμίματος, παρότι σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η πηγή θερμότητας είναι ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ ενός μη αναλίσκόμενου ηλεκτροδίου από βολφράμιο και της επιφάνειας εργασίας. Το ρεύμα που χρησιμοποιείται σε αυτού του τύπου τις συγκολλήσεις είναι κατά κύριο λόγο συνεχές. Η θερμοκρασία του τόξου λιώνει το ηλεκτρόδιο και το μέταλλο της επιφάνειας εργασίας, ενώ η συγκόλληση προστατεύεται από την ατμόσφαιρα, από ένα αέριο μίγμα από αργό και ήλιο. Στην ηλεκτροσυγκόλληση T.I.G. το ηλεκτρόδιο είναι από Βολφράμιο (W) και προκειμένου να αυξηθούν οι ηλεκτρικές του ιδιότητες προστίθενται Θόριο (Th) και Ζιρκόνιο (Zr). Το ηλεκτρόδιο δεν καταναλίσκεται, δηλαδή συμμετέχει στη συγκόλληση μόνο για να διατηρεί το ηλεκτρικό τόξο. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως αδρανές αέριο το Αργό ή το Ήλιο ή μείγμα των δύο αερίων. Προκειμένου η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. να είναι επιτυχής, πρέπει τα κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από ακαθαρσίες. Η κόλληση που φαίνεται στο σχήμα επιλέγεται από ενώσεις των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η συγκόλληση πραγματοποιείται χωρίς κόλληση και μόνο με την τήξη των υλικών που

πρόκειται να συγκολληθούν. Η μέθοδος T.I.G. χρησιμοποιείται για συγκόλληση όλων των μετάλλων και των κραμάτων τους. Ιδιαίτερη εφαρμογή είναι η συγκόλληση λεπτών αντικειμένων λόγω της εξαιρετικής ποιότητας συγκόλλησης και της ποιότητας της τελικής επιφάνειας.

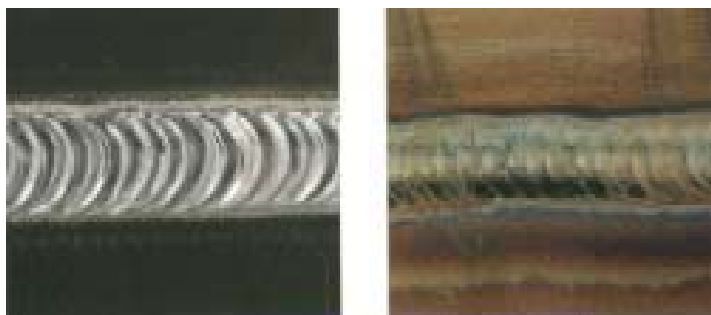


**Σχήμα 5.1:** Η μέθοδος εκτέλεσης της συγκόλλησης TIG

Στη συγκόλληση T.I.G. παρατηρούνται τα εξής:

1. Κολλάει περισσότερα είδη μετάλλων και κραμάτων, από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο συγκόλλησης. Οι μηχανές συγκόλλησης TIG μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συγκόλληση χάλυβα, ανοξείδωτου χάλυβα, χρωμιωμένου χάλυβα, αλουμινίου, κράματα νικελίου, μαγνησίου, χαλκού, μπρούντζου, ορείχαλκου, ακόμη και χρυσού. Η μέθοδος TIG χρησιμοποιείται στη συγκόλληση αμαξωμάτων, σκελετών ποδηλάτων, χλοοκοπτικών, χερουλιών πόρτας, προφυλακτήρων, και πολλών άλλων.
2. Δημιουργεί, υψηλής ποιότητας καθαρές συγκολλήσεις. Με εξαιρετικής ακρίβειας έλεγχο σταθερότητας τόξου και 'λουτρού συγκόλλησης, η μέθοδος TIG επιτρέπει τη δημιουργία καθαρών συγκολλήσεων, εκεί όπου η εμφάνιση μετράει. Επειδή υπάρχει η πιθανότητα ελέγχου της εισαγόμενης θερμοκρασίας μέσω τηλεχειριστηρίου πεντάλ, παρόμοια με την οδήγηση αυτοκινήτου, η μέθοδος TIG επιτρέπει τη θέρμανση ή τη ψύξη της συγκόλλησης και επιτυγχάνεται ένας πολύ καλός έλεγχος του γαζιού. Έτσι η μέθοδος TIG είναι ικανή να εκτελέσει ραφές υψηλής αισθητικής όπως σε γλυπτά ή σε συγκολλήσεις φανοποιίας.
3. Προσθέτοντας στο λουτρό τήξεως μόνο την ποσότητα του υλικού συγκολλητικού που χρειάζεται, δεν δημιουργούνται σπινθήρες και πιτσιλιές (εφόσον το προς κόλληση μέταλλο είναι καθαρό).
4. Επειδή χρησιμοποιείται κυρίως αργό σαν αέριο προστασίας, η χρήση βόρακα σε μορφή σκόνης είναι περιττή, και έτσι δεν σας περιορίζει τίποτα στην οπτική παρακολούθηση του λουτρού συγκόλλησης. Επίσης μετά τι τέλος της συγκόλλησης, δεν υπάρχει ίχνος βόρακα για να απομακρυνθεί από τη ραφή.

5. Η μέθοδος συγκόλλησης TIG δεν δημιουργεί καπνό ή αναθυμιάσεις, εκτός αν το προς κόλληση μέταλλο περιέχει βρωμιές ή υλικά όπως, λάδι, γράσο, χρώμα, μόλυβδο ή τσίγκο. Το μέταλλο θα πρέπει να καθαρίζεται πριν τη συγκόλληση.
6. Χρήση ενός αερίου προστασίας (Αργού) για όλες τις εφαρμογές. Επειδή με τη μέθοδο TIG μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως αργό για να κολληθούν όλα τα μέταλλα και όλα τα πάχη, χρειάζεστε μόνο ένα αέριο για τις συγκολλήσεις. Το αργό χρησιμοποιείται σε σχεδόν όλες τις εφαρμογές συγκόλλησης TIG.
7. Συγκόλληση σε όλες τις θέσεις. Η μέθοδος TIG μπορεί να διεξαχθεί σε όλες τις θέσεις - επίπεδα, οριζόντια ή κάθετα. Τέλεια εφαρμογή για συγκολλήσεις σε περιορισμένους χώρους.
8. Ταχύτητα συγκόλλησης μεγαλύτερη από την κοινή ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο επενδεδυμένο (χαμένος χρόνος στο καθαρισμό του κορδονιού από τη πάστα, δυνατότητα αυτόματης συγκόλλησης, κ.λ.π.).
9. Συγκόλληση χωρίς έμμεσα υλικά για την οξείδωση ή την διάβρωση των κομματιών.
10. Το υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης του ηλεκτροσυγκολλητή.
11. Ο πολύ χαμηλός βαθμός παραγωγικότητας.
12. Η ενδεχομένη ανάγκη αλλαγής της φιάλης αερίου, όταν χρειάζεται να αλλαχθούν τα προς συγκόλληση μέταλλα.



**Σχήμα 5.2:** Η μορφή της ραφής TIG: (A) Σε αλουμίνιο  
(B) Σε ανοξείδωτο χάλυβα πάχους μόλις 0,5 mm

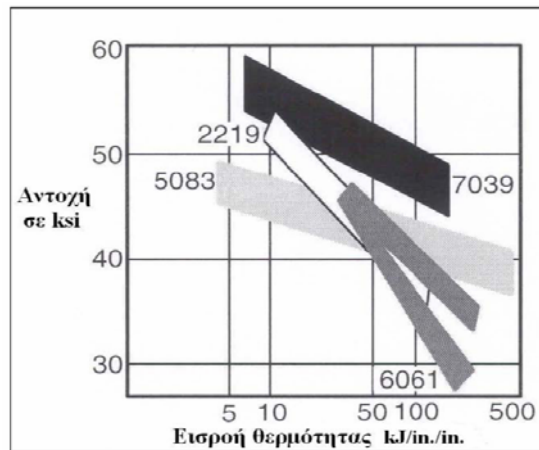
## 5.2. Ο ρόλος της πηγής θερμότητας στη συγκόλληση

Ο τρόπος μετάδοσης της απαραίτητης θερμότητας για την τήξη, παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για μια συγκόλληση. **Για παράδειγμα, στη μέθοδο GTAW με μια πηγή 1,5 kW, το τόξο συγκεντρώνεται σε μια μικρή περιοχή διαμέτρου 6 mm και μπορεί εύκολα να παράγει λουτρό (τηγμένο μέταλλο).** Αντίθετα, ένα «πιστολάκι» μαλλιών ίδιας ισχύος (1,5 kW) μπορεί απλά να θερμάνει ένα έλασμα (π.χ. έλασμα πάχους 1,6 mm), χωρίς να προκαλέσει τήξη.

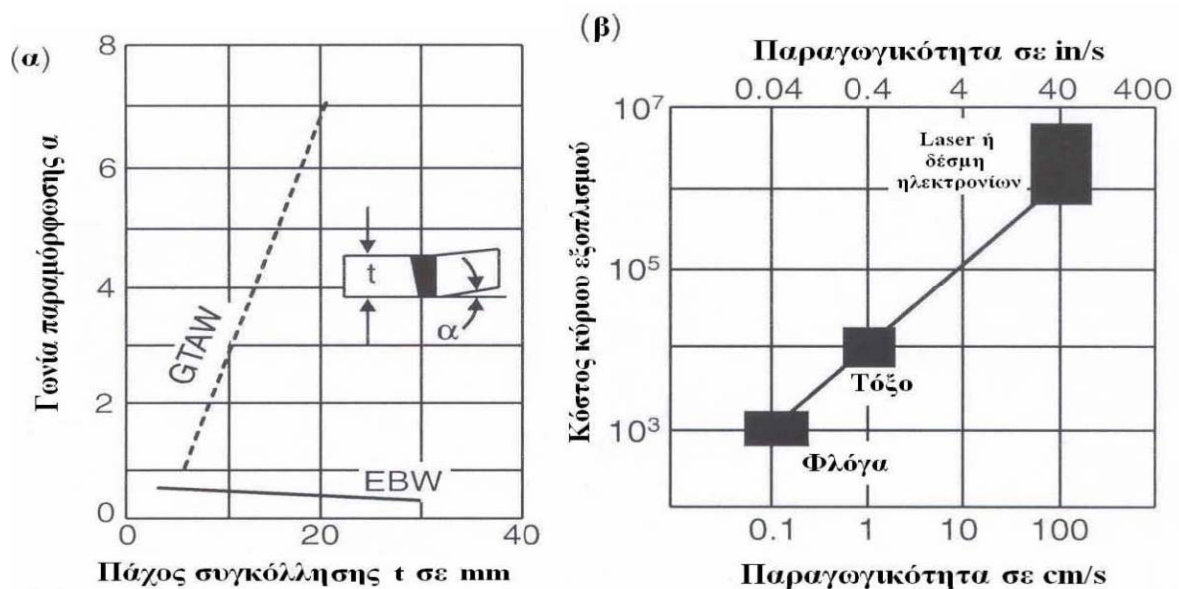


Σχήμα 5.3: Μεταβολή της θερμότητας που εισάγεται στο έλασμα σε σχέση με την απόδοση της πηγής.

Οι πηγές θερμότητας για τις συγκολλήσεις με αέριο, με τόξο και με δέσμη υψηλής ενέργειας είναι η φλόγα, το ηλεκτρικό τόξο και η δέσμη, αντίστοιχα. Η απόδοση αυτών αυξάνεται από τη φλόγα προς τη δέσμη. Όσο αυξάνεται η απόδοση της πηγής τόσο μειώνεται η απαιτούμενη θερμότητα για τη συγκόλληση ενός ελάσματος. Η περιοχή που έρχεται σε επαφή με τη φλόγα του αερίου θερμαίνεται αργά και πριν προκληθεί η τήξη, χάνεται μεγάλο ποσό της θερμότητας προς το υπόλοιπο «σώμα» του ελάσματος. Η υπερβολική θέρμανση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο έλασμα, όπως μείωση της μηχανικής του αντοχής και παραμορφώσεις. Στο ίδιο υλικό όταν επενεργήσει μία εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων (ή laser), τότε προκαλείται τήξη σε μια μικρή βαθιά οπή (keyhole) σχεδόν αμέσως, χωρίς να χαθεί θερμότητα προς το υπόλοιπο έλασμα.



Σχήμα 5.4: Μεταβολή της αντοχής σε σχέση με την εισροή θερμότητας ανά μονάδα μήκους της συγκόλλησης και ανά μονάδα πάχους του ελάσματος.



Σχήμα 5.5: Σύγκριση μεταξύ των μεθόδων συγκόλλησης: α) γωνιακή παραμόρφωση και β) κόστος κύριου εξοπλισμού.

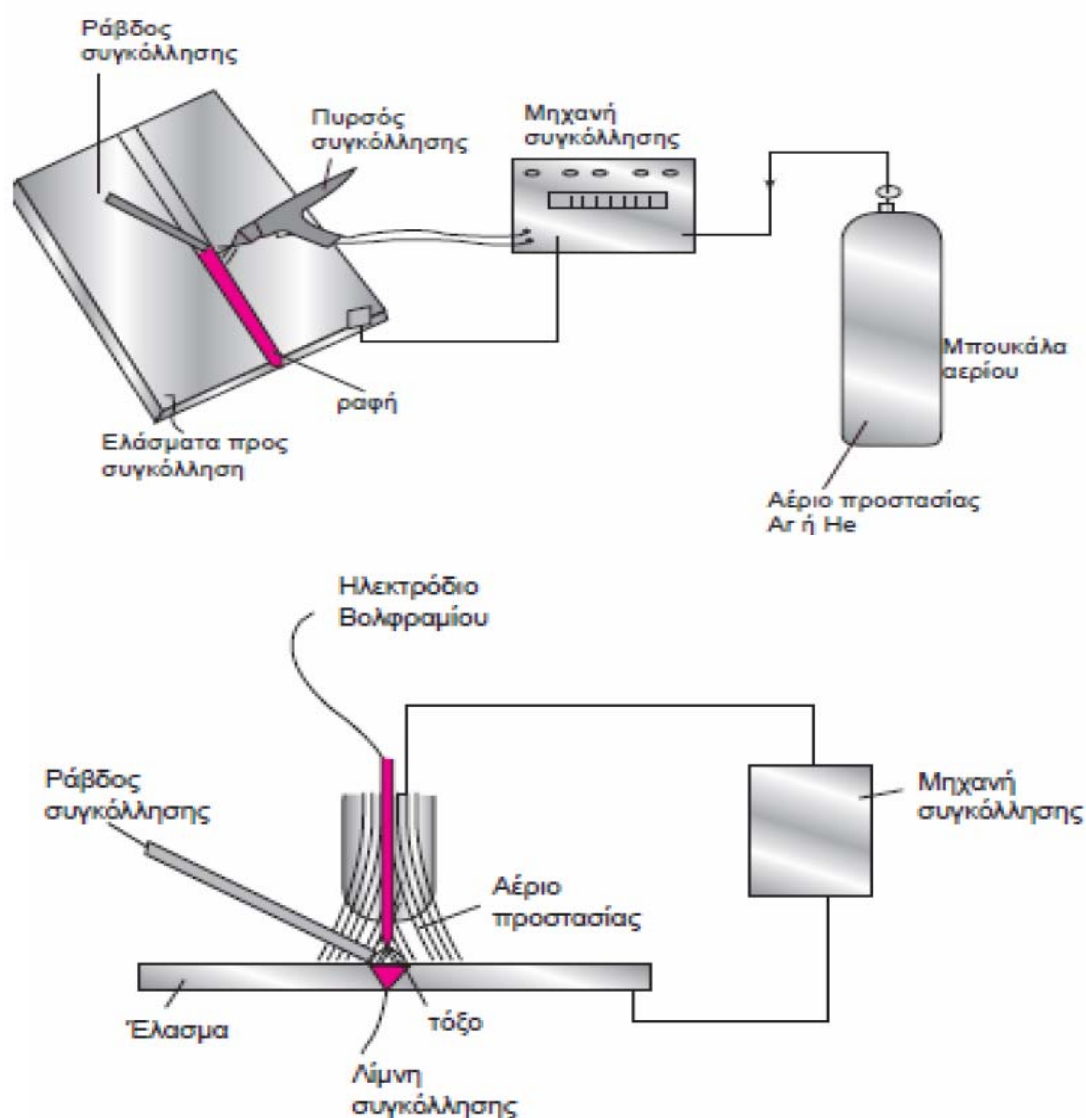
### 5.3. Τύποι ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε :

1. καθαρού βολφραμίου
2. βολφραμίου με 1 – 2 % θόριο
3. βολφραμίου με 0.15 – 0.40 % ζιρκόνιο
4. καθαρού βολφραμίου με εξωτερικό λεπτό κέλυφος από κράμα βολφραμίου με 1 – 2 % θορίου

Τα ηλεκτρόδια αυτά διατίθενται συνήθως σε διαμέτρους που κυμαίνονται από 0.25 μέχρι 6.35 mm και σε μήκη από 76 μέχρι 610 mm. Από τους παραπάνω τύπους ηλεκτροδίων, τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου είναι τα φθηνότερα, ενώ τα ηλεκτρόδια βολφραμίου – θορίου είναι τα καλύτερα. Τα τελευταία παρουσιάζουν μεγαλύτερη εκπομπή ηλεκτρονίων, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη αντίσταση σε απορρόφηση ακαθαρσιών από το περιβάλλον. Ακόμη με τα ηλεκτρόδια αυτά είναι πιο εύκολο το άναμμα του τόξου, ενώ και το ίδιο το τόξο είναι σταθερότερο

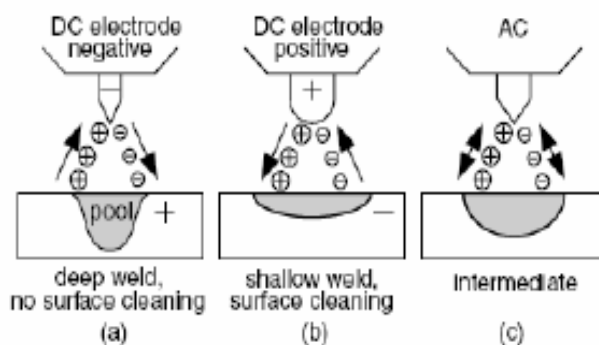
Η τεχνική GTAW δίνει άριστες συγκολλήσεις, αλλά σχετικά ακριβές. Ενδείκνυται για συγκόλληση σε μικρά και σε μεγάλα πάχη. Μηχανοποιημένη και αυτόματη χρησιμοποιείται για την κατασκευή σωλήνων από ανοξείδωτο χάλυβα με ραφή.



**Σχήμα 5.6:** Συγκόλληση με ηλεκτρόδια βολφραμίου και προστασία αερίου (GTAW), (α) διάγραμμα της μεθόδου, (β) απεικόνιση της περιοχής συγκολλήσεως.

### 5.3. Μηχανή συγκόλλησης

Η συγκόλληση γίνεται με εναλλασσόμενο (A.C.) και με συνεχές ρεύμα (D.C.). Στην περίπτωση χρήσης D.C. μπορεί να έχουμε ορθή (straight polarity d.c.s.p.) ή ανάστροφη (reverse polarity, d.c.r.p.) πολικότητα (Σχήμα 5.7).



**Σχήμα 5.7:** Συγκόλληση με συνεχές ρεύμα (α) ορθή τάση, (β) με ανάστροφη πολικότητα, με εναλλασσόμενο ρεύμα (γ).

Η κατανομή της θερμότητας στο ηλεκτρικό τόξο είναι για την άνοδο (+) 80%, για την κάθοδο(-) 5% και η μεταφορά από αέριο 15%. Επομένως, για τα περισσότερα μέταλλα χρησιμοποιείται η ορθή πολικότητα. **Εξαίρεση αποτελεί το αλουμίνιο, όπου χρησιμοποιείται ανάστροφη πολικότητα για να επιτευχθεί καθοδικός καθορισμός. Εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται με υψηλή συχνότητα και υψηλή τάση για τη βελτίωση της ευστάθειας του τόξου και για τη διάσπαση της επιφανειακής οξείδωσης των ελαφρών κραμάτων με τη μέθοδο TIG.**

Κατά τη G.T.A.W η μηχανή συγκόλλησης είναι συνήθως σταθερού ρεύματος. Σε ημιαυτόματες συγκολλήσεις σωληνώσεων με τη χρήση G.T.A.W έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία συνεχές ρεύμα ορθής πολικότητας (αρνητικό ηλεκτρόδιο) σε παλμούς. Με τον τρόπο αυτό, η περιμετρική συγκόλληση μπορεί να γίνει χωρίς τη συνεχή ρύθμιση των παραμέτρων συγκόλλησης που θα γινόταν με διαφορετικό τρόπο, καθώς το τόξο θα περνούσε κατά την κίνησή του από την οριζόντια στην κατακόρυφη και μετά στην οροφιαία θέση. Μπορεί βέβαια να χρησιμοποιηθεί και εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας ή παλμικό.

Οι μηχανές TIG διαφέρουν από τις μηχανές MMA ως προς τη μέθοδο με την οποία γίνεται η έναυση του τόξου. Αυτή, στην TIG, γίνεται πάντα με εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας, ακόμη και όταν η συγκόλληση εκτελείται με DC (η αλλαγή από εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας σε DC γίνεται αυτόματα). Το ηλεκτρόδιο δεν έρχεται σε επαφή με το μέταλλο βάσης. Στις μεγάλες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος, χρησιμοποιούνται συστήματα με υδρόψυκτη τσιμπίδα.



**Σχήμα 5.8:** Μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης TIG



**Σχήμα 5.9:** Τσιμπίδα ηλεκτροσυγκόλλησης TIG

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πιστολιών συγκόλλησης, ανάλογα με την επιθυμητή εφαρμογή. Από αυτά άλλα είναι υδρόψυκτα και άλλα αερόψυκτα, ενώ μερικά φέρουν και βαλβίδες για τη ρύθμιση της παροχής του αερίου προστασίας.

Η τεχνική GTAW δίνει άριστες συγκολλήσεις, αλλά σχετικά ακριβές. Ενδείκνυται για συγκόλληση σε μικρά και σε μεγάλα πάχη. Μηχανοποιημένη και αυτόματη χρησιμοποιείται για την κατασκευή σωλήνων από ανοξείδωτο χάλυβα με ραφή.

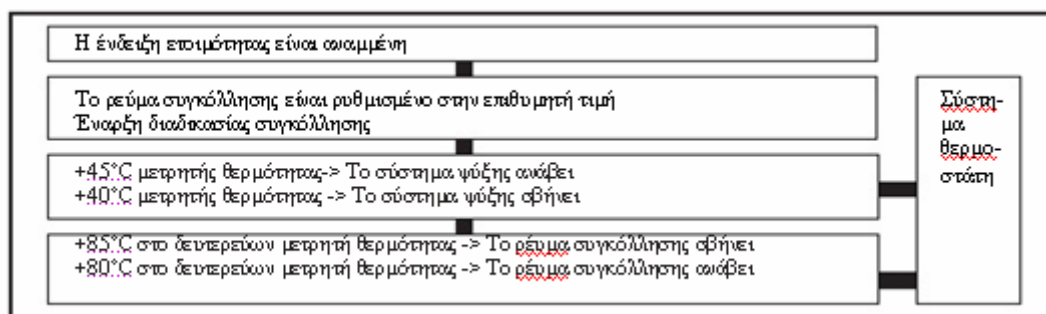


## 5.4. Κατασκευή Μηχανής TIG

Χαρακτηριστικά όπως το κάλυμμα από ατσάλι, ο τρόπος με τον οποίο τα σημεία ελέγχου είναι καλυμμένα από πλαστικό και οι ταχυσύνδεσμοι ρεύματος εξασφαλίζουν την υψηλή ποιότητα κατασκευής της μηχανής. Ο μάντας ώμου κάνει την μηχανή εύκολη στο να μεταφερθεί μέσα στο εργοστάσιο και π.χ. έξω σε οικοδομές.

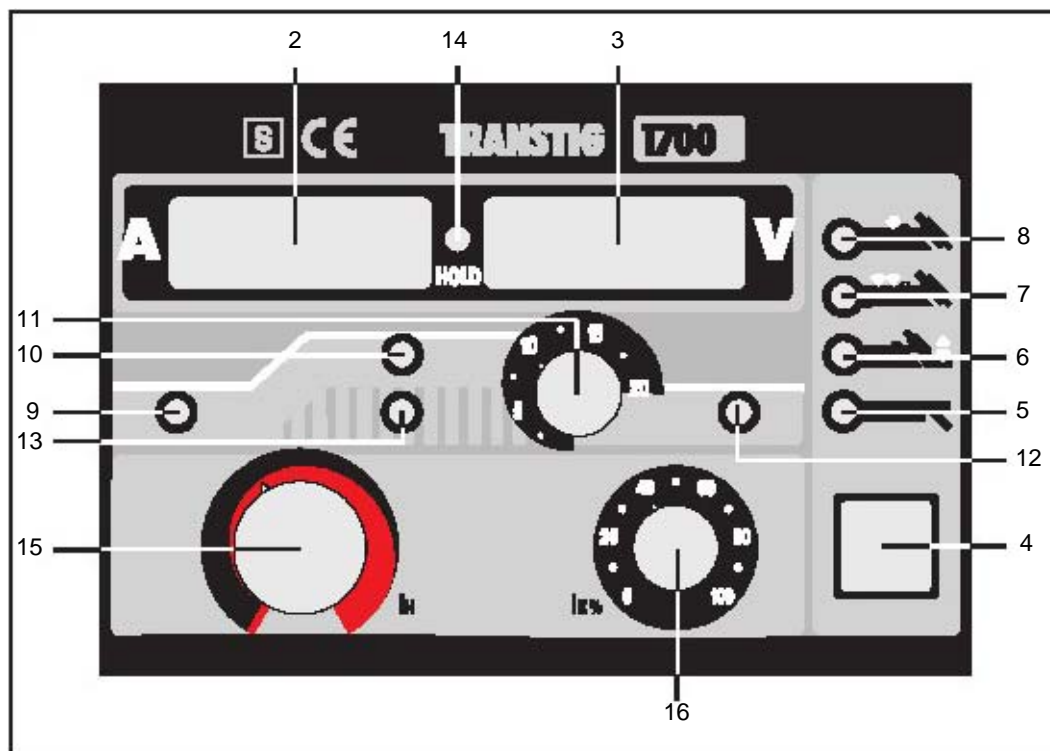
### 5.4.1. Σειρά λειτουργίας Μηχανής TIG

Η τάση από την πρίζα ανορθώνεται. Ένας γρήγορος μετασχηματιστής μετατρέπει την τάση χρησιμοποιώντας συχνότητα 100 kHz. Ο μετασχηματιστής συγκόλλησης παράγει την απαραίτητη τάση εργασίας, η οποία ανορθώνεται και τροφοδοτεί τις εξόδους της μηχανής. Ένας ηλεκτρονικός έλεγχος ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά της μηχανής συγκόλλησης για να ταιριάζουν με την προεπιλεγμένη διαδικασία συγκόλλησης.



Σχήμα 5.10: Αρχές του θερμοστάτη

### 5.4.2. Πίνακας Ελέγχου Μηχανής TIG



Σχήμα 5.11: Μπροστινός πίνακας της Transtig 1700

#### Περιγραφή λειτουργιών

##### Λειτουργία αντικειμένων

##### (1) Κεντρικός διακόπτης ON / OFF

##### (2) Ψηφιακό αμπερόμετρο

Ένδειξη ρεύματος συγκόλλησης

Τιμή εντολής -> επιθυμητό ρεύμα συγκόλλησης

Πραγματική τιμή -> πραγματικό ρεύμα συγκόλλησης

##### (3) Ψηφιακό βολτόμετρο

Ένδειξη τάσης συγκόλλησης

##### (4) Κουμπί λειτουργίας

α) Λειτουργία 2-χρόνων -> συγκόλληση TIG με ανάφλεξη-HF

β) Λειτουργία 4-χρόνων -> συγκόλληση TIG με ανάφλεξη-HF

γ) Λειτουργία 2-χρόνων -> συγκόλληση TIG με ανάφλεξη επαφής

δ) Λειτουργία 4-χρόνων -> συγκόλληση TIG με ανάφλεξη επαφής

- Έλεγχος δύναμης τόξου και συσκευές καυτής εκκίνησης δεν λειτουργούν

- Κατά την χρήση των χειριστηρίων μονάδων TR 50mc, TR 51mc και TR 52mc, αλλάζει αυτόματα στο ζητούμενο πρόγραμμα λειτουργίας
- Οι λυχνίες LED (7) ή (8) ανάλογα με (6) + (7) ή (6) + (8) ανάβουν

ε) Χειροκίνητη συγκόλληση ηλεκτροδίου

---

#### **(5) Λυχνία LED ένδειξης για χειροκίνητη συγκόλληση ηλεκτροδίου**

Επιλογή μέσω του κουμπιού λειτουργίας (4)

- Λυχνία LED ένδειξης (10) ανάβει (για κυρίως ρεύμα IH) μόνο κατά την συγκόλληση
  - Το ρεύμα συγκόλλησης είναι προς το παρόν στην υποδοχή ρεύματος [B]
  - Το ρεύμα συγκόλλησης είναι είτε ρυθμισμένο με τον ρυθμιστή κυρίως ρεύματος (15), ή μέσω του καντράν (34) στην μονάδα τηλεχειρισμού TPmc
- 

#### **(6) Λυχνία LED ένδειξης για ανάφλεξη επαφής**

Επιλογή μέσω του κουμπιού λειτουργίας (4)

- Ανάβει είτε μαζί με την λυχνία LED (7) ή την LED (8)
  - Για ανάφλεξη τόξου, αγγίζετε το αντικείμενο εργασίας με το ηλεκτρόδιο καρβιδίου αφού πατήσετε τον διακόπτη της τσιμπίδας.
  - Το ρεύμα κλειστού κυκλώματος ρέει όταν γίνει επαφή μεταξύ του ηλεκτροδίου και του αντικειμένου εργασίας και αντιστοιχεί στο ελάχιστο ρεύμα.
  - Χρήση ανάφλεξης επαφής: Όποτε η HF που χρησιμοποιείται για χωρίς επαφή ανάφλεξη δημιουργεί εξωτερικές παρεμβάσεις.
- 

#### **(7) Λυχνία LED ένδειξης για λειτουργία 4-χρόνων**

#### **(8) Λυχνία LED ένδειξης για λειτουργία 2-χρόνων**

#### **(9) Λυχνία LED ένδειξης ρεύματος εκκίνησης IS**

- ανάβει όταν το ρεύμα εκκίνησης IS είναι ενεργό

---

#### **(10) Λυχνία LED ένδειξης κυρίως ρεύματος IH**

- ανάβει όταν το κυρίως ρεύμα IH είναι ενεργό

---

#### **(11) ΚΑΤΗΦΟΡΑ ή χρόνος πτώσης ρεύματος**

- Για συνεχή ρύθμιση της ταχύτητας πτώσης ρεύματος από το κυρίως ρεύμα στο ρεύμα γεμίματος κρατήρα IE
  - Εύρος: 0,1 με 20 δευτερόλεπτα
  - Κατά την χρήση του ποτενσιόμετρου της κατηφόρας, η προεπιλεγμένη τιμή θα εμφανιστεί για 3 δευτερόλεπτα π.χ.:
- 

#### **(12) Λυχνία LED ένδειξης τελικού ρεύματος IE**

- ανάβει όταν το τελικό ρεύμα IE είναι ενεργό

---

#### **(13) Λυχνία LED ένδειξης για συγκόλληση με παλμούς TIG**

- Μόλις η μονάδα τηλεχειρισμού TR 50mc για συγκόλληση TIG με παλμούς συνδεθεί, η λυχνία LED (13) θα αρχίσει να αναβοσβήνει (δείτε τον τομέα που ακολουθεί “Μονάδα τηλεχειρισμού TR 50mc με συγκόλληση TIG με παλμούς”)

---

**(14) Λυχνία ένδειξης "HOLD"**

- Επιτρέπει τον συχνό έλεγχο των παραμέτρων συγκόλλησης
- Ανάβει αφού έχουν αποθηκευτεί οι πραγματικές τιμές (τέλος συγκόλλησης)
- Οι μέσοι όροι του ρεύματος συγκόλλησης και της τάσης μετρημένα πριν το τέλος της διαδικασίας συγκόλλησης φαίνονται στις ψηφιακές οθόνες (2) και (3)
- Η λειτουργία δουλεύει για διαδικασία συγκόλλησης με μονάδα τηλεχειρισμού με πετάλι και παλμικό τόξο μέχρι 20 Hz

---

**(15) Ρυθμιστής κυρίως ρεύματος IH = ρεύμα συγκόλλησης**

- Για συνεχή ρύθμιση του ρεύματος συγκόλλησης για χρήση με 2-140 A ηλεκτροδίο ή 2-160 A / 170A TIG
- Η λυχνία ένδειξης LED (10) ανάβει (μόνο με λειτουργία ηλεκτροδίου)
- Το ψηφιακό αμπερόμετρο δείχνει την τιμή εντολής για το ρεύμα μόλις η μηχανή βρεθεί σε ανοιχτό κύκλωμα και μετά αλλάζει σε ένδειξη της πραγματικής τιμής.
- Τιμή εντολής -> επιθυμητό ρεύμα συγκόλλησης
- Πραγματική τιμή -> πραγματικό ρεύμα συγκόλλησης

---

**(16) ΡΕΥΜΑ ΓΕΜΙΣΜΑΤΟΣ ΚΡΑΤΗΡΑ: IE**

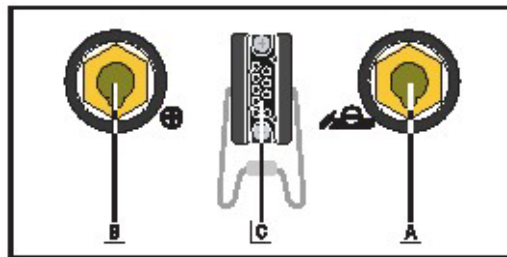
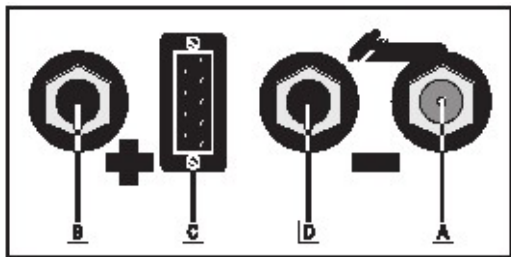
- Δυνατό μόνο σε λειτουργία 4-χρόνων
- Ρυθμίζεται ως ποσοστό % επί του κυρίως ρεύματος
- Κατά την χρήση του ποτενσιόμετρου του ρεύματος γεμίσματος κρατήρα, η προεπιλεγμένη τιμή εμφανίζεται για 3 δευτερόλεπτα
- Το ρεύμα συγκόλλησης χαμηλώνει στο ρεύμα γεμίσματος κρατήρα όταν πατηθεί ο διακόπτης της τσιμπίδας.
- Λυχνία ένδειξης LED (12) υποδεικνύει ότι αυτή η λειτουργία έχει ξεκινήσει

**Οι ακόλουθες παράμετροι διατυπώνονται**

- Χρόνος προ-ροής αερίου.....0,4 sec.
- Αρχή τόξου.....29% of IH
- Ανηφόρα.....1,0 sec.
- Χρόνος μετά-ροής αερίου.....5-15 sec.

### 5.4.3. Συνδέσεις, διακόπτες και εξαρτήματα του συστήματος

#### Σημεία σύνδεσης στο μπροστινό μέρος της μηχανής



Σχήμα 5.12: Κεντρική σύνδεση τσιμπίδας GWZ

Σχήμα 5.13: Κεντρική σύνδεση τσιμπίδας F

#### [A] ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΣΙΜΠΙΔΑΣ TIG

- για σύνδεση παροχής ΑΕΡΙΟΥ + ΡΕΥΜΑΤΟΣ για την τσιμπίδα

#### [B] (+) ΥΠΟΔΟΧΗ με ταχυσύνδεσμο

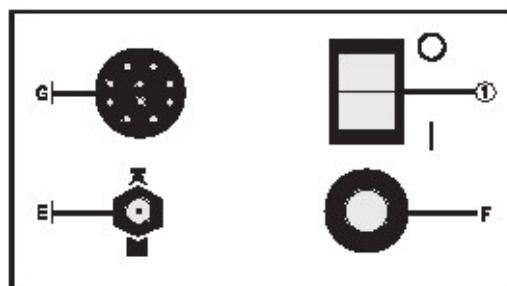
- σύνδεση για το καλώδιο γείωσης για συγκόλληση TIG,
- σύνδεση είτε για το καλώδιο του ηλεκτροδίου, είτε για την γείωση κατά την συγκόλληση με ηλεκτρόδιο, εξαρτάται σύμφωνα με τον τύπο του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται

#### [C] ΥΠΟΔΟΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΣΙΜΠΙΔΑΣ

#### [D] (-) ΥΠΟΔΟΧΗ με ταχυσύνδεσμο

- μόνο για τσιμπίδα με κεντρική σύνδεση GWZ
- σύνδεση είτε για το καλώδιο του ηλεκτροδίου, είτε για την γείωση κατά την συγκόλληση με ηλεκτρόδιο, εξαρτάται σύμφωνα με τον τύπο του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται

#### Συνδέσεις και διακόπτες στο πίσω μέρος της μηχανής



Σχήμα 5.14: Πίσω όψη

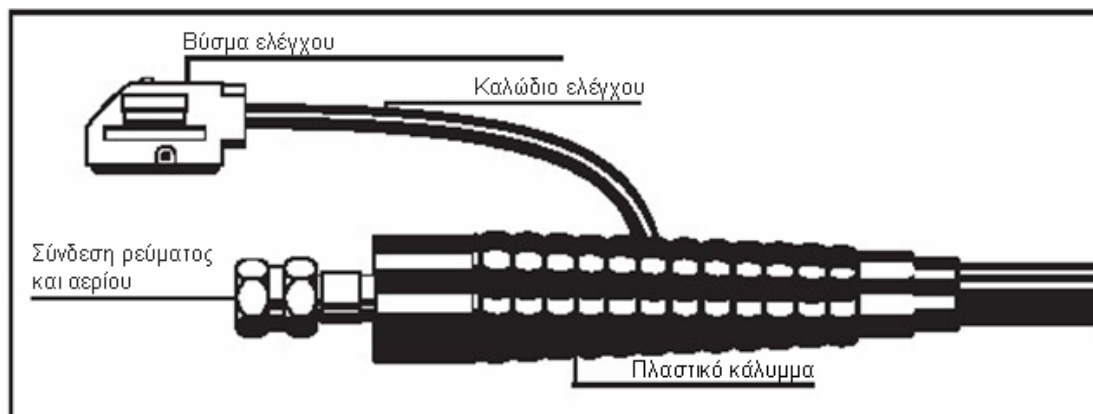
#### [E] ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ

- Βιδώστε το παξιμάδι της σωλήνας αερίου πάνω στην σύνδεση και σφίξτε

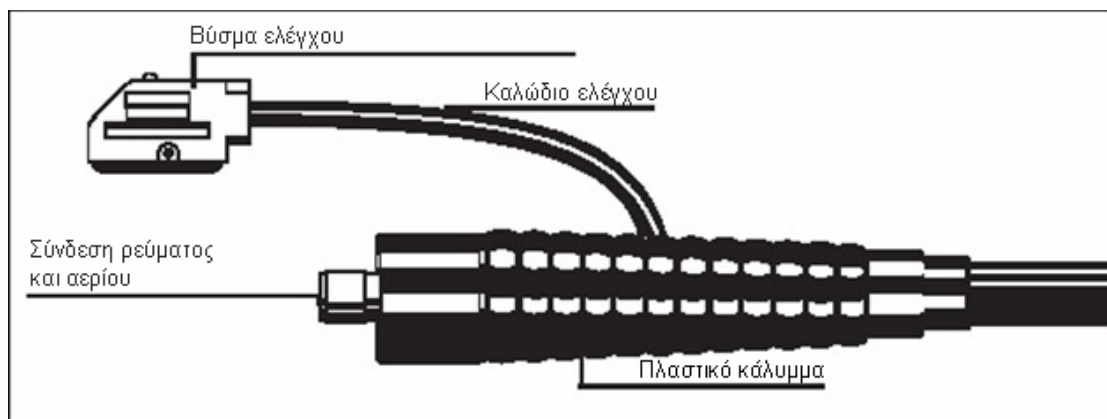
#### [F] ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΡΙΖΑΣ ΜΕ ΛΑΒΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ ΤΕΝΤΩΜΑΤΟΣ

[G] ΥΠΟΔΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ για μονάδα τηλεχειρισμού

- Συνδέστε το βύσμα τηλεχειρισμού στην υποδοχή με τον σωστό τρόπο και σφίξτε το παξιμάδι
- Το επιθυμητό ρεύμα συγκόλλησης ρυθμίζεται στην μονάδα τηλεχειρισμού.
- Η μηχανή αυτόματα αναγνωρίζει το γεγονός ότι έχετε συνδέσει μονάδα τηλεχειρισμού
- Η ασφάλεια μικρού κυκλώματος δίνει τάση στην μονάδα τηλεχειρισμού και προστατεύει τα ηλεκτρονικά σε περίπτωση ζημιάς στο καλώδιο τηλεχειρισμού.



Σχήμα 5.15: Σχεδιασμός με κεντρική σύνδεση αερίου GWZ: Σύνδεση τσιμπίδας με ψύξη αερίου



Σχήμα 5.16: Σχεδιασμός με κεντρική σύνδεση αερίου F: Σύνδεση τσιμπίδας με ψύξη αερίου

## 5.5. Λειτουργία TIG

### Λειτουργία 2-χρόνων

#### Σειρά λειτουργίας

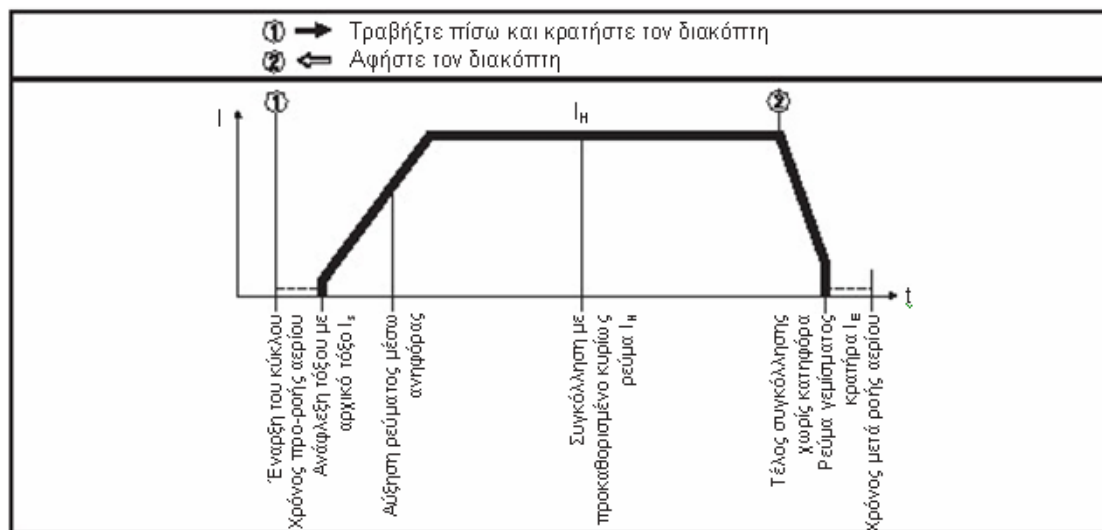
##### 1. Τραβήξτε πίσω και κρατήστε τον διακόπτη

- Ο χρόνος προ-ροής ξεκινάει
- Το τόξο ξεκινάει στην προεπιλεγμένη τιμή εκκίνησης IS (με ανάφλεξη HF: το HF σβήνει αυτόματα με το τέλος του κύκλου συγκόλλησης)
- Μετά την ανάφλεξη το ρεύμα συγκόλλησης αυξάνει μέσω της προκαθορισμένης ανηφόρας στο ρεύμα συγκόλλησης IH
- Η λυχνία LED (10) ανάβει

##### 2. Αφήστε τον διακόπτη

- Το τόξο σβήνει (με ή χωρίς κατηφόρα)
- Ο προκαθορισμένος χρόνος μετα-ροής αερίου ξεκινάει

Αν χρησιμοποιείται μονάδα τηλεχειρισμού με πετάλι TR 52mc, η μηχανή αλλάζει αυτόματα στην λειτουργία 2-χρόνων.



Σχήμα 5.17: Σειρά λειτουργίας 2-χρόνων

## Λειτουργία 4-χρόνων

### Σειρά λειτουργίας

#### 1. Τραβήξτε πίσω και κρατήστε τον διακόπτη

- Ο χρόνος προ-ροής ξεκινάει
- Το τόξο ξεκινάει στην προεπιλεγμένη τιμή εκκίνησης IS (με ανάφλεξη HF: το HF σβήνει αυτόματα με το τέλος του κύκλου συγκόλλησης)

- Η λυχνία LED (9) ανάβει

#### 2. Αφήστε τον διακόπτη

- Μετά την ανάφλεξη το ρεύμα συγκόλλησης αυξάνει μέσω της προκαθορισμένης ανηφόρας στο ρεύμα συγκόλλησης IH που έχει ρυθμιστεί στον πίνακα (15)

- Η λυχνία LED (10) ανάβει

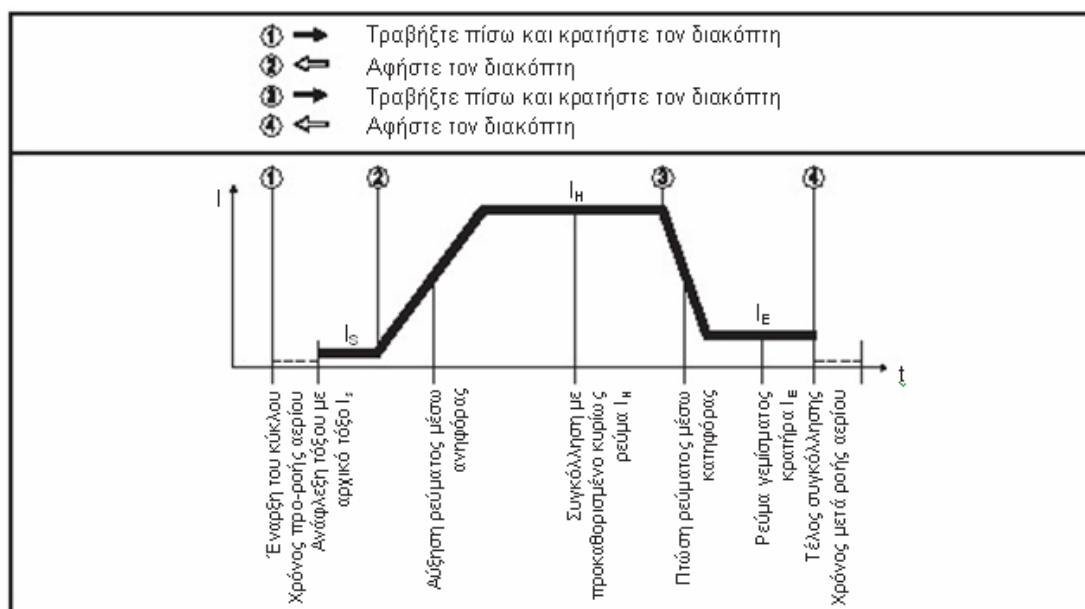
#### 3. Τραβήξτε πίσω και κρατήστε τον διακόπτη ξανά

- Το ρεύμα συγκόλλησης πέφτει μέσω της κατηφόρας που έχει ρυθμιστεί στον πίνακα (11) στην τιμή που έχει ρυθμιστεί για ρεύμα γεμίματος κρατήρα IE στον πίνακα (16)

- Η λυχνία LED (12) ανάβει

#### 4. Αφήστε τον διακόπτη

- Το τόξο σβήνει
- Ο προκαθορισμένος χρόνος μετα-ροής αερίου ξεκινάει



Σχήμα 5.18: Σειρά λειτουργίας 4-χρόνων



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## 6<sup>ο</sup>

### Αέρια Προστασίας της μεθόδου TIG

Η κύρια αποστολή των αερίων είναι να προστατεύουν τη συγκόλληση από την ατμόσφαιρα, δημιουργώντας γύρω από αυτήν ένα προστατευτικό περιβάλλον. Δηλαδή κάνουν ότι και η πάστα στα επενδυμένα ηλεκτρόδια.

Τα αδρανή αέρια είναι το αργόν (Ar) και το ήλιο (He). Τα ενεργά αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) και το σπανιότερα το άζωτο. Τα πλέον συνηθισμένα προστατευτικά αέρια είναι το αργόν και το CO<sub>2</sub>. Το CO<sub>2</sub> είναι ενεργό, επειδή σε μεγάλες θερμοκρασίες διασπάται σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και σε οξυγόνο. Ενεργά αέρια είναι, επίσης, και οι συνδυασμοί αδρανών και ενεργών αερίων. Πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση αερίων με 75%-80% αργόν και 20-25% CO<sub>2</sub>.

Επίσης, τα αέρια σταθεροποιούν το τόξο και ρυθμίζουν το βάθος διείσδυσης. Όπως αναπτύχθηκε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, αν θέλουμε βαθιά διείσδυση, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια κυτταρίνης και, αν θέλουμε πολύ σταθερό (μαλακό) τόξο, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια ρουτιλίου. Δηλαδή, παρόλο που ο μεταλλικός πυρήνας και στις δύο περιπτώσεις είναι από το ίδιο υλικό, η αλλαγή του είδους της επένδυσης διαφοροποιεί τελείως τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκόλλησης. Κάτι ανάλογο γίνεται και με τα προστατευτικά αέρια. Διατηρώντας δηλαδή την ίδια ποιότητα σύρματος και αλλάζοντας μόνο το προστατευτικό αέριο, μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης. Τα αέρια επηρεάζουν τη συγκόλληση ως εξής:

- Το CO<sub>2</sub> προκαλεί βαθιά διείσδυση και επιτρέπει τη συγκόλληση σκουριασμένων επιφανειών. Θα πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι έχει πολύ χαμηλό κόστος.
- Το αργόν (Ar) περιορίζει στο ελάχιστο τα πιτσιλίσματα και, έτσι, επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να έχει μεγαλύτερη παραγωγικότητα.
- Η προσθήκη CO<sub>2</sub> στο αργόν σταθεροποιεί το τόξο.
- Η προσθήκη μικρού ποσοστού οξυγόνου στο αργόν (1-2%), επίσης, σταθεροποιεί το τόξο και χρησιμοποιείται κυρίως στους ανοξείδωτους χάλυβες.

- Η προσθήκη ηλίου στο αργόν αυξάνει τη θερμοκρασία του τόξου και βελτιώνει τη διείσδυση.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή του αερίου προστασίας είναι οι παρακάτω:

- Η σύσταση του ηλεκτροδίου.
- Οι επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες των προς σύνδεση υλικών.
- Η κατάσταση του υλικού, όπως βαθμός καθαρότητας, υπολείμματα ελαίου, ίχνη διάβρωσης κλπ.
- Η μορφή μεταφοράς υλικού εναπόθεσης.
- Η θέση συγκόλλησης.
- Το επιθυμητό προφίλ διείσδυσης.
- Η επιθυμητή τελική όψη ραφής..
- Το κόστος.

Υπό την θερμότητα του τόξου, τα αδρανή αέρια συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο. Η ροή του ρεύματος στο τόξο και η τιμή του έχουν σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά της τηγμένης σταγόνας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα αέριο προστασίας αποδίδει τα βέλτιστα σε συγκεκριμένο τύπο μεταφοράς μετάλλου, ενώ για τους υπόλοιπους δεν έχει την ίδια απόδοση. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιδιότητες ενός αερίου προστασίας, πρέπει να καθοριστούν οι παρακάτω παράμετροι:

- Το δυναμικό ιονισμού του αερίου ή του μείγματος.
- Η θερμική αγωγιμότητα του αερίου ή του μείγματος.
- Η χημική αντιδραστικότητα του αερίου προστασίας με τον λουτρό συγκόλλησης.

Η ηλεκτροσυγκόλληση TIG ή GMAW είναι η πλέον κατάλληλη για υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις και για συγκολλήσεις πολύ λεπτών ελασμάτων. Η εμφάνιση της ραφής είναι άριστη χωρίς πιτσιλίσματα. Στην TIG δε δημιουργούνται σπινθήρες, ενώ παράγονται ελάχιστες αναθυμιάσεις. Επίσης, δεν υπάρχει πρόβλημα ρηγμάτωσης εξαιτίας του υδρογόνου.

Το αέριο που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν αποκλειστικά το αργόν (Ar). Στα χοντρά ελάσματα μερικές φορές χρησιμοποιείται το μείγμα Ar-He, επειδή το ήλιο (He) βελτιώνει τη διείσδυση και ανεβάζει τη θερμοκρασία του τόξου. Το He μόνο του χρησιμοποιείται πολύ σπάνια, σε εξειδικευμένες κυρίως εφαρμογές, επειδή είναι πολύ ακριβό και, συγχρόνως, επειδή είναι πολύ ελαφρύ, οπότε απομακρύνεται εύκολα από το λουτρό συγκόλλησης. Κατά συνέπεια, το He προσφέρει μικρότερη προστασία από το βαρύ Ar που έχει ειδικό βάρος περίπου 1,8 kg/m<sup>3</sup> έναντι του 1,3 kg/m<sup>3</sup> του αέρα.

Το ISO-14175 περιγράφει όλα γενικά τα αέρια των ηλεκτροσυγκολλήσεων και με βάση αυτό, με το I, συμβολίζονται τα αδρανή αέρια.

**Πίνακας 6.1:** Συμβολισμός προστατευτικών αδρανών αερίων

Αέριο	ISO-14175
Ar	I1
He	I2
Ar + He	I3

Αργό (Ar), ήλιο (He) και μείγματα αυτών χρησιμοποιούνται σε συγκολλήσεις μη σιδηρούχων κραμάτων αλλά και σε συγκολλήσεις ανθρακούχων και ανοξείδωτων χαλύβων. Πρόκειται για αδρανών αέρια που δεν αντιδρούν με το λουτρό συγκόλλησης. Προκειμένου ένα αέριο προστασίας να καταστεί αγωγίμο, δηλαδή πλάσμα, πρέπει να ιονιστεί. Διαφορετικά αέρια απαιτούν διαφορετικά ποσοστά ενέργειας για να ιονιστούν, δηλαδή έχουν διαφορετικές ενέργειες ιονισμού. Το αργό ιονίζεται ευκολότερα από το ήλιο, και γι' αυτό το λόγο επιτρέπει ευκολότερο άναμμα τόξου.

Η θερμική αγωγιμότητα, δηλαδή η ικανότητα ενός αερίου να μεταφέρει θερμική ενέργεια, είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του κατάλληλου αερίου προστασίας. Υψηλά επίπεδα θερμικής αγωγιμότητας οδηγούν σε μεταφορά μεγαλύτερου ποσοστού ενέργειας προς το βασικό μέταλλο. Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζει, επίσης, το σχήμα του τόξου και την θερμοκρασιακή κατανομή μέσα σε αυτό. Για το λόγο αυτό, το He οδηγεί σε ραφές μεγαλύτερου πλάτους και μικρότερης διείδυσης.

Από την άλλη πλευρά, αέρια μείγματα με Ar οδηγούν σε μακρόστενο προφίλ διείδυσης. Το αργό υποστηρίζει την μεταφορά τηγμένου μετάλλου με σταγονίδια, ενώ η παρουσία του αυξάνει το ρυθμό μεταφοράς των σταγονιδίων. Κράματα νικελίου, χαλκού, αλουμινίου, τιτανίου και μαγνησίου χρησιμοποιούν 100% αργό. Ωστόσο, σε συγκολλήσεις ελασμάτων αλουμινίου με πάχος μεγαλύτερο από 25 mm, χρησιμοποιείται μείγμα Ar/He.

Οι προσθήκες He ενισχύουν τις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες του βασικού μετάλλου. Ωστόσο, προκειμένου να εξασφαλιστεί σταθερότητα στο τόξο κατά την συγκόλληση, απαιτούνται υψηλότερες τάσεις. Με Ar η ενέργεια του τόξου δεν μεταδίδεται τόσο ομοιόμορφα όσο με He, λόγω της χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας του. Ως αποτέλεσμα, το πλάσμα τόξου με προστασία Ar αποτελείται από πυρήνα υψηλής ενέργειας και από εξωτερικό μανδύα μικρότερης θερμικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, η αξονική μεταφορά των τηγμένων σταγόνων μετάλλου είναι αρκετά σταθερή. Η συγκόλληση αλουμινίου που πραγματοποιείται με αέρια προστασία Ar χαρακτηρίζεται από μικρό πλάτος και μεγάλη διείδυση. Σε συγκολλήσεις όπου η προστασία εξασφαλίζεται με παροχή He, η ραφή έχει μεγαλύτερο πλάτος και η διείδυση έχει παραβολική μορφή.

**Πίνακας 6.2:** Χρησιμοποιούμενο Αέριο Προστασίας ανάλογα με το πάχος αλουμινίου

Πάχος Αλουμινίου	Αέριο Προστασίας
<25 mm	100% Ar
25-76 mm	25% Ar – 75% He
>76 mm	10% Ar – 90% He

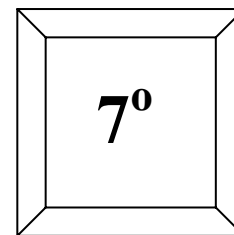
**Πίνακας 6.3:** Παράμετροι Ηλεκτροσυγκόλλησης TIG

Διάμετρος του υλικού συγκόλλησης (mm)	Διατίθεται κυρίως σε σύρμα			Διατίθεται κυρίως σε ράβδους			
	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2
Παροχή Αερίου (Ar), (L/min)	5,5-7	6-7,5	6,5-8	7-9	7-9	8-10	8-10

**Πίνακας 6.4:** Το πεδίο εφαρμογής της συγκόλλησης TIG

Πεδίο Εφαρμογής	TIG
Λεπτά Ελάσματα	Άριστη
Ανθρακούχοι Χάλυβες	Άριστη
Ανοξειδωτοι Χάλυβες	Ναι
Χυτοσίδηρος	Όχι
Αλουμίνιο	Άριστη
Παραγωγικότητα	Μικρή
Χρήση σε ανοικτό χώρο	Άριστη

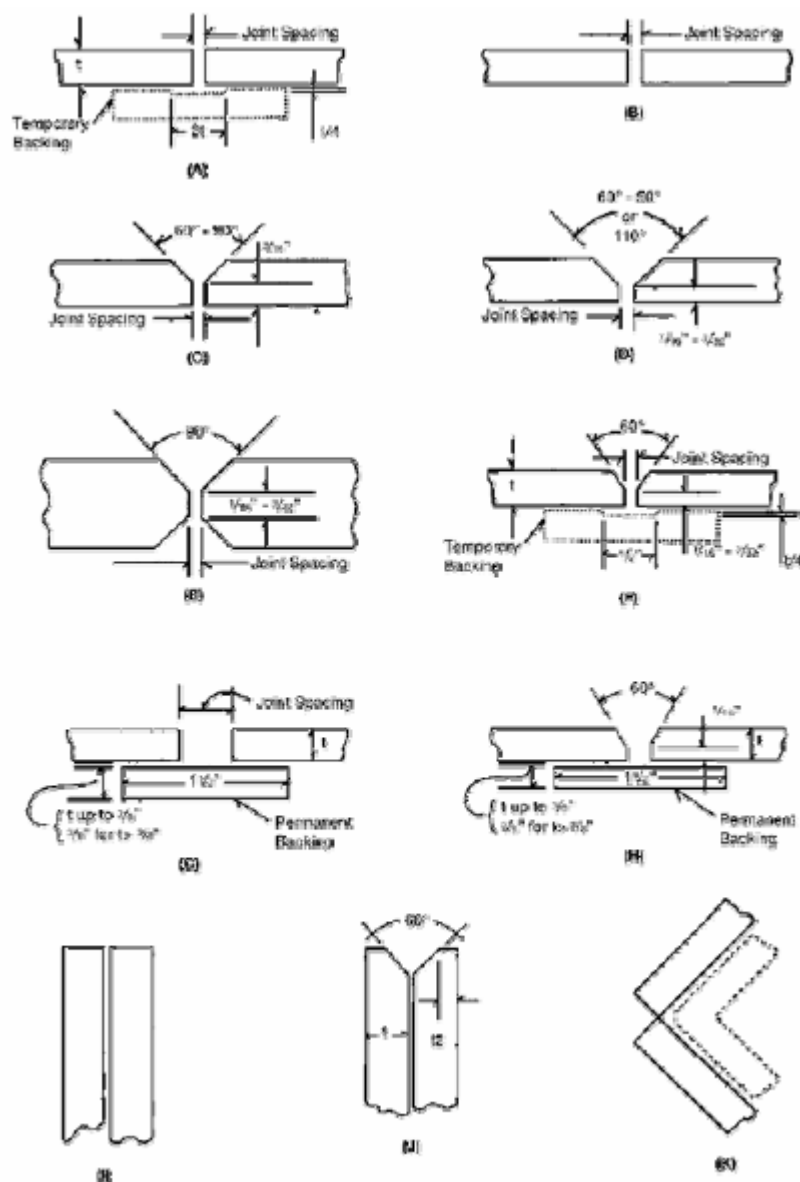
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ



## Υλικά Εναπόθεσης μεθόδου TIG και Μηχανισμοί

### 7.1. Γεωμετρίες Συγκόλλησης Αλουμινίου και κραμάτων του με τη μέθοδο TIG

Για συγκολλήσεις αλουμινίου με χρήση της μεθόδου GTAW, το αέριο αργό, το ήλιο, αλλά και μείγματα αέριων αργού / ηλίου έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά. Για την προετοιμασία των ακμών της συγκόλλησης για τη μέθοδο GTAW υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές. Σε συγκολλήσεις μιας στρώσης, για καλύτερο σχηματισμό της ρίζας της συγκόλλησης θα πρέπει να γίνεται διαμόρφωση της ακμής, εάν αυτό είναι δυνατό. Ακόμη οι ακμές της συγκόλλησης θα πρέπει να είναι απαλλαγμένες από λαδιά ή γράσα, το στρώμα οξειδίου του αλουμινίου θα πρέπει να αφαιρείται ακριβώς πριν τη διενέργεια της συγκόλλησης και μάλιστα το υλικό της βούρτσας θα πρέπει να είναι από λευκό μέταλλο (π.χ. ανοξείδωτος χάλυβας). Είναι γνωστό πως αμέσως μετά την αφαίρεση του στρώματος οξειδίου νέο στρώμα δημιουργείται. Βέβαια, είναι πολύ μικρού πάχους και δεν επηρεάζει τη διενέργεια συγκολλήσεων. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι τυπικές γεωμετρίες συγκόλλησης για τη μέθοδο GTAW.



Σχήμα 7.1: Τυπικές γεωμετρίες συγκόλλησης για τη μέθοδο GTAW

Η προθέρμανση είναι απαραίτητη, εάν δεν παρουσιάζεται η απαραίτητη διείσδυση, εξαιτίας της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας του αλουμινίου. Έχει παρατηρηθεί πως το στρώμα οξειδίου του αλουμινίου στις διαμορφωμένες ακμές της συγκόλλησης δεν αυξάνεται υπερβολικά από μεγάλους χρόνους προθέρμανσης ή παρουσία οξυγόνου στο αέριο θέρμανσης. Ακόμη, η επίδραση της θερμοκρασίας προθέρμανσης και του αντίστοιχου χρόνου στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού παρατηρείται συγκεκριμένα στα θερμικά κατεργασμένα κράματα και τα κράματα που περιέχουν υψηλά ποσοστά Mg. Με τη χρήση συνεχούς ρεύματος, το μέταλλο προσθήκης μεταφέρεται διαμέσου του τόξου ως ένα ρεύμα μικρών υπέρθερων σταγόνων όταν η ένταση και η τάση του ρεύματος βρίσκονται πάνω από ένα

όριο. Το όριο αυτό εξαρτάται από το κράμα του μετάλλου προσθήκης, το πάχος και τον ρυθμό τροφοδοσίας. Ο τρόπος αυτός μεταφοράς του υλικού ονομάζεται ‘μεταφορά με σταγονίδια (spray transfer)’. Είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος τρόπος μεταφοράς υλικού σε συγκόλληση GTAW.

## 7.2. Υλικά Κόλλησης Αλουμινίου και Κραμάτων του

Τα κράματα αλουμινίου και τα κράματα με προσθήκη μαγνησίου χρησιμοποιούνται στην τεχνική TIG για την σύνδεση του αλουμινίου με το υλικό που βασίζεται στο μαγνήσιο. Μερικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τεχνική κόλλησης με χρήση κατάλληλης ροής (π.χ. AlSi12). Στον πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα είδη κραμάτων αλουμινίου με προσθήκη μαγνησίου και καταγράφονται το σύμβολο, η χημική σύσταση και το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης. Στον πίνακα 7.2 οι μορφές κραμάτων αλουμινίου με προσθήκη μαγνησίου (ράβδοι, ράβδοι με βόρακα, καρούλια) και καταγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

**Πίνακας 7.1:** Τα είδη κραμάτων αλουμινίου με προσθήκη μαγνησίου και καταγράφονται το σύμβολο, η χημική σύσταση και το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης

Σύμβολο	Σύσταση (%)						T (°C) SOL - LIQ
	Al	Si	Mg	Mn	Zn	Zr	
Al99,8	Bal	0.2	0.02	0.02			647-658
Al99,5	Bal	0.5	0.03	0.03			647-658
AlSi5	Bal	5	0.05	0.05			573-625
AlSi12	Bal	12	0.05	0.15			573-585
AlMg4,5Mn	Bal	0.2	4.5	0.5-1			565-638
AlMg4,5MnZr	Bal	<0.4	4.5-5.2	0.7-1.1	<0.25	0.1-0.2	565-638
AlMg5	Bal	0.2	5	0.05-2			562-633
AlMg5Mn	Bal	0.3	5	0.6-1			565-638
AlMg3	Bal	0.4	3	0.5			560-630
AlZn98	2				98		430-440
MgAl6Zn	6		Bal		1		510-610
MgAl9Zn	9		Bal		2		450-600



Σχήμα 7.2: Μορφές κραμάτων αλουμινίου με προσθήκη μαγνησίου.

**Πίνακας 7.2:** Οι μορφές κραμάτων αλουμινίου με προσθήκη μαγνησίου (ράβδοι, ράβδοι με βόρακα, καρούλια) και καταγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους.





<b>Χαρακτηριστικά</b>		
<b>Ράβδοι</b>	Ø 1,6 ... 5 mm	μήκος: 1.000 mm
<b>Ράβδοι με βόρακα</b>	Ø 2 ... 5 mm	μόνο Al99,5 - AlSi5 - AlZn98
<b>Καρούλια</b>	Ø 0,8 ... 3,2 mm	σε καρούλι DIN 300 και DIN 100
<b>Μορφές κραμάτων</b>	Σκόνες και πάστες	δαχτύλια, σύρμα σε καρούλι με ροή στην μέση, ράβδοι, ταινίες, καρούλια, διαφόρων τύπων μορφές
<b>Διάφοροι τύποι σχημάτων κατασκευασμένων από ταινίες και πηνία</b>		

### 7.3. Υλικό εναπόθεσης για τη συγκόλληση αλουμινίου και κραμάτων.

Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται οι τύποι των ηλεκτροδίων επένδυσης για τη συγκόλληση αλουμινίου και των κραμάτων του και καταγράφονται το ρεύμα και η θέση συγκόλλησης οι ιδιότητες των ηλεκτροδίων καθώς και η χημική τους σύσταση και η διάμετρος τους.



**Πίνακας 7.3:** Οι τύποι των ηλεκτροδίων επένδυσης για τη συγκόλληση αλουμινίου και των κραμάτων του

	Ορισμός και Περιγραφή	
	<b>MOST EL-AISi 5</b> Ηλεκτρόδιο για επισκευή των χυτών από κράματα αλουμινίου.	<b>MOST EL-AISi 12</b>
<b>Ρεύμα Συγκόλλησης</b>		
<b>Θέση Συγκόλλησης</b>		
<b>Ιδιότητες</b>	R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] > 70–100 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] > 110–130 A5 > 20% Σκληρότητα: ~60 HB	R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] = 80 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] = 200 A5 = 8%
<b>Χημική Σύνθεση</b>	Si=5,0 Mn<0,5 Fe<0,5 Al – υπόλοιπο	Si=12,0 Mn<0,5 Fe=0,5 Al – υπόλοιπο
<b>Διάμετροι</b>	2,5 mm 3,2 mm 4,0 mm	2,5 mm 3,25 mm 4,0 mm 5,0 mm

A5: Μονάδα επιμήκυνσης

R<sub>e</sub>: Σημείο διαρροής

R<sub>m</sub>: αντοχή εφελκυσμού



Συνεχές Ρεύμα – συν στο ηλεκτρόδιο







Καθοδικές, οριζόντιες, κάθετες και κάθετες ανοδικές

#### 7.4. Υλικά εναπόθεσης για την συγκόλληση αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο TIG.

Στους πίνακες 7.4 (Α-Δ) παρουσιάζονται οι τύποι των συρμάτων και των ράβδων που χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση του αλουμινίου και των κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο TIG. Στους πίνακες καταγράφονται το ρεύμα και η θέση συγκόλλησης καθώς και η χημική σύνθεση, οι ιδιότητες και οι διάμετροι των συρμάτων και ράβδων.

**Πίνακας 7.4Α:** Οι τύποι των συρμάτων και των ράβδων που χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση του αλουμινίου και των κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο TIG

	Ορισμός και Περιγραφή	
	<b>MOST Al 99,5 (IA 1070)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.	<b>MOST Al 99,5 Ti (IA 1450)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.
<b>Ρεύμα Συγκόλλησης</b>		
<b>Θέση Συγκόλλησης</b>		
<b>Ιδιότητες</b>	$R_e$ [N/mm <sup>2</sup> ]=39–59 $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]=68–88 A5=25–35%	$R_e$ [N/mm <sup>2</sup> ]=40–60 $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]=70–90 A5=25–35%
<b>Χημική Σύνθεση</b>	Al>99,5 Si<0,40 Cu=0,05 Zn=0,07 Fe<0,30 Ti=0,05	Al>99,5 Si<0,25 Mn>0,05 Mg=0,05 Cu=0,05 Zn=0,10 Fe<0,40 Ti<0,15
<b>Διάμετροι</b>	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm

A5: Μονάδα επιμήκυνσης

$R_e$ : Σημείο διαρροής

$R_m$ : αντοχή εφελκυσμού







Εναλλασσόμενο ρεύμα



Όλες εκτός καθοδικές

Πίνακας 7.4B

	Ορισμός και Περιγραφή	
	<b>MOST Al Mg 3 (IA 5754)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.	<b>MOST Al Mg 5 (IA 5356)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.
<b>Ρεύμα Συγκόλλησης</b>		
<b>Θέση Συγκόλλησης</b>		
<b>Ιδιότητες</b>	R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=80–100 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=175–205 A5=15–20%	R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=100–135 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=220–260 A5=15–25%
<b>Χημική Σύνθεση</b>	Si=0,40 Mn=0,1–0,6 Mg=2,6–3,6 Cr<0,30 Zn=0,02 Fe<0,15 Ti<0,25 Cu=0,05 Al– υπόλοιπο	Si<0,25 Mn<0,2 Mg=4,5–5,2 Cu=0,05 Zn=0,02 Fe<0,40 Ti=0,25 Cr<0,30 Al– υπόλοιπο
<b>Διάμετροι</b>	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,2 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm

A5: Μονάδα επιμήκυνσης

R<sub>e</sub>: Σημείο διαρροής

R<sub>m</sub>: αντοχή εφελκυσμού







Εναλλασσόμενο ρεύμα



Όλες εκτός καθοδικές

Πίνακας 7.4Γ

	Ορισμός και Περιγραφή	
	<b>MOST Al Mg 4.5 Mn (IA 5183)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.	<b>MOST Al Mg 4,5 Mn Zr (IA 5087)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.
<b>Ρεύμα Συγκόλλησης</b>		
<b>Θέση Συγκόλλησης</b>		
<b>Ιδιότητες</b>	R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=110–150 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=275–335 A5=15–20%	R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]=110–150 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]>285 A5=15–20%
<b>Χημική Σύθεση</b>	Si<0,25 Mn=0,6–1,0 Mg=4,3–5,2 Cu=0,05 Zn=0,25 Fe<0,40 Ti<0,25 Cr<0,25 Al- υπόλοιπο	Si<0,25 Mn=0,6–1,0 Mg=4,3–5,2 Cu=0,05 Zn=0,25 Fe<0,40 Zr=0,10 Cr<0,25 Al- υπόλοιπο Ti<0,25
<b>Διάμετροι</b>	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm

A5: Μονάδα επιμήκυνσης

R<sub>e</sub>: Σημείο διαρροής

R<sub>m</sub>: αντοχή εφελκυσμού







Εναλλασσόμενο ρεύμα



Όλες εκτός καθοδικές

Πίνακας 7.4Δ

	Ορισμός και Περιγραφή	
	<b>MOST Al Si 5 (IA 4043)</b> Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.	<b>MOST Al Si 12 (IA 4047)</b> Αέριο προστασίας: Ar, Ar+He. Μέθοδος συγκόλλησης: TIG.
<b>Ρεύμα Συγκόλλησης</b>		
<b>Θέση Συγκόλλησης</b>		
<b>Ιδιότητες</b>	$R_e [N/mm^2] > 50$ $R_m [N/mm^2] = 120-150$ A5=10-18%	$R_e [N/mm^2] > 70$ $R_m [N/mm^2] > 160-190$ A5=10-15%
<b>Χημική Σύθεση</b>	Si=4,5-5,5 Mn=0,10 Mg=0,1 Cu=0,05 Fe<0,40 Ti<0,25 Al – υπόλοιπο	Si=11-13,5 Mn>0,5 Mg=0,05 Cu=0,05 Zn=0,10 Fe<0,60 Al – υπόλοιπο Ti<0,15
<b>Διάμετροι</b>	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm	Διάμετροι συρμάτων: 0,8 mm 1,0 mm 1,2 mm 1,6 mm Διάμετροι ράβδων: 1,6 mm 2,0 mm 3,2 mm 4,0 mm

A5: Μονάδα επιμήκυνσης

$R_e$ : Σημείο διαρροής

$R_m$ : αντοχή εφελκυσμού



Εναλλασσόμενο ρεύμα



Όλες εκτός καθοδικές

### 7.5. Υλικά και μέθοδοι συγκόλλησης

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες συγκολλήσεις για τους ανθρακούχους, τους ελαφρά κραματωμένους και τους ανοξειδωτους χάλυβες, καθώς επίσης και για το χυτοσίδηρο και τα κράματα αλουμινίου και νικελίου. Για παράδειγμα, η μέθοδος GMAW μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα πάχη, αλλά κυρίως για λεπτά ελάσματα, ενώ η μέθοδος FCAW δεν προτείνεται για μικρά πάχη. Επιπλέον, όλες οι συγκολλήσεις που χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια με επένδυση ή σκόνη συλλιπάσματος (flux), όπως οι SMAW, SAW, FCAW και ESW δεν είναι κατάλληλες για συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου.

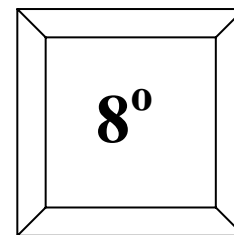
**Πίνακας 7.5:** Προτεινόμενες συγκολλήσεις για τους ανθρακούχους, τους ελαφρά κραματωμένους και τους ανοξειδωτους χάλυβες, καθώς επίσης και για το χυτοσίδηρο και τα κράματα αλουμινίου και νικελίου.

Υλικό	Πάχος	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW	PAW	ESW	OFW	EBW	LBW
Ανθρακούχοι χάλυβες	S	X	X	X		X			X	X	X
	I	X	X	X	X	X			X	X	X
	M	X	X	X	X				X	X	X
	T	X	X	X	X			X	X	X	
Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες	S	X	X	X		X			X	X	X
	I	X	X	X	X	X				X	X
	M	X	X	X	X					X	X
	T	X	X	X	X			X		X	
Ανοξειδωτοι χάλυβες	S	X	X	X		X	X		X	X	X
	I	X	X	X	X	X	X			X	X
	M	X	X	X	X		X			X	X
	T	X	X	X	X			X		X	
Χυτοσίδηρος	I	X							X		
	M	X	X	X	X				X		
	T	X	X	X	X				X		
Κράματα νικελίου	S	X		X		X	X		X	X	X
	I	X	X	X		X	X			X	X
	M	X	X	X			X			X	X
	T	X		X				X		X	
Κράματα αλουμινίου	S			X		X	X		X	X	X
	I			X		X				X	X
	M			X		X				X	
	T			X						X	

Επεξήγηση αρχικών: SMAW: Shielded metal arc welding, SAW: Submerged arc welding, GMAW: Gas-metal arc welding, FCAW: Flux-cored arc welding, GTAW: Gas-tungsten arc welding, PAW: Plasma arc welding, ESW: Electroslag welding, OFW: Oxyfuel gas welding, EBW: Electro beam welding, LBW: Laser beam welding.

Επεξήγηση συμβόλων: S: sheet (φύλλο) πάχους έως 3 mm, I: intermediate (μικρού πάχους) 3-6 mm, M: medium (μεσαίου πάχους) 6-19 mm, T: thick (μεγάλου πάχους) 19 mm και άνω, X: προτεινόμενη μέθοδος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

8<sup>ο</sup>**Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη Βάσης Υλικού****8.1. Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη**

Η θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (Θ.Ε.Ζ) υλικού βάσης είναι η περιοχή ενδιάμεσα στο μέταλλο βάσης (ΜΒ) και το μέταλλο συγκόλλησης (ΜΣ). Η ζώνη αυτή επηρεάζεται θερμικά χωρίς όμως να υφίσταται ανακρυστάλλωση ή πλαστική παραμόρφωση. Από τη θερμική ιστορία της Θ.Ε.Ζ εξαρτώνται η μικροδομή και η φύση των μετασχηματισμών φάσεων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή αυτή. Η φύση της Θερμικά Επηρεαζόμενης Ζώνης (Θ.Ε.Ζ) στα αλουμίνια εξαρτάται από την σύσταση και την μικροδομή του βασικού μετάλλου. Σε αυτή την περιοχή, δίπλα στην ζώνη τήξης, μπορούν να συμβούν κάποιες μεταλλουργικές αντιδράσεις. Κάποιες από αυτές είναι η ανάπτυξη των κόκκων, η κατακρήμνιση καρβιδίων και η ρευστοποίηση των ορίων των κόκκων.

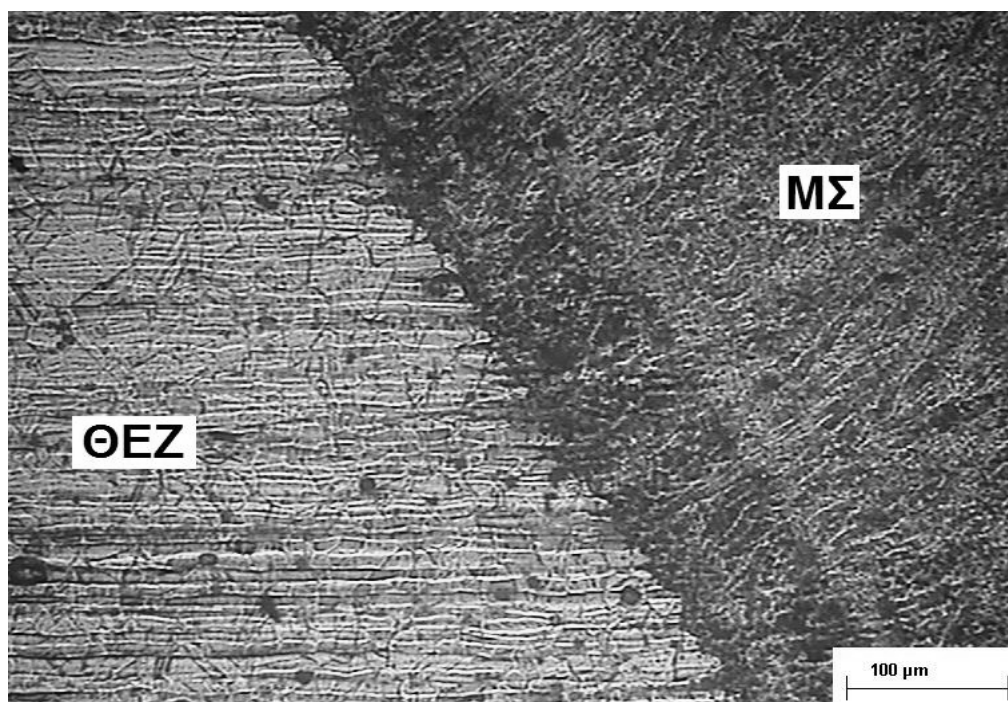
Στο Σχήμα 8.1 διακρίνεται μία πολύ στενή ζώνη σύνδεσης μεταξύ του μετάλλου βάσης και του μετάλλου συγκόλλησης. Δεν παρατηρείται μεταβολή ούτε στο μέγεθος των κόκκων αλλά ούτε και ως προς την μορφολογία της μικροδομής. Το γεγονός αυτό εμποδίζει τον οπτικά χαρακτηρισμό της Θ.Ε.Ζ ή την χαρακτηρίζει ως πάρα πολύ μικρή.

Θα ήταν βέβαια ιδανικό αν οι ιδιότητες και οι χαρακτηριστικές του λουτρού τήξης της συγκόλλησης και της Θερμικά Επηρεαζόμενης Ζώνης (Θ.Ε.Ζ.) ήταν ίδιες με τις ιδιότητες του προς συγκόλληση μετάλλου βάσης. Αυτό φυσικά δεν είναι δυνατό εφόσον το λουτρό συγκόλλησης μοιάζει με χύτευση ενώ τα περισσότερα μέταλλα που υπόκεινται σε συγκόλληση βρίσκονται σε κατάσταση εξέλασης. Τα προϊόντα εξέλασης σχεδόν πάντοτε έχουν καλύτερη στατική και δυναμική αντοχή, ολκιμότητα και αντοχή σε κρούση απ ότι τα αντίστοιχα χυτά κράματα.

Όπως γίνεται αντιληπτό, το λουτρό συγκόλλησης αποτελεί μια μικρογραφία χύτευσης, ψύχεται με ταχύ ρυθμό και οι ιδιότητες συνήθως πλησιάζουν τις ιδιότητες του υλικού εξέλασης. Αυτό είναι απόλυτα σωστό για την περίπτωση των Σιδηρούχων Υλικών και με μια

μικρή παρέκκλιση για τα μη Σιδηρούχα Υλικά όπως π.χ. στα κράματα Αλουμινίου και Χαλκού.

Εξαιτίας λοιπόν των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται μέσα στο λουτρό τήξης της συγκόλλησης, το υγρό του λουτρού τίθεται σε κίνηση ακολουθώντας μια ποικιλία διαδρομών. Η ποικιλία αυτή των διαδρομών εξαρτάται από το είδος και τη διαμόρφωση των λοξοτομών του προς συγκόλληση υλικού, το ρεύμα συγκόλλησης καθώς και τη γωνία εργασίας, που δουλεύει το ηλεκτρόδιο ή το εργαλείο συγκόλλησης.



**Σχήμα 8.1:** Μέταλλο Συγκόλλησης με τη ΘΕΖ

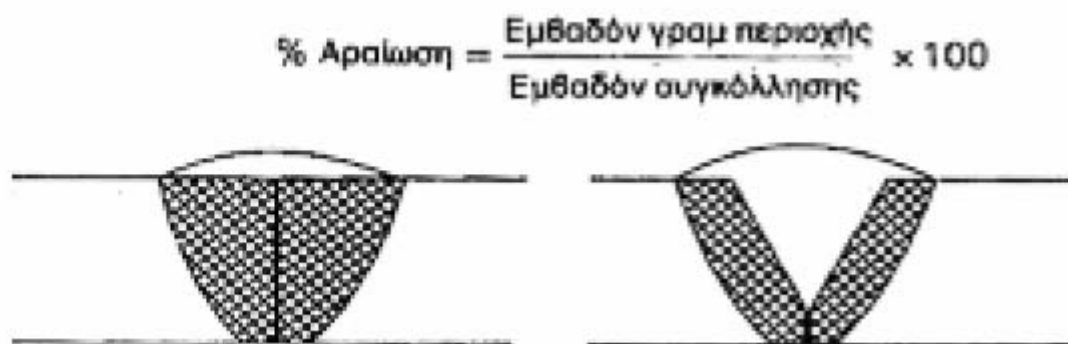
Αυτός ο στροβιλισμός έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη θερμοκρασίας και μεταλλουργικής ομοιομορφίας μέσα στο λουτρό συγκόλλησης, με μοναδική εξαίρεση την περιοχή κοντά στο σημείο όπου το τόξο έρχεται σε άμεση επαφή με το λουτρό. Η τελική χημική σύνθεση του λουτρού συγκόλλησης είναι αποτέλεσμα της μίξης του ηλεκτροδίου ή υλικού συγκόλλησης και των τηκόμενων κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, μετάλλων βάσης. Τότε λέμε ότι το μέταλλο του ηλεκτροδίου που έχει προσαχθεί στο λουτρό συγκόλλησης έχει αραιωθεί από το λιωμένο μέταλλο βάσης. Στην περίπτωση αυτογενούς συγκόλλησης, δηλαδή, εκεί που δεν χρησιμοποιούμε καθόλου ηλεκτρόδιο, τότε λέμε ότι η αραιώση ανέρχεται στο 100%. Στην περίπτωση συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο, τότε στη



συγκόλληση ρίζας επιτυγχάνουμε μία αραίωση της τάξης του 30%, ενώ στα επόμενα κορδόνια η αραίωση είναι κατά τι μικρότερη.

Συνέπεια της παραπάνω ομοιομορφίας του λουτρού συγκόλλησης είναι η πραγματοποίηση του υπολογισμού της αναμενόμενης χημικής του σύνθεσης, με την προϋπόθεση φυσικά ότι η χημικές συνθέσεις και αναλογικές του ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης είναι γνωστές.

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται συνήθως με την εξέταση της διατομής της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.2. Τέτοιου είδους απλοί υπολογισμοί είναι πολύ σημαντικοί, όταν το υλικό συγκόλλησης ή το ηλεκτρόδιο είναι σημαντικά διαφορετικό σε χημική σύσταση από το υλικό βάσης όπως π.χ. στη συγκόλληση ανόμοιων υλικών, όπως π.χ. επίστρωση κοινού χάλυβα με ανοξείδωτο ή συγκολλήσεις Αλουμινίου κ.λ.π. Μια άλλη περίπτωση όπου είναι αναγκαίο να εξετάσουμε την αραίωση, είναι η περίπτωση υλικού βάσης με μεγάλη ποσότητα θείου, ή όταν υπάρχει ποσότητα Αλουμινίου η οποία όταν παγιδευτεί στο λουτρό τήξης της συγκόλλησης, επηρεάζει την ποσότητα του Οξυγόνου και υποβιβάζει την αντοχή της συγκόλλησης σε κρούση.

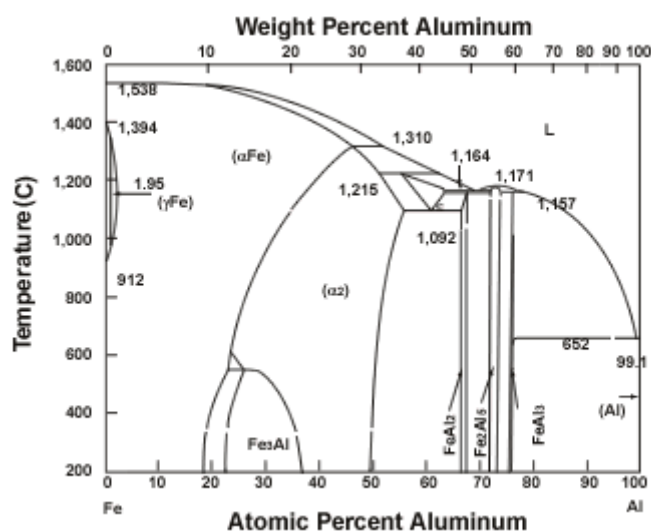


Σχήμα 8.2: Υπολογισμός Αραίωσης από τη γεωμετρία συγκολλήσεων

## 8.2. Δομή του μετάλλου Συγκόλλησης

Στους ανθρακούχους και ανθρακομαγνητούχους χάλυβες και στο αλουμίνιο, οι επιμήκεις κόκκοι της συγκόλλησης είναι φερριτικής μορφής. Αυτός ο τύπος της δομής έχει πολύ μικρή αντοχή σε κρούση και είναι απαραίτητο να αποκατασταθεί. Ο συνήθης τρόπος είναι η θερμική κατεργασία της ομαλοποίησης. Στην περίπτωση της συγκόλλησης με πολλές ραφές, κάθε προηγούμενη ραφή υπόκειται σε θερμική κατεργασία από αυτό που ακολουθεί. Το μέταλλο το οποίο έχει θερμανθεί κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, σε μία θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία μετασχηματισμού (Αλλαγή Μεταλλουργικής Φάσης) κρυσταλλοποιείται σε ένα νέο λεπτότερο και ίσου μεγέθους κόκκο. Η έκταση που παίρνει

αυτή η ανακρυστάλλωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένης και της ενδιάμεσης θερμοκρασίας θέρμανσης που συνήθως παίρνουμε πλήρη ανακρυστάλλωση. Το φαινόμενο αυτό επίσης βελτιώνει τη μεταλλουργική δομή στις γειτονικές περιοχές Θ.Ε.Ζ. Μία κρίσιμη περιοχή όπου η αντοχή σε κρούση είναι επιθυμητή, είναι η πάνω περιοχή σύντηξης μεταξύ του λουτρού συγκόλλησης και του μετάλλου βάσης. Ο λόγος της κρισιμότητας αυτής είναι ότι το τελευταίο κορδόνι συγκόλλησης δεν υπόκειται στην ευεργετική ανακρυστάλλωση.



Σχήμα 8.3: Διάγραμμα φάσης αλουμινίου - σιδήρου

### 8.3. Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ψύξης της Θ.Ε.Ζ.

Ο ρυθμός ψύξης είναι αυτός που καθορίζει τη μικροδομή και τη σκληρότητα της Θ.Ε.Ζ. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ψύξης είναι:

1. **Θερμικές ιδιότητες του υλικού:** Για την επίδραση που έχουν οι θερμικές ιδιότητες του υλικού στη θερμοκρασιακή κατανομή στη Θ.Ε.Ζ ισχύουν οι εξής γενικοί κανόνες:
  - Για μικρό συντελεστή θερμικής διάχυσης είναι και πιο απότομη η κατανομή των μέγιστων θερμοκρασιών ως συνάρτηση της απόστασης από τον άξονα της συγκόλλησης.
  - Για μεγάλους συντελεστές θερμικής διάχυσης παρουσιάζονται μεγαλύτεροι ρυθμοί ψύξης για θερμικό κύκλο με δεδομένη μέγιστη θερμοκρασία.

- Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής θερμικής διάχυσης τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος παραμονής σε υψηλή θερμοκρασία για θερμικό κύκλο με δεδομένη μέγιστη θερμοκρασία.
2. **Μήκος συγκόλλησης και γεωμετρία ραφής:** Ο ρυθμός ψύξης στο κέντρο και στο λουτρό της συγκόλλησης για αυχενικές και επιφανειακές συγκολλήσεις μειώνεται με αύξηση του μήκους συγκόλλησης μέχρι μία συγκεκριμένη τιμή. Επίσης, ο ρυθμός ψύξης στο λουτρό μιας συγκόλλησης μικρού μήκους έχει τιμή διπλάσια περίπου από το ρυθμό ψύξης στο κέντρο μιας συγκόλλησης μεγάλου μήκους. Στη Θ.Ε.Ζ μιας αυχενικής συγκόλλησης ο ρυθμός ψύξης είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο σε επιφανειακή συγκόλληση για ίδιες συνθήκες, εξαιτίας του ότι σε αυχενικές συγκολλήσεις η θερμότητα πάει προς περισσότερες κατευθύνσεις από ότι σε επιφανειακές.
  3. **Πάχος ελάσματος και αρχική θερμοκρασία:** Γενικά παρατηρείται ότι με αύξηση του πάχους του ελάσματος μέχρι κάποια τιμή αυξάνεται και ο ρυθμός ψύξης και πάνω από το όριο αυτό παραμένει σταθερός. Επίσης έχουμε μείωση του ρυθμού ψύξης με αύξηση της θερμοκρασίας προθέρμανσης.
  4. **Συνθήκες συγκόλλησης:** Η προσδιδόμενη στο έλασμα θερμότητα είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος και γενικά, ο ρυθμός ψύξης μειώνεται με αύξηση του λόγου  $I/u$ , όπου  $u$  η ταχύτητα της πηγής θερμότητας.
  5. **Είδος επένδυσης ηλεκτροδίου:** Η επίδραση του είδους της επένδυσης των ηλεκτροδίων στο ρυθμό ψύξης δεν είναι σημαντική, εφόσον οι συγκολλήσεις γίνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Ανάλογα το είδους της επένδυσης των ηλεκτροδίων προκαλούνται διαφοροποιήσεις στην εκλυόμενη θερμότητα κατά τη χημική αντίδραση και στο σημείο τήξης της επένδυσης ή της σκουριάς και άρα αλλαγές στο θερμικό κύκλο.

Ο όσο το δυνατόν πιο ακριβής προσδιορισμός της Θερμικής ιστορίας της Θ.Ε.Ζ κρίνεται αναγκαίος για τον υπολογισμό των παραμενουσών τάσεων και παραμορφώσεων εξαιτίας συγκόλλησης. Επίσης, από τη θερμική ιστορία της Θ.Ε.Ζ εξαρτώνται η μικροδομή και η φύση των μετασχηματισμών φάσεων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή αυτή.

Όσο ακριβής και αν θεωρηθεί ένας μαθηματικός υπολογισμός στο πρόβλημα μετάδοσης θερμότητας, δεν παύει να είναι προσέγγιση της λύσης του προβλήματος, λόγω των παραδοχών και των υποθέσεων πάνω στις οποίες στηρίζεται η όποια επίλυση (πχ σταθερές φυσικές ιδιότητες υλικού, σημειακή ή γραμμική θεώρηση πηγής θερμότητας κλπ).

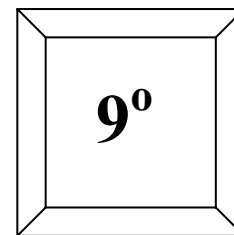
Τα παραπάνω οδήγησαν στο να υιοθετηθούν πειραματικές μετρήσεις για τον προσδιορισμό των θερμικών κύκλων της Θ.Ε.Ζ. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης είναι εκείνη με χρήση θερμοστοιχείων κατάλληλα τοποθετημένων σε προκαθορισμένες θέσεις της Θ.Ε.Ζ. Σημειώνεται, ότι για τη λήψη ικανοποιητικών μετρήσεων απαιτείται μεγάλη ακρίβεια

τοποθέτησης των θερμοστοιχείων και μεγάλη προσοχή στον τρόπο σύνδεσής τους στην επιφάνεια μέτρησης.

Από τις παραπάνω παραμέτρους ιδιαίτερα σημαντική είναι η επίδραση από τη φύση του προς συγκόλληση μετάλλου, το οποίο υπεισέρχεται στον θερμικά κύκλο με τη θερμική αγωγιμότητα,  $\lambda$ , την ειδική θερμότητα,  $c$ , και την πυκνότητα,  $\rho$ . Οι τρεις αυτές φυσικές ιδιότητες διαμορφώνουν τον συντελεστή θερμικής διάχυσης  $D$ :

$$D = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ



## Δυνατότητες Αυτοματοποίησης

Τα τελευταία 60 χρόνια η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ καλύπτοντας τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις της βιομηχανίας αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε σε τεχνολογία αιχμής η οποία είναι και πολυσύνθετη και πολύπλοκη.

Η συγκόλληση με την μέθοδο TIG αποτελεί την πλέον σύγχρονη, εύχρηστη και πιο ραγδαία αναπτυσσόμενη μέθοδο συγκόλλησης, εν τούτοις παρά την ευχρηστία της εξακολουθεί να παραμένει μία δύσκολη μέθοδος συγκόλλησης, καθ' όσον η ποιότητα της συγκόλλησης επηρεάζεται άμεσα από πάρα πολλούς παράγοντες σημαντικότερος των οποίων είναι η κατάλληλη ρύθμιση των μεταβλητών παραμέτρων αυτής.

Ο αυτοματισμός εισήχθη στην τεχνική των συγκολλήσεων με σκοπό τη μείωση του κόστους, τη χρονική επιτάχυνση των εργασιών συγκόλλησης, την εξασφάλιση σταθερής ποιότητας, την καλύτερη εμφάνιση της ραφής και την βελτίωση των συνθηκών εργασίας. Ο αυτοματισμός στη συγκόλληση έχει κάνει μεγάλη πρόοδο και σήμερα χρησιμοποιούνται στις αυτόματες διαδικασίες και μηχανές ρομπότ. Η χρήση των ρομπότ στις συγκολλήσεις γίνεται σε εργασίες που εκτελούνται σε γραμμή παραγωγής σε εργασίες που δεν είναι δυνατόν να εκτελεστούν από άνθρωπο, όπως όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες ή δημιουργούνται πολλοί σπινθήρες. Το σύστημα αποτελείται από τα ίδια μέρη που αποτελείται ένα συγκρότημα συγκόλλησης, με μόνη διαφορά ότι τη θέση του ανθρώπου την έχει πάρει μία μηχανή που προγραμματίζεται για να εκτελεί συγκεκριμένες κινήσεις.

Μια από τις κύριες εφαρμογές της ρομποτικής είναι η συγκόλληση με Robot. Πολλά τα πλεονεκτήματα που μας προσφέρει η χρησιμοποίηση του ρομποτικού βραχίονα στις συγκολλήσεις. Μεγάλη ακρίβεια συγκόλλησης, επαναληψιμότητα, ευελιξία, αυτοματοποίηση της παραγωγής, ποιότητα σε ειδικές συγκολλήσεις, αύξηση της παραγωγικότητας, ασφάλεια, οικονομία. Όλα αυτά σημαίνουν παραγωγή υψηλής ποιότητας προϊόντων που μπορούν να σταθούν επάξια στο ανταγωνιστικό περιβάλλον του παγκόσμιου χάρτη.

Στη συγκόλληση με Robot, όλη η διαδικασία ελέγχεται από τον controller του robot. Ο σχεδιασμός του εξοπλισμού για μια τέτοιου είδους συγκόλληση είναι τελείως διαφορετικός από αυτή της χειροκίνητης συγκόλλησης. Οι ταχύτητες συγκόλλησης είναι μεγαλύτερες, και η μηχανή συγκόλλησης θα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτές τις απαιτήσεις. Προσθετικά όλος ο υπόλοιπος εξοπλισμός θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δεχθεί μέσω σειριακής επικοινωνίας όλες τις παραμέτρους συγκόλλησης από τον controller του Robot.

Για να πραγματοποιηθεί μια εφαρμογή ρομποτικής συγκόλλησης απαιτείται πρόσθετος εξειδικευμένος εξοπλισμός. Η μηχανή συγκόλλησης η οποία είναι η πηγή της ισχύος που χρειάζεται, και η τσιμπίδα συγκόλλησης, η οποία μεταφέρει το ρεύμα συγκόλλησης, το σύρμα, το αέριο προστασίας και το υγρό ψύξης.

Το ακροφύσιο της τσιμπίδας, επειδή βρίσκεται πάντα κοντά στο σημείο συγκόλλησης, με τη συνεχή λειτουργία συσσωρεύει στην εσωτερική του πλευρά εκτινάξεις ρευστού μετάλλου, πιτσιλίσματα. Αυτό καθιστά αναγκαία την τοποθέτηση ειδικού συστήματος για τον αυτόματο καθαριστικό. Επίσης ο σωστός σχεδιασμός του τροφοδοτικού του σύρματος και η σωστή τοποθέτηση της τσιμπίδας εξασφαλίζει την ομαλή τροφοδοσία του σύρματος και κατά συνέπεια την ομαλή λειτουργία του τόξου συγκόλλησης.

Περιφερειακές συσκευές συγκράτησης του αντικειμένου που συγκοιείται, εξασφαλίζουν την ακριβή του θέση επιβεβαιώνοντας την επαναληψιμότητα του συστήματος. Η παραγωγικότητα της εγκατάστασης μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας περιφερειακές συσκευές που βοηθούν την εύκολη αντικατάσταση των εξαρτημάτων από τον χειριστή του συστήματος.



**Σχήμα 9.1:** Ρομποτικός Βραχίονας Συγκόλλησης

### **Οι μηχανές συγκόλλησης.**

Η κατάλληλη ισχύς συγκόλλησης πρέπει ελεγχόμενα να μεταφερθεί στο σημείο συγκόλλησης. Σε κανονικές συνθήκες η ισχύς που απαιτείται παρέχεται από τάση 10 έως 35 V και ρεύμα από 5 έως 500 A. Οι διαφορετικές εφαρμογές απαιτούν και διαφορετικές ρυθμίσεις αυτών των παραμέτρων. .

Οι αυτόματες μηχανές συγκόλλησης απαιτούν αρκετά πιο πολύπλοκα τροφοδοτικά από τις ημιαυτόματες. Μια αυτόματη μηχανή ελέγχεται μέσω επικοινωνίας από το πρόγραμμα του robot μεταβάλλοντας αυτόματα τις παραμέτρους της. Το τροφοδοτικό έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει σταθερά και αξιόπιστα όλα αυτά τα στοιχεία.

Γενικά υπάρχουν τρεις τύποι μηχανών, που διαχωρίζονται ανάλογα με τα στατικά χαρακτηριστικά της καμπύλης εξόδου τους. Οι σταθερής ισχύος, (constant-power - CP) είναι ο συμβατικός τύπος μηχανών, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια. Οι σταθερής τάσης, (constant-voltage-CV), είναι ο τύπος που χρησιμοποιούνταν για συγκολλήσεις σύρματος, MIG/MAG. Οι μηχανές σταθερού ρεύματος (constant-current-CC) συνήθως χρησιμοποιούνται για συγκόλληση βολφραμίου και πλάσματος GTAW. Η σύγχρονη τεχνολογία που διαρκώς εξελίσσεται έχει να προσφέρει στις μέρες μας κι άλλες σύγχρονες μεθόδους συγκόλλησης, οι οποίες μπορούν να επιλεγούν ανάλογα με τη διαδικασία.



**Σχήμα 9.2:** Αυτόματη Μηχανή Συγκόλλησης

### **Καυστήρας (τσιμπίδα) συγκόλλησης.**

Η τσιμπίδα συγκόλλησης χρησιμοποιείται σε ένα αυτόματο σύστημα συγκόλλησης για να κατευθύνει το σύρμα στο τόξο, να μεταφέρει την ισχύ στο σύρμα και το αέριο προστασίας. Υπάρχουν πολλοί τύποι τσιμπίδων, και η επιλογή εξαρτάται από τα δεδομένα της συγκόλλησης

Οι τσιμπίδες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν καταρχήν ανάλογα με τον τρόπο ψύξης τους. Μπορεί να είναι υγρόψυκτες ή αερόψυκτες. Επίσης μπορεί να είναι ευθύγραμμες ή να έχουν κλίση διάφορων μοιρών. Συνήθως οι τσιμπίδες με μια κλίση 45° μας προσφέρουν πολύ καλή ευελιξία κινήσεων.

Η τσιμπίδα συγκόλλησης προσαρμόζεται πάνω στον ρομποτικό βραχίονα μέσω ενός “clutch” το οποίο χρησιμοποιείται και για να προστατέψει τον εξοπλισμό σε περίπτωση κρούσης από λάθος χειρισμό κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης. Αυτά τα μέτρα προστασίας είναι απαραίτητα αφού ένας μικρός τραυματισμός της τσιμπίδας μπορεί να προκαλέσει δυσκολία στην τροφοδοσία του σύρματος, στην παροχή του ρεύματος για το τόξο καθώς και στην τροφοδοσία του προστατευτικού αερίου. Όλα αυτά συμβάλουν αποφασιστικά τόσο στην παραγωγικότητα όσο και στην ποιότητα της συγκόλλησης.



Σχήμα 9.3: Τσιμπίδα για αυτοματοποιημένη συγκόλληση

#### **Αυτόματο καθαριστικό τσιμπίδας**

Το ρομπότ δουλεύει ασταμάτητα. Συνεπώς ο φλογοκρύπτης είναι ευάλωτος σε φράξιμο από τα πιτσιλίσματα με αποτέλεσμα τη μη σωστή συγκόλληση μετά από κάποιο χρονικό διάστημα εργασίας. Για να μη συμβεί αυτό τοποθετείται κοντά στο ρομπότ ένα σύστημα αυτόματου καθαρισμού της τσιμπίδας. Το ρομπότ πλέον, με μια συχνότητα που του καθορίζουμε από το πρόγραμμά του πηγαίνει στο καθαριστικό, καθαρίζει το φλογοκρύπτη και τον ψεκάζει με σπρέι. Έτσι εξασφαλίζουμε την αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος



Σχήμα 9.4: Αυτόματο καθαριστικό τσιμπίδας



**Αυτόματος τροφοδότης σύρματος.**

Οι τροφοδότες σύρματος χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία του υλικού που θα εναποθέσουμε στο σημείο συγκόλλησης. Αυτό μας επιτρέπει να επιτύχουμε διαφορετικά πάχη επικαλύψεων ανάλογα με την εφαρμογή. Συνήθως ο τροφοδότης σύρματος τοποθετείται πάνω στο robot, ξεχωριστά από τη μηχανή συγκόλλησης. Για εφαρμογές ρομποτικής είναι απαραίτητο το interface επικοινωνίας μεταξύ του robot και του τροφοδότη. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τροφοδοτών σύρματος. Τον πρώτο τύπο τον συναντάμε στις συγκολλήσεις MIG/MAG, πηγές ισχύος σταθερής τάσης και το προστιθέμενο υλικό, το σύρμα, αποτελεί συγχρόνως και τον φορέα του ρεύματος συγκόλλησης αλλά και το προστιθέμενο υλικό. Τον δεύτερο τύπο τον συναντάμε στις συγκολλήσεις GTAW, σταθερής έντασης, όπου το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται δια μέσου της ακίδας του βολφραμίου ενώ το προστιθέμενο υλικό, το σύρμα τροφοδοτείται εκτός σώματος τσιμπίδας και από πλάγια θέση στο λουτρό τήξης.

**Περιφερειακά εξαρτήματα ρομποτικού συστήματος συγκόλλησης.**

Για μια επιτυχή εφαρμογή ρομποτικής συγκόλλησης θα πρέπει τα προς συγκόλληση εξαρτήματα να είναι τοποθετημένα σωστά και με ακρίβεια. Σημαντικό ρόλο σε αυτό φέρει ο σωστός σχεδιασμός της καλύμπρας συγκράτησης. Για την αύξηση της παραγωγικότητας απαιτείται η φόρτωση των κομματιών να γίνεται εύκολα και γρήγορα από τον χειριστή.

Το σημείο εκκίνησης του σχεδιασμού της καλύμπρας συνήθως είναι αυτή που μέχρι τώρα χρησιμοποιούταν για την χειροκίνητη συγκόλληση. Εξειδικευμένα positioners μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν την περιοχή εργασίας του robot (work envelope), και την παραγωγικότητα του συστήματος.

Τα positioners συνήθως είναι περιστρεφόμενα ενός, δύο ή και τριών αξόνων ανάλογα με τη πολυπλοκότητα της εφαρμογής. Δίνουν τη δυνατότητα στον χειριστή του robot, να προετοιμάζει το προς συγκόλληση αντικείμενο στην μία πλευρά, ενώ το robot κολλάει στην απέναντι πλευρά. Το ενδιάμεσο προστατευτικό είναι σχεδιασμένο έτσι για να προστατεύει τον χειριστή από την ακτινοβολία. Διατίθενται σε διάφορα μοντέλα, ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο που μπορούν να διαχειριστούν.

**Καρτεσιανά συστήματα.**

Τα καρτεσιανά συστήματα συγκόλλησης κάνουν τα “αδύνατα δυνατά” στις εφαρμογές συγκολλήσεων. Η περιοχή εργασίας του robot, μεγαλώνει όσο απαιτείται για την εφαρμογή και μπορεί να φτάσει σε μήκος ακόμη και τα 25 μέτρα. Τα καρτεσιανά αυτά συστήματα μπορούν να κατεργαστούν αντικείμενα βάρους έως και 20,000 κιλών. Τα Καρτεσιανά συστήματα σχεδιάζονται για να παρέχουν αξιόπιστη, λειτουργική, μεγάλης ακρίβειας και οικονομική λύση σε συγκολλήσεις πολύ μεγάλων κομματιών όπως σε συγκολλήσεις,

containers, κάδων απορριμμάτων, μεταλλικών κτιρίων κλπ. Το robot, το καρτεσιανό και το positioner όπου “πιάνεται” το κομμάτι, ελέγχονται από σερβοκινητήρες και συγχρονίζονται μεταξύ τους από τον controller του robot. Πολλές διαφορετικές εκδόσεις αυτού του συστήματος μπορούν να κατασκευαστούν, συμπεριλαμβανομένων εκδόσεων με δύο robot.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

10<sup>ο</sup>

### Σφάλματα Ραφών

#### 10.1. Ποιότητα Ραφών

Γενικά μπορεί να αναφερθεί ότι για να έχει μια συγκολλητή κατασκευή την απαιτούμενη αξιοπιστία σε όλη τη διάρκεια της ζωής της, πρέπει να έχει ικανοποιητική ποιότητα συγκολλήσεων. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει:

1. Ο σχεδιασμός της να είναι τέτοιος ώστε να είναι κατάλληλη για την επιδιωκόμενη χρήση της σε όλη τη διάρκεια της υπολογισθείσας ζωής της.
2. Να έχει κατασκευαστεί από υλικά και μεθόδους συγκόλλησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις για τις οποίες έχει μελετηθεί.
3. Να χρησιμοποιείται και να συντηρείται σωστά.

Η ποιότητα είναι ένας σχετικός όρος, για αυτό και δεν χρειάζεται η ποιότητα της κόλλησης και ταυτόχρονα και της κατασκευής να είναι καλύτερη από αυτή που απαιτείται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Στη περίπτωση της ποιότητας συγκόλλησης η καταλληλότητα για την επιδιωκόμενη χρήση συνδέεται άμεσα με τη φιλοσοφία της αποδοχής ορισμένων σφαλμάτων, με βάση πάντα κάποια κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να περιέχονται σε κώδικες και προδιαγραφές ή μπορεί και να προκύπτουν από την εφαρμογή της μηχανικής Θεωρίας της θραύσης. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε, ότι με τον όρο ποιότητα συγκόλλησης, δεν εννοείται μόνο η παρουσία ή όχι σφαλμάτων γεωμετρικής μορφής, αλλά ότι περιλαμβάνονται και άλλα χαρακτηριστικά, όπως σκληρότητα, χημική σύνθεση και δυσθραυστότητα της συγκόλλησης.

Ο καθορισμός των συνολικών απαιτήσεων ποιότητας μιας συγκολλητής κατασκευής είναι μια προσπάθεια για την οποία συνεργάζονται μελετητές και μηχανικοί. Σκοπός της προσπάθειας αυτής είναι η καταγραφή των απαιτήσεων που θα οδηγήσουν στο να καταστεί το προϊόν κατάλληλο για την επιδιωκόμενη χρήση. Οι απαιτήσεις αυτές δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ αυστηρές, γιατί αν συμβεί αυτό θα αυξηθεί το κόστος παραγωγής κάτι που δεν

είναι επιθυμητό, ούτε πολύ χαλαρές, γιατί αυτό μπορεί να ανεβάσει επικίνδυνα το κόστος συντήρησης και να ελαττώσει την διάρκεια ζωής της συγκόλλησης και μαζί και της κατασκευής. Σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται από τους κανονισμούς και τις προδιαγραφές των υλικών πρέπει για τη σωστή και ποιοτική συγκόλληση να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι βασικοί παράγοντες:

### 1. Συνθήκες

*Εντατική κατάσταση.* Πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα μεγέθη συγκολλήσεων σύμφωνα πάντα με την μελέτη η οποία έχει γίνει, ώστε να μη δημιουργούνται υπερβολικά υψηλές τάσεις στην κατασκευή.

*Είδος τάσεων.* Πρέπει να γίνει σωστή μελέτη της κατασκευής ώστε στα σημεία που υπάρχουν δυναμικές ή εναλλασσόμενες φορτίσεις, να λαμβάνεται υπόψη η κόπωση.

*Θερμοκρασίες.* Χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες ανάλογα το μέρος το οποίο βρίσκεται η εκάστοτε κατασκευή, απαιτούν μελέτη έναντι ψαθυρής θραύσης και ερπυσμού αντίστοιχα.

*Διάβρωση και φθορά.* Για να αποφευχθεί αυτό απαιτείται σωστή και τακτική συντήρηση.

**2. Ιδιότητες Υλικών.** Πρέπει να επιλέγεται υλικό με τις κατάλληλες ιδιότητες αντοχής, δυσθραυστότητας, αντοχής σε διάβρωση. Ακόμη, ο κατασκευαστής δεν πρέπει να χρησιμοποιεί κατεργασίες που χειροτερεύουν τις ιδιότητες αυτές, π.χ. ψυχρή και θερμή διαμόρφωση, θερμικές κατεργασίες μετά τη συγκόλληση, υπερβολική ή ανεπαρκής πρόσδοση θερμότητας.

**3. Γεωμετρικές ατέλειες.** Η μελέτη πρέπει να περιορίζει τις γεωμετρικές ατέλειες, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ρηγμάτωσης. Ο κατασκευαστής πρέπει να έχει τις γνώσεις και την ικανότητα να χρησιμοποιεί μεθόδους που να μην επιτρέπουν τη δημιουργία ατελειών στις συγκολλήσεις.

**4. Κίνδυνος δημιουργίας σφαλμάτων ραφών.** Ο κίνδυνος δημιουργίας σφαλμάτων είναι μεγάλος όταν, μέταλλα που συγκολλούνται δύσκολα συγκολλούνται σε ακατάλληλες θέσεις ή σε μέρη που είναι δύσκολη η εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου.

**5. Κίνδυνος μη εντοπισμού σφαλμάτων ραφών.** Όταν επιλέγεται τύπος συγκόλλησης κατά τον οποίο είναι δύσκολο να γίνει έλεγχος εσωτερικά της κόλλησης. Οι αυχενικές συγκολλήσεις (σχήματος «T») είναι ένας τύπος τέτοιας συγκόλλησης.

**6. Επιπτώσεις πιθανής αστοχίας.** Πρέπει να προβλέπεται το σημείο στο οποίο υπάρχει πιθανότητα αστοχίας του προϊόντος και στο σημείο αυτό να απαιτείται καλύτερη ποιότητα συγκόλλησης και αυξημένες ανάγκες ελέγχου.

## 10.2. Σφάλματα συγκολλήσεων και τρόποι αποφυγής

Μια ασυνέχεια αποτελεί μια διακοπή της τυπικής δομής μιας συγκόλλησης όπως είναι η ανομοιογένεια στις μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού ή μιας συγκόλλησης ή ακόμα και

ανομοιογένεια στις μεταλλουργικές και φυσικές ιδιότητες αυτού. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως μια ασυνέχεια δεν αποτελεί απαραίτητα και σφάλμα. Μια συγκόλληση η οποία δεν πληρεί τις ελάχιστες προϋποθέσεις κάποιων συγκεκριμένων κανονισμών θεωρείται ως ελαττωματική συγκόλληση. Ταυτόχρονα η αποτίμηση μιας ελαττωματικής συγκόλλησης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αν δεν γίνει με αναφορά κάποιου κανονισμού σχετικά με την χρήση για την οποία προορίζετε η εκάστοτε συγκόλληση.

Κάποιες κατηγορίες και υποκατηγορίες ασυνεχειών είναι οι ακόλουθες:

### **1. Ασυνέχειες που σχετίζονται με τις γεωμετρικές και σχεδιαστικές απαιτήσεις μιας συγκόλλησης.**

#### **Παραμορφώσεις/Διαστρεβλώσεις**

Κατά την διάρκεια μιας συγκόλλησης απαιτείται η θέρμανση και η τήξη του μετάλλου με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η συγκόλληση. Η εμφάνιση υψηλών τάσεων είναι αποτέλεσμα θερμικών συστολών και διαστολών αλλά και αποτέλεσμα της στερεοποίησης του μετάλλου συγκόλλησης. Αυτές οι τάσεις θα παραμείνουν στην δομή της συγκόλλησης ακόμα και μετά την απόψυξη. Τέτοιες τάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα να προκαλούν παραμορφώσεις. Για να αποφευχθούν θα πρέπει τα τεμάχια που θα συγκολληθούν να σταθεροποιούνται από άκαμπτα εξαρτήματα, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης. Στις περιπτώσεις που οι παραμορφώσεις δεν αποφεύγονται μπορούν να διορθωθούν ως ακολούθως:

- Εφαρμόζεται κατάλληλη διαδικασία σφυρηλάτησης όταν βέβαια αυτή επιτρέπεται από τον εκάστοτε κανονισμό που ακολουθείται
- επαναφορά της συγκόλλησης στην σωστή διεύθυνση με ή χωρίς την εφαρμογή κατεργασιών θερμότητας
- αφαίρεση των μερών της συγκόλλησης που προκαλούν την παραμόρφωση
- επιπρόσθετη συγκόλληση σε συγκεκριμένα σημεία με σκοπό την ανάπτυξη αντιθέτων τάσεων από αυτές που παραμόρφωσαν προηγουμένως την κατασκευή

#### **Ανακριβές μέγεθος συγκόλλησης**

Συγκολλήσεις που δεν διαθέτουν το σωστό μέγεθος, δηλαδή είναι είτε πολύ μεγάλες είτε πολύ μικρές και δεν ακολουθούν τις τυποποιήσεις με αποτέλεσμα οι μηχανικές τους ιδιότητες να διαφέρουν από αυτές που η χρήση τους απαιτεί. Συγκολλήσεις εσφαλμένου μεγέθους εντοπίζονται συνήθως είτε με οπτικό τρόπο είτε με την σύγκριση τους με πρότυπα δείγματα.

### **Ανακριβές προφίλ-κατατομή συγκόλλησης**

Το προφίλ μιας συγκόλλησης μπορεί να επηρεάσει με αξιοσημείωτο τρόπο την απόδοση αυτής σε διάφορες φορτίσεις. Το προφίλ ενός στρώματος μιας συγκόλλησης που αποτελείται από πολλές στρώσεις μπορεί να έχει μεγάλη σχέση με την εμφάνιση διαφόρων άλλων ασυνεχειών όπως είναι τα εγκλείσματα και η ατελής τήξη. Ένα τέτοιο σφάλμα ανακριβούς προφίλ αποτελεί η λεγόμενη υπερκάλυψη. Η υπερκάλυψη είναι μια κατάσταση στην οποία το μέταλλο συγκόλλησης ξεπερνά τα όρια που έχουν οριστεί για αυτή με αποτέλεσμα να υπερκαλύπτει άλλα μέρη του προς συγκόλληση αντικειμένου. Σε αυτή την περίπτωση δημιουργούνται εγκοπές που είναι επικίνδυνες σε διάφορες συγκεντρώσεις τάσεων και φορτίσεων. Τέτοια σφάλματα προκαλούνται λόγω εσφαλμένων διαδικασιών και τεχνικών συγκόλλησης.

### **Ανακριβείς τελικές διαστάσεις**

Οι συγκολλήσεις όταν κατασκευάζονται ακολουθούν συγκεκριμένους κανονισμούς και σχέδια με σκοπό να έχουν συγκεκριμένα μεγέθη και διαστάσεις. Όταν οι διαστάσεις αυτές για διάφορους λόγους, που συνήθως έχουν να κάνουν με την χρήση μη κατάλληλων διαδικασιών και τεχνικών, δεν επιτευχθούν τότε οι ιδιότητες της συγκολλητής κατασκευής δεν θα είναι οι αποδεκτές, είτε διότι δεν θα καλύπτονται οι απαιτήσεις σε φορτίσεις διαφόρων τάσεων, είτε λόγω διαφορετικού τελικού μεγέθους θα είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό που σχεδιάστηκε.

### **Υπερβολική ενίσχυση της συγκόλλησης ή αλλιώς υπερβολική χρήση συγκολλητικού υλικού**

#### **2. Ασυνέχειες που σχετίζονται με την ίδια την συγκόλληση και την εσωτερική δομή αυτής.**

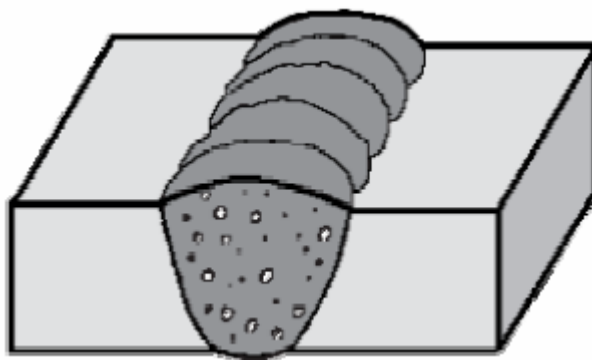
### **Πορώδες**

Το πορώδες είναι ένα από τα πιο κοινά προβλήματα σε μια συγκόλληση. Η αιτία εμφάνισης πορώδους σε μια συγκόλληση είναι η εισχώρηση υδρογόνου στο τηγμένο μέταλλο. Καθώς το μέταλλο στερεοποιείται, πόροι δημιουργούνται όταν διαλυμένα αέρια εξακολουθούν να υπάρχουν σε ποσότητες μεγαλύτερες από αυτές που τους επιτρέπει η διαλυτότητά τους στο στερεό πια μέταλλο. Μάλιστα η διαλυτότητα του υδρογόνου στο στερεό μέταλλο μειώνεται δραστικά σε σχέση με τη διαλυτότητα του στο τήγμα. Το υδρογόνο προέρχεται από ακαθαρσίες (λάδια ή γράσο) ή υγρασία κοντά ή μέσα στη ζώνη συγκόλλησης κατά τη διάρκεια αυτής. Υδρογόνο μπορεί να υπάρχει και σε ακαθαρσίες του προστιθέμενου

μετάλλου, εάν αυτό δεν έχει καθαριστεί επιμελώς πριν από τη συγκόλληση. Για να αποφευχθεί το πορώδες σε μια συγκόλληση θα πρέπει:

- ❖ Να γίνει επιμελής καθαρισμός των προς συγκόλληση επιφανειών με αλκοόλη ή άλλο καθαριστικό πριν τη διενέργεια της συγκόλλησης
- ❖ Να χρησιμοποιηθεί αέριο προστασίας υψηλής καθαρότητας

Το πορώδες μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το μέγεθος του πόρου και την περιοχή της συγκόλλησης που βρίσκεται. Μικροί και διασκορπισμένοι πόροι είναι λιγότερο επιβλαβείς από μεγάλους σε μέγεθος πόρους που βρίσκονται συγκεντρωμένοι ή ευθυγραμμισμένοι. Οι συγκεντρωμένοι πόροι οφείλουν το λόγο ύπαρξής τους, κατά κύριο λόγο, σε μεταβολές στις παραμέτρους συγκόλλησης. Οι ευθυγραμμισμένοι πόροι συνδέονται κυρίως με άλλα προβλήματα, όπως την ατελή διείσδυση και την ατελή τήξη. Το πορώδες μπορεί εύκολα να εντοπιστεί με καταστροφικές και μη μεθόδους. Κυρίως χρησιμοποιείται ο ραδιογραφικός έλεγχος.



**Σχήμα 10.1:** Πορώδες σε τομή συγκόλλησης

### **Ατελής τήξη**

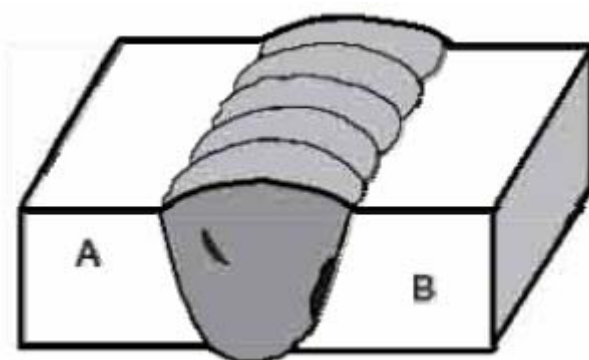
Με τον όρο ατελής τήξη εννοείται η μη επίτευξη πλήρους τήξης του μετάλλου συγκόλλησης με το βασικό μέταλλο, ή των στρώσεων μετάλλου συγκόλλησης μεταξύ τους. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε σημείο της συγκόλλησης. Με άλλα λόγια, όταν παρατηρείται ατελής τήξη σημαίνει ότι το απόθεμα συγκόλλησης δεν «γέμισε» εντελώς όλο το χώρο μεταξύ των διαμορφωμένων ακμών, ή ότι υπάρχει κενό μεταξύ αποθεμάτων ή στρώσεων, ή ότι υπάρχει κενό στη ρίζα της συγκόλλησης. Ατελής τήξη μπορεί να προκληθεί από:

- Ανεπαρκή πρόσδοση θερμότητας λόγω χαμηλής έντασης ρεύματος

- Ανεπαρκή προετοιμασία ακμών
- Λανθασμένη τοποθέτηση του πιστολιού συγκόλλησης
- Προσπάθεια συγκόλλησης πάνω σε υπερβολικά οξειδωμένες επιφάνειες
- Συγκόλληση όπου οι ακμές έχουν πολύ μικρό διάκενο
- Ανεπαρκής αφαίρεση του στρώματος οξειδίου
- Ανεπαρκής προστασία με αέριο
- Τρέξιμο τηγμένου μετάλλου μπρος από τη συγκόλληση
- Λόγω κακής τοποθέτησης των προς συγκόλληση τεμαχίων

Η αποφυγή ατελούς τήξης μπορεί να γίνει με:

- ❖ Πολύ καλό καθαρισμό των επιφανειών που θα συγκολληθούν
- ❖ Μηχανουργική κατεργασία των επιφανειών που θα συγκολληθούν πριν τη συγκόλληση
- ❖ Αύξηση της γωνίας κατά το φρεζάρισμα των ακμών



**Σχήμα 10.2:** Ατελής τήξη (A) στο μέταλλο συγκόλλησης  
(B) στις παρυφές με το μέταλλο βάσης

### **Ατελής διείσδυση**

Ατελής διείσδυση σημαίνει ότι η διείσδυση που επιτεύχθηκε είναι μικρότερη από την απαιτούμενη και επομένως η συγκόλληση δεν είναι επαρκής για την προοριζόμενη εφαρμογή. Από καθαρά τεχνική σκοπιά το σφάλμα αυτό μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση που η προδιαγραφή της συγκόλλησης απαιτεί διείσδυση του μετάλλου συγκόλλησης πέραν της αρχικής διαμόρφωσης των ακμών των υπό συγκόλληση ελασμάτων. Όταν η συγκόλληση αποτύχει στο να διεισδύσει στην περιοχή της ένωσης, που για την τήξη



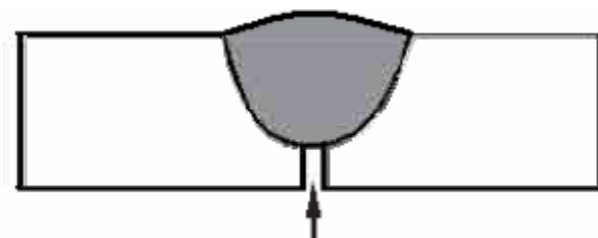
της απαιτεί διείσδυση, τότε η περιοχή αυτή λέγεται ότι έχει ατελή διείσδυση. Η ατελής διείσδυση μπορεί να προκληθεί από:

- Λανθασμένη γεωμετρία συγκόλλησης
- Ανεπαρκή πρόσδοση θερμότητας, λόγω χαμηλής έντασης ρεύματος ή υψηλής ταχύτητας συγκόλλησης
- Λανθασμένη διάμετρο ηλεκτροδίου
- Μη ευθυγράμμιση στη συγκόλληση της δεύτερης πλευράς

Η αποφυγή ατελούς διείσδυσης μπορεί να γίνει με:

- ❖ Αύξηση της έντασης του ρεύματος
- ❖ Μείωση της ταχύτητας συγκόλλησης
- ❖ Μείωση του πάχους της διαμόρφωσης της ρίζας και, εάν είναι αναγκαίο, χρήση επικαλύπτρας

Το φαινόμενο της ατελούς διείσδυσης είναι πολύ σημαντικό σε περιοχές όπως η ρίζα. Στη ρίζα δημιουργούνται περιοχές συγκέντρωσης τάσεων που μπορούν να προκαλέσουν αστοχία. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο στην περίπτωση που η συγκόλληση πρόκειται να καταπονηθεί με εναλλασσόμενα φορτία, γιατί έτσι μπορεί να προκληθεί ρωγμή που να οδηγήσει σε ταχεία αστοχία. Η ατελής διείσδυση μπορεί να ανιχνευθεί με ραδιογραφικό έλεγχο. Ακόμη μπορεί να ανιχνευθεί με υπερήχους, αρκεί το πάχος του ελάσματος να είναι μικρότερο από 10 mm.



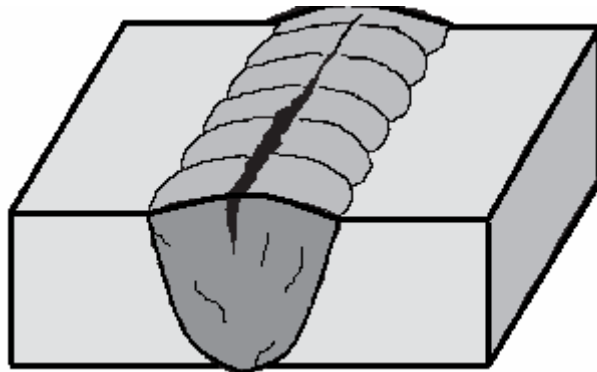
**Σχήμα 10.3:** Ατελής διείσδυση

### **Ρωγμές**

Η ρωγμή ορίζεται ως μια ασυνέχεια υλικού οφειλόμενη σε θραύση και χαρακτηριζόμενη από οξύ άκρο και μεγάλους λόγους μήκους και πλάτους προς το άνοιγμα της. Οι ρωγμές αποτελούν την πιο επικίνδυνη μορφή σφάλματος στις συγκολλήσεις αλουμινίου αλλά και γενικότερα, γιατί κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να επεκταθούν με μεγάλη ταχύτητα και να προκαλέσουν κατάρρευση της κατασκευής. Οι περισσότερες ρωγμές δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της σταθεροποίησης και ψύξης. Κάποιες ρωγμές μπορεί να δημιουργηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο, συνήθως όταν εφελκυστικές τάσεις (παροδικές

ή μόνιμες) υψηλής έντασης είναι παρούσες. Είναι χρήσιμο να διαχωρίσουμε τα διάφορα είδη ρωγμών σε:

- Ρωγμές στη ζώνη τήξης
- Ρωγμές στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη
- Ρωγμές στον κρατήρα

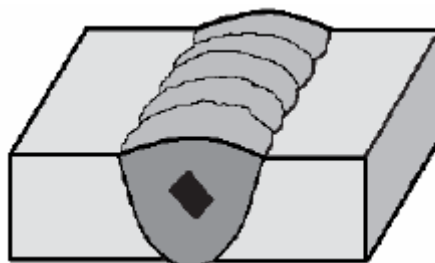


Σχήμα 10.4: Ρωγμές στη ζώνη τήξης

#### Στερεά εγκλείσματα

Στερεά εγκλείσματα μπορεί να εμφανιστούν σε συγκολλήσεις αλουμινίου. Στη μέθοδο GTAW το πιο κοινό στερεό εγκλείσμα είναι εγκλείσματα βολφραμίου, που προέρχονται από το ηλεκτρόδιο του πιστολιού συγκόλλησης. Τα εγκλείσματα βολφραμίου οφείλονται σε:

- Πολύ υψηλή ένταση ρεύματος για το συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο
- Ασταθές τόξο
- Επαφή του ηλεκτροδίου με το τηγμένο λουτρό ή με το μέταλλο προσθήκης



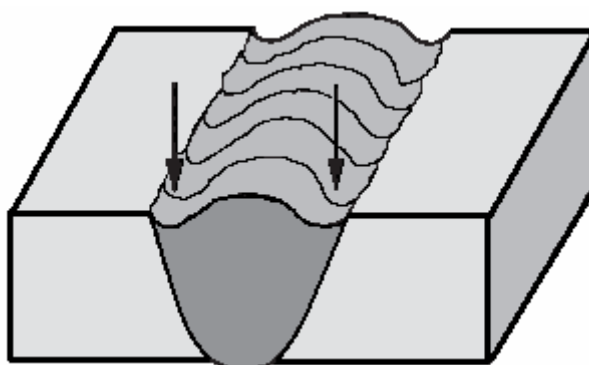
Σχήμα 10.5: Στερεά εγκλείσματα

**Υποκοπές**

Οι υποκοπές είναι ο σχηματισμός αυλακώσεων στη μια ή και στις δυο πλευρές της συγκόλλησης παράλληλα προς την ένωση του μετάλλου συγκόλλησης και του βασικού μετάλλου. Οι λόγοι δημιουργίας υποκοπών είναι οι:

- Λανθασμένη τεχνική συγκόλλησης
- Υπερβολικά χαμηλή ένταση ρεύματος ή πολύ χαμηλή ταχύτητα συγκόλλησης

Το σφάλμα της υποκοπής δημιουργεί οξείες εγκοπές στην επιφάνεια των συγκολλήσεων. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργούνται περιοχές υψηλής συγκέντρωσης τάσεων, με αποτέλεσμα την πιθανότητα έναρξης ρωγματώσεων που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία της συγκόλλησης.



Σχήμα 10.6: Υποκοπές

**3. Ασυνέχειες που σχετίζονται με τις μηχανικές και χημικές ιδιότητες των συγκολληθέντων μετάλλων και των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση.**

**10.3. Προετοιμασία πριν τη συγκόλληση****Επιφανειακή προετοιμασία της συγκόλλησης**

Όλα τα επιφανειακά λάδια και λιπαντικά θα πρέπει να αφαιρεθούν από την επιφάνεια των προς συγκόλληση τεμαχίων, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία πορώδους. Οποιαδήποτε καθαριστικά και χλωριούχα διαλύματα πρέπει να απομονώνονται από την περιοχή της συγκόλλησης, διότι η ακτινοβολία του τόξου μπορεί να δημιουργήσει με αυτές τις ουσίες τοξικά αέρια. Βούρτσες από ανοξείδωτο χάλυβα είναι προτιμητέες για τον καθαρισμό του επιφανειακού οξειδίου του αλουμινίου, διότι αποφεύγεται η εισχώρηση σκουριάς στο υλικό. Εάν χρησιμοποιηθεί μηχανική βούρτσα, θα πρέπει η πίεση που ασκείται να είναι πολύ μικρή, διότι με την υπερβολική πίεση το οξείδιο δεν αφαιρείται αλλά εισχωρεί στο μέταλλο περισσότερο, αυξάνοντας τις ατέλειες της συγκόλλησης. Η επιφανειακή υγρασία μπορεί να

απομακρυνθεί με ελαφρά θέρμανση πριν τη συγκόλληση. Η βέλτιστη συγκόλληση συναντάται όταν το βασικό μέταλλο είναι καθαρό και στεγνό με μια ελάχιστη ποσότητα οξειδίου. Τέλος, σε συγκολλήσεις με πολλαπλές στρώσεις συνιστάται να καθαρίζεται επιφανειακά η συγκόλληση με βούρτσα ανοξειδώτου χάλυβα, ώστε να απομακρύνονται όλες οι ακαθαρσίες πριν από την επόμενη στρώση.

### **Προθέρμανση**

Το αλουμίνιο είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας. Για την αποφυγή λαθών στη συγκόλληση και / ή εμφάνιση πορώδους, εξαιτίας της έντονης διαρροής θερμότητας κατά τη συγκόλληση, απαιτείται ενδεχομένως προθέρμανση – κατά κανόνα με ακετυλένιο και οξυγόνο ή με ακετυλένιο και πεπιεσμένο αέρα. Η θερμότητα και ο χρόνος προθέρμανσης εξαρτώνται από το κράμα και το πάχος του υλικού του εξαρτήματος, καθώς και από το είδος του αερίου προστασίας. Η πολύ υψηλή θερμοκρασία και ο πολύ μεγάλος χρόνος προθέρμανσης μπορούν να οδηγήσουν, ανάλογα με την κατάσταση παράδοσης, στην αλλοίωση των ιδιοτήτων του υλικού. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας προθέρμανσης επιτυγχάνεται κατάλληλα με αισθητήρες θερμότητας ή έγχρωμα μολυβδοκόνδυλα, με έγχρωμα καλύμματα σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες.

## **10.4. Έλεγχος Συγκολλήσεων**

Ο έλεγχος των συγκολλήσεων είναι απαραίτητος προκειμένου να διαπιστωθεί αν η συγκόλληση έχει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει με μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου, όπου εξετάζεται το δοκίμιο ή η ραφή χωρίς όμως να καταστραφεί, και με μεθόδους, όπου υποβάλλονται έτοιμα προϊόντα σε ανάλογες φορτίσεις, με αποτέλεσμα την καταστροφή τους μετά τον έλεγχο.

### **10.4.1 Μη καταστροφικές μέθοδοι**

Οι δοκιμές αυτές δεν καταστρέφουν το υπό εξέταση αντικείμενο και είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες, ιδιαίτερα ο έλεγχος με ακτίνες X και γ. Αναλυτικά παρακάτω φαίνονται οι μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των συγκολλήσεων :

- **Μηχανικός έλεγχος:** Τα δοκίμια υποβάλλονται σε καταπονήσεις μεγαλύτερες από τις συνθήκες λειτουργίας τους και ελέγχεται η αντοχή τους.
- **Οπτικός Έλεγχος:** Ελέγχονται με το μάτι ή με όργανα το πάχος της ραφής μίας συγκόλλησης, τυχόν ρωγμές κ.λπ..

- **Έλεγχος με ηλεκτρική αγωγιμότητα:** Βασίζεται στη διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω σφαλμάτων στη συγκόλληση. Είναι σχετικά αναξιόπιστη μεθοδολογία.
- **Έλεγχος με φθορισμό:** Αλείφεται η ραφή της συγκόλλησης με θειούχο ψευδάργυρο, που είναι φθορίζον υλικό, και στη συνέχεια, αφού σκουπιστεί η επιφάνεια, φωτίζεται και έτσι μπορεί να παρατηρηθούν ρωγμές, πόροι κ.λπ, στα οποία ο θειούχος ψευδάργυρος παραμένει και λάμπει.
- **Μαγνητικός έλεγχος:** Τοποθετούνται χαλύβδινα κομμάτια σε μαγνητικό πεδίο και από τη συνέχεια των μαγνητικών γραμμών φαίνεται αν υπάρχει ή όχι ανωμαλία στη συγκόλληση.
- **Έλεγχος με υπερήχους:** Μία δέσμη υπερήχων προσπίπτει στην ραφή της συγκόλλησης και ανακλάται. Σε περίπτωση που υπάρχει εσωτερικά στη ραφή κάποιο ελάττωμα, αυτό εντοπίζεται, επειδή η ανάκλαση του υπερήχου διακόπτεται και δεν είναι συνεχής. Η μέθοδος αυτή είναι από τις πιο αξιόπιστες αλλά απαιτεί ειδική προετοιμασία.
- **Έλεγχος με ακτίνες X:** Τα ελαττώματα της συγκόλλησης μεταφράζονται σε σκιές πάνω σε φιλμ μετά από προσβολή από ακτίνες X.
- **Έλεγχος με ακτίνες γ:** Οι ακτίνες γ έχουν πολύ μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα από τις αντίστοιχες ακτίνες X. Σε αυτή την περίπτωση επίσης τα ελαττώματα της συγκόλλησης μεταφράζονται σε σκιές πάνω σε φιλμ μετά από προσβολή από ακτίνες γ.

#### 10.4.2. Καταστροφικές Δοκιμές

Οι καταστροφικές δοκιμές έχουν αποτέλεσμα την καταστροφή του συγκολλητού αντικειμένου. Έτσι, για παράδειγμα, ο έλεγχος της αντοχής ενός συγκολλητού δοχείου πίεσης γίνεται με υδραυλική πίεση μέχρι την καταστροφή του δοχείου. Αν η καταστροφή προέλθει από θραύση των τοιχωμάτων του, εκτός της περιοχής της συγκόλλησης, τότε η συγκόλληση είναι ικανοποιητική. Αντίστοιχες δοκιμές γίνονται και σε τμήματα ενός συγκολλητού αντικειμένου. Οι κυριότερες δοκιμές που μπορεί να γίνουν σε δοκίμια συγκολλητού αντικειμένου είναι η δοκιμή εφελκυσμού, κρούσης, λυγισμού και σκληρότητας. Οι δοκιμές αυτές δε διαφέρουν από τις αντίστοιχες κλασικές δοκιμές μηχανικής αντοχής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## 11<sup>ο</sup>

### Προστασία από τις Συγκολλήσεις

#### 11.1. Οι κίνδυνοι και τα μέτρα προστασίας του ηλεκτροσυγκολλητή

Ο ηλεκτροσυγκολλητής, εκτός από την ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης, οφείλει να προσέχει και την ασφάλειά του. Τα βασικότερα σημεία που πρέπει να φροντίζει είναι τα εξής:

##### (α) Η προστασία της όρασης και του προσώπου

Το μέτρο προστασίας που πάντα λαμβάνεται είναι η μάσκα. Χωρίς αυτή είναι αδύνατη η οποιαδήποτε ηλεκτροσυγκόλληση. Η επιλογή της κατάλληλης μάσκας δεν είναι και τόσο απλή υπόθεση.

##### (β) Οι αναθυμιάσεις

Οι αναθυμιάσεις και ο καπνός είναι μικροσκοπικά αιωρούμενα σωματίδια. Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση του σιδήρου, αποτελούνται κυρίως από οξειδία του σιδήρου, αλλά ενδέχεται να υπάρχουν και οξειδία άλλων μετάλλων. Η ποσότητα των αναθυμιάσεων κατά την ηλεκτροσυγκόλληση δεν είναι μεγάλη και ισχύει ο κανόνας: Όταν οι ηλεκτροσυγκολλήσεις γίνονται σε ανοικτό χώρο, δεν είναι απαραίτητο να γίνεται η απομάκρυνση του καπνού. Σε κλειστούς, όμως, χώρους, η προστασία από τον καπνό δεν πρέπει να αγνοείται και πρέπει να χρησιμοποιείται ειδικός αποροφητήρας. Υπάρχουν διαφόρων ειδών αποροφητήρες. Ιδιαίτερα αποτελεσματικοί είναι αυτοί που συνδέονται με ειδικές τσιμπίδες που αναρροφούν τις αναθυμιάσεις απευθείας από το σημείο παραγωγής τους.

##### (γ) Ηλεκτροπληξία

Εκτός από την τάση της ΔΕΗ, δεν πρέπει να υποτιμάται και η δευτερεύουσα τάση, επειδή υπερβαίνει τα 50 V και, ως εκ τούτου, είναι επικίνδυνη. Ο κίνδυνος από αυτήν συχνά

αγνοείται επειδή, για να κλείσει το ηλεκτρικό κύκλωμα, πρέπει να έρθει ο ηλεκτροσυγκολλητής σε επαφή, συγχρόνως με το ηλεκτρόδιο και με το μέταλλο βάσης. Αυτό φαίνεται δύσκολο, αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι. Ως εκ τούτου, πριν από την έναρξη της εργασίας, ο ηλεκτροσυγκολλητής οφείλει να ελέγχει την κατάσταση του εξοπλισμού του και, κυρίως, τα εξής:

- Τη μόνωση της τσιμπίδας του
- Τη μόνωση των καλωδίων
- Τα καπάκια της μηχανής να είναι κλειστά.
- Οι ταχυσύνδεσμοι και οι ακροδέκτες να είναι σε καλή κατάσταση.
- Να υπάρχει γείωση στην πρίζα.
- Η ένταση του ρεύματος ηλεκτροσυγκόλλησης να μην υπερβαίνει την αντοχή των καλωδίων, που δίνεται στον πίνακα 11.1.

Επίσης, ο ηλεκτροσυγκολλητής πρέπει να είναι ηλεκτρικά μονωμένος. Δηλαδή πρέπει τα υποδήματά του να έχουν συνθετικές σόλες, να μην πατάει σε νερά, τα ρούχα να είναι στεγνά και να φοράει τα ειδικά γάντια.

**Πίνακας 11.1:** Διατομές καλωδίων ηλεκτροσυγκόλλησης

Διατομή καλωδίου σε mm <sup>2</sup>	Επιτρεπόμενη Ένταση (Α)
16	175
25	230
35	290
50	365
70	460
95	560

**(δ) Τα εγκαύματα από σπινθήρες**

Οι σπινθήρες μπορούν να προκαλέσουν εγκαύματα. Για αυτό ο ηλεκτροσυγκολλητής είναι αυτός που κινδυνεύει περισσότερο. Δεν πρέπει να βάζει στα μαλλιά του εύφλεκτα υλικά, ούτε να έχει στις τσέπες του αναπτήρα. Αν διατηρεί μακριά μαλλιά, πρέπει να τα μαζεύει πίσω ή μέσα σε καπέλο. Η προστασία από τους σπινθήρες επιτυγχάνεται με τη χρήση εξοπλισμού από δέρμα, δηλαδή με δερμάτινα γάντια, ποδιά ή πουκάμισο, μμανίκια κτλ.

**(ε) Τα εγκαύματα από την ακτινοβολία**

Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση δεν πρέπει να υπάρχουν γυμνά σημεία του σώματος εκτεθειμένα στην ακτινοβολία. Το πρόσωπο προστατεύεται από τη μάσκα και τα χέρια από

τα γάντια, αλλά μέρος του υπόλοιπου σώματος, συχνά, μένει εκτεθειμένο, ιδίως το καλοκαίρι. Το ηλεκτρικό τόξο εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία (UV), η οποία προκαλεί εγκαύματα, ανάλογα με αυτά που προκαλεί η μακρά παραμονή σε ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία. Αυτά δεν εμφανίζονται αμέσως αλλά μετά πολλές ώρες ή την άλλη μέρα και μπορεί να είναι πολύ ισχυρά.

#### (στ) Κίνδυνοι πυρκαγιάς ή έκρηξης

Οι σπινθήρες που πετάγονται μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά σε εύφλεκτες ύλες που βρίσκονται ακόμη και σε απόσταση 10 m. Δεν πρέπει να γίνεται ηλεκτροσυγκόλληση δεξαμενών πετρελαίου ή άλλων εύφλεκτων υλών, ακόμη και όταν αυτές αδειάζουν, επειδή το πιθανότερο είναι ότι θα προκληθεί έκρηξη. Ομοίως, δεν πρέπει να γίνεται ηλεκτροσυγκόλληση κοντά σε σημεία με εύφλεκτες αναθυμιάσεις (όπως βενζίνη, καθαριστικά, χρώματα κτλ.). Στην ύπαιθρο και ιδίως κοντά σε ξηρά χόρτα, πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα. Η παρουσία πυροσβεστήρα κοντά στη μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης είναι απαραίτητη.

#### (ζ) Άλλοι κίνδυνοι

Υπάρχουν αρκετοί κίνδυνοι ακόμη, αλλά υπάρχουν και τα αντίστοιχα μέσα προστασίας. Όλοι οι κίνδυνοι και τα μέτρα προστασίας αναφέρονται στον πίνακα 11.2.

### 11.2. Η προστασία της όρασης και του προσώπου με τη μάσκα

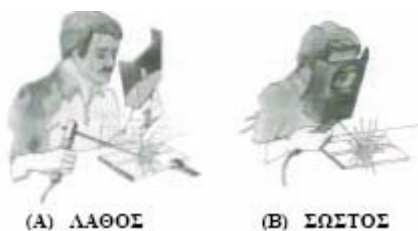
Το πλέον πολύτιμο πράγμα στον άνθρωπο είναι η όραση και η μεγαλύτερη αναπηρία είναι η απώλειά της. Για αυτό, για τα μάτια πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ειδικές μάσκες. Η εκτέλεση ηλεκτροσυγκόλλησης κατά τον τρόπο που φαίνεται στην περίπτωση (Α) του σχήματος 11.1, ουδέποτε πρέπει να γίνεται, ούτε καν στιγμιαία. Η βλάβη προκαλείται σταδιακά και, όταν γίνουν αντιληπτά τα πρώτα δείγματά της, είναι πλέον αργά. Ο σωστός τρόπος εκτέλεσης της ηλεκτροσυγκόλλησης είναι αυτός που φαίνεται στην περίπτωση (Β) του σχήματος 11.1.

**Πίνακας 11.2:** Κίνδυνοι και μέσα προστασίας του ηλεκτροσυγκολλητή

Περιγραφή του κινδύνου	Προστατευτικά μέσα	Στόχοι προστασίας
Βλάβη της όρασης (από την ακτινοβολία)	Μάσκα (χειρός ή κεφαλής)	Αποκοπή των υπέρυθρων και υπεριωδών ακτίνων. Περιορισμός της λάμψης τόσο όσο χρειάζεται για καλή ορατότητα.
Αναθυμιάσεις (μόνο για κλειστό χώρο)	Αναρροφητήρας αναθυμιάσεων	Αποφυγή βλάβης στο αναπνευστικό σύστημα, όταν γίνονται εργασίες σε κλειστούς χώρους.



Ηλεκτροπληξία	Δερμάτινα γάντια. στεγνά ρούχα. μονωτικές σόλες	Ηλεκτρική απομόνωση του ηλεκτροσυγκολλητή από το περιβάλλον του. για τον περιορισμό του κινδύνου ηλεκτροπληξίας.
Εγκαύματα (από σπινθήρες ή από την ακτινοβολία)	Δερμάτινα γάντια. ποδιά. άκαυστο καπέλο. όχι ζελέ μαλλιών	Περιορισμός της έκθεσης των γυμνών σημείων του σώματος στην ακτινοβολία και στους σπινθήρες.
Βλάβη της ακοής (από το θόρυβο)	Ωτοασπίδες	Περιορισμός του κινδύνου βλάβης της ακοής. όταν ο θόρυβος της μηχανής υπερβαίνει τα 80
Πρόκληση πυρκαγιάς ή έκρηξης	Απομάκρυνση εύφλεκτων υλών	Αποφυγή πυρκαγιάς από τους σπινθήρες που είναι δυνατόν να εκτινάσσονται μέχρι και 10 μέτρα.
Εργασίες σε πολύ κλειστό χώρο	Παροχή αέρα. αναρροφητήρας αναθυμιάσεων	Αποφυγή εξάντλησης του οξυγόνου και του κινδύνου δηλητηρίασης από αέρια (ιδίως από CO).
Έκρηξη φιάλης αερίου	Κύλινδροι όρθιοι, καλά στερεωμένοι και μακριά από το ηλεκτρόδιο	Αποφυγή του κινδύνου να προκληθεί έκρηξη από πτώση της φιάλης ή από τυχαία επαφή της φιάλης με το ηλεκτρόδιο.
Χρήση ηλεκτρογεννήτριας (όταν δεν υπάρχει παροχή από ΔΕΗ)	Αποφυγή επαφής με τη γεννήτρια και τοποθέτησή της σε ανοικτό χώρο	Τα κινούμενα μέρη της γεννήτριας μπορούν να προκαλέσουν ακρωτηριασμούς. Η γεννήτρια καταναλώνει το οξυγόνο ενός κλειστού χώρου και μπορεί να προκαλέσει ασφυξία ή δηλητηρίαση.
Πρόκληση βλαβών σε άλλους (π.χ. εργαζόμενους στον ίδιο χώρο)	Κουρτίνες απομόνωσης ή απόσταση από τις άλλες θέσεις εργασίας	Οι άλλοι εργαζόμενοι στον ίδιο χώρο δεν διαθέτουν τα μέσα προστασίας που διαθέτει ο ηλεκτροσυγκολλητής. αλλά είναι εκτεθειμένοι στους ίδιους σχεδόν κινδύνους.
Γενικότεροι κίνδυνοι (κίνδυνοι του κάθε εργασιακού χώρου)	Καλή οργάνωση. υποδήματα με σίδερο μπροστά. αυξημένη προσοχή.	Ο ηλεκτροσυγκολλητής δεν κινδυνεύει μόνο από την ειδικότητά του αλλά και γενικότερα. από τους κινδύνους που παραμονεύουν στον κάθε εργοστασιακό χώρο και στο κάθε εργοτάξιο.



Σχήμα 11.1: Ο λανθασμένος και ο σωστός τρόπος εκτέλεσης της ηλεκτροσυγκόλλησης.

Υπάρχει η εντύπωση ότι όσο πιο σκούρο είναι το γυαλί μιας μάσκας, τόσο μεγαλύτερη προστασία προσφέρει. Αυτό είναι μεγάλο λάθος. Η βασική προστασία που προσφέρει τόσο το γυαλί όσο και η ίδια η μάσκα είναι ότι αποκόπτουν πλήρως τις επικίνδυνες ακτινοβολίες που είναι οι υπεριώδεις (UV) και οι υπέρυθρες (IR), προστατεύοντας τόσο την όραση, όσο και το πρόσωπο από εγκαύματα. Και όλες οι μάσκες καλής ποιότητας έχουν αυτή τη δυνατότητα, ακόμη και όταν το γυαλί τους είναι εντελώς διαφανές, όπως συμβαίνει στις μάσκες που το γυαλί σκουραίνει απότομα, μόλις αρχίσει η έναυση του τόξου.



Σχήμα 11.2: Οι πλέον συνηθισμένες μάσκες ηλεκτροσυγκόλλησης.

Όσον αφορά στην περιοχή του ορατού φωτός, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι ακίνδυνη για την υγεία, αρκεί να μην είναι πολύ ισχυρή. Το γυαλί πρέπει να είναι σκούρο, για τον ίδιο λόγο που χρειάζονται τα γυαλιά ηλίου στην ισχυρή ηλιοφάνεια. Το ερώτημα που τίθεται είναι «πόσο σκούρο;» και η απάντηση είναι «τόσο σκούρο όσο χρειάζεται ο ηλεκτροσυγκολλητής, για να βλέπει πολύ καθαρά». Αν είναι περισσότερο σκούρο, θα δυσκολεύεται να δει και θα κουράζονται τα μάτια του, ενώ παράλληλα θα είναι και κακή η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Αν είναι λιγότερο σκούρο, επίσης, θα κουράζει τα μάτια του και θα θαμπώνεται. Τα γυαλιά οξυγονοκόλλησης δεν προσφέρουν καμία απολύτως προστασία, όταν χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροσυγκόλληση, επειδή δεν αποκόπτουν τις ακτίνες UV και IR. Βασικά, υπάρχουν οι απλές μάσκες που προστατεύουν κυρίως το πρόσωπο. Μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο όταν το ένα χέρι είναι διαθέσιμο, οπότε μπορεί να το χρησιμοποιεί ο ηλεκτροσυγκολλητής, προκειμένου να κρατάει τη μάσκα του. **Επίσης, υπάρχουν και οι μάσκες που στηρίζονται στο κεφάλι που είναι κατάλληλες, όταν κατά την ηλεκτροσυγκόλληση χρειάζεται να χρησιμοποιούνται και τα δύο χέρια, όπως συμβαίνει στην TIG.** Οι μάσκες κεφαλής προστατεύουν επαρκώς και το πάνω τμήμα της κεφαλής, οπότε ο ηλεκτροσυγκολλητής δεν είναι υποχρεωμένος να φοράει καπέλο. Όταν η χρήση κράνους είναι αναγκαία μπορεί η μάσκα να έχει τη δυνατότητα προσαρμογής πάνω σε

κράνος. Καλό είναι κατά τη διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης, ο τεχνίτης να μη διαθέτει ελεύθερο χέρι, για να μην υπάρχει κίνδυνος να ακουμπήσει πάνω στο πυρακτωμένο μέταλλο. Έτσι το να χρησιμοποιεί κάπου το δεύτερο χέρι, όπως το να κρατάει τη μάσκα, μειώνει τις πιθανότητες ενός ατυχήματος.

Εκτός από τις απλές μάσκες, υπάρχουν και μάσκες αυτόματης ρύθμισης του βαθμού προστασίας (της σκίασης). Σε αυτές ρυθμίζεται αυτόματα το πόσο σκούρο θα είναι το τζάμι. Στην αρχή της ηλεκτροσυγκόλλησης το τζάμι είναι διαφανές. Μόλις αρχίσει η ηλεκτροσυγκόλληση σκουραίνει απότομα και, μάλιστα, σκουραίνει τόσο όσο ακριβώς χρειάζεται, για να υπάρχει ικανοποιητική ορατότητα. Αυτό επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να δει προς στιγμή πιο καθαρά και να αποφύγει την όποια επικίνδυνη ενέργεια. Ο ηλεκτροσυγκολλητής, πριν να χρησιμοποιήσει κάποια μάσκα ή πριν προσαρμόσει σ' αυτήν ένα γυαλί προστασίας, πρέπει να ελέγξει τα εξής:

**(α) Όταν πρόκειται για μάσκα αυτόματης ρύθμισης της σκίασης**

- Αν ο βαθμός προστασίας (σκίαση) είναι μέσα στις απαιτήσεις των υπό εκτέλεση εργασιών.
- Αν έχει δυνατότητα και χειροκίνητης ρύθμισης.
- Το χρόνο που χρειάζεται για να σκουρύνει το γυαλί της μάσκας, ο οποίος πρέπει να είναι μικρότερος από το ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Η μέγιστη άνεση στο μάτι επιτυγχάνεται, όταν ο χρόνος αυτός είναι μέχρι 0,4 χιλιοστά του δευτερολέπτου.
- Αν η επαναφορά του γυαλιού από το σκούρο χρώμα στο διαφανές γίνεται σχετικά γρήγορα, π.χ. σε χρόνο μικρότερο από 0,5 δευτερόλεπτο.
- Αν η μάσκα δε διαθέτει ηλιακό φορτιστή, θα πρέπει να ελέγχει ο ηλεκτροσυγκολλητής μήπως η μπαταρία χρειάζεται αντικατάσταση.

**(β) Όταν χρησιμοποιεί απλή μάσκα με γυαλί σταθερής σκίασης**

- Πρέπει να επιλέξει ο ηλεκτροσυγκολλητής το γυαλί με το σωστό βαθμό προστασίας για να το τοποθετήσει στη μάσκα του.
- Ένας πρακτικός τρόπος για τη σωστή επιλογή είναι να γίνονται δοκιμές, ξεκινώντας από ένα πιο σκούρο γυαλί και πηγαίνοντας προς τα ανοιχτότερα, μέχρι να βρεθεί αυτό που παρέχει καλή ορατότητα, χωρίς να θαμπώνει.
- Με ένα και μοναδικό γυαλί δεν μπορούν να γίνονται όλες οι εργασίες. Ως εκ τούτου ο ηλεκτροσυγκολλητής πρέπει να διαθέτει έτοιμες μάσκες με γυαλιά που να καλύπτουν όλους τους βαθμούς προστασίας, που είναι ενδεχόμενο να απαιτηθούν στις εργασίες του. Συνήθως, αρκούν 2-4 μάσκες με γυαλιά διαφορετικών βαθμών προστασίας.

Να σημειωθεί ότι τα μάτια του κάθε ανθρώπου έχουν το δικό τους τρόπο συμπεριφοράς και δεν αισθάνονται όλοι άνετα με το ίδιο γυαλί στην ίδια μάσκα. Επίσης, ο κάθε τύπος ηλεκτροδίου παρουσιάζει τη δική του συμπεριφορά. Οι μάσκες πρέπει να είναι καλής ποιότητας και είναι προτιμότερο να είναι επώνυμες. Πριν αγοραστεί μία ακριβή μάσκα, πρέπει να εξεταστεί αν υπάρχει υποστήριξη και ανταλλακτικά. Αν είναι κεφαλής, πρέπει να ελεγχθεί το σύστημα στήριξης και οι ρυθμίσεις που προσφέρει.

**Πίνακας 11.3:** Βαθμός προστασίας (σκίασης) - Επιλογή κατάλληλης μάσκας

Είδος ηλεκτροσυγκόλλησης	Ένταση τόξου (σε A)	Βαθμός προστασίας
<b><u>TIG</u></b> <b><u>Για όλες τις εφαρμογές</u></b>	<20	9
	20 - 100	10
	40 - 100	11
	100 - 175	12
	175 - 250	13
	>250	14

### 11.3. Προληπτικά μέτρα κατά την χρήση μηχανών συγκόλλησης

Η ηλεκτροσυγκόλληση είναι μια θερμή εργασία, επομένως όποτε εκτελείται πρέπει να εφαρμόζεται η Πυροσβεστική Διάταξη υπ' αριθ. 7.

Οι εργασίες σύμφωνα με την παραπάνω διάταξη επιτρέπονται μόνο αν εκδοθεί ειδική άδεια και ληφθούν τα προβλεπόμενα προληπτικά μέτρα. Η άδεια εκδίδεται από τον υπεύθυνο πυρασφαλείας του κτιρίου ή της επιχείρησης, όπως αυτός έχει οριστεί από το νόμο. Η ισχύς της είναι 24ωρη κατά μέγιστο και διασφαλίζει ότι:

- ο χώρος στον οποίο θα εκτελεστούν οι εργασίες έχει καθοριστεί επαρκώς
- έχουν εξασφαλιστεί οι προϋποθέσεις για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών και τηρούνται τα προληπτικά μέτρα
- ο χώρος επιτηρείται για μία τουλάχιστον ώρα μετά το τέλος των εργασιών.

Τα προληπτικά μέτρα που πρέπει να τηρούνται είναι τα παρακάτω:

- Σε ακτίνα 10 μέτρων από το σημείο που θα εκτελεστεί η συγκόλληση θα πρέπει να απομακρύνονται όλα τα εύφλεκτα αντικείμενα. Προσοχή πρέπει να δοθεί στα αντικείμενα που βρίσκονται σε διπλανούς χώρους αν υπάρχουν ανοίγματα σε τοίχους

και δάπεδα. Η παραπάνω απόσταση μπορεί και να αυξηθεί ανάλογα με τις συνθήκες εργασίας.

- Τα δομικά στοιχεία, οι εγκαταστάσεις και τα εξαρτήματα που είναι εύφλεκτα θα πρέπει να καλύπτονται με πυρίμαχα καλύμματα, ούτως ώστε να μη φτάνουν σε αυτά φλόγες, σπινθήρες, καυτά αέρια και θερμότητα γενικά. Επίσης θα πρέπει να καλύπτονται αντικείμενα που δεν είναι δυνατό να μετακινηθούν.
- Τα ανοίγματα σε οροφές, δάπεδα και τοίχους από όπου περνούν σωληνώσεις, καλώδια και παρόμοιες εγκαταστάσεις καθώς και διάφορες ρωγμές και σχισμές θα πρέπει να καλύπτονται με ασφαλή τρόπο ή να σφραγίζονται.
- Θα πρέπει οι εργασίες να επιτηρούνται από ειδικό προσωπικό πυρόσβεσης, στο οποίο να διατίθενται τα κατάλληλα πυροσβεστικά μέσα.
- Μετά το τέλος της εργασίας ο χώρος πρέπει να ελέγχεται για τυχόν μικροεστίες ή σημεία υπερθέρμανσης που μπορεί να υποβόσκουν και σε γειτονικούς χώρους και να επιτηρείται για τουλάχιστον μία ώρα.

#### 11.4. Μέτρα Προστασίας

##### Κανόνες Ασφαλείας

1. Διατηρείστε τις μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης σε καλή κατάσταση
2. Προσοχή ιδιαίτερα σε τσιμπίδες και καλώδια, ειδικά σε ότι αφορά τη μόνωσή τους
3. Ο συγκολλητής να φέρει πάντοτε γάντια και ειδικά παπούτσια με λάστιχα
4. Να χρησιμοποιείτε συνεχές ρεύμα ειδικά όταν εργάζεστε σε κλειστούς χώρους
5. Κάθε συγκόλληση έχει το δικό της σώμα επιστροφής.
6. Να μην χρησιμοποιείτε για σώμα επιστροφής, σωληνώσεις ή μεταλλικά μέρη κτιρίων, αλλά τοποθετούμε σωστά την τσιμπίδα επιστροφής στα εξάρτημα που συγκολλάμε
7. Όταν διακόπτουμε την εργασία να μην αφήνουμε τη λαβίδα του ηλεκτροδίου πάνω σε μεταλλική επιφάνεια (αποφυγή πιθανής ηλεκτροπληξίας ή πυρκαγιάς)
8. Να γειώνουμε το προς συγκόλληση αντικείμενα
9. Να ελέγχουμε την μόνωση των εργαλείων
10. Να ελέγχουμε για ύπαρξη υγρασίας πάνω στα εργαλεία (διαβρώσεις, νερά κτλ.)

##### Μέσα Ατομικής Προστασίας

Τα μέσα ατομικής προστασίας περιλαμβάνουν:

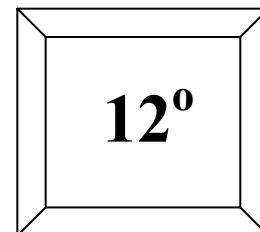
- Μάσκες συγκόλλησης - Κατασκευασμένες από πολυεστερικά υλικά ενισχυμένα στη θερμότητα

- Γυαλιά προστασίας με ελαστικό σκελετό
- Πόδια δερμάτινη
- Γκέτες δερμάτινες
- Γάντια
- Παπούτσια ασφαλείας

## Πειραματικό Μέρος

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ

12<sup>ο</sup>



## Προετοιμασία και Εκτέλεση της Συγκόλλησης

### Προετοιμασία της Συγκόλλησης

Για το πειραματικό μέρος της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δυο τεμάχια καθαρού αλουμινίου με διαστάσεις: 10 mm x 60 mm x 160mm. Τα τεμάχια αυτά προετοιμάστηκαν και μορφοποιήθηκαν ώστε στο ένα τους άκρο από τη μεγάλη τους πλευρά να δημιουργήσουμε μια λοξοτομή τύπου V γωνίας 60<sup>ο</sup> με πάχος δοκιμίου 3 mm. με σκοπό στο κενό που θα δημιουργηθεί μεταξύ των δυο δοκιμίων να προσθέσουμε υλικό εναπόθεσης. Χαράξαμε το δοκίμιο στα 3 mm και στη συνέχεια το τοποθετήσαμε στη φρέζα με κλίση 60<sup>ο</sup> και κατεργαστήκαμε τα δοκίμια μας. Οι κατεργασίες αυτές έγιναν με χρήση της φρέζας του μηχανολογικού εργαστηρίου Emaut – Somua.



Σχήμα 12.1: Δοκίμια Αλουμινίου



Σχήμα 12.2: Φρέζα



Σχήμα 12.3: Χάραξη Δοκιμίου στα 3 mm.





Σχήμα 12.4: Δοκίμο σε μέγγενη 45°.



Σχήμα 12.5: Κατεργασία Φρεζαρίσματος λοξοτομής.



**Σχήμα 12.6:** Προφίλ ένωσης δοκιμίων

### **Εκτέλεση της Συγκόλλησης**

Ακολούθως τα τεμάχια αυτά συγκολλήθηκαν με χρήση μηχανής μεθόδου TIG και χρησιμοποιήθηκε αδρανές αέριο υψηλής καθαρότητας με την επωνυμία Arcal. Η συγκόλληση έγινε εναλλακτικά από τις δυο πλευρές προς αποφυγή κατά το δυνατόν παραμορφώσεων των τεμαχίων δηλαδή εν μέρη από τη μια μεριά και εν μέρη από την άλλη επιλέγοντας θέσης αντίθετες μεταξύ τους. Για να γίνει αυτό φροντίσαμε την ρύθμιση των παραμέτρων της μηχανής με σκοπό να πετύχουμε συμπαγή ραφή με τις λιγότερες δυνατές εκτοξεύσεις μετάλλου (πιτσιλίσματα). μηχανής. Το μέταλλο βάσης (αλουμίνιο) έχει συντελεστή υψηλής θερμοαγωγιμότητας επιλέχθηκαν αυτές οι τιμές τάσεων οι οποίες είναι σχετικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες για ίδιου πάχους τεμαχίων άλλου υλικού. Αφού πραγματοποιήσαμε αρκετές δοκιμαστικές αποθέσεις υλικού σε άλλο έλασμα αλουμινίου καταλήξαμε στις παρακάτω παραμέτρους συγκόλλησης.

- Ρύθμιση παροχής αερίου προστασίας Arcal I της μηχανής (Αργό καθαρότητας 99%) στα 15 M/m από το παροχόμετρο της φιάλης αερίου
- Ρύθμιση της μηχανής για συνεχές ρεύμα υψηλής συχνότητας και έντασης 160 A.
- Ηλεκτρόδιο βολφραμίου 98% και θορίου 2% με διάμετρο 2.4 mm.
- Θέση κύριου διακόπτη 15-28 V και δευτερευόντων 23-27 V.

Με τα παραπάνω στοιχεία παρόλο που στην έναρξη της συγκόλλησης δοκιμάστηκαν και αρκετά άλλα, διαπιστώθηκε ότι η συμπεριφορά του τόξου ήταν πολύ καλή. Δηλαδή πήραμε ένα κανονικό σε ύψος τόξο (ούτε πολύ κοντό αλλά ούτε και πολύ υψηλό) με εμφανή των καταιονισμό του υλικού εναπόθεσης. Με ιδιαίτερη προσοχή στην θέση της λαβίδας (σχεδόν κάθετη) κατά την εκτέλεση της συγκόλλησης στην επιφάνεια του μετάλλου βάσης και φροντίζοντας ώστε το τηκόμενο άκρο του υλικού εναπόθεσης να απέχει και να διατηρεί μια απόσταση περίπου 2 cm από το μέταλλο βάσης καταφέραμε να πετύχουμε μια ομοιόμορφη και συμπαγής ραφή εύρους περίπου 2 cm χωρίς πιτσιλίσματα και από τις δυο πλευρές των τεμαχίων μας.

Το ενιαίο σύνολο που προέκυψε μετά τη συγκόλληση με πολύ μικρές παραμορφώσεις τοποθετήθηκε στη φρέζα του εργαστηρίου Emaut – Somua ώστε μετά από κατεργασία να απομακρυνθούν οι ανωμαλίες στην επιφάνεια από την συγκόλληση και να δημιουργήσουμε μια επιφάνεια λεία και ικανή να μας δώσει τα δοκίμια που χρειαζόμασταν για την μικροσκόπηση. Κατεργαστήκαμε το τεμάχιο αρχικά από τις μεγάλες παράλληλες και ακολούθως από τις παράπλευρες. Με σχετικές διαστάσεις όμως εις τρόπον ώστε όλες οι προκύπτουσες επιφάνειες να καταστούν λείες καθόλη την έκτασή τους και με σχετικά μικρό βαθμό τραχύτητας.



**Σχήμα 12.7:** Διαδικασία φρεζαρίσματος οριζόντιας και κάθετης πλευράς δοκιμίου

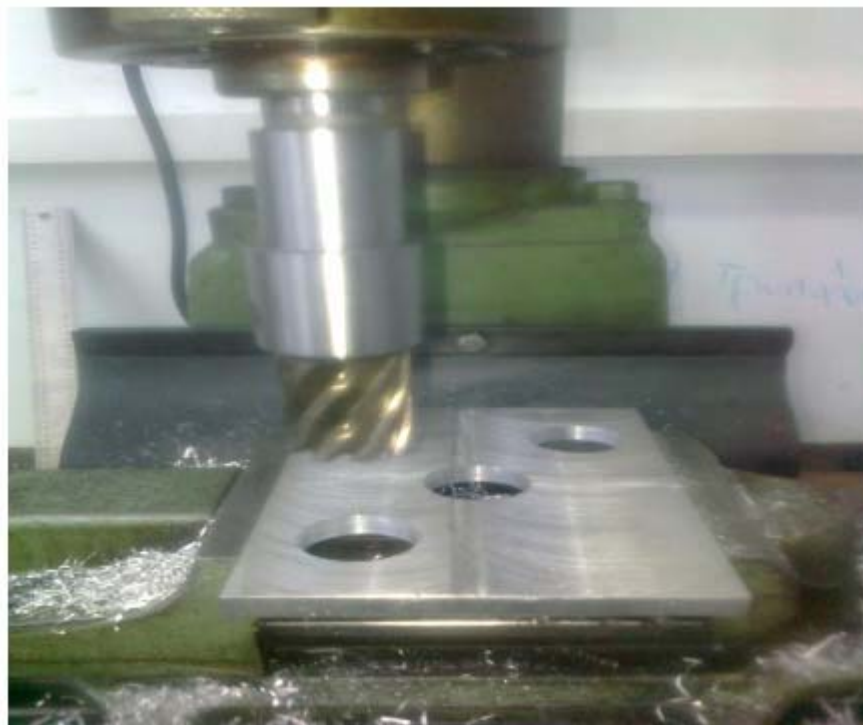
Στη συνέχεια τα δοκίμια αυτά διατρήθηκαν στο μηχανουργείο με κατάλληλο κοπτικό διαμέτρου Φ30 mm (Σχήμα 12.8) διάσταση ικανή ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί στο μικροσκόπιο. Συνολικά πήραμε 3 δοκίμια. Αρχικά ένα επάνω στη ραφή (Z.T.Y) και μετέπειτα δυο παραπλεύρως μακριά από την Θ.Ε.Ζ του υλικού (M.B) με σκοπό να συμπεριλάβουμε όλες τις περιοχές της συγκόλλησης και αυτά να παρατηρηθούν



μικροσκοπικά. Κατά συνέπεια να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν τις αλλαγές του μετάλλου βάσης από τις παραπάνω κατεργασίες που υπέστησαν. (Κοπή, Συγκόλληση, Φρεζάρισμα)



**Σχήμα 12.8:** Κοπτικό εργαλείο δοκιμών



**Σχήμα 12.9:** Διαδικασία διάτρησης δοκιμών



**Σχήμα 12.10:** Τελική μορφή δοκιμιών

## Πειραματικό Μέρος

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ

13<sup>ο</sup>

### Μεταλλογραφική Διερεύνηση Δοκιμίου

- **Λείανση – στίλβωση**

Η προετοιμασία της επιφάνειας, των προς παρατήρηση δοκιμίων, είναι απαραίτητη για την μεταλλογραφική διερεύνηση τους. Με τον όρο προετοιμασία εννοείται η λείανση και στίλβωση των δοκιμίων (πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο τεχνολογίας υλικών του Τ.Ε. Ι.), δηλαδή ο καθαρισμός των επιφανειών των δοκιμίων με γυαλόχαρτα διαφορετικού μεγέθους και τραχύτητας το καθένα\_ώστε να κάνουμε την επιφάνεια των δοκιμίων όσο πιο λεία και καθαρή γινόταν. Η λείανση έγινε με χρήση λειαντικών σιλικονούχων χαρτιών με τραχύτητα από 120 grit μέχρι 4000 grit και η στίλβωση με χρήση αλούμινας 1 μm αρχικά και 0,1 μm. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα δοκίμια στη συσκευή υπερήχων στην οποία είχαμε βάλει ασετόν, για να καθαρίσει η επιφάνεια από οξειδώσεις σκουριά, σκόνη και πιθανά υπολείμματα από την διαδικασία λείανσης η οποία είχε προηγηθεί, έτσι ώστε να μπορέσουμε να πάρουμε καλύτερα αποτελέσματα στο μικροσκόπιο. Στη συνέχεια αφού βγάλαμε τα δοκίμια από τη συσκευή υπερήχων τα τρίψαμε ακόμα μια φορά με γυαλόχαρτο λεπτότερης τραχύτητας.



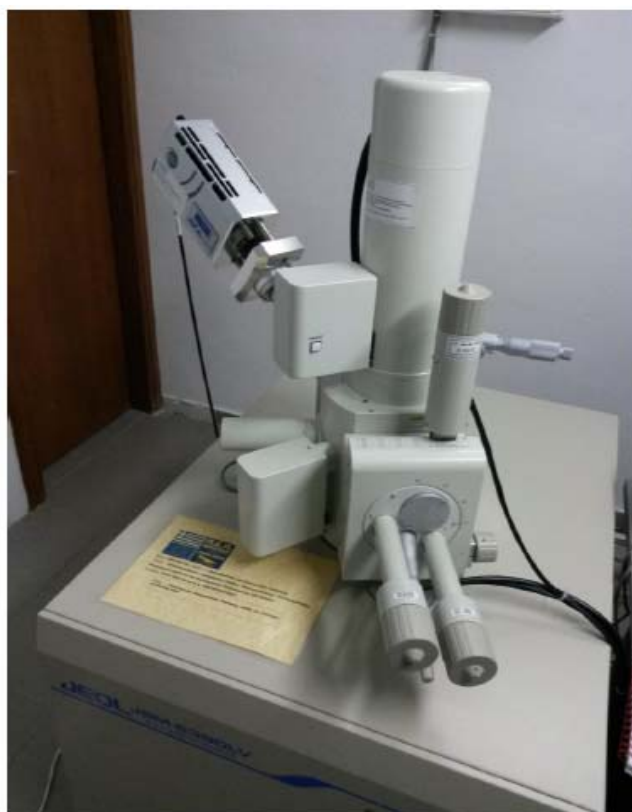
Σχήμα 13.1: Συσκευή Υπερήχων

- **Χημική προσβολή**

Για την αποκάλυψη της μικροδομής ενός δοκιμίου και την παρατήρησή του στο οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιείται η χημική προσβολή, δηλαδή η τοπική διάβρωση της επιφάνειας του. Χρησιμοποιήθηκε μίγμα διαβρωτικών υγρών το οποίο αποτελούνταν από καυστική νάτριο (NaOH) και υδροχλωρικό οξύ (HCl). Στο μίγμα αυτό βυθίσαμε για λίγα δευτερόλεπτα το μισό τμήμα της επιφάνειας του κομματιού έτσι ώστε να μην διαβρωθεί όλη η επιφάνεια και να μπορούμε να πάρουμε διαφορετικές εικόνες στο μικροσκόπιο από την διαβρωμένη και από τη μη διαβρωμένη περιοχή. Στη συνέχεια βάλουμε τα κομμάτια στο φούρνο για να στεγνώσουν και να πάνε στο μικροσκόπιο.

- **Οπτικό μικροσκόπιο**

Για την μικροσκοπική παρατήρηση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης S.E.M με σύστημα ανάλυσης F.O.X του εργαστηρίου τεχνολογίας υλικών.



Σχήμα 13.2: Μικροσκόπιο σάρωσης SEM.

Η λειτουργία του μικροσκοπίου SEM στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις του προς εξέταση δείγματος και της προσπίπτουσας σε αυτό δέσμης ηλεκτρονίων. Οι βασικές διατάξεις που υπάρχουν στο μικροσκόπιο είναι:

- το σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων,
- το σύστημα κατεύθυνσης της δέσμης,
- το σύστημα πληροφοριών και τέλος
- το σύστημα κενού.

Τα βασικά στάδια λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι:

- Ο σχηματισμός μίας δέσμης ηλεκτρονίων από την πηγή η οποία επιταχύνεται προς το δείγμα μέσω ενός θετικού ηλεκτρικού δυναμικού.
- Χρησιμοποιώντας μεταλλικά ανοίγματα, ηλεκτρομαγνητικούς φακούς και πηνία σάρωσης, επιτυγχάνεται μία λεπτή εστιασμένη μονοχρωματική δέσμη η οποία σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος
- Οι αλληλεπιδράσεις δέσμης δείγματος καταγράφονται από τους ανιχνευτές και μετατρέπονται σε εικόνα.



**Σχήμα 13.3:** Εσωτερική όψη μικροσκοπίου σάρωσης SEM.

Τα ηλεκτρόνια παράγονται από ένα νήμα βολφραμίου το οποίο λειτουργεί σαν κάθοδος. Μέσα από το νήμα περνάει ρεύμα (filament current) και καθώς αυξάνεται, εκπέμπονται ηλεκτρόνια τα οποία κατευθύνονται προς την άνοδο στην οποία εφαρμόζεται ένα δυναμικό 1-30 KV (accelerating voltage). Η άνοδος που είναι θετική όπως και το κύκλωμα δημιουργεί ισχυρές ελκτικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η άνοδος κατευθύνει



και επιταχύνει τα ηλεκτρόνια, ελέγχει δηλαδή την ενέργειά τους. Αν το ρεύμα του νήματος αυξηθεί επιπλέον, έχουμε υπερθέρμανση και εξάχνωση του βολφραμίου, δηλαδή το νήμα καίγεται. Ακόμα όμως και στο σημείο κορεσμού, μέρος του βολφραμίου εξαχνώνεται και για αυτό με την πάροδο του χρόνου το νήμα λεπταίνει. Η τεχνική αυτή δημιουργεί βάθος στην εστίαση και επειδή η σκέδαση των ηλεκτρονίων είναι συνάρτηση της γωνίας πρόσκρουσης, η τελική εικόνα έχει τρισδιάστατη απεικόνιση. Η μεγέθυνση κυμαίνεται από 100 έως 100.000 φορές ανάλογα με το δείγμα. Ο αριθμός ηλεκτρονίων στην δέσμη ορίζεται σαν ρεύμα εκπομπής (emission current — 100  $\mu$ A). Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από την άνοδο και περνούν μέσα από ένα ηλεκτρομαγνητικό φακό συμπύκνωσης (condenser lens) που τα μετατρέπει σε δέσμη (Στάδιο απομεγέθυνσης). Η ισχύς αυτού του φακού καθορίζει την διάμετρο της δέσμης (spot size).

Κατά την χρήση του SEM, η στήλη πρέπει να βρίσκεται υπό κενό για να μπορεί να παραχθεί και να διατηρεί σταθερή την ακτίνα των ηλεκτρονίων. Ειδικά τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα μόρια του αέρα και απορροφώνται. Το κενό επιτυγχάνεται με την χρήση δύο αντλιών και είναι της τάξης των  $2 \cdot 10^{-3}$  Pa.

- **Μελέτη μικροδομής μετάλλου εναπόθεσης**

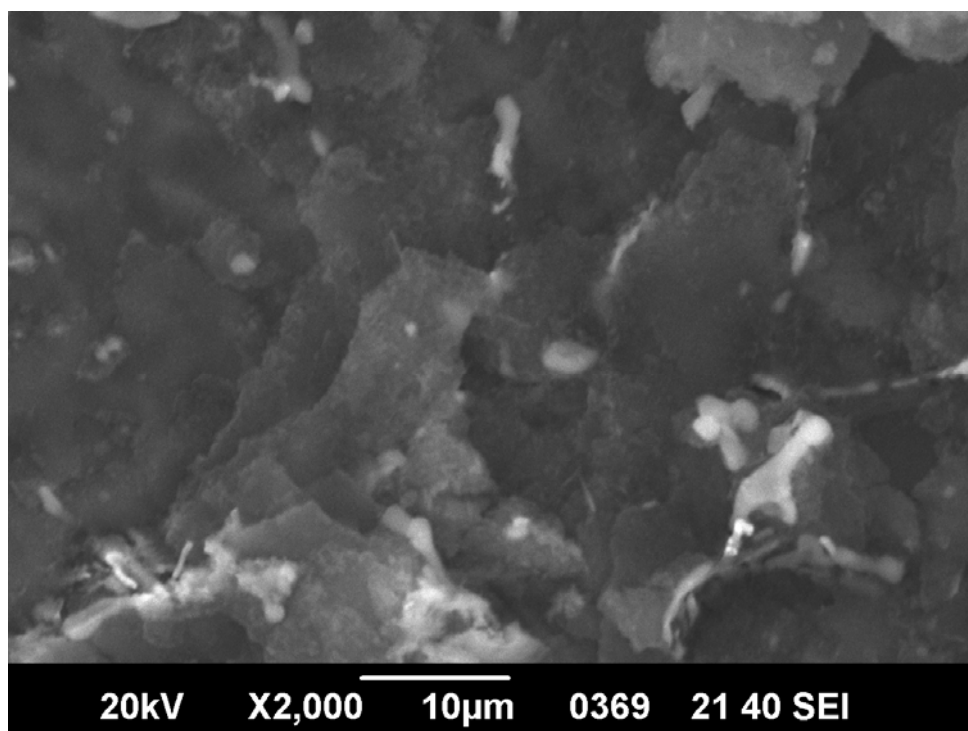
Τοποθετήσαμε το κομμάτι No1 στο μικροσκόπιο και αφού το αφήσαμε 10 λεπτά να προθερμαθεί ξεκινήσαμε να σκανάρουμε το κομμάτι μας με 5 KV ρεύμα επιτάχυνσης ηλεκτρονίων μέχρι 20KV. Αυτό έγινε για να θερμάνουμε με αργό ρυθμό το κομμάτι και να μην δώσουμε αμέσως 20 KV ρεύμα γιατί έτσι θα το καταστρέφαμε.

Ξεκινήσαμε το σκανάρισμα του δοκιμίου παίρνοντας εικόνες για:

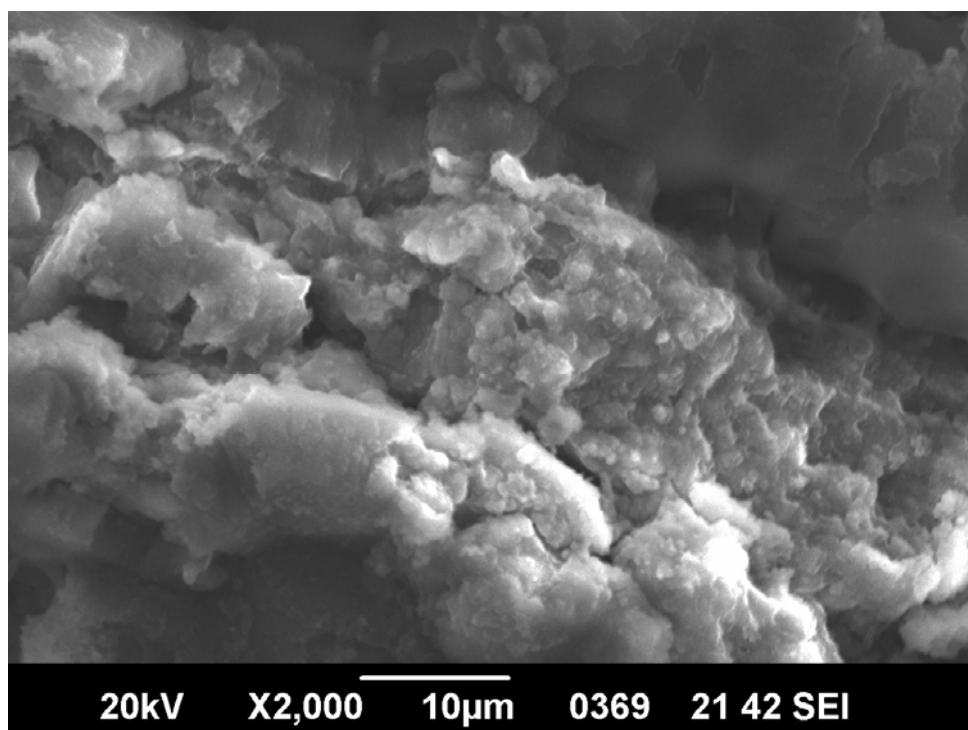
- Καθαρό αλουμίνιο (MB) σε διαβρωμένη περιοχή
- Καθαρό αλουμίνιο (MB) μακριά από την κόλληση σε διαβρωμένη περιοχή
- Καθαρό αλουμίνιο (MB) σε μη διαβρωμένη περιοχή
- Θ.Ε.Ζ σε μη διαβρωμένη περιοχή
- Υλικό εναπόθεσης σε μη διαβρωμένη περιοχή
- Υλικό εναπόθεσης σε διαβρωμένη περιοχή
- Υλικό εναπόθεσης με εστίαση στην εικόνα της επιφάνειας και όχι στη μορφολογία
- Υλικό εναπόθεσης σε διαβρωμένη περιοχή με παραπάνω εστίαση

Κάναμε την ίδια διαδικασία και για το δεύτερο δοκίμιο No2 το οποίο αποτελούνταν από καθαρό αλουμίνιο (M.B) και πήραμε και από εκεί τις αντίστοιχες εικόνες:

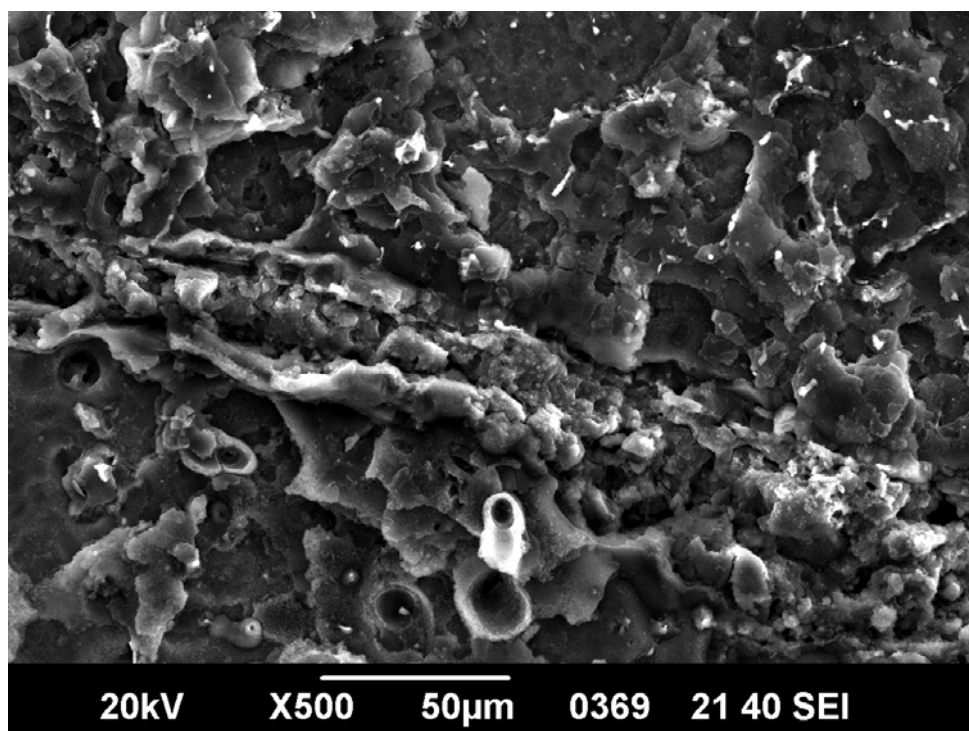
- Καθαρό αλουμίνιο (M.B) σε διαβρωμένη περιοχή
- Καθαρό αλουμίνιο (M.B) σε μη διαβρωμένη περιοχή



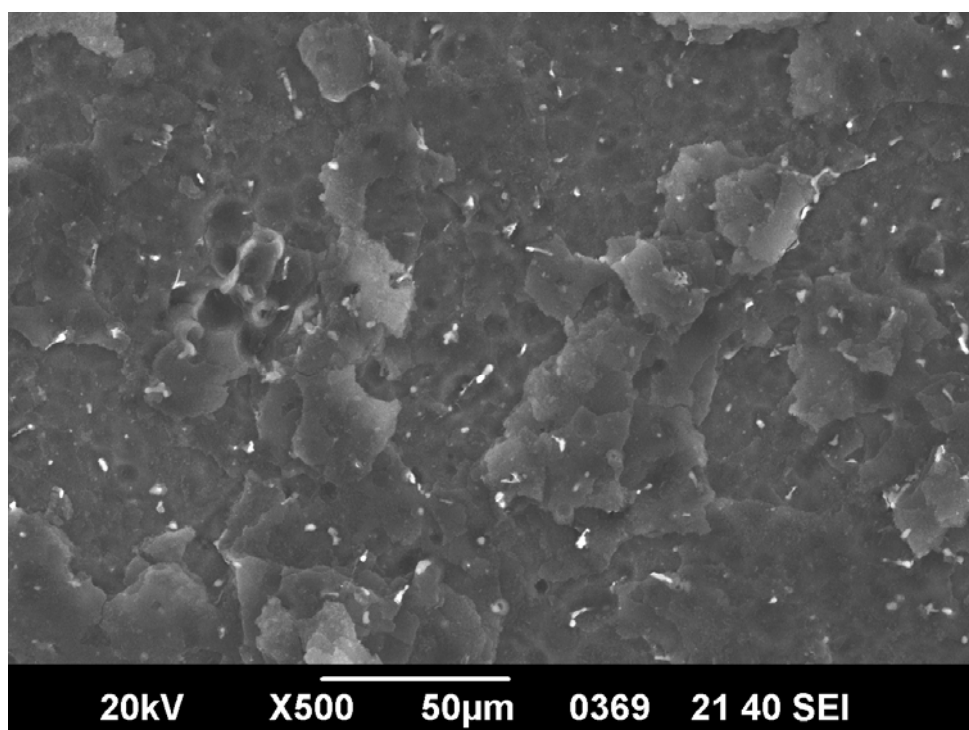
Σχήμα 13.4: Μέταλλο βάσης σε διαβρωμένη περιοχή.



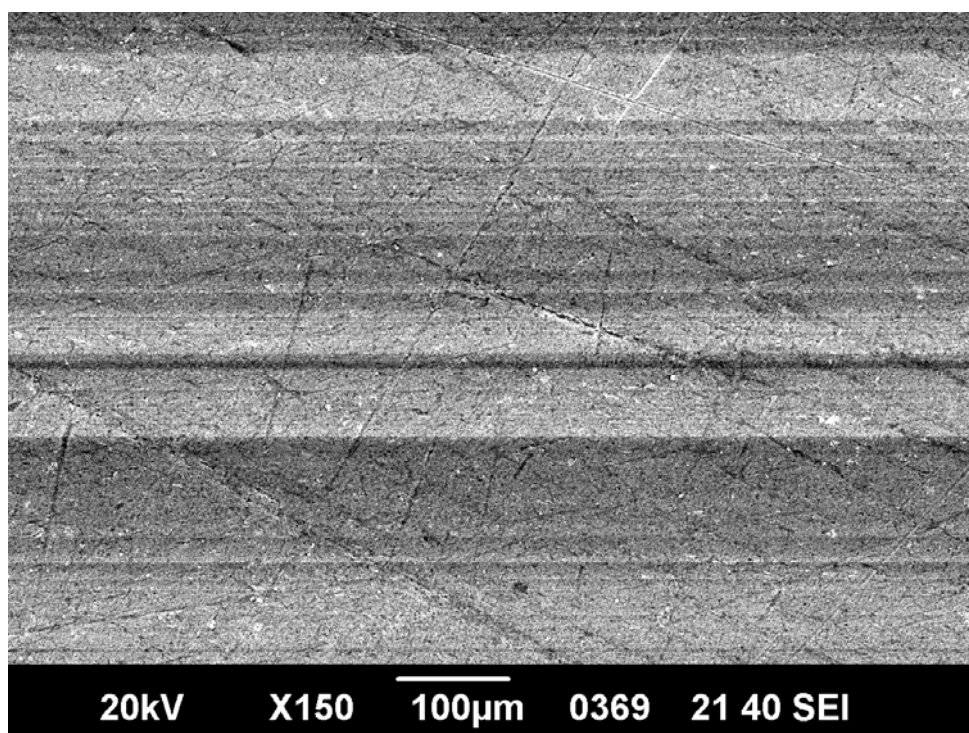
Σχήμα 13.5: Μέταλλο βάσης σε μη διαβρωμένη περιοχή.



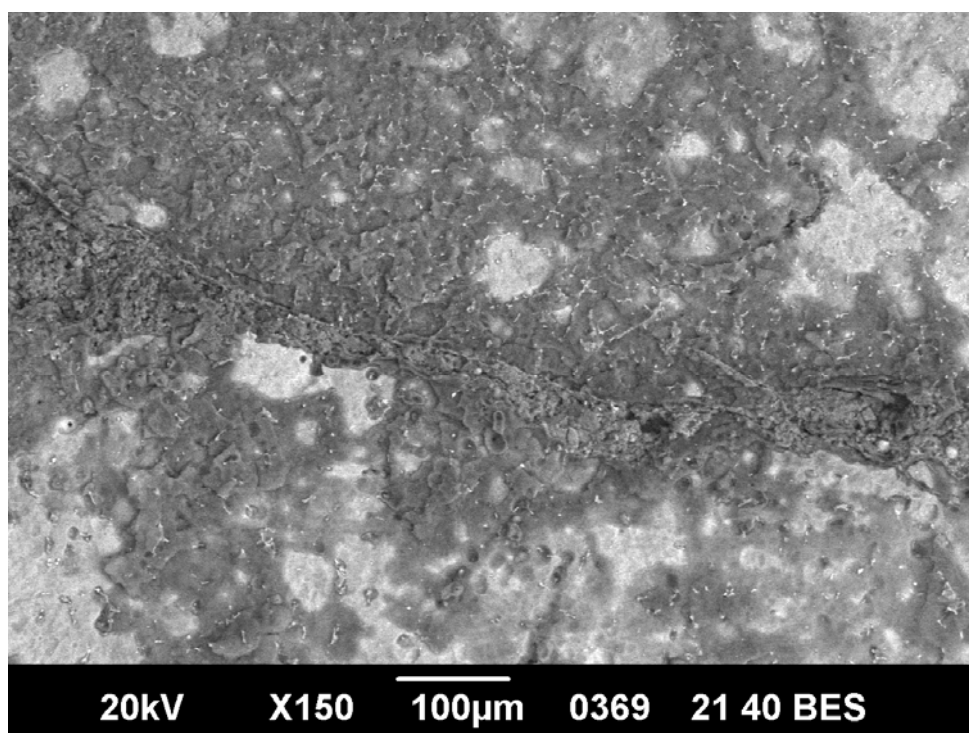
Σχήμα 13.6: Ζώνη τήξης σε μη διαβρωμένη περιοχή.



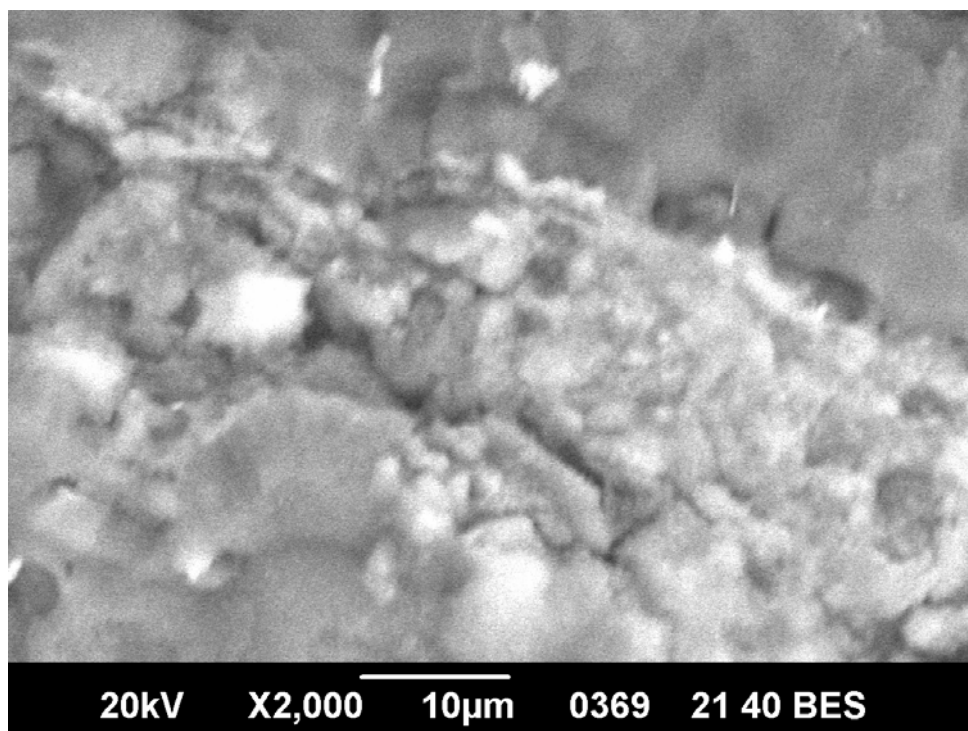
Σχήμα 13.7: Ζώνη τήξης σε διαβρωμένη περιοχή.



Σχήμα 13.8: Ζώνη τήξης σε διαβρωμένη περιοχή με εστίαση στην επιφάνεια.



Σχήμα 13.9: Μέταλλο βάσης σε διαβρωμένη περιοχή Δοκίμιο Νο2.



**Σχήμα 13.10:** Μέταλλο βάσης σε μη διαβρωμένη περιοχή Δοκίμιο Νο2.

Από τις εικόνες που πήραμε από το μικροσκόπιο μπορούμε να παρατηρήσουμε μια μικρή αλλαγή στη δομή του υλικού μας μεταξύ μετάλλου βάσης και της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης του υλικού. Αυτό συνέβη για το λόγο ότι το αλουμίνιο είναι μαλακό υλικό και έτσι παρά την κατεργασία δεν άλλαξε αισθητά η δομή του όπως επίσης μπόρεσε να ομογενοποιηθεί αρκετά καλά με το πρόσθετο υλικό εναπόθεσης με αποτέλεσμα και στη ζώνη τήξης του υλικού να παρατηρούμε μικρές διαφορές στη δομή. Παρατηρώντας τις εικόνες βλέπουμε μια αισθητή αλλαγή της δομής όπως επίσης και εντόνους πόρους από τη διάβρωση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

14<sup>ο</sup>

### Βιβλιογραφία

1. Στοιχεία Μηχανών, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια, Τομέας Μηχανολογίας, ΟΕΔΒ.
2. Συγκολλήσεις, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια, Τομέας Μηχανολογίας – Ειδικότητα Αμαξωμάτων, ΟΕΔΒ.
3. Παπάζογλου Β.Ι., Παπαδημητρίου Γ., 1994. Επιστήμη και τεχνική των συγκολλήσεων, ΝΤΥΑ
4. Βασικές Αρχές Συγκολλήσεων, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης - Πολυτεχνείο Κρήτης
5. Γιάννης Δ. Χρυσουλάκης, Δημήτρης Ι. Παντελής, «Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1996.
6. Γεωργίου Δ. Παπαδημητρίου, Εισαγωγή στη Μεταλλουργία, την Τεχνολογία και τον Έλεγχο των Συγκολλήσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996.
7. Ν. Ανδριανόπουλος, Ε. Κυριαζή, Κ. Λιακόπουλος, «Πειραματική Αντοχή των Υλικών», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1991.
8. Konstantinos P. Galanis, Fracture of Aluminum Naval Structures, Ph.D. Thesis, M.I.T., 2007.
9. Αθανασάτος Ιωάννης, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, «ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΡΩΓΜΩΝ ΣΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕΣΩ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΕ ΣΥΜΠΙΑΓΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ (CT)», 2009.
10. Φωτόπουλος Νικόλαος, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, «ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΩΠΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ DH36 ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ GMAW ΚΑΙ FCAW», 2010.

11. Σώκου Μαρία, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, «ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΜΕ ΑΝΑΔΕΥΣΗ», 2010.
12. Χριστακόπουλος Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, «Μελέτη ομοειδών και ετεροειδών συγκολλήσεων ναυπηγικών κραμάτων\_αλουμινίου με τη μέθοδο της τριβής με ανάδευση», 2010.
13. [www.rywal.eu](http://www.rywal.eu)
14. The Welding Institute- [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk)
15. [www.weldingengineer.com](http://www.weldingengineer.com)
16. [www.praxair.com](http://www.praxair.com)
17. [www.loxin2002.com](http://www.loxin2002.com)
18. Department of Materials Science& Metallurgy, University of Cambridge

---

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μετωπικές συγκολλήσεις ελασμάτων αλουμινίου με μέθοδο την T.I.G. — Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου.

Κατά την πορεία της εργασίας, συγκεντρώθηκαν πληροφορίες για τη δομή, τη συγκολλητότητα και τους κανονισμούς του αλουμινίου και των κραμάτων του. Έγινε επίσης αναφορά στις τεχνικές αλλά και στην εξέλιξη των συγκολλήσεων.

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο που μελετήθηκε έγιναν αναφορές στη συγκρότηση μηχανών της μεθόδου, στα αέρια προστασίας, στα υλικά εναπόθεσης, στα σφάλματα ραφών, στην προστασία που πρέπει να λάβει χώρα καθώς και στην αυτοματοποίηση της.

Παρατήσαμε ότι το αλουμίνιο είναι ένα υλικό εύκολο στην συγκόλληση και την κατεργασία όπως ακριβώς είχαμε μελετήσει και στη θεωρία. Έχει πολύ καλές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, ταχεία τεχνολογική εξέλιξη και δεν αντιμετωπίσαμε σημαντικά προβλήματα κατά τη διάρκεια της συνολικής κατεργασίας του υλικού.

Κατά την συγκόλληση είδαμε τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής την οποία επιλέξαμε, γνωρίσαμε από κοντά τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Σημαντικό ήταν ότι δεν αντιμετωπίσαμε προβλήματα παραμόρφωσης του υλικού κάτι που μας επιτάχυνε στην περαιτέρω επεξεργασία του δοκιμίου.

Κατά την μικροσκόπηση του υλικού γνωρίσαμε καινούριες για εμάς τεχνικές όπως την λείανση τη στίλβωση και την χημική προσβολή, τεχνικές που ίσως ποτέ να μη μας δινόταν η ευκαιρία να μελετήσουμε.



---

## Conclusions

In the present essay, frontal welding of aluminum plates was performed by TIG method – Tungsten Arc Welding and Gas Protection.

During this work, information about the structure, the ability of welding and the rules of aluminum and its alloys, were gathered. Reference was made to techniques and also to the development of weldings.

For the studied method, mentions were made about the machinery assemblies, the gas protection, the deposition materials, the bugs during welding, the general protection that should take place and the automation of this method, as well.

We observed that aluminum is a material easy to weld, as we studied at the theory part of this essay. Aluminum has very good physical and mechanical properties, rapid technological development. We have not experienced significant problems during the overall treatment of the material.

Through welding process, we saw the function of the machine selected and we became acquainted with the parts of which the machine is composed. It is important though, that we did not encounter problems during the deformation of the material, which sped up the processing of aluminum welding.

Through microscopy analysis of the material, we met new for us techniques, like grinding polishing and etching.