



**Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ  
ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ M.I.G –M.A.G (G.M.A.W)**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΑΡΚΟΥΛΑΚΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΕΡΑΚΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ  
ΙΟΥΝΙΟΣ 2014**

*Αφιερώνεται  
Στην οικογένεια μου*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία μου αυτή αποτελεί μέρος των σπουδών μου στο τμήμα μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι Κρήτης και σημαντικό μέρος όλης προσπάθειας μου όλα αυτά τα χρόνια στο Ίδρυμα. Η εργασία αυτή ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2012 και ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2014, με την σχολαστική επίβλεψη του κ. Αεράκη Ζαχαρία.

Η επιλογή της εργασίας αυτής έγινε με κριτήριο ότι οι συγκολλήσεις υλικών είναι ένας τομέας που συνεχώς διαδίδεται και εξελίσσεται και μέσα από αυτή θα μας δινόταν η ευκαιρία να μάθουμε νέες μεθόδους συγκόλλησης υλικών, την εξέλιξη τους μέσα στο χρόνο, τους τομείς πάνω στους οποίους αναπτύσσονται, τις δυνατότητες τους και τις διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα τους όσο αυτές εξελίσσονται.

Αντικείμενο της εργασίας μου ήταν η Ανάλυση της Συγκόλλησης του Αλουμινίου και των Κραμάτων του με τη μέθοδο M.I.G - M.A.G (G.M.A.W). Στόχος μου ήταν η συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων σχετικών με την μέθοδο συγκόλλησης M.I.G- M.A.G, στοιχείων γενικών της μεθόδου αλλά και ειδικότερα στοιχείων που αφορούν τη συγκρότηση και τη ρύθμιση των μηχανών αυτού του είδους, η σε βάθος κατανόηση της λειτουργίας της μεθόδου στην συγκόλληση του αλουμινίου και η ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους αυτής. Η όλη προσπάθεια έγινε βήμα βήμα κάνοντας χρήση του υπάρχοντος εξοπλισμού του εργαστηρίου και συγγενών εργαστηρίων της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών και μελετήθηκε σε βάθος το υλικό, το σχετικό με τη μέθοδο. Υπήρξαν αρκετές δυσκολίες στην πορεία της δουλειάς αυτής οι οποίες ξεπεραστήκαν με προσπάθεια.

Ιούνιος 2014

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### Θεωρητικό μέρος

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>Ο</sup>

Ιστορική αναδρομή .....	1
Κρυσταλλική δομή αλουμινίου και των κραμάτων του .....	2
Ιδιότητες αλουμινίου και κραμάτων του .....	6

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>Ο</sup>

Συγκολλητότητα αλουμινίου και κραμάτων του .....	10
--	----

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>Ο</sup>

Κανονισμοί αλουμινίου .....	12
Κύρια συστατικά κραμάτων αλουμινίου .....	13
Αντοχή αλουμινίου και περιβάλλον .....	18
Συντήρηση .....	21
Τύποι και θέσεις συγκόλλησης .....	22

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>Ο</sup>

Γενικά περί συγκολλήσεων .....	27
Τεχνικές συγκολλήσεων .....	27
Ομοειδείς συγκολλήσεις .....	38
Ετεροειδής συγκόλλησης .....	38

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>Ο</sup>

Τα βασικά μέρη της μηχανής M.I.G/M.A.G .....	40
Περιορισμοί μεθόδου .....	43
Χωροθέτηση μηχανής .....	44
Μεταφορά και ανύψωση μηχανής .....	44

Σύνδεση της μηχανής με το δίκτυο ρεύματος.....	45
Μονάδα τροφοδοσίας σύρματος.....	46
Τεχνικά χαρακτηριστικά τροφοδότη μηχανισμού Kemppi 4000 .....	49
Διατάξεις μηχανής Kemppi 4000 .....	50
Ρύθμιση συχνότητας ρεύματος .....	52
Κυρίως διακόπτες και ενδεικτικές λυχνίες .....	56
Λαβίδα συγκόλλησης.....	57
Φιάλη προστατευτικού αερίου και ρυθμιστές πίεσης.....	61
Πίνακες προσαρμογής ελέγχου.....	63
Παράμετροι μηχανής Kemppi 4000 .....	71

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

Μίγματα αερίων προστασίας .....	77
Εφαρμογές προστατευτικών αερίων .....	78
Αδρανή αέρια προστασίας .....	79
Δραστικά αέρια προστασίας .....	81
Τριμερή μίγματα αερίων προστασίας .....	82

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

Κανονισμοί υλικών εναπόθεσης .....	83
Μέθοδοι εναπόθεσης υλικού .....	86

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>**

Θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη υλικού βάσης (Θ.Ε.Ζ) .....	90
Παράγοντες που επιδρούν στο ρυθμό ψύξης της Θ.Ε.Ζ.....	92

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>**

Δυνατότητες αυτοματοποίησης της μεθόδου .....	95
Ρεύμα στις αυτόματες μηχανές συγκόλλησης .....	97

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup>**

Σφάλματα ραφών .....	100
----------------------	-----

Τυπικά σφάλματα ραφών.....	102
Περιγραφή ασυνεχειών συγκόλλησης .....	104
Σπλαιώσεις.....	106
Στερεά εγκλείσματα.....	107

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11<sup>ο</sup>**

Προστασία από τις συγκολλήσεις.....	116
Υπεριώδης ακτινοβολία.....	121
Ιοντίζουσα ακτινοβολία .....	122
Κίνδυνοι από αναθυμιάσεις και ατμούς μετάλλων.....	124
Μυοσκελετικές παθήσεις και συγκόλληση.....	126
Μέτρα προστασίας.....	130

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12<sup>ο</sup>**

Βιβλιογραφικές αναφορές.....	135
------------------------------	-----

## **Πειραματικό μέρος**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13<sup>ο</sup>**

Προετοιμασία της συγκόλλησης.....	136
Εκτέλεση συγκόλλησης .....	139

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14<sup>ο</sup>**

Μεταλλογραφική διερεύνηση δοκιμίων (μικροσκόπηση) .....	145
Λείανση-στίλβωση .....	145
Χημική προσβολή .....	146
Οπτικό μικροσκόπιο.....	146
Μελέτη μικροδομής μετάλλου εναπόθεσης.....	148

<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>155</b>
--------------------------	------------

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αλουμίνιο και τα κράματα του έχουν ευρύτατες χρήσεις σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές ,συνήθεις κατασκευές, κατασκευές ναυπηγικής, βιομηχανίας αυτοκίνητων , βιομηχανία τροφίμων και άλλες. Κυρίως για το λόγο ότι το αλουμίνιο και τα κράματα του είναι ευκατέργαστο υλικό με πλούσιες μηχανικές ιδιότητες, ανθίσταστε στην οξείδωση σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Το αλουμίνιο είναι ένα ελαφρύ μέταλλο με καλή αντοχή στη διάβρωση, σε συνήθεις συνθήκες ανεξάρτητα περιβάλλοντος. Δεδομένης της ευρύτατης χρήσης του αλουμίνιου η μελέτη του υλικού αυτού και των κραμάτων του χρίζει ιδιαίτερου ενδιαφέροντος από τους ειδικούς και στις μέρες μας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία μελετώ την συγκόλληση αλουμινίου διαστάσεων 10\*60\*160mm με χρήση της μεθόδου M.I.G-M.A.G (G.M.A.W). Η προετοιμασία των ελασμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν έγινε σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του μηχανολογικού εργαστηρίου Ι με την μηχανή συγκόλλησης M.I.G Kemppi 4000. Ακολούθως τα εν λόγω ελάσματα κατεργάστηκαν στην συμβατική φρέζα του εργαστηρίου εις τρόπον ώστε να δημιουργηθούν λείες επιφάνειες ικανοποιητικού βαθμού τραχύτητας σε όλες τις πλευρές τους. Αποκόψαμε με κατάλληλα κοπτικά συνοδευόμενα από ειδικό αντάπτορα τεμάχια Φ30mm από διαφορετικές θέσεις της μεγάλης επιφάνειας του κομματιού μας τα οποία στη συνέχεια υπέστησαν κατάλληλη προεργασία ώστε με περαιτέρω λείανση τους και ειδικό αντιδραστήριο να εξεταστούν μικροσκοπικά.

Στην εργασία αυτή επίσης γίνεται μία γενικότερη αναφορά στη δομή του αλουμινίου και των κραμάτων του, πράγμα σημαντικό για την ειδικότητά μας. Αναφέρομαι στην συγκολλητότητα τους, στην κατάταξη των συγκολλήσεων γενικά, στους ισχύοντες κανονισμούς μετάλλων-κραμάτων καθώς και διατάξεων των μηχανών, στην συγκρότηση της μηχανής M.I.G Kemppi 4000 και στις ενσωματωμένες διατάξεις της μηχανής αυτής. Επίσης μελετούμε τους μηχανισμούς του υλικού εναπόθεσης και την δράση των καταλληλότερων για την περίπτωσή μας αδρανών αερίων. Ακόμα προσπάθησα να διερευνήσω στο βαθμό του δυνατού τις αιτίες των παραμορφώσεων στα συγκεκριμένα ελάσματα και να μελετήσω την Θ.Ε.Ζ. του υλικού το οποίο χρησιμοποιήσαμε, εξετάζοντας παράλληλα τις δυνατότητες αυτοματοποίησης της μεθόδου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## Θεωρητικό μέρος



*Εικόνα 1.1 Συγκόλληση Μετάλλων.*

## Ιστορική αναδρομή

Η εξέλιξη της συγκόλλησης με τη χρήση βολταϊκού τόξου ξεκινά στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα με την ανακάλυψη του βολταϊκού τόξου από τον Humphry Davy το 1800, οπότε και άρχισε να χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση μετάλλων με τη βοήθεια ηλεκτροδίων άνθρακα. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα εφευρέθηκαν τα μεταλλικά ηλεκτρόδια για αυτή τη χρήση από τους N. G.Slavianoff και C.L Coffin, ενώ γύρω στο 1900 ο A.P Strohmenger παρουσίασε στην Μ. Βρετανία το πρώτο επενδυμένο ηλεκτρόδιο προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη σταθερότητα στο τόξο. Η ανάπτυξη των επενδύσεων των ηλεκτροδίων συνεχίστηκε και αργότερα οι επενδύσεις προσέφεραν πέρα από τη σταθερότητα του τόξου και προστασία από διάφορες ατέλειες του βασικού μετάλλου.

Κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου πολέμου η ηλεκτροσυγκόλληση διαδόθηκε ακόμα περισσότερο με αποκορύφωμα την κατασκευή του πρώτου πλοίου με εξ' ολοκλήρου συγκολλητή γάστρα, επίσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή κυρίως για τις επισκευές πολεμικών σκαφών. Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα επινοήθηκε η μέθοδος ηλεκτροσυγκόλλησης αδρανούς ατμόσφαιρας (M.I.G/M.A.G). Αρχικά με χρήση αποκλειστικά διοξειδίου του άνθρακα και συνεχές ρεύμα η όποια αργότερα βελτιώθηκε και εξελίχθηκε. Τα αέρια που με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιήθηκαν στις συγκολλήσεις αδρανούς ατμόσφαιρας ήταν διάφορα με βασικά τα αδρανή αέρια αργό, ήλιο, κρυπτόν, υδρογόνο και τα μείγματα τους των οποίων ο αριθμός στις μέρες μας είναι πολύ μεγάλος.



Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της μεθόδου αυτής δόθηκε η δυνατότητα συγκόλλησης όλων των μετάλλων και των κραμάτων τους και σε όλες τις θέσεις συγκόλλησης.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδανική για τη συγκόλληση αλουμινίου και των κραμάτων του εφόσον στις διάφορες εφαρμογές χρησιμοποιείται ένα από τα γνωστά αδρανή αέρια ως αέριο προστασίας. Κατά τη χρήση της μεθόδου στη συγκόλληση χαλύβων ελαφρά η βαριά οξειδωμένων γίνεται χρήση διαφόρων μειγμάτων που εμπεριέχουν σε ένα μεγάλο τους ποσοστό ένα από τα γνωστά αδρανή αέρια καθώς και 2εως 8% διοξείδιο του άνθρακα.

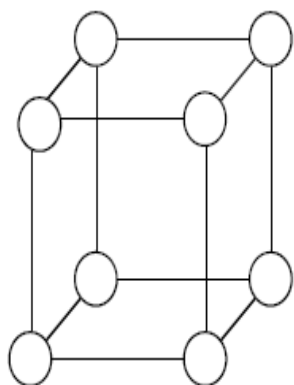
## Κρυσταλλική δομή του αλουμινίου και των κραμάτων του

**Κρυσταλλική δομή** είναι η διάταξη ατόμων στο χώρο που παρουσιάζει τριπλή περιοδικότητα, δηλαδή υφίσταται μία δομική μονάδα που επαναλαμβάνεται στις τρεις διευθύνσεις.

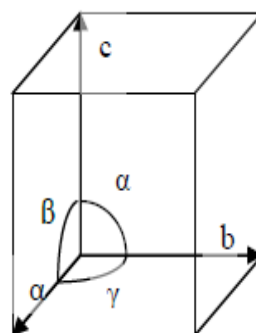
**Στοιχειώδες κύτταρο** ονομάζεται το απλούστερο σύνολο ατόμων, το οποίο, επαναλαμβανόμενο στο χώρο, δίνει την κρυσταλλική δομή.

**Κρυσταλλικό πλέγμα** είναι το σύνολο των άπειρων σημείων στο χώρο που διατάσσονται έτσι ώστε να αποδίδουν την κρυσταλλική δομή του κρυστάλλου. Τα άτομα του στοιχειώδους κυττάρου και της κρυσταλλικής δομής παριστάνονται συνήθως με σφαίρες ορισμένης διαμέτρου. Κάθε κρυσταλλικό πλέγμα χαρακτηρίζεται από:

- Τα διανύσματα  $a$ ,  $b$ , που ονομάζονται άξονες αναφοράς του κρυστάλλου
- Τις γωνίες  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$
- Την κυψελίδα η οποία είναι το γεωμετρικό σχήμα της δομικής του μονάδας και στις ιδιότητες της οποίας βασίζονται σε μεγάλο βαθμό οι προβλέψεις της συμπεριφοράς σύνθετων υλικών σε διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών.



Στοιχειώδες  
κύτταρο



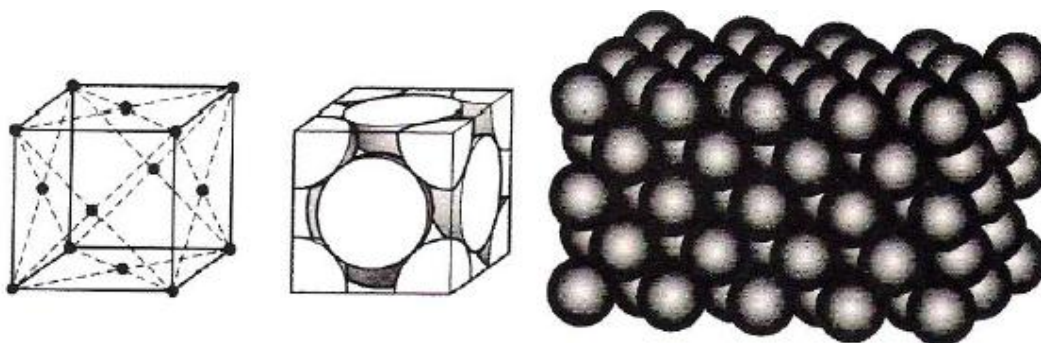
Κυψελίδα

Τα βασικά κρυσταλλικά πλέγματα με βάση τα οποία κρυσταλλώνεται μεγάλο ποσοστό μετάλλων είναι:

- Το κυβικό χωροκεντρομένο
- Το κυβικό ενδροκεντρομένο
- Το εξαγωνικό μέγιστης πυκνότητας

Το αλουμίνιο το οποίο αναλύουμε στην εργασία μας ανήκει στην δεύτερη κατηγορία κρυσταλλικών πλεγμάτων στο Κυβικό ενδροκεντρομένο κρυσταλλικό πλέγμα. Η ατομική του ακτίνα είναι 2.856 Å, η σταθερά πλέγματος 4.05Å (1Å = 10<sup>-8</sup>cm) και η πυκνότητά του είναι ίση με 2.7 g/cm<sup>3</sup>. Το σημείο τήξης του είναι περίπου 659.7°C και το σημείο ζέσεως 2519°C. Στην ενδροκεντρομένη κυβική δομή οι πυκνές διευθύνσεις σε άτομα είναι οι διαγώνιες του κύβου, δηλαδή οι διευθύνσεις <110>. Σε αυτόν τον τύπο της κρυσταλλικής δομής οκτώ άτομα είναι διατεταγμένα στις κορυφές της κυβικής κυψελίδας και έξι τοποθετούνται στα κέντρα των εδρών του κύβου. Χαρακτηριστικά αυτού του πλέγματος είναι:

- Ο αριθμός των ατόμων στο στοιχειώδες μέταλλο είναι τέσσερα
- Ο αριθμός ατομικής πλήρωσης είναι ίσος με 75%



*Εικόνα 1.2 Κρυσταλλική δομή ενδροκεντρομένου κυβικού(fcc): κυψελίδα, τοποθέτηση των ατόμων μέσα στην κυψελίδα, κρυσταλλική δομή fcc που προκύπτει με την παράθεση πολλών κυψελίδων στις τρεις διαστάσεις στο χώρο.*

**Μεταλλικοί κρύσταλλοι** είναι οι δομικές μονάδες των μεταλλικών υλικών οι οποίες έχουν προκύψει με επανάληψη του στοιχειώδους κυττάρου στο χώρο με τον ίδιο προσανατολισμό. Για την δυνατότητα συγκόλλησης δυο ή περισσότερων μετάλλων πρέπει να υπάρχει κατάλληλος συνδυασμός επαρκούς γειτνίασης μεταξύ των δυο μερών που θα συγκολληθούν προκειμένου να σχηματιστούν κοινός μεταλλικοί κρύσταλλοι.

Παράγοντες που περιορίζουν την διαδικασία είναι οι παρακάτω:

- Ανωμαλίες των επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή.
- Στρώματα οξειδίων ή ξένων ρύπων όπως μεταλλικά επιφανειακά στρώματα.
- Λεπτό στρώμα απορροφημένου αερίου στην επιφάνεια οξειδίου.

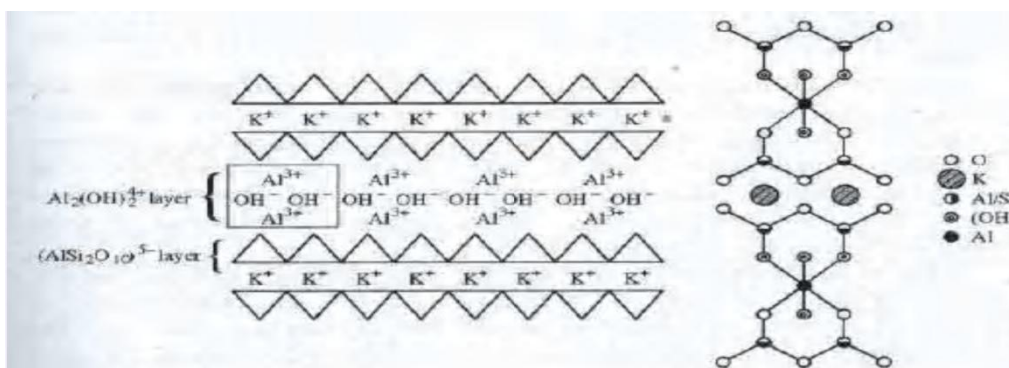
Ανωμαλίες της επιφάνειας εξουδετερώνονται είτε με επιβολή δύναμης, που προκαλεί πλαστική παραμόρφωση των ανωμαλιών και έτσι τα τεμάχια έρχονται σε πιο άμεση επαφή, είτε με τήξη των δύο επιφανειών.

Τα στρώματα των ρύπων απομακρύνονται είτε με μηχανικό είτε με χημικό καθαρισμό πριν την έναρξη των ραφών. Εάν η συγκόλληση πραγματοποιείται εν κενό ατμοσφαιρικού αέρα και στις δύο μεθόδους η πρόσφυση επιτυγχάνεται αμεσότερα. Εάν οι όποιοι ρύποι εγκλωβιστούν στις ραφές δημιουργούνται ποικίλα προβλήματα κυρίως αντοχής των ραφών.

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 ιόντων  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{5+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{5+}$  και  $Ti^{4+}$ .

Τα κυριότερα ακραία μέλη του συστήματος είναι: ο ψευδοβρουκίτης  $Fe_2TiO_5$ , ο σιδηροψευδοβρουκίτης  $Fe_2TiO_5$  και ο αρμαλκολίτης  $Mg_5Fe_5Ti_2O_5$ . (Armalcolite).

Το αλουμίνιο προκύπτει από την πλήρη υποκατάσταση των ιόντων σιδήρου με ιόντα αλουμινίου. Όλα τα παραπάνω υλικά κρυσταλλώνονται στο ορθορομβικό σύστημα, που χαρακτηρίζεται από τρεις πλεγματικές παραμέτρους.

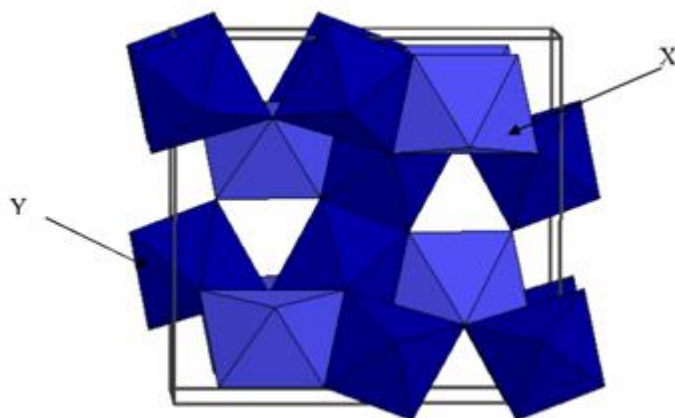


Εικόνα 1.3 Δομή αλουμινίου

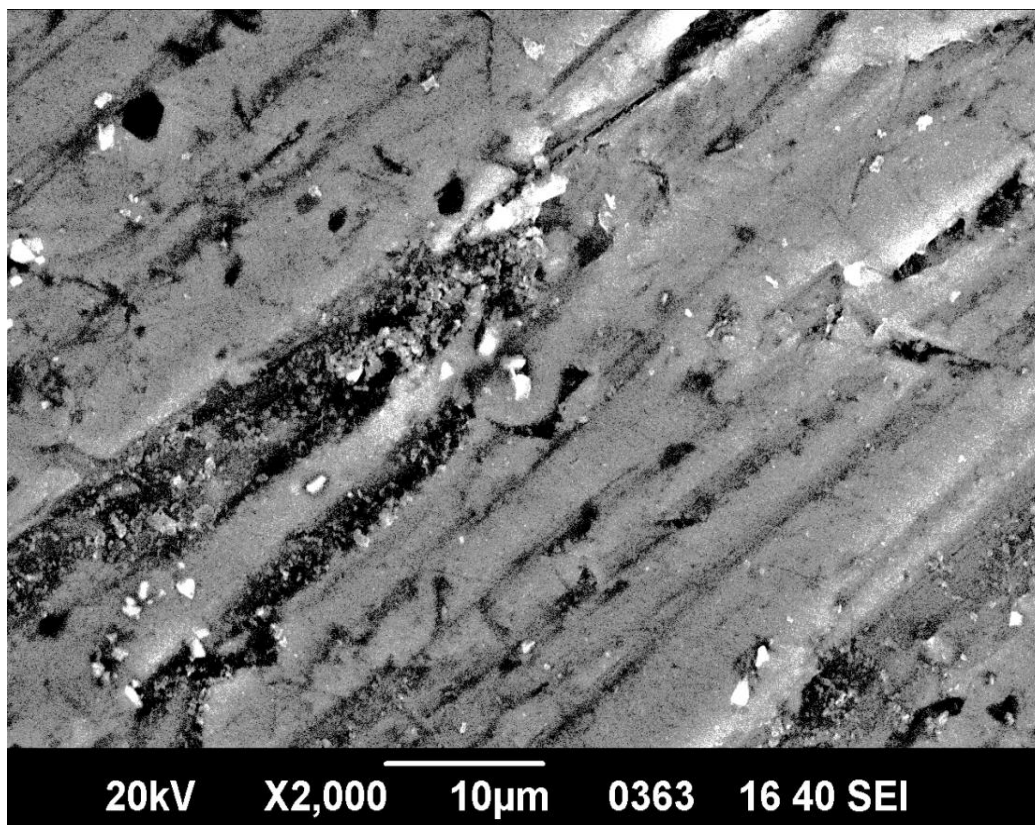
Η μοναδιαία κυψελίδα του τιτανικού αλουμινίου αποτελείται από οκτάεδρα των οποίων οι κορυφές καταλαμβάνονται από ιόντα οξυγόνου ( $O_2$ ) και στα κέντρα τους βρίσκεται είτε το ιόν του τιτανίου (Ti) είτε το ιόν του αλουμινίου - αργίλιο (Al). Στα οκτάεδρα που σχηματίζονται γύρω από το ιόν του αλουμινίου, ο χώρος που καταλαμβάνεται από το Al είναι πολύ μικρός συγκρινόμενος με τον συνολικό ελεύθερο χώρο του οκταέδρου. Η προσφερόμενη θερμική ενέργεια επιτρέπει στα ιόντα του αλουμινίου να μετακινούνται εύκολα από τις θέσεις τους, με αποτέλεσμα την διάσπαση του υλικού σε τιτάνιο και αλουμίνια.

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

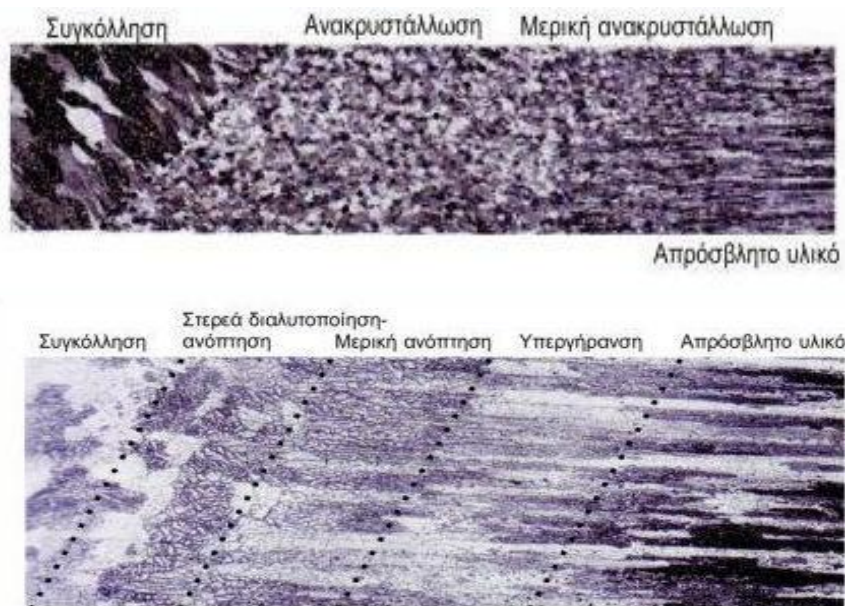
διαστολή του κρυστάλλου σε διαφορετικό βαθμό κατά μήκος των κρυσταλλογραφικών κατευθύνσεων (Εικόνα 1.4).



**Εικόνα 1.4** Η δομή του αλουμινίου. Οι δύο περιοχές του πλέγματος X, Y είναι οκταεδρικές και καταλαμβάνονται από Al<sub>3</sub> και Tί αντίστοιχα .



**Εικόνα 1.5** Μικροδομή αλουμινίου με διαφορετική θέση εστίασης



Εικόνα 1.6 Μορφολογία συγκόλλησης σε εργοσκληρηγόμενο κράμα

## Ιδιότητες αλουμινίου και κραμάτων του

Το αλουμίνιο έχει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος δυνατοτήτων, ιδιοτήτων, φυσικών χημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών που επιδεικνύουν τα τόσα κράματα του.

Συνοπτικά :

- Χαμηλό ειδικό βάρος ( $2.7-2.85\text{g/cm}^3$ ). Μόλις το  $1/3$  εκείνου του σιδήρου.
- Υψηλή κατεργασιμότητα που αποδίδεται στο μικρό όριο ελαστικότητας  $R=280\text{MPa}$ . Διαμορφώνεται, ελάσσεται, εξελάσσεται, διελάσσεται, συγκολλάτε, συνεπώς αποτελεί ιδανικό μέταλλο κατασκευών. Σε δεδομένη κατάσταση φόρτισης, μία κατασκευή από αλουμίνιο παρουσιάζει 3 φορές μεγαλύτερη ελαστική επιμήκυνση απ' ότι μία σιδερένια.
- Το αλουμίνιο και τα περισσότερα κράματά του είναι ανθεκτικό έως πολύ ανθεκτικό σε πολλές μορφές διάβρωσης και σε συνθήκες συνήθους περιβάλλοντος. 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.
- Το αλουμίνιο είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού .
- Δεν μαγνητίζεται και δεν καίγεται, ιδιότητες που θεωρούνται πολύ ουσιώδεις για ειδικές εφαρμογές όπως κατασκευές θαλάσσης (πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου).
- Δεν είναι τοξικό, είναι αδιαπέραστο για διάφορα περιβάλλοντα μέσα.
- Έχει υψηλή ανακλαστικότητα, πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα (σχεδόν διπλάσια του σιδήρου).

Ιδιότητες πολύ χρήσιμες για τις μονώσεις και γενικότερα τη δόμηση και την κάλυψη εξωτερικών επιφανειών κτιρίων τριτογενούς τομέα καθώς και σε ενεργειακές διατάξεις παλαιών ενεργοβόρων κτηρίων.

Η επιλογή του κατάλληλου κράματος γίνεται ανάλογα με τη χρήση του τελικού προϊόντος και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις καθώς και από τη μέθοδο της παραγωγικής επεξεργασίας. Η δυνατότητα που έχει το αλουμίνιο να επιτυγχάνει διαφορετικές μορφές προκειμένου να καλύψει διαφορετικές απαιτήσεις οφείλεται στο γεγονός της εύκολης κραματοποίησής του.

Οι μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου 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 ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου ισούται με το 75% εκείνης του χαλκού. Παρόλα αυτά το αλουμίνιο, λόγω της χαμηλής του πυκνότητας, χαρακτηρίζεται ως καλύτερος αγωγός. Αν αφηθεί στον αέρα οξειδώνεται ταχέως προς ένα λεπτό στρώμα  $Al_2O_3$ , το οποίο είναι αδιαπέραστο από το οξυγόνο και προσφέρει στο μέταλλο αντιοξειδωτική προστασία.

<b>ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>
Πυκνότητα ( $kg/m^3$ )	2700
Συντελεστής θερμικής διαστολής	$24 \cdot 10^{-6}$
Ειδική θερμότητα	0.025
Ηλεκτρική αντίσταση	2.84

*Πίνακας 1.1 Φυσικές ιδιότητες αλουμινίου*

<b>ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>
Μέτρο Ελαστικότητας E ( $N/mm^2$ )	70000
Μέτρο διάτμησης G ( $N/mm^2$ )	27000
Λόγος του Poisson $\nu$	0.3

*Πίνακας 1.2 Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου*



*Εικόνα 1.7 Δομή κατασκευών αλουμινίου*

ΠΡΟΣΘΗΚΗ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ
Χαλκός	Σε ποσοστό ως και 12% βελτιώνει την μηχανική αντοχή και την κατεργασιμότητα
Σίδηρος	Βελτιώνει την αντοχή και την σκληρότητα και μειώνει τις πιθανότητες θερμής ρυγμάτωσης κατά τη χύτευση
Μαγγάνιο	Βελτιώνει την ολκιμότητα και σε συνδυασμό με τον σίδηρο την χυτευσιμότητα
Μαγνήσιο	Βελτιώνει την μηχανική αντοχή και την αντοχή σε διάβρωση. Σε ποσοστό μεγαλύτερο από 6% προκαλεί σκλήρυνση με κατακρήμνιση
Πυρίτιο	Βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την χυτευσιμότητα και την αντοχή σε διάβρωση.
Ψευδάργυρος	Μειώνει την χυτευσιμότητα , όμως σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία προσθήκης , βελτιώνει τη μηχανική αντοχή

*Πίνακας 1.3 Επίδραση των κραματικών προσθηκών στις ιδιότητες του αλουμινίου*

Τα κράματα αλουμινίου και ιδιαίτερα τα θερμικός κατεργάσιμα, παρουσιάζουν έντονα προβλήματα συγκολλησιμότητας με συνέπεια είτε την υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη του υλικού, είτε τη δημιουργία προδιάθεσης για ρωγμάτωση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται προβλήματα που συναντώνται στις συγκολλήσεις αλουμινίου.

Χημική σύσταση			
Υλικό	Κύρια στοιχεία	Ιχνοστοιχεία	Προβλήματα συγκόλλησης
Κράματα AL-Mg (Σειρά 5xxx)	Mg: 1-5%	Si, Fe, Mn	Ρωγμάτωση στερεοποίησης Μείωση αντοχής στη Θ.Ε.Ζ
Κράματα AL-Mg-Si (Σειρά 6xxx)	Mg:0.5-1.3% Si:0.4-1.4% Cu:0.2-0.9%	Mn, Cr, Fe	Θερμορωγμές Ρωγμάτωση στερεοποίησης Μείωση αντοχής στη Θ.Ε.Ζ
Κράματα AL-Zn-Mg (Σειρά 7xxx)	Mg:0.5%-4% Zn:2-8%	Cu, Cr, Mn, Fe	Θερμορωγμές Ρωγμάτωση στερεοποίησης Ελαττωμένη αντοχή σε εργοδιάβρωση στη Θ.Ε.Ζ

*Πινάκας 1.4 Προβλήματα συγκολλήσεων κραμάτων αλουμινίου*



*Εικόνα 1.8 Μορφοποιημένοι ράβδοι αλουμινίου*



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### Συγκολλητότητα αλουμινίου και κραμάτων

Με τον όρο συγκολλητότητα εννοούμε την ικανότητα του μετάλλου να συγκολλάτε σε μια κατασκευή, ικανοποιώντας συγχρόνως ορισμένες ιδιότητες και εκπληρώνοντας ορισμένους λειτουργικούς σκοπούς. Η συγκολλητότητα των υλικών εξαρτάται από τη χημική τους σύνθεση και την κρυσταλλική τους δομή.

Οι μεταβλητές που εκφράζουν την ικανότητα ενός μετάλλου να συγκολλάται είναι πολλές, όπως η μεταλλουργική δομή του μετάλλου βάσης, η σύσταση του υλικού σε άλλες προσθήκες υλικών, η μέθοδος που χρησιμοποιείται, η παρουσία αδρανούς ατμόσφαιρας κλπ. Η καλή γνώση του διαγράμματος φάσεων και η συμπεριφορά του μετάλλου σε υψηλή θερμοκρασία για μια χρονική περίοδο είναι χρήσιμη.

Οι παράγοντες επίδρασης στην συγκολλητότητα των υλικών είναι οι παρακάτω:

Η σκληρότητα, η αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας, το όριο διαρροής, η ολκιμότητα, η ειδική θερμότητα, το σημείο τήξης, ο συντελεστής θερμικής διαστολής, η επιφανειακή τάση σε υψηλές θερμοκρασίες, η τάση προς διάβρωση, η προετοιμασία των επιφανειών, οι προστασίες και τα αέρια, τα υλικά εναπόθεσης, η ταχύτητα συγκόλλησης, η θέση της ραφής, η ταχύτητα απόψυξης, η προθέρμανση, τα επίπεδα των θερμοκρασιών.

Γενικότερα για τα μεταλλικά υλικά που συναντάμε στις διάφορες εφαρμογές μπορούμε να πούμε τα ακόλουθα:

- **Φαιός χυτοσίδηρος** : Είναι σκληρός και συγκολλάτε δύσκολα. Εφαρμόζεται μόνο σε ομοειδής συγκόλλησης. Συνήθως επιβάλλεται η προθέρμανση των τεμαχίων.
- **Μαλακός χυτοσίδηρος** : Η συγκολλητότητα του εξαρτάται ανάλογα από τον χρόνο παραμονής του στην υψηλή θερμοκρασία απόψυξης.
- **Χάλυβες και χαλυβοκράματα** : Οι συνήθεις χάλυβες έχουν καλή συγκολλητότητα, η οποία αυξάνει, όσο μειώνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα. Συγκολλούνται με ομοειδή συγκόλληση. Σε ανθρακούχους χάλυβες συνίσταται προθέρμανση των τεμαχίων για την αποφυγή οξειδωσης και υπερβολικής σκληρότητας.
- **Χαλκός** : Συγκολλάτε δύσκολα με ομοειδής συγκόλληση, λόγω της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας του, πρέπει να προθερμαίνεται και στην μέθοδο που χρησιμοποιούμε με μηχανές παλμικού ρεύματος.
- **Μπρούτζος (κράμα Cu, Sn, Zn)** : Συγκολλάτε καλά με ομοειδή συγκόλληση με φλόγα οξειδωτική, ενώ δυσκολότερα με μεταλλικό ηλεκτρόδιο.
- **Ορείχαλκος (κράμα Cu, Zn)** : Συγκολλάτε σχετικά εύκολα με ομοιογενή συγκόλληση και με φλόγα πλούσια σε οξυγόνο.

- **Αλουμίνιο και κράματά του** : Η συγκόλληση του γίνεται με μηχανές αδρανούς ατμόσφαιρας M.I.G, Καλό είναι να γίνεται η προθέρμανση του και να προσέχονται η ρυθμίσεις της μηχανής ιδιαίτερα η ταχύτητα κίνησης του υλικού εναπόθεσης γιατί αν αυτή είναι μικρή τότε εύκολα διαπιστώνουμε απόφραξη του μπεκ της λαβίδας από το τηκόμενο υλικό εναπόθεσης. Συγκόλληση με φλόγα επιτυγχάνεται δύσκολα.
- **Μαγνήσιο και κράματά του** : Συγκολλείται με φλόγα υπό ορισμένες προϋποθέσεις, όπως το αλουμίνιο. Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου σε συνήθη ατμόσφαιρα είναι αδύνατη.
- **Μόλυβδος** : Συγκολλείται συνήθως με φλόγα, σε οριζόντιες πάντα ραφές, λόγω της ρευστότητας του.
- **Νικέλιο** : Συγκολλάτε δύσκολο με συγκολλήσεις φλόγας και τόξου.
- **Μέταλλο Monel**: Συγκολλάτε εύκολα με ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο από άνθρακα ή με μεταλλικό ηλεκτρόδιο.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε έναν πίνακα (2.1) που μας δίνει την συγκολλητότητα κραμάτων σιδήρου:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	ΕΥΚΟΛΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ	ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
Κοινοί χάλυβες κατασκευών	St33, St37, St42, St44, St46, St52	St50, St60, St70
Βελτιωμένοι χάλυβες	C22, Ck22, 25CrMo4	-
Χάλυβες ενανθράκωσης	C10, Ck10, C15, Ck15	Αυτοί που περιλαμβάνουν προσθήκες σε Cr, Ni, Mo
Χυτοχάλυβες	Πρέπει %C<0.25% και άθροισμα προσθηκών <10%	Ανοξειδωτοι χυτοχάλυβες
Χυτοσίδηροι	Λευκοί μαλακτικοποιημένοι	Όλοι υπόλοιποι χυτοσίδηροι

**Πίνακας 2.1** Συγκολλητότητα κραμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### Κανονισμοί κραμάτων 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, παραγωγής κραμάτων είναι η βελτίωση σκληρότητας, αντοχής, βάρους, αντίστασης στη διάβρωση κ.λπ. των 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.

Κράμα που περιέχει μεταξύ των συστατικών του υδράργυρο ονομάζεται αμάλγαμα. Πολλά μέταλλα της αγοράς δεν είναι στην πραγματικότητα καθαρά μεταλλικά στοιχεία, αλλά κράματα. Η κατασκευή κραμάτων εμφανίζεται από την εποχή της εμφάνισης των μετάλλων εξ ανάγκης αφού αυτά τα πρωτογενή αυτούσια υλικά δεν ανταποκρίνονται πάντα στις ανάγκες των ανθρώπων εκείνης της εποχής

Τα πρώτα κράματα που κατασκευάστηκαν ήταν ασφαλώς περιορισμένα. Με τη ραγδαία όμως εξέλιξη της χημείας η κατασκευή αυτών προόδευσε ώστε να αποτελεί σήμερα σπουδαίο κλάδο της βιομηχανίας. Παράλληλα με την πρόοδο των εφαρμογών της θερμοδυναμικής έγιναν γνωστές οι ιδιότητες των μετάλλων, ενώ επίσης ώθηση στη κατασκευή κραμάτων έδωσαν η εξέλιξη της κρυσταλλογραφίας, της μικροσκοπίας, της φασματοσκοπίας κ.ά.

Η παραγωγή 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 (ορείχαλκος) παρασκευάζεται με ταυτόχρονη εναπόθεση των δύο μετάλλων από κυανιούχα διαλύματα αυτών με ηλεκτρόλυση. Ή ακόμη δι' αναγωγής ενός ή περισσότερων μετάλλων όπως δι' 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.

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.

- **Διμεταλλική 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 διμεταλλική 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 διμεταλλικές ενώσεις.
- Από διαλύματα μετάλλων ή ενώσεων αυτών εντός μετάλλων.

## Κύρια συστατικά κραμάτων αλουμινίου

Με σκοπό όπως αναφέραμε τη βελτίωση των μηχανικών, των τριβολογικών και των διαβρωτικών ιδιοτήτων ενός μετάλλου, δημιουργούνται κράματα αυτού. Το ίδιο συμβαίνει λοιπόν και για το αλουμίνιο. Οι κύριες κραματικές προσθήκες του αλουμινίου είναι ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το μαγνήσιο, το πυρίτιο και ο ψευδάργυρος. Το αλουμίνιο είναι ελαφρύ αλλά ακριβό υλικό μεταλλοτύπων. Για απ' ευθείας επαφή με το σκυρόδεμα πρέπει να βάφεται, λόγω των χημικών επιδράσεων που προκαλεί το σκυρόδεμα και επειδή κολλάει με αυτό, πρέπει προηγουμένως να αλείφεται με διευκολυντική ουσία αποκόλλησης.

Το αλουμίνιο εισήλθε στην τεχνολογία, υπό μορφή διαφόρων κραμάτων, εδώ και ογδόντα περίπου χρόνια, χρησιμοποιείται με αυξανόμενο ρυθμό στην οικοδομική για την κατασκευή στεγών, πλαισίων παραθύρων, θυρών, διαχωριστικών παραπετασμάτων και διακοσμητικών εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών.

Από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων το καθαρό αλουμίνιο δεν παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή σε εφελκυσμό (90MPa), αφού με άσκηση σχετικά μικρών δυνάμεων μπορεί να υποστεί μόνιμη πλαστική παραμόρφωση. Είναι σχετικά μη ανθεκτικό αλλά πολύ όλκιμο μέταλλο. Ενισχύεται με ψυχρηλασία και ακόμα περισσότερο με κραμάτωση με άλλα στοιχεία.

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 μαρμαρυγία ( $\text{KHMg}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ), 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  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) κλπ

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 ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) κλπ.

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%.

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

- Ο Χαλκός (Cu)
- Το Μαγγάνιο (Mn)
- Το Πυρίτιο ( Si )
- Το Μαγνήσιο ( Mg )
- Ο Ψευδάργυρος (Zn)
- Ο Σίδηρος (Fe)

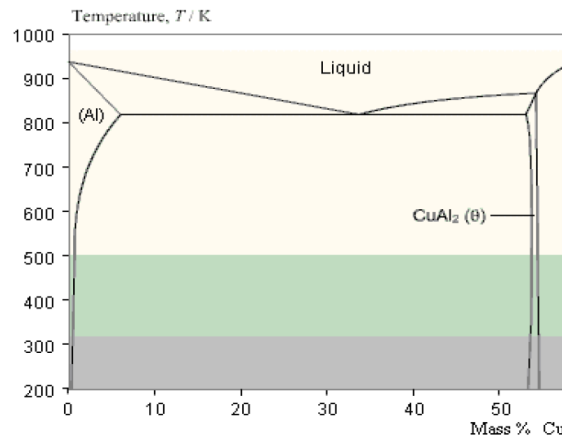
Η ονοματολογία των κραμάτων αλουμινίου περιλαμβάνει τέσσερα ψηφία όπου το πρώτο δείχνει τα κύρια κραματικά στοιχεία, το δεύτερο δείχνει τις διάφορες μορφές του αρχικού κράματος, το τρίτο και το τέταρτο τις διαφορετικές μορφές του κάθε κράματος.

<b>Κράματα</b>	<b>Σειρά</b>
Αλουμίνιο >99%	1XXX
Χαλκός	2XXX
Μαγγάνιο	3XXX
Πυρίτιο	4XXX
Μαγνήσιο	5XXX
Μαγνήσιο +Πυρίτιο	6XXX
Ψευδάργυρος	7XXX
Άλλα στοιχεία	8XXX
Σειρές που δεν χρησιμοποιούνται	9XXX

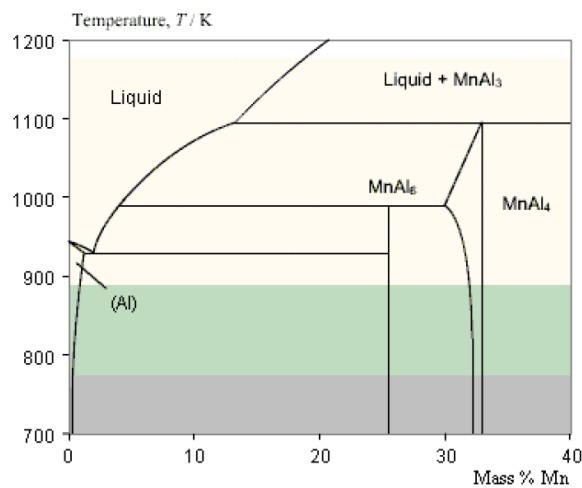
**Πίνακας 3.1** Κατηγοριοποίηση διαμορφωμένων κραμάτων αλουμινίου

Στη συνέχεια δίδονται οι ιδιότητες των κραματικών στοιχείων του αλουμινίου και τα διμερή διαγράμματα φάσεων.

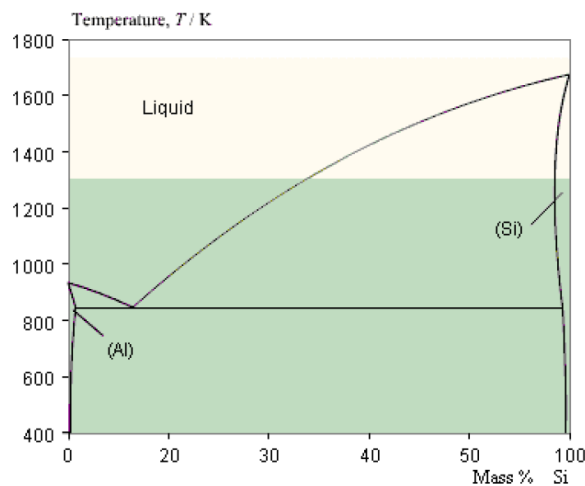
**Ο χαλκός** είναι ένα από τα πιο σπουδαία στοιχεία για το αλουμίνιο. Έχει σημαντική διαλυτότητα και ενισχύει σημαντικά το αλουμίνιο με θερμική κατεργασία κατακρήμνισης και γήρανσης. Πολλά κράματα περιέχουν χαλκό είτε σα κύριο κραματικό στοιχείο, η μεταξύ των κυρίων κραματικών στοιχείων σε περιεκτικότητες από 1 έως 10%.



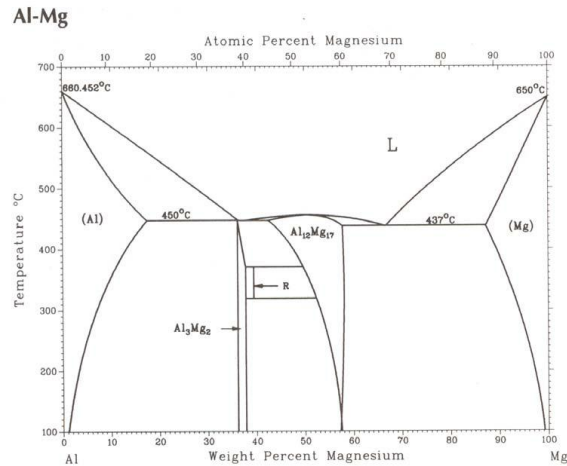
**Το μαγγάνιο** έχει περιορισμένη διαλυτότητα στο στερεό διάλυμα του αλουμινίου αλλά σε περιεκτικότητες περίπου 1% σχηματίζει μια σειρά από κατεργάσιμα κράματα που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Προστίθεται ευρέως σαν συμπληρωματικό στοιχείο σε κράματα (επιδεκτικά η μη επιδεκτικά θερμικής κατεργασίας) και προσδίδει σημαντική ενίσχυση.



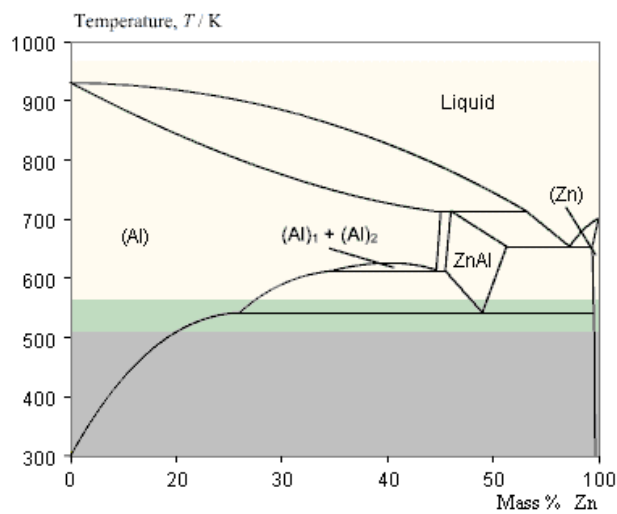
**Το πυρίτιο** μειώνει το σημείο τήξης και αυξάνει την ρευστότητα του αλουμινίου. Αυξάνει επίσης σε μέτριο βαθμό την αντοχή του.



Το μαγνήσιο παρέχει σημαντική ενίσχυση και βελτίωση των χαρακτηριστικών της ψυχρηλασίας. Έχει σχετικά μεγάλη διαλυτότητα στο στερεό αλουμίνιο αλλά τα κράματα Al-Mg που περιέχουν Mg λιγότερο από 7% δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Το Mg προστίθεται επίσης σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία κυρίως χαλκό και ψευδάργυρο, για ακόμη καλύτερη ενίσχυση της αντοχής.



Ο ψευδάργυρος εισάγεται στα χυτευτικά κράματα και σε συνδυασμό με το μαγνήσιο στα κράματα διαμόρφωσης, παράγει κράματα που έχουν τις μεγαλύτερες αντοχές μεταξύ των κραμάτων του αλουμινίου.



Γενικά για τη συνήθη παραγωγή των κραμάτων αλουμινίου ακολουθείται η μεθοδολογία της τήξης, της κραματοποίησης με προσθήκη στοιχείων και χύτευσης.

Τα παραγόμενα διεθνώς κράματα αλουμινίου χωρίζονται σε δυο κατηγορίες.

- Τα κράματα κατεργασίας (wrought products).
- Τα κράματα χύτευσης (cast products).

**Κράματα κατεργασίας:** Είναι προϊόν το οποίο με έλαση η διέλαση οδηγεί στα τελικά προϊόντα.

**Κράματα χύτευσης:** Χρησιμοποιείται για την άμεση παραγωγή τεμαχίων τελικών προϊόντων. Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ποσοστό προσθηκών από την προηγούμενη για ενίσχυση της σκληρότητας του υλικού.

### **Τομείς εφαρμογών αλουμινίου και κραμάτων**

- Δόμηση
- Αυτοκινητοβιομηχανία, Ναυπηγική
- Συσκευασία
- Βιομηχανικές και τεχνικές εφαρμογές
- Γενικές κατασκευές
- Ειδικά καταναλωτικά αγαθά
- Ηλεκτρολογικές εφαρμογές
- Διάφορες χρήσεις

Οι διαδικασίες διαμόρφωσης των κραμάτων αλουμινίου είναι οι εξής:

### **Επανάτηξη και δεύτερη χύτευση**

Στη διαδικασία αυτή στο τηγμένο αλουμίνιο προστίθενται κραματικά στοιχεία και φλόγιστα. Το τήγμα του μετάλλου καθαρίζεται από τη σκουριά που βρίσκεται στην επιφάνεια του, καθώς και με τη διοχέτευση αερίου χλωρίου. Αφού το κράμα καθαριστεί χυτεύεται και πάλι.

### **Επιφανειακή εκλέπτυνση του υλικού**

Στην περίπτωση των ελασμάτων αφαιρείται μέρος της επιφάνειας τους προκειμένου αυτές να αποκτήσουν μια λεία και καθαρή επιφάνεια.

### **Προθέρμανση και ομογενοποίηση του υλικού**

Οι μπιγιέτες των κραμάτων πριν οδηγηθούν για έλαση, προθερμαίνονται προκειμένου να επιτευχθεί ομαλή διάχυση των ατόμων στο κράμα. Η θερμοκρασία προθέρμανσης θα πρέπει να είναι μικρότερη από το σημείο τήξης του κράματος.

### **Θερμή έλαση**

Με τη διαδικασία αυτή παράγεται έλασμα με μικρότερο πάχος από το αρχικό. Αυτό γίνεται με θέρμανση και τοποθέτηση του κράματος σε περιστρεφόμενα έλαστρα.

### **Έλαση εν ψυχρώ**

Μετά το στάδιο της ανάκτησης το κράμα οδηγείται σε συσκευή ψυχρής έλασης. Κατά τη διαδικασία αυτή το πάχος του κράματος μειώνεται 30%-65%.



## Αντοχή αλουμινίου και περιβάλλον

Το αλουμίνιο δεν σκουριάζει, αλλά έχοντας μεγάλη χημική συνάφεια προς το οξυγόνο, ενώνεται άμεσα με αυτό στο περιβάλλον παράγοντας στρώμα τριοξειδίου του αλουμινίου στην ελεύθερη επιφάνεια του μετάλλου. Το στρώμα αυτό, έχει ελάχιστο πάχος 50 έως 100 Angstrom, είναι φυσικοχημικά ανθεκτικό σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριότητας 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 χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε διάβρωση παρουσία υγρασίας είναι:

- Οξείδωση:(Ανοδική αντίδραση):  $Al = (Al^{3+}) + 3e$
- Αναγωγή : (Καθοδική αντίδραση) :  $(H^+) + e = \frac{1}{2} H_2$

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:

·Ανοδίωση

·Χρωμάτωση

·Καθοδική προστασία (π.χ. ανόδιο ψευδάργυρο).

**Γαλβανική διάβρωση:** Αυτή η μορφή προσβολής συμβαίνει όταν δυο αγωγοί διαφορετικής χημικής σύνθεσης ενώνονται μέσα σε αγώγιμο 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 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 πίνακας (3.2) με τη σειρά ηλεκτροθετικότητας, ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατόν η επαφή δυο μετάλλων με σημαντική διαφορά .

Η Γαλβανική ή Διμεταλλική προσβολή αποφεύγεται μόνο με αποφυγή επαφής δύο μετάλλων με διαφορά ηλεκτροθετικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό της κατασκευής καθώς και χρήση μονωτικών υλικών εφόσον είναι απαραίτητο .

Μέταλλο ή Κράμα	mV
Χρυσός	(+) 1000
Ανοξείδωτο 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

*Πίνακας 3.2 Ηλεκτροθετικότητα υλικών*

**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 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-σκάσιμο):** 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 σε ικανοποιητικό βαθμό από την ανάπτυξη του λεπτού στρώματος οξειδίου του αλουμινίου.

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

**Περικρυσταλλική διάβρωση (Intergranular corrosion):** Συμβαίνει στα όρια των κόκκων του μετάλλου και οφείλεται στην ηλεκτροχημική προσβολή σωματιδίων και καθιζήσεων (precipitations) στα όρια των κόκκων. Τα σωματίδια αυτά ( χημικές ενώσεις αλουμινίου με μέταλλα ) μπορεί να συμπεριφέρονται είτε ανοδικά ως προς τους τριγύρω κόκκους μετάλλου, είτε καθοδικά . Στην περίπτωση της ανοδικής συμπεριφοράς, όπως π.χ. με καθίζηση  $Mg_5Al_8$ , ακολουθεί γρήγορη προσβολή της ανοδικής καθίζησης, ενώ με καθίζηση  $CuAl_2$  (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 ζημιά 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 την αντοχή του κράματος στη διάβρωση.

Από τις βασικές οικογένειες κραμάτων κατεργασίας αλουμινίου μπορούν γενικά να λεχθούν τα παρακάτω:

- Η αντίσταση στη διάβρωση της σειράς 1000 (εμπορικά καθαρό αλουμίνιο) είναι πολύ καλή.

- Η σειρά 2000 (αλουμίνιο - χαλκός) έχει τονισμένη τη μηχανική αντοχή (σκληρότητα) και αυτό προτιμάται στις κατασκευές . Η ευαισθησία όμως των κραμάτων αυτών στη διάβρωση είναι σημαντική και για αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προστασία, όταν χρησιμοποιείται σε επιθετικό περιβάλλον.
- Η σειρά 6000 (αλουμίνιο-μαγνήσιο-πυρίτιο είναι η πλέον κοινή σειρά κραμάτων διελάσεως (αρχιτεκτονικό προφίλ) με καλή αντοχή στη διάβρωση. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις κατασκευές.
- Η σειρά 5000 (αλουμίνιο -μαγνήσιο) έχει ακόμη καλύτερη αντοχή στη διάβρωση από τη σειρά 6000 και για αυτό είναι το κύριο εργαλείο της ναυπηγικής βιομηχανίας.
- Η σειρά 7000 (αλουμίνιο-ψευδάργυρος-μαγνήσιο) είναι κράματα υψηλής μηχανικής αντοχής (σκληρότητας), με ευαισθησία στη διάβρωση. Απαιτούν ιδιαίτερη προστασία. Τα κράματα χυτεύσεως, γενικά θεωρούνται ότι αντέχουν σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Η προστασία των κραμάτων αλουμινίου από τη διάβρωση, επιτυγχάνεται με επιφανειακές επεξεργασίες και βαφές. Κλασική και αποτελεσματική μέθοδος προστασίας θεωρείται η ανοδίωση, ενώ η χρωμάτωση και η υγρή ή ηλεκτροστατική βαφή έχουν επίσης θετικό αποτέλεσμα.

## Συντήρηση

Όπως αναφέραμε παραπάνω όταν το αλουμίνιο εκτίθεται στην ελεύθερη ατμόσφαιρα, δημιουργείται σχεδόν άμεσα ένα στρώμα τριοξειδίου του αλουμινίου στην επιφάνεια ελάχιστου πάχους που ενεργεί σαν παθητική προστασία του υποστρώματος. Η υγρασία της ατμόσφαιρας ή η βροχή, δεν επηρεάζουν σημαντικά το μέταλλο, αρκεί η επιφάνεια να είναι αεριζόμενη και η βροχή να μην είναι περισσότερο όξινη από pH 4, ούτε αλκαλική pH μεγαλύτερο του 8. Ο μέγιστος λοιπόν κίνδυνος υγροποίησης δεν είναι η υψηλή υγρασία, αλλά η χαμηλή θερμοκρασία του μετάλλου σε σχέση με τη θερμοκρασία του υγρού αέρα. Μία ζεστή αποθήκη που υποδέχεται ένα κρύο φορτίο αλουμινίου, θα προκαλέσει συμπύκνωση υδρατμών στην επιφάνεια του μετάλλου. Μπορούμε να πούμε ότι δεν θα έχουμε υγροποίηση, όταν το μέταλλο είναι πάντα σε θερμοκρασία ανώτερη από το σημείο δρόσου του περιβάλλοντος αέρα. Εάν το μέταλλο αερίζεται, ο κίνδυνος οξειδωσης είναι μικρός.

Αποθήκευση σωρευμένου αλουμινίου στο ελεύθερο περιβάλλον (π.χ. ντάνες φύλλων) πρέπει να αποφεύγεται, διότι είτε έχουμε υγροποίηση π.χ. νωρίς το πρωί μόλις πέσει ο ήλιος πάνω στη ντάνα είτε με τη βροχή εισχωρεί νερό ανάμεσα στα φύλλα της ντάνας. Εκεί, χωρίς να αερίζεται, το νερό είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσει ηλεκτροχημική διάβρωση (με παρουσία ιόντων) είτε να ξεκινήσει προσβολή ευαίσθητων ενδομεταλλικών φάσεων. Το ίδιο κράμα αλουμινίου, είναι δυνατόν να μην παθαίνει τίποτε στην ελεύθερη ατμόσφαιρα, ενώ στη κλειστή και υγρή ντάνα φύλλων να υποστεί οξειδωση. Εφόσον είμαστε υποχρεωμένοι να αφήσουμε υλικό εκτός αποθήκης, καλό είναι να το σκεπάζουμε - αφήνοντας το να αερίζεται ενώ μία κλίση της ντάνας περίπου 5%, βοηθάει στην απορροή τυχόν υγροποιήσεων.

## 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  $2 \cdot 4d$  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.

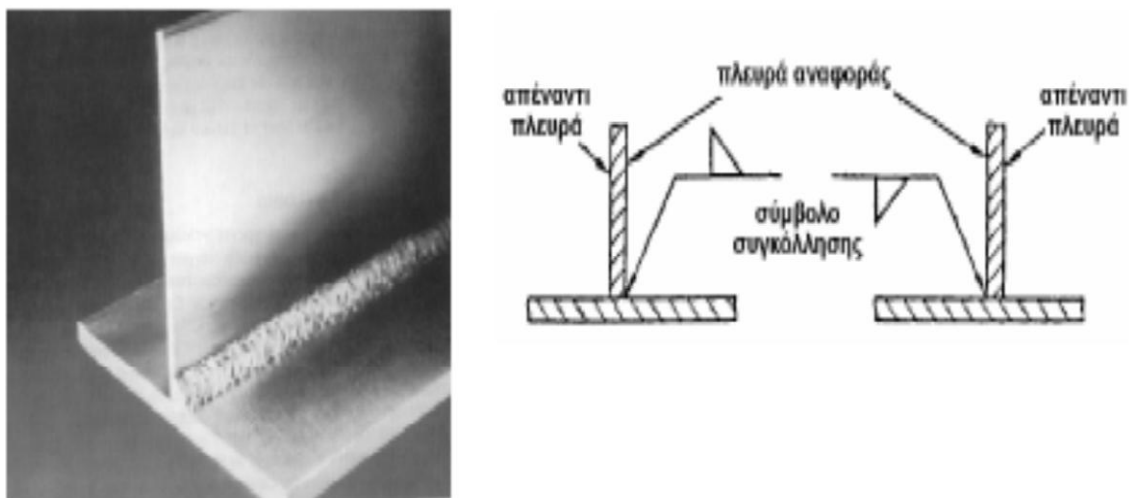
### Εξωραφές

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

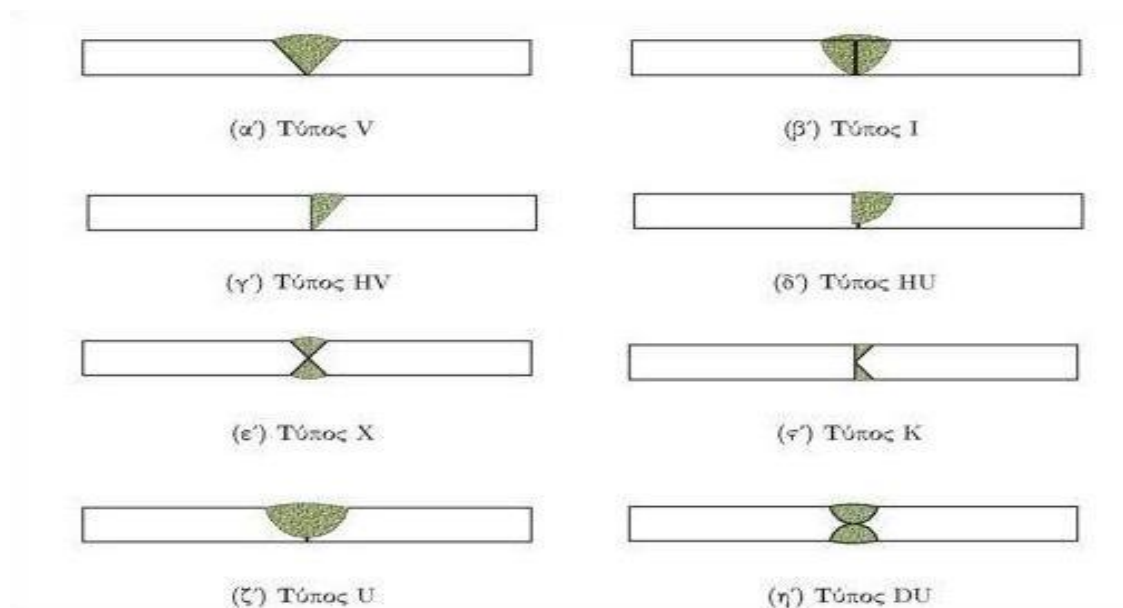
Οι συνηθισμένες συγκολλήσεις, που γίνονται με ηλεκτροσυγκόλληση, είναι οι μετωπικές ραφές και οι εξωραφές. Η προετοιμασία που πρέπει να γίνει στα ελάσματα πριν την ηλεκτροσυγκόλληση διαφέρει ανάμεσα στα δύο είδη, ενώ εξαρτάται και από τα πάχη των ελασμάτων. Οι εξωραφές είναι συγκολλήσεις

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.

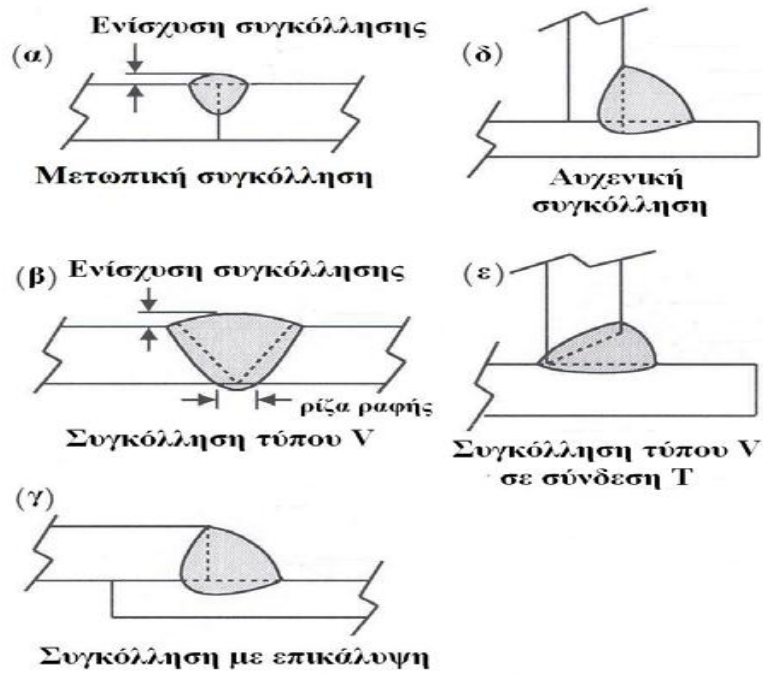
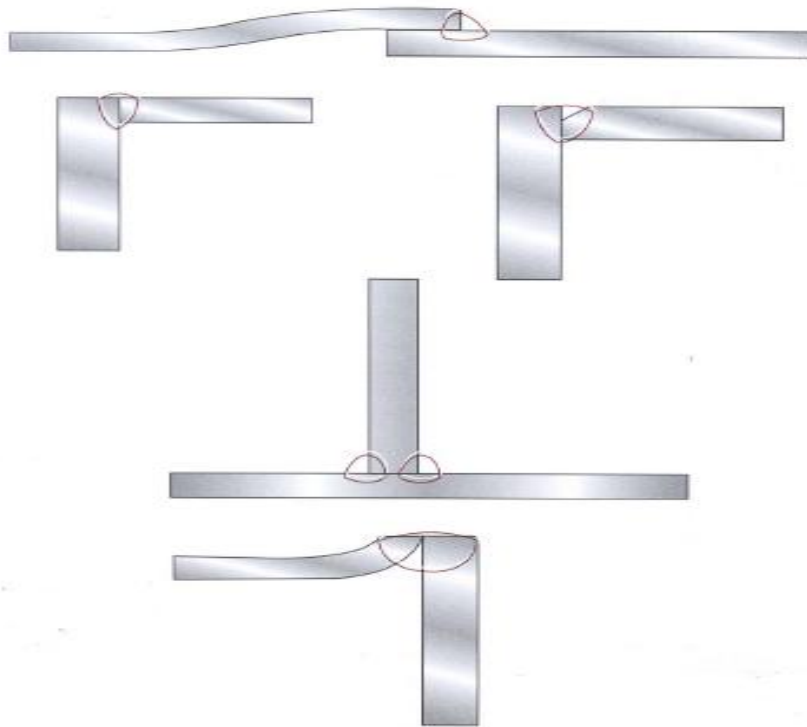
Στην παρακάτω (εικόνα 3.1) φαίνεται μία εξωραφή, καθώς και ο τρόπος συμβολισμού της στο μηχανολογικό σχέδιο. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το σύμβολο της συγκόλλησης τοποθετείται με το βέλος να δείχνει τη θέση συγκόλλησης. Σε περίπτωση που η συγκόλληση είναι από την απέναντι πλευρά, από αυτή που δείχνει το βέλος, το σύμβολο του είδους της συγκόλλησης τοποθετείται αντεστραμμένο, όπως φαίνεται στη δεύτερη περίπτωση εξωραφής του σχήματος.



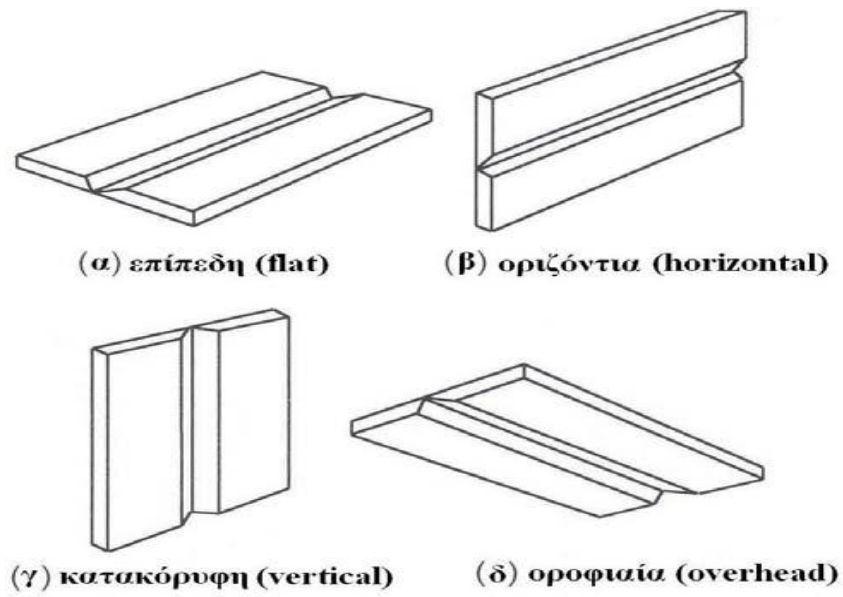
**Εικόνα 3.1** Κάθετη συγκόλληση ελασμάτων με εξωραφή



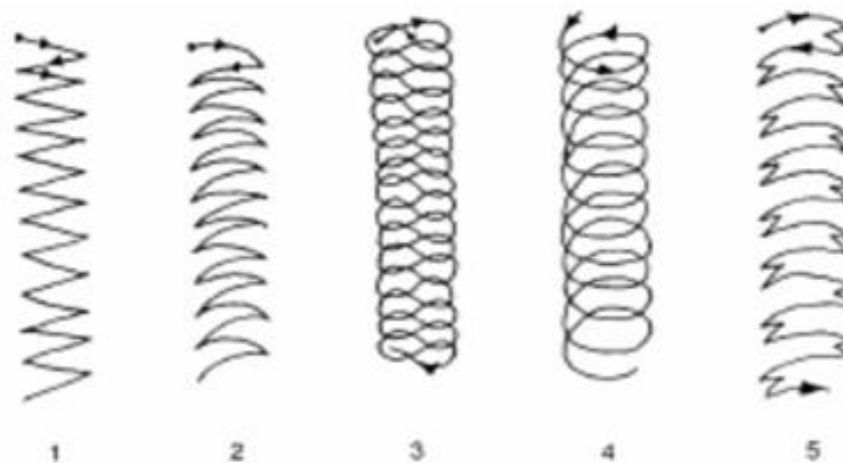
**Εικόνα 3.2** Τύποι συγκόλλησης με εσωραφή



Εικόνα 3.3 Τρόποι συνδέσεων

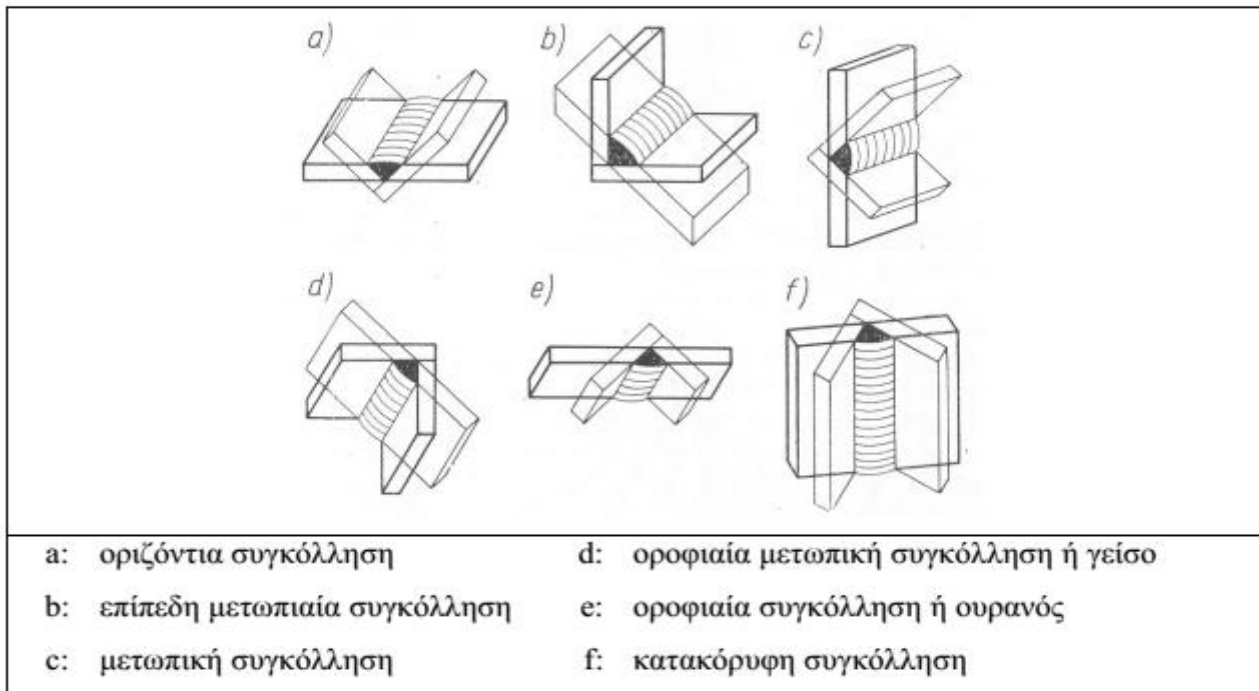


Εικόνα 3.4 Οι τέσσερις θέσεις συγκόλλησης



Εικόνα 3.5 Τύποι κίνησης ηλεκτροδίου κατά τη συγκόλληση



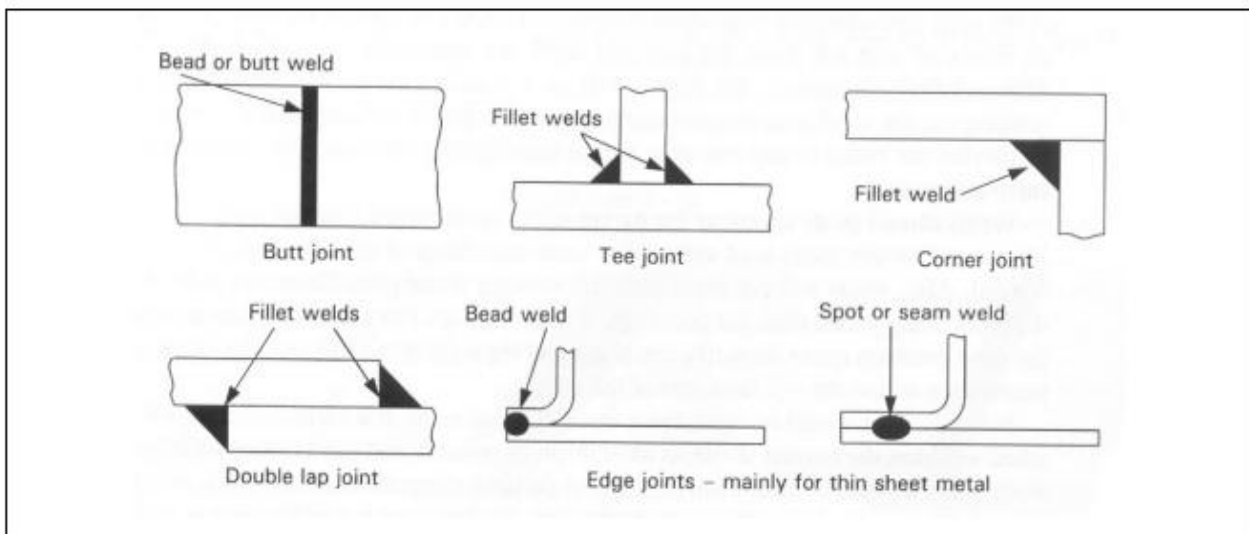


### ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Διακρίνονται πέντε βασικοί γεωμετρικοί τύποι σύνδεσης (joint types) μεταξύ δύο μελών, βλέπε Σχήμα 2.

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

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



**Εικόνα 3.6** Τρόποι συγκόλλησης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### Γενικά περί συγκολλήσεων

Με τον όρο συγκόλληση εννοούμε την μέθοδο, κατά την οποία δύο υλικά, συνήθως μέταλλα, συνδέονται μόνιμα μεταξύ τους μέσω τοπικής πρόσφυσης, που επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό θερμοκρασίας, πίεσης και μεταλλουργικών συνθηκών. Από την εποχή της αρχαιότητας υπήρχαν μέθοδοι συγκόλλησης που βασίζονταν κυρίως στη μέχρι τότε γνώση των υλικών. Έτσι, η συγκόλληση με χύτευση καθιερώθηκε από τους αρχαίους χρόνους ως η κύρια μορφή σύνδεσης και επισκευής σπασμένων κατασκευών από μπρούντζο ή χυτοσίδηρο. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η συγκόλληση σε κάμινο (καμινοσυγκόλληση), οι μαλακές συγκολλήσεις των οποίων η θερμοκρασία τήξης του υλικού εναπόθεσης κυμαίνονταν γύρω στους 500C.

Η συγκόλλησης φλόγας εμφανίζονται στην αρχή του εικοστού αιώνα καθώς και οι συγκολλήσεις κοινού ηλεκτροδίου με σχεδόν αποκλειστική χρήση σε όλες τις εφαρμογές έως και τα μέσα του αιώνα αυτού. Από τότε πολλές διαφορετικές μέθοδοι έχουν επινοηθεί και προσφέρονται για την πραγματοποίηση διάφορων κατασκευών. Η λίστα με τα αντικείμενα ή τα προϊόντα που έχουν συγκολλητά μέρη είναι ατελείωτη και περιλαμβάνει από στοιχεία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μέχρι πλοία, αυτοκίνητα, γέφυρες, μεταλλικά έπιπλα, κτίρια με μεταλλικό σκελετό κ.λ.π.

Στις διάφορες μεθόδους συγκόλλησης που ο άνθρωπος επινόησε πρόσφατα έχουμε μεγάλες δυνατότητες αυξομείωσης της θερμοκρασίας του υλικού εναπόθεσης αλλά και του μετάλλου βάσης, λόγω του εύκολου μεταβλητού των χαρακτηριστικών των μηχανών και παράλληλα να ρυθμίσουμε επιθυμητές παροχές αέριων όπου γίνεται χρήση αυτών. Εξαιτίας της επινόησης των συγκολλήσεων ακτινοβολίας (μέθοδος Layzer και μέθοδος δέσμης ηλεκτρονίων) περιορίζονται σημαντικά οι διάφορες παραμόρφωσης που λαμβάνουν χώρα κυρίως με την εφαρμογή των μεθόδων ανοιχτού ηλεκτρικού τόξου.

### Τεχνικές συγκολλήσεων

**Οι συγκολλήσεις κατατάσσονται σύμφωνα με τα παρακάτω:**

#### 1. Συγκολλήσεις τήξης :

- Συγκολλήσεις φλόγας,
- Κοινές ηλεκτροσυγκολλήσεις,
- Συγκόλλησης αδρανούς ατμόσφαιρας

Οι συγκολλήσεις τήξης είναι από της πιο διαδεδομένες. Κάποια τύποι συγκολλήσεων τήξης είναι :

- Συγκόλληση με ενδεδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal Arc Welding)

- Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (Gas-tungsten Arc Welding, G.T.A.W)
- Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (Gas-Metal Arc Welding, G.M.A.W)
- Συγκόλληση με σωληνωτά ηλεκτρόδια (Flux Cored Arc Welding, F.C.A.W)
- Συγκόλληση βυθισμένου τόξου (Submerged Arc Welding, S.A.W)
- Συγκόλληση με τόξο πλάσματος (Plasma Arc Welding, P.A.W)
- Συγκόλληση electro slag (Electro slag Welding, E.S.W)

### **2.Συγκολλήσεις αντίστασης:**

- Συγκολλήσεις ηλεκτρόποντας
- Συγκολλήσεις ηλεκτροραφής

### **3.Συγκολλησης τριβής:**

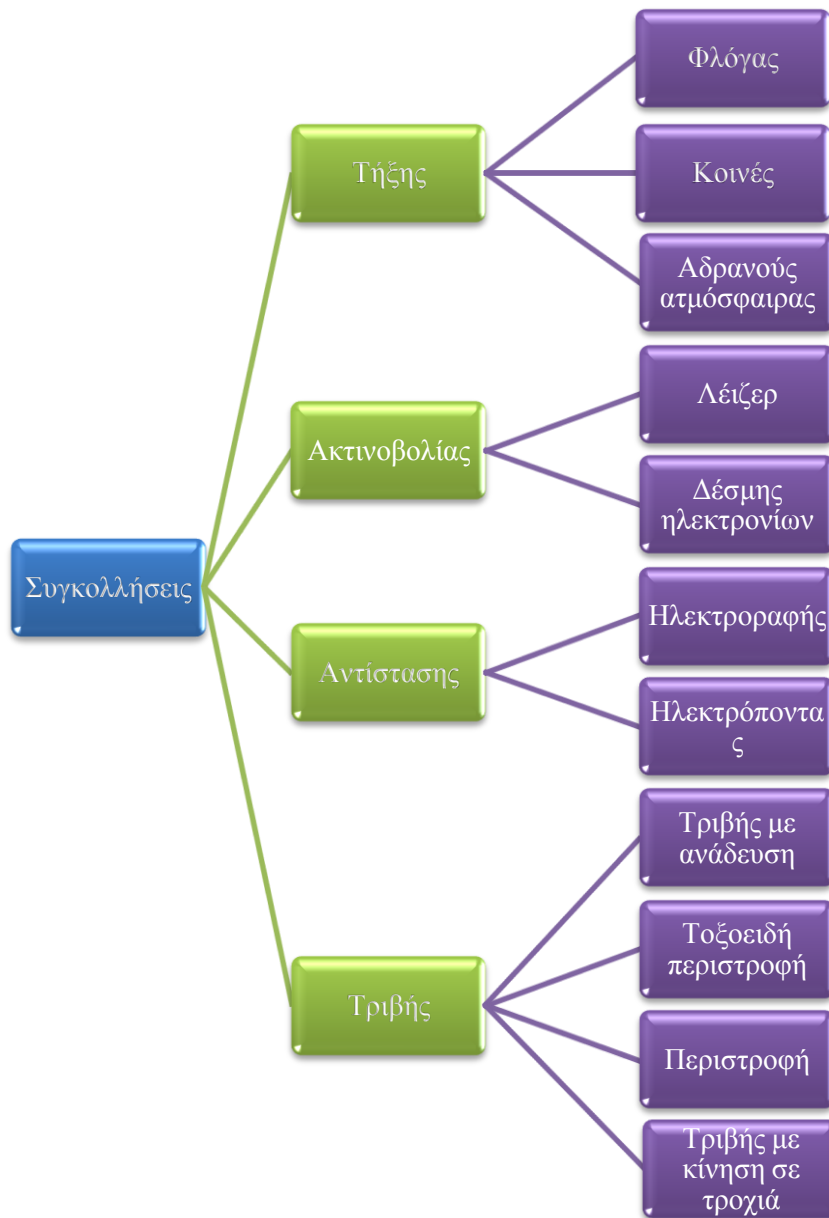
- Συγκόλληση τριβής με ανάδευση (F.S.W)
- Συγκόλληση δια τριβής με κίνηση σε τροχιά (O.F.W)
- Συγκόλληση με περιστροφή (R.F.W)
- Συγκόλληση με τοξοειδή περιστροφή (R.F.W)

### **4.Συγκολλησης ακτινοβολίας:**

- Συγκολλήσεις Layser (L.B.W)
- Συγκολλήσεις δέσμης ηλεκτρονίων (E.B.W)

Με τον όρο ηλεκτροσυγκόλληση στο παρόν κείμενο δε γίνεται διάκριση κάποιας μεθόδου, εκτός και αν αναφέρεται το αντίθετο. Δύο από τα περισσότερο κοινά είδη ηλεκτροσυγκόλλησης είναι η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο, shielded metal arc welding (S.M.A.W) και η συγκόλληση με σύρμα, gas metal arc welding (G.M.A.W). Στη S.M.A.W, η στερεή επικάλυψη του ηλεκτροδίου όταν θερμαίνεται από το τόξο, λιώνει και εξαερώνεται προκειμένου να σχηματίσει τοπικά ένα προστατευτικό αέριο και ρευστό στρώμα. Αυτό αποκλείει το περιβαλλοντικό οξυγόνο και άζωτο.

Στην G.M.A.W συγκόλληση το προστατευτικό αέριο εισάγεται πάνω από το τόξο μέσω ενός ακροφύσιου από μία φιάλη πεπιεσμένου αερίου (συνήθως αργό, κοργκόν, ήλιο και διοξείδιο του άνθρακα).



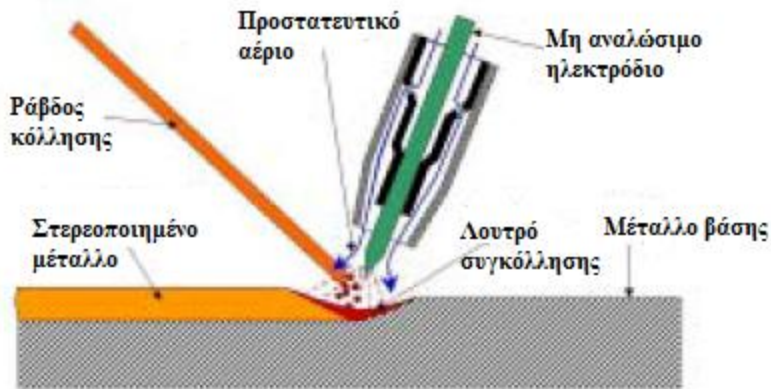
**Εικόνα 4.1** Διάγραμμα παρουσίασης των διαφόρων ειδών συγκόλλησης.

Οι πιο σύγχρονες μέθοδοι συγκόλλησης οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω και χρησιμοποιούνται στις μέρες μας είναι οι εξής:

### Συγκόλληση TIG

Η συγκόλληση αυτή είναι η μέθοδος με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και αδρανές αέριο. (Tungsten Inert Gas) Η μέθοδος αυτή μοιάζει αρκετά με την μέθοδο M.I.G, μόνο που σε αυτή την περίπτωση το μεταλλικό σύρμα αντικαθίσταται από ένα μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Λόγω του υψηλού σημείου τήξης του βολφραμίου, το ηλεκτρόδιο δεν φθείρεται καθ'όλη την διάρκεια της συγκόλλησης. Το συγκολλητικό υλικό τροφοδοτείται εξωτερικά στην ραφή της συγκόλλησης. Είναι ιδανική για συγκολλήσεις λεπτών ελασμάτων

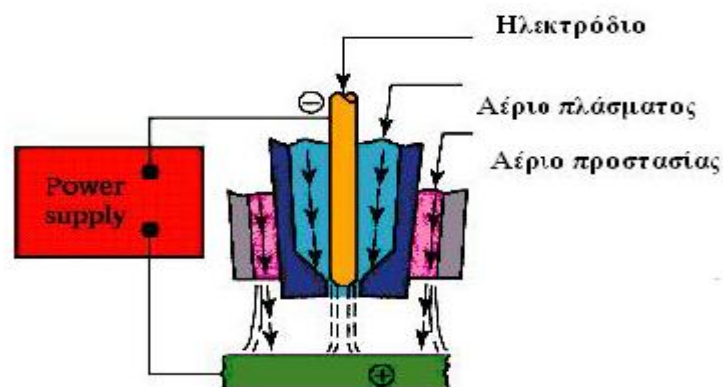
και μας δίνει υψηλή ποιότητα αποτελέσματος. Για να εκτελεστεί η συγκόλληση θα πρέπει η μηχανή να διαρρέεται από σταθερή ένταση ρεύματος. Κατά τη συγκόλληση αλουμινίου με τη μέθοδο αυτή προτιμάται ηλεκτρόδιο από καθαρό βολφράμιο.



Εικόνα 4.2 Συγκόλληση TIG

#### Συγκόλληση τόξου πλάσματος (P.A.W)

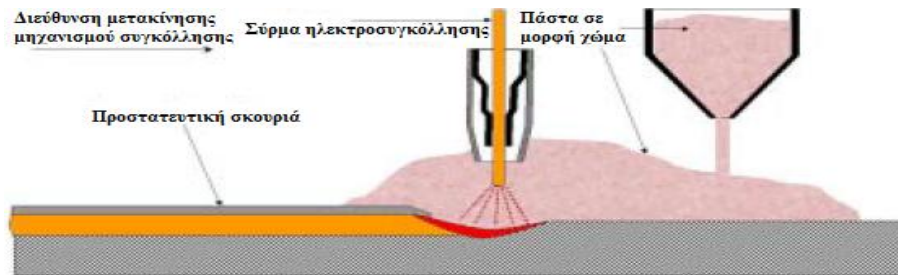
(Plasma Arc Welding) Το ηλεκτρικό τόξο δημιουργείται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων τα οποία ψύχονται εσωτερικά. Στο χώρο μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων διοχετεύεται αέριο συνήθως αργό (Ar) ή άζωτο (N). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια δέσμη αερίου υψηλής θερμοκρασίας σε κατάσταση ιονισμού. Το ηλεκτρόδιο περιβάλλεται από ένα κέλυφος ηλεκτρικά μονωμένο. Ανάμεσα στο κέλυφος και το ηλεκτρόδιο διοχετεύεται η δευτερεύουσα παροχή αερίου, η οποία συμπαρασύρει και το μέταλλο της κόλλησης σε μορφή σκόνης. Το μέταλλο αυτό ερχόμενο σε επαφή με την κύρια δέσμη του ιονισμένου αερίου τήκεται, ιονίζεται και εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα από το στόμιο του όπλου.



Εικόνα 4.3 Συγκόλληση πλάσματος

### Συγκόλληση βυθισμένου τόξου (S.A.W)

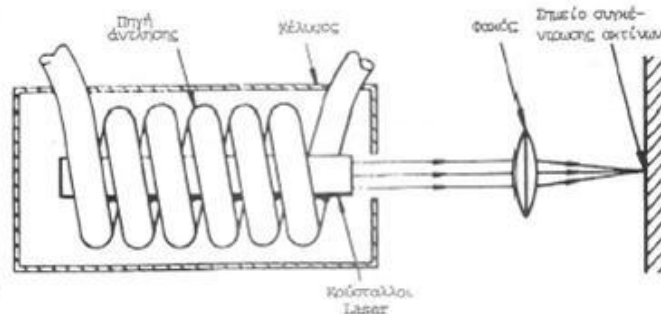
Η μέθοδος συγκόλλησης βυθισμένου τόξου (Submerged Arc Welding) ονομάζεται έτσι γιατί το τόξο δημιουργείται κάτω από ένα αραιό νέφος σκόνης (πάστας) και δεν είναι ορατό από τον χειριστή. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως για την σύνδεση βαρέων εξαρτημάτων αλλά χρησιμοποιείται μόνο για επίπεδη ραφή συγκόλλησης. Έχει την ικανότητα λειτουργίας μέχρι και 1000A σε απλό τόξο.



Εικόνα 4.4 Συγκόλληση βυθισμένου τόξου

### Συγκόλληση με δέσμη λέιζερ (L.B.W)

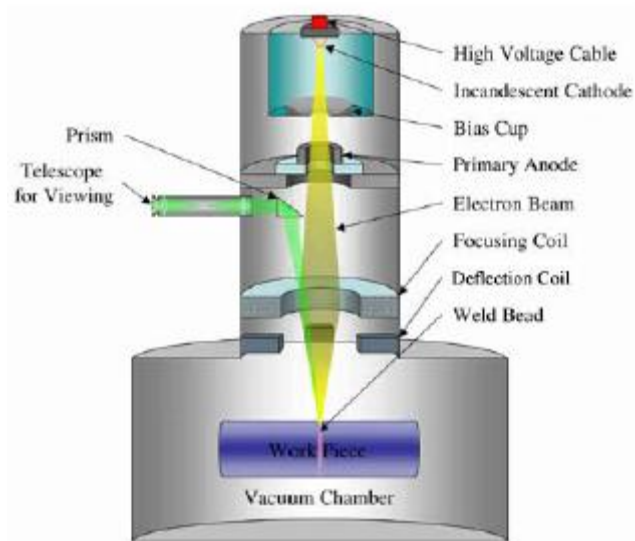
Η μέθοδος συγκόλλησης με λέιζερ (Laser Beam Welding) χρησιμοποιεί για την τήξη του μετάλλου μια δέσμη φωτονίων η οποία προσκρούει πάνω στις επιφάνειες των υπό συγκόλληση μετάλλων. Η δέσμη αυτή συνήθως παράγεται από μείγμα CO<sub>2</sub> και He, N, με αναλογίες 4.5%, 13.5% και 82%. Μπορεί να συγκολλήσει ελάσματα πάχους ως και 25mm σε πολύ καλή ποιότητα και υλικά όπως Al Αλουμίνιο, Ti Τιτάνιο, Cu χαλκό, St Ατσάλι. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η μικρότερη προσδιδόμενη θερμική ενέργεια στα προς συγκόλληση υλικά, με αποτέλεσμα μικρότερες διαστάσεις ραφής και Θ.Ε.Ζ, σε συνδυασμό με χαμηλότερες παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους συγκόλλησης αλουμινίου.



Εικόνα 4.5 Συγκόλληση με λέιζερ

### Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων με δέσμη ηλεκτρονίων (E.B.W)

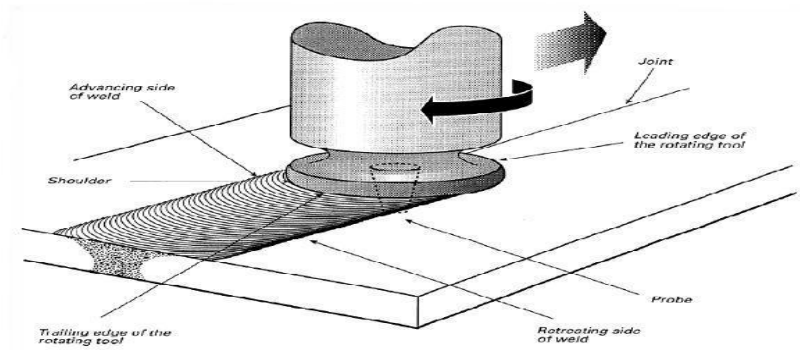
Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων (Electron Beam Welding) είναι μια μέθοδος η οποία χρησιμοποιεί την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων ως πηγή θερμότητας. Η δέσμη ηλεκτρονίων παράγεται από την υψηλή διαφορά δυναμικού μεταξύ της θερμαινόμενης καθόδου και του προς συγκόλληση αντικειμένου. Το κενό αυτό δημιουργεί ιδανικές συνθήκες συγκόλλησης για μέταλλα όπως το βολφράμιο, το βηρύλλιο, το τιτάνιο κλπ, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να συγκολληθούν με άλλες μεθόδους. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να συγκολλήσουμε ελάσματα ως και 150mm. Η συγκεκριμένη μέθοδος συγκόλλησης είναι πολύ δαπανηρή λόγω των τάσεων που χρησιμοποιούνται. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για παχιά αλλά και λεπτά ελάσματα άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για συγκόλληση αλουμινίου.



*Εικόνα 4.6 Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων*

### Συγκόλληση τριβής (F.S.W)

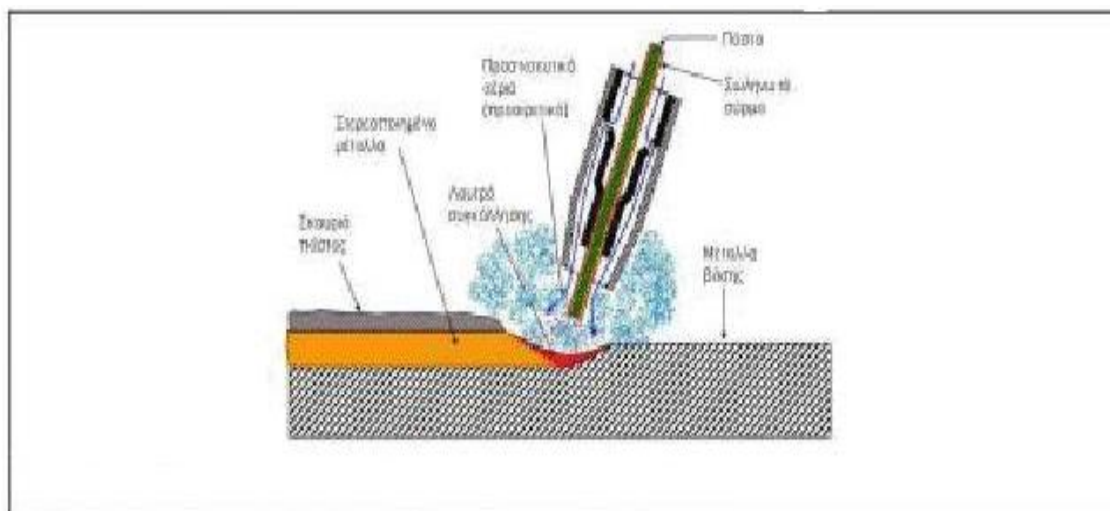
Η συγκόλληση δια τριβής με ανάδευση, ως μια στερεάς κατάστασης μέθοδος συγκόλλησης, θεωρείται από τις πιο εξελιγμένες μεθόδους συγκόλλησης της τελευταίας δεκαετίας. Κατά τη διαδικασία αυτή, πραγματοποιείται πλαστικοποίηση του προς συγκόλληση υλικού και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται φθάνουν περίπου το 0,8 του σημείου τήξης των προς συγκόλληση υλικών με αποτέλεσμα την καλής ποιότητας κόλληση των τεμαχίων. Ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς μελέτης που αφορούν στην F.S.W είναι η παρατήρηση της ροής του υλικού κατά την πραγματοποίησή της. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για συγκόλληση αλουμινίου αλλά και άλλων κραμάτων τα οποία είναι δύσκολο να συγκολληθούν με κάποια άλλη μέθοδο.



**Εικόνα 4.7** Συγκόλληση τριβής

### Συγκόλληση με σωληνωτό σύρμα που περιέχει πάστα (F.C.A.W)

Στις συγκολλήσεις Flux Cored Arc Welding χρησιμοποιείται σωληνωτό σύρμα που στο εσωτερικό του είναι κενό και περιέχει πάστα. Αν και η πάστα παρέχει προστασία από την ατμόσφαιρα η συγκόλληση γίνεται με την ταυτόχρονη παροχή αερίου. Οι συγκόλληση αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε κοινούς και ανοξείδωτους χάλυβες και εκτελείται με σταθερή τάση τόξου. Δεν προσφέρεται για συγκόλληση αλουμινίου και η εμφάνιση συγκόλλησης είναι λιγότερο ποιοτική από την M.I.G/M.A.G.

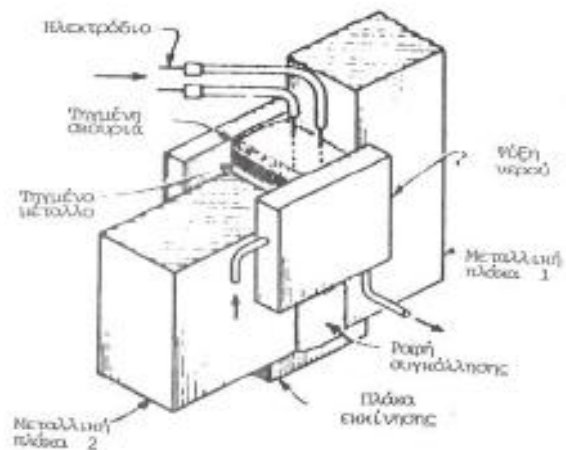


**Εικόνα 4.8** Μέθοδος συγκόλλησης F.C.A.W

### Συγκόλληση με ηλεκτροσκωρίωση (E.S.W)

Για την περίπτωση των κατακόρυφων συγκολλήσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος της ηλεκτροσκωρίωσης (Electro Slag Welding). Και σε αυτή την μέθοδο η θερμότητα παρέχεται κάτω από αραιό νέφος σκόνης, αλλά σε αυτή την περίπτωση η θερμότητα οφείλεται στην αντίσταση του ρεύματος στο στρώμα της σκουριάς





**Εικόνα 4.9** Διάταξη ηλεκτοσκληρωτικής συγκόλλησης

### Ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση (Resistance welding/RW)

Η μέθοδος αυτή είναι αυτογενής συγκόλλησης η οποία δεν χρησιμοποιεί συγκολλητικό υλικό, προστατευτικά αέρια ή σκόνη προστασίας. Τα τεμάχια που θέλουμε να συγκολληθούν θερμαίνονται μεταξύ δυο ηλεκτρόδιων και συγκολλούνται. Η αρχή λειτουργίας αυτής της μεθόδου βασίζεται στο εξής: Όταν ένα σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα διέλθει από δύο επιφάνειες σε επαφή, συναντά εσωτερική αντίσταση αναπτύσσοντας έτσι κατά τα γνωστά θερμότητα λόγω αντίστασης, που συγκεντρώνεται τοπικά στην περιοχή σύνδεσης. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στη ζώνη επαφής των δύο ελασμάτων εξαρτάται από την ειδική θερμότητα και την θερμική αγωγιμότητα των υλικών. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για συγκόλληση είτε ίδιων είτε διαφορετικών υλικών. Η ένταση του ρεύματος φθάνει μέχρι 100.000 A ενώ η τάση λειτουργίας είναι πολύ χαμηλή, στην περιοχή 0,5-10 V.



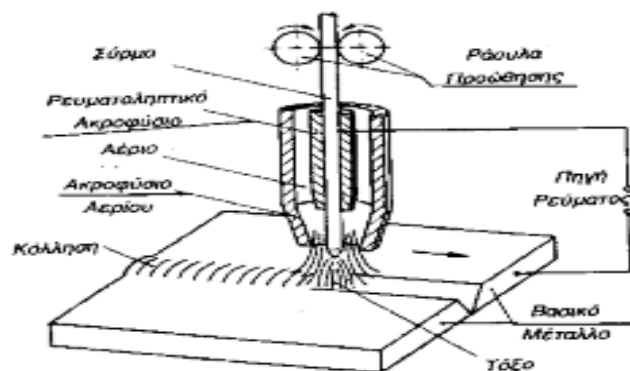
**Εικόνα 4.10** Διάταξη ηλεκτρόποντας

## Συγκόλληση με συμπαγές σύρμα (M.I.G/M.A.G)

- Μέθοδος M.A.G (Metal Active Gas) Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου σε ατμόσφαιρα ενεργού αερίου CO<sub>2</sub>.
- Μέθοδος M.I.G (Metal Inert Gas) Ηλεκτροσυγκόλληση ηλεκτροδίου σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου ή μίγματος αερίων

Κατά τη συγκόλληση M.I.G/M.A.G το συγκολλούμενο μέταλλο και το καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο με τη μορφή σύρματος τήκονται με θερμότητα που παράγεται από τόξο που σχηματίζεται μεταξύ του ηλεκτροδίου και του συγκολλούμενου μετάλλου. Η συγκόλληση αυτή γίνεται με ταυτόχρονη χρήση προστατευτικού αερίου και ανάλογα το αέριο αυτό η διαδικασία έχει και άλλο όνομα, γι' αυτό και πιο συχνά εφαρμόζεται ο όρος M.I.G/M.A.G. Κατά τη συγκόλληση αυτή πρέπει να υπάρχει σταθερή τάση τόξου η οποία συμβολίζεται ως CV. Αυτή είναι η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ του μετάλλου βάσης και της άκρης του ηλεκτροδίου. Όπως βλέπουμε βασική διαφορά της M.I.G/M.A.G από την M.M.A είναι ότι η M.I.G/M.A.G χρησιμοποιεί σταθερή τάση τόξου ενώ η M.M.A σταθερή ένταση.

Σε μια ημιαυτόματη διαδικασία το ηλεκτρόδιο τροφοδοτείται ημιαυτόματα και το τόξο αυτορυθμίζεται, αλλά η πηγή θερμότητας κινείται στην περιοχή σύνδεσης με το χέρι..



Σχ. 1 Σχηματική παράσταση Μεθόδου MIG/MAG

Εικόνα 4.11 Μέθοδος ηλεκτροσυγκόλλησης M.I.G

Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν είτε αδρανές αέριο He ή Ar ή CO<sub>2</sub> σαν προστασία για την συγκόλληση αντί να γίνεται χρήση στρώματος σκουριάς ή κυτταρικών αερίων προϊόντων που χρησιμοποιούνται στην χειροκίνητη μέθοδο. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις, με λιγότερες ακαθαρσίες, γεγονός σημαντικό για την συγκόλληση ειδικών χαλυβοκατασκευών και κραμάτων αλουμινίου, όπου η παρουσία οξειδίων αποτελεί μεγάλο πρόβλημα. Γι' αυτό και θεωρούνται από τις βασικές μεθόδους συγκόλλησης αλουμινίου.

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.

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. Είναι γνωστό ότι η ελεύθερη επιφάνεια του αλουμινίου καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου, που του παρέχει και παθητική προστασία οξείδωσης. 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.

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.

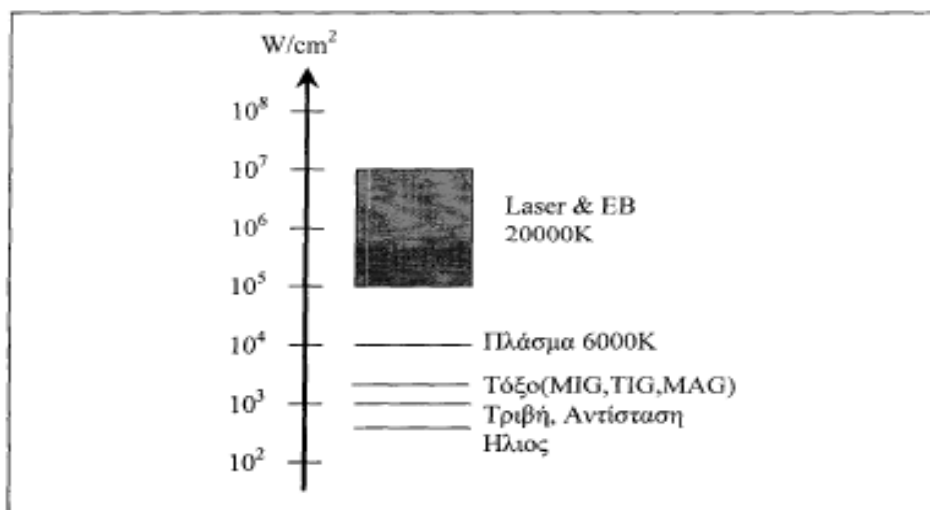
Και οι δύο μέθοδοι, μπορούν να εφαρμοσθούν είτε χειροκίνητα, είτε με αυτόματες διατάξεις. Με την ανάπτυξη αυτομάτων διατάξεων συγκολλησεως, μπορούμε σήμερα να διαχειριστούμε με συγκόλληση, πάχη αλουμινίου από 0,5 έως και πάνω από 75 χιλιοστά.

Πεδίο εφαρμογής	Σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου			Χωρίς προστασία αερίου		
	M.IG/MAG	T.I.G	FCAW με αέριο	FCAW χωρίς αέριο	M.M.A	Οξυγόνο - Ασετιλίνη
Λεπτά ελάσματα	Ναι	Άριστη	Όχι	Όχι	Όχι	Άριστη
Ανθρακούχοι χάλυβες	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Ναι
Ανοξειδωτοι χάλυβες	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Άριστη	Ναι
Χυτοσίδηρος	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Άριστη	Ναι
Αλουμίνιο	Άριστη	Άριστη	Όχι	Όχι	Μάλλον όχι	Ναι
Παραγωγικότητα	Άριστη	Μικρή	Άριστη	Άριστη	Μέτρια	Μικρή
Χρήση σε ανοιχτό χώρο	Όχι	Όχι	Όχι	Άριστη	Άριστη	Ναι

**Πινάκας 4.1** Υλικά που συγκολλούνται σε ατμόσφαιρα προστατευτικού αερίου

Από τις παραπάνω μεθόδους συγκόλλησης αυτές οι οποίους είναι πιο κατάλληλες για την συγκόλληση αλουμινίου είναι:

- Μέθοδος M.I.G/M.A.G
- Μέθοδος T.I.G
- Μέθοδος συγκόλλησης με Laser



Εικόνα 4.12 Σύγκριση μεθόδων συγκόλλησης σε σχέση με την προδιδόμενη ανά μονάδα επιφανείας ενέργεια

A/A	Τεχνικός όρος	Ανάλυση στην αγγλική	Χρήση του όρου
1	M.M.A S.M.A.W	Manual Metal Arc Shield Metal Arc Welding	Συγκόλληση τόξου με επενδυμένο ηλεκτρόδιο
2	M.I.G M.A.G G.M.A.W	Metal Inert Gas Metal Active Gas Gas Metal Arc Welding	Συγκόλληση συμπαγούς σύρματος με προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου
3	F.C.A.W	Flux Cored Arc Welding	Συγκόλληση τόξου με σωληνωτό σύρμα που περιέχει πάστα.
4	T.I.G G.T.A.W	Tungsten Inert Gas Gas Tungsten Arc Welding	Συγκόλληση τόξου με μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου
5	S.A.W	Sumerged Arc Welding	Συγκόλληση βυθισμένου τόξου
6	P.A.W	Plasma Arc Welding	Συγκόλληση τόξου πλάσματος
7	C.V C.C C.C/C.V	Constant Voltage Constant Curent -	Σταθερή λεκτική τάση Σταθερή ένταση ρεύματος Με επιλογή CC ή CV
8	D.C.E.N,DC- D.C.E.P,DC+ A.C.H.F	DC Electron Negative DC Electrode Positive AC High frequency	Ρεύμα DC το ηλεκτρόδιο στο - Ρεύμα DC το ηλεκτρόδιο στο + Ρεύμα AC υψηλής συχνότητας

Πινάκας 4.2 Τεχνικοί όροι που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροσυγκόλληση

Μεγαλύτερες από το κανονικό θερμοκρασίες κατά τις ραφές δυο η περισσότερων μερών μεταξύ τους έχουν σαν συνέπεια την μείωση της αντοχής των συγκολλήσεων λόγω της τοπικής υπερθέρμανσης των διαφόρων μερών. Κατά συνέπεια κρίνεται απαραίτητο σε κάθε περίπτωση η ορθή επιλογή των παραμέτρων συγκόλλησης.

## Ομοειδής συγκολλήσεις

Ομοειδής ονομάζονται οι συγκολλήσεις στις οποίες τα προς συγκόλληση μέρη είναι από το ίδιο ή παρόμοιο υλικό. Στις συγκολλήσεις του είδους αυτού ανήκουν και οι συγκολλήσεις στις οποίες δεν χρησιμοποιείται υλικό εναπόθεσης αρκεί τα συνδεόμενα μέρη να έχουν την ίδια χημική σύσταση. Για παράδειγμα, η συγκόλληση δύο μερών από μαλακό χάλυβα είναι μία ομοειδής συγκόλληση, είτε χρησιμοποιηθεί υλικό εναπόθεσης της ίδιας σύστασης είτε όχι.

Ο αρμός που πρόκειται να συγκολληθεί πρέπει να προετοιμάζεται κατάλληλα. Η πηγή θερμότητας χρησιμεύει για να τήξει είτε το συγκολλούμενο μέταλλο στην περιοχή της σύνδεσης, είτε το συγκολλητικό υλικό μέσα στην σύνδεση. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συνδέσεων ραφών : η εσωραφή (ραφή άκρων) και η εξωραφή (ραφή αυχένα).

## Ετεροειδής συγκολλήσεις

Ετεροειδής ονομάζονται οι συγκολλήσεις στις οποίες τα προς συγκόλληση μέρη είναι διαφορετικής χημικής σύστασης από τη σύσταση του υλικού εναπόθεσης.

Έτσι, στην περιοχή της συγκόλλησης δημιουργείται ένα κράμα από στοιχεία της κόλλησης και των μεταλλικών κομματιών. Όταν το κράμα αυτό στερεοποιηθεί, πραγματοποιείται κρυσταλλική σύνδεση των κομματιών, με αποτέλεσμα τη συγκόλλησή τους. Γι' αυτό στις ετεροειδής συγκολλήσεις οι επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν πρέπει να καθαρίζονται σχολαστικά με ειδικά υλικά καθαρισμού. Στην κατηγορία των ετερογενών συγκολλήσεων ανήκουν οι ασημοκολλήσεις, οι μπρουντζοκολλήσεις, οι κασσιτεροκολλήσεις κτλ.

Στις ετεροειδής συγκολλήσεις, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τα ακόλουθα:

- Το υλικό βάσης είναι πάντα διαφορετικής σύστασης από το υλικό εναπόθεσης και θα πρέπει να επιλέγουμε κατά τρόπο σχολαστικό κατά περίπτωση το υλικό εναπόθεσης προκειμένου να πετύχουμε άριστη κρυστάλλωση και κατά συνέπεια αντοχή στις ραφές μας.

Συνήθως οι ετεροειδείς συγκολλήσεις διακρίνονται σε μαλακές συγκολλήσεις όπου η θερμοκρασία τήξης των υλικών είναι μικρότερη των 500°C και στις σκληρές συγκολλήσεις όπου η θερμοκρασία τήξης των υλικών είναι μεγαλύτερες των 500°C.

Η θερμοκρασία τήξης της κόλλησης που χρησιμοποιείται είναι πάντα μικρότερη από εκείνη των προς συγκόλληση κομματιών. Όταν η θερμοκρασία φθάσει στο σημείο τήξης της κόλλησης, η κόλληση λιώνει και απλώνεται στις επιφάνειες που θα συγκολληθούν. < Θτήξης και >450°C.

Κατά τις συγκολλήσεις των διαφόρων μερών αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες εξαρτώμενες από το είδος των προς συγκόλληση μερών.

Ενδεικτικά δίνονται οι παρακάτω:

- Χάλυβας: 1450-1530°C
- Χυτοσίδηρος: 1150-1250°C
- Χαλκός: 1083°C
- Μπρούντζος: 900°C
- Ορείχαλκος: 900-1000°C
- Άργυρος(ασημί ): 960°C
- Κασσίτερος: 230°C
- Αλουμίνιο: 600-660°C

Για να επιτύχουμε τόσο υψηλές θερμοκρασίες τήξης, θα πρέπει να διαθέτουμε ισχυρές πηγές θερμότητας. Τέτοιες πηγές θερμότητας μπορούμε να έχουμε είτε με καύση αερίου, είτε με ηλεκτρική ενέργεια. Η συνηθέστερη πηγή θερμότητας είναι η φλόγα ασετιλίνης το ηλεκτρικό βολταϊκό τόξο, η δέσμη ηλεκτρονίων και η ακτίνες Laser.

Κατά το πέρας των συγκολλήσεων τα τηχθέντα μέρη που τις αποτελούν στερεοποιούνται και αποψυχόμενα κρυσταλλώνονται. Στην ουσία δημιουργούν ένα ενιαίο σώμα στο οποίο οφείλεται και η αντοχή τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### Τα βασικά μέρη της μηχανής M.I.G (G.M.A.W) Kemppi 4000



Για το πειραματικό μέρος της εργασίας μας χρησιμοποιήσαμε τη μηχανή συγκόλλησης Kemppi 4000. Οι πηγές ενέργειας Kemppi 4000 είναι συμπαγής M.I.G συσκευή συγκόλλησης και είναι σχεδιασμένη για βαριά βιομηχανική χρήση. Ένα μηχάνημα αξιόπιστο στη λειτουργία του και με μεγάλες δυνατότητες χρήσης, ένα παραγωγικό μηχάνημα που όμως χρησιμοποιήσαμε με το χέρι. Θεωρήθηκε απαραίτητο να μελετήσουμε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή αυτού του μηχανήματος προκειμένου να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στη δουλειά που κάνουμε. Κατά συνέπεια μελετώντας το εγχειρίδιο αυτό προσέξαμε τα παρακάτω αναφερόμενα, που αφορούν κυρίως την κατανόηση του εξοπλισμού του, την ασφαλή λειτουργία του, τις τεχνικές προδιαγραφές του και πληροφορίες σχετικά με την συντήρησή του.

Λειτουργεί όπως και οι κλασικές μηχανές συγκόλλησης με την ακόλουθη αρχή: Λαμβάνει από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. ρεύμα με τάσης λειτουργίας 220V ή 380V και μέσω ηλεκτρικών διατάξεων της μηχανής μετασχηματίζεται το ρεύμα αυτό η ένταση του η τάση του καθώς και η συχνότητα του σε κατάλληλες τιμές ανάλογα με τις συνθήκες εργασίας της μηχανής μας. Όταν η μηχανή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο αλλά δεν συγκολλά, τότε στην έξοδό της, μεταξύ της τσιμπίδας του ηλεκτροδίου και της γείωσης έχουμε μια τάση που καλούμε «τάση εν κενώ» ή ακόμα «τάση ανοιχτού κυκλώματος» που μπορεί να κυμανθεί από 50V έως 100V ανάλογα με το είδος της μηχανής που χρησιμοποιούμε και το ρεύμα συγκόλλησης που παρέχει.

Οι επιτρεπόμενες «τάσεις εν κενώ» είναι:

- Ημιαυτόματες μηχανές συγκόλλησης
  - Εναλλασσόμενο ρεύμα 80V
  - Συνεχές ρεύμα 80V-100V (ανάλογα με την διακύμανση)
- Αυτόματες μηχανές συγκόλλησης
  - Εναλλασσόμενο ρεύμα 100V
  - Συνεχές ρεύμα 100V

Πιο συγκεκριμένα η μηχανή M.I.G που χρησιμοποιήσαμε είναι μια ημιαυτόματη μηχανή στην οποία η ταχύτητα της συγκόλλησης ελέγχεται από το χειριστή. Η μέθοδος αξιοποιεί, την θερμότητα του ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται μεταξύ ενός συνεχώς τροφοδοτούμενου ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης. Η λειτουργία του τόξου επιβάλλει υψηλή τάση του ρεύματος της μηχανής το οποίο ιονίζει την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα του τόξου και εξασφαλίζει τη συνεχεία του ανάμματος του. Το τόξο αναπτύσσεται μεταξύ του υλικού εναπόθεσης και μετάλλου βάσης και η ένταση του εξαρτάται από τις τιμές του ρεύματος της μηχανής. Οι μηχανές αυτού του είδους περιλαμβάνουν δύο ηλεκτρικά κυκλώματα: το πρωτεύον ή εισόδου και το δευτερεύον ή εξόδου. Με το πρωτεύον συνδέεται η τάση του δικτύου. Κατά συνέπεια η οποιαδήποτε επαφή με το πρωτεύον εγκυμονεί κίνδυνο ηλεκτροπληξίας ακόμη και στην περίπτωση επαφής με μη γειωμένο μεταλλικό μέρος της μηχανής. Η τροφοδοσία του υλικού εναπόθεσης σε αυτού του είδους τις μηχανές είναι αυτόματη μέσω του τροφοδότη μηχανισμού της μηχανής και ο χειριστής φροντίζει μόνο το χειρισμό της λαβίδας συγκόλλησης και των ρυθμίσεων της μηχανής. Το όλο ηλεκτρικό τόξο σχηματίζεται σε αδρανές περιβάλλον το οποίο μπορεί να εμπεριέχει και κατά περίπτωση δραστικά αέρια. Το υλικό εναπόθεσης πρέπει να έχει σταθερή ταχύτητα κίνησης πράγμα που συνεπάγεται χρήση δίπλων ράουλων στους τροφοδότες μηχανισμούς των μηχανών, προσπάθεια γίνεται κατά τη χρήση τους να δημιουργηθεί σταθερότητα τόξου με ελάχιστους σπινθηρισμούς πράγμα που προϋποθέτει για την εκάστοτε ταχύτητα κίνησης του και ανάλογη τάση λειτουργίας της μηχανής. Για να έχουμε σωστή κόλληση το τόξο πρέπει να εστιάζεται στο μέσο της ένωσης. Το ηλεκτρικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται στην M.I.G δεν διαφέρει από τις άλλες μηχανές συγκόλλησης. Μία γεννήτρια συνεχούς ή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος συνήθως χρησιμοποιείται και η πολικότητα του ηλεκτροδίου επιλέγεται ορθή ή ανάστροφη. Στις μηχανές αυτού του είδους το υλικό εναπόθεσης συνδέεται πάντα με το θετικό πόλο της μηχανής, το δε μέταλλο βάσης με τον αρνητικό. Με αυτή τη σύνδεση παίρνουμε σταθερό ηλεκτρικό τόξο χωρίς απώλειες υλικού (πιτσιλίσματα) και



καλής διείδυσης και διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του. Ενώ ανάστροφη πολικότητα μας δίνει αντίθετα αποτελέσματα. Το αέριο προστασίας, εξέρχεται από το ακροφύσιο της λαβίδας μέσω του αγωγού του ακροδέκτη της μηχανής και προσβάλλει τον περιβάλλοντα χώρο του ηλεκτρικού τόξου. Όλα αυτά θα τα αναλύσουμε παρακάτω.

<b>Οι παράμετροι συγκόλλησης αλουμινίου</b>					
<b>Διάμετρος σύρματος, mm</b>	<b>0.8</b>	<b>1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.6</b>	<b>2.4</b>
Τάση τόξου, V	20-24	22-26	22-18	24-30	26-30
Ταχύτητα σύρματος, m/min	8.0-11.0	7.0-12	5.5-11	4.5-8	2.5-3
Παροχή αερίου (Are), L/min	12.0-14	13-15	14-116	15-17	18-22
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, A	80-120	90-180	130-220	170-320	270-380
Εναποθετιμένη ποσότητα για ER4043, Kg/ώρα	0.6-0.9	0.9-1.5	1-2.1	1.5-2.6	1.8-2.8
Εναποθετιμένη ποσότητα για ER5356, Kg/ώρα	0.8-1.1	0.9-1.8	1.2-2.3	1.6-2.7	2.2-2.9

*Πίνακας 5.1 Παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης αλουμινίου*

Η μηχανή που χρησιμοποιήσαμε είναι κατάλληλη για υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και σε αυτοματοποιημένες εφαρμογές. Με την έλευση της ρομποτικής, η επιλογή της μεθόδου G.M.A.W είναι όλο και συχνότερη γιατί λόγω των πλεονεκτημάτων της και των παραμέτρων της υπερτερεί από τις άλλες μεθόδους συγκόλλησης.

Κάποια από αυτά αναφέρονται παρακάτω:

- Η ευκολία συγκόλλησης ελασμάτων πολύ μικρού πάχους, μόλις 0,5-0,6mm.
- Έχει μεγάλη παραγωγικότητα, ενδεικτικά 4 φορές μεγαλύτερη από άλλες μεθόδους.
- Δεν υπάρχουν περιορισμοί στο μήκος του ηλεκτροδίου όπως σε άλλες μεθόδους.
- Η συγκόλληση μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλες τις θέσεις με χρήση των κατάλληλων παραμέτρων.
- Μπορεί να γίνει σε μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με άλλες μεθόδους.
- Ο ρυθμός τροφοδοσίας είναι σημαντικά μεγαλύτερος από ότι στην S.M.A.W.
- Η συνεχής τροφοδοσία ηλεκτροδίου επιτρέπει τη συγκόλληση μεγάλου μήκους χωρίς διακοπές.
- Η διείδυση είναι βαθύτερη σε σύγκριση με τη S.M.A.W γεγονός που μπορεί να επιτρέψει τη χρήση μικρότερων ραφών σε αυχενικές συγκολλήσεις για ίδια αντοχή.
- Δεν απαιτείται μεγάλη ικανότητα χειρισμών από το συγκολλητή διότι το μήκος του τόξου διατηρείται σταθερό σε σχετικά μεγάλες αυξομειώσεις στην απόσταση ανάμεσα στο ακροφύσιο και το προς συγκόλληση μέταλλο,
- Η ευκολία με την οποία εκτελείται μία καλή ηλεκτροσυγκόλληση. Ακόμη και ένας νέος τεχνίτης μπορεί να κάνει καλές συγκολλήσεις.

## Περιορισμοί μεθόδου

Όπως όλες οι μέθοδοι συγκόλλησης έτσι και η G.M.A.W υπόκειται σε κάποιους συγκεκριμένους περιορισμούς για να μπορεί να μας δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα:

- Ο εξοπλισμός της μεθόδου είναι πολύπλοκος και συνήθως πιο ακριβός και ακόμη δεν είναι εύχρηστος ως προς τη φορητοτητά του
- Η μέθοδος είναι πιο δύσκολα εφαρμόσιμη σε δυσπρόσιτα σημεία λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους πιστολιού συγκόλλησης σε σχέση με τη S.M.A.W και πρέπει να διατηρείται σε κοντινή απόσταση τη ραφή για να διασφαλιστεί η επαρκής προστασία αερίου.
- Το τόξο πρέπει να προστατεύεται από ρεύματα αέρα που παρασύρουν το αέριο προστασίας κάτι που περιορίζει την εφαρμογή της μεθόδου σε εξωτερικούς χώρους.
- Τα σχετικά ψηλά επίπεδα ακτινοβολίας και η ένταση του τόξου μπορεί να δυσκολέψουν το συγκολλητή να κρίνει την ποιότητα της συγκόλλησης.

Οι σημαντικοί παράμετροι της M.I.G (G.M.A.W) που επηρεάζουν διείδυση, τη γεωμετρία και γενικότερα την ποιότητα συγκόλλησης είναι:

- Το ρεύμα συγκόλλησης (πρακτικά ο ρυθμός τροφοδοσίας ηλεκτροδίου)
- Η τάση του τόξου (στην πράξη το μήκος του τόξου)
- Η ταχύτητα
- Η προέκταση του ηλεκτροδίου
- Ο προσανατολισμός του ηλεκτροδίου (γωνία πιστολιού)
- Η διάμετρος του ηλεκτροδίου
- Το είδος και η παροχή του προστατευτικού αερίου.

Ο έλεγχος των παραπάνω παραμέτρων είναι πολύ μεγάλης σημασίας για την πραγματοποίηση αποδεκτής ποιότητας συγκολλήσεων. Καθώς οι παράμετροι αυτές δεν είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους, η αλλαγή μιας εξ' αυτών απαιτεί προσαρμογή και των υπολοίπων για την επίτευξη επιθυμητών αποτελεσμάτων.

Είναι απαραίτητη η γνώση του θεωρητικού υπόβαθρου και η εμπειρία για την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερου αποτελέσματος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η επιλογή των παραμέτρων εξαρτάται και από άλλες μεταβλητές όπως των τύπο του μετάλλου βάσης, τη θέση συγκόλλησης, τις ποιοτικές απαιτήσεις και τον αριθμό των απαιτούμενων συγκολλήσεων.

Εκτός όμως από θετικά, η μέθοδος αυτή έχει και κάποια αρνητικά στοιχεία όπως:

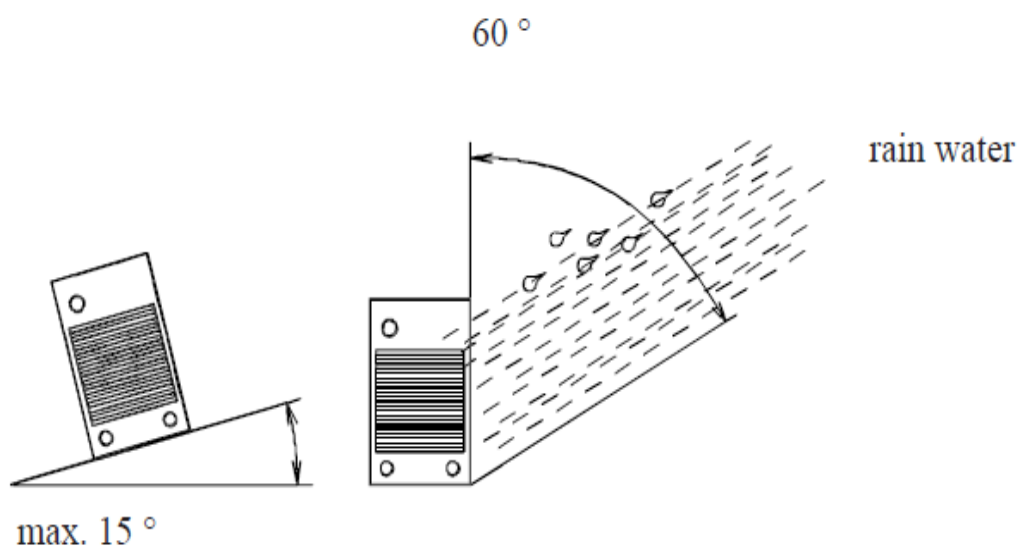
- Μεγάλο κόστος εξοπλισμού.
- Το κόστος ανά μέτρο ηλεκτροσυγκόλλησης είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες μεθόδους συγκόλλησης.
- Δεν εξασφαλίζει καλή συγκόλληση σε πάχη ελασμάτων μεγαλύτερα των 3,5mm.

- Ηλεκτροσυγκολλήσεις M.I.G μπορούν να γίνονται μόνο σε κλειστό χώρο, επειδή τα ρεύματα αέρα παρασύρουν το προστατευτικό αέριο.
- Υπάρχει δυσκολία στην αλλαγή της ποιότητας του προς συγκόλληση μετάλλου. Πρέπει να αλλαχτεί το καρούλι με το σύρμα και, ενδεχομένως, και η φιάλη του αερίου. Αν γίνει λάθος και ξετυλιχτεί το σύρμα, δεν τυλίγεται ξανά, το καρούλι είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί ξανά.

## Χωροθέτηση της μηχανής

Τοποθετούμε τη μηχανή σε οριζόντια θέση σε στεγνή, σταθερή και καθαρή επιφάνεια στην οποία δεν θα υπάρχει σκόνη κοντά στην είσοδο του αέρα ψύξης που βρίσκεται στην πίσω πλευρά της μηχανής, ώστε να διασφαλίσουμε την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα ψύξης. Ο βαθμός προστασίας της μηχανής είναι IP-23°C και επιτρέπει τη μέγιστη κλίση ώστε το νερό που θα κτυπάει στο εξωτερικό περίβλημα της μηχανής να είναι στις 60°.

Θα πρέπει η μηχανή να είναι τοποθετημένη μακριά από τη γραμμή ψεκασμού των σωματιδίων που προκαλούν τα εργαλεία λείανσης, να υπάρχει ελεύθερος χώρος μπροστά και πίσω από τη μηχανή ώστε να επιτρέπεται η καλή κυκλοφορία του αέρα ψύξης της μηχανής και να προστατεύουμε τη μηχανή ώστε να μην έρχεται σε απευθείας επαφή με τη βροχή και σε καταστάσεις άμεσης ηλιοφάνειας που ξεπερνούν τους 25°C.



## Μεταφορά και ανύψωση μηχανής

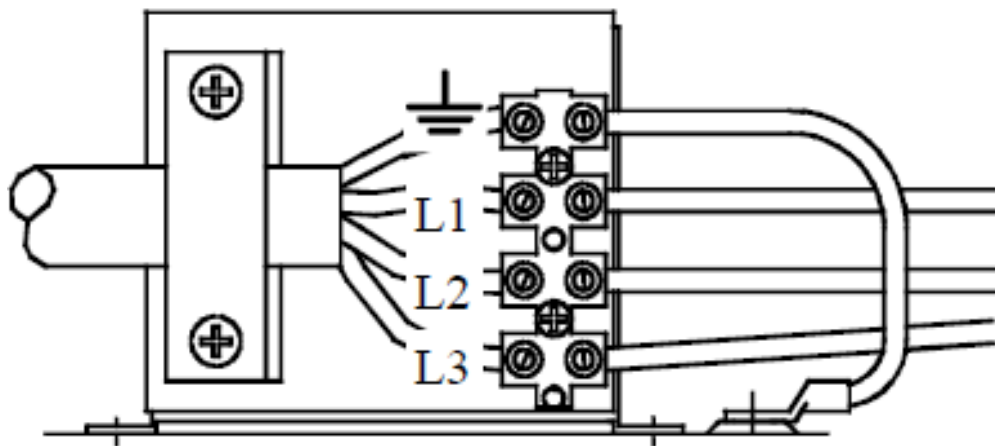
Υπάρχουν 4 σταθερά σημεία ανύψωσης διαμέτρου Φ 47 mm, για την μεταφορά της στο εμπρόσθιο μέρος της μηχανής υπάρχουν λαβές μετακίνησης. Η μετακίνηση από τις λαβές εμπρόσθια της μηχανής γίνεται μόνο με τα χέρια, δεν επιτρέπεται με άλλες συσκευές.

## Σύνδεση της μηχανής στο δίκτυο ρεύματος

Η σύνδεση και η αλλαγή του καλωδίου τροφοδοσίας και του βύσματος πρέπει να γίνεται μόνο από έμπειρο ηλεκτρολόγο. Για την τοποθέτηση του καλωδίου τροφοδοσίας αφαιρούμε την αριστερή πλευρική πλάκα η οποία φαίνεται από το μπροστινό μέρος της πηγής ισχύος. Η μηχανή Kemppi 4000 είναι εφοδιασμένη με 5m καλώδιο τροφοδοσίας χωρίς φως. Το καλώδιο τροφοδοσίας είναι σύμφωνο με τη σήμανση H07RN-F του προτύπου CENELE HD22 και θα πρέπει να αλλάξει εάν δεν πληρεί τους τοπικούς κανονισμούς.

## Τοποθέτηση του κυρίως καλωδίου τροφοδοσίας

Στα καλώδια του τύπου S υπάρχει προστατευτική γείωση με χρώμα αγωγού κίτρινο και πράσινο. Το καλώδιο τροφοδοσίας εισέρχεται στη μηχανή μέσω του δαχτύλιου εισόδου που βρίσκεται στο πίσω τοίχωμα του μηχανήματος και ασφαλίζεται με ένα σφικτήριο. Οι αγωγοί φάσης του καλωδίου συνδέονται με τις υποδοχές L1 L2 και L3. Η γείωση χρώματος πράσινου συνδέεται στη μηχανή στο βύσμα με την ένδειξη της γείωσης  $\oplus$ . Αν χρησιμοποιείται αγωγός 5 καλωδίων θα πρέπει να κόψουμε τον αγωγό 0 στο επίπεδο της ασπίδας προστασίας του καλωδίου. Το μέγεθος των καλωδίων και της ασφαλείας της μηχανής αξιολογείται στο 100% ED. Η σύνδεση ορίζεται στο παρακάτω σχήμα.

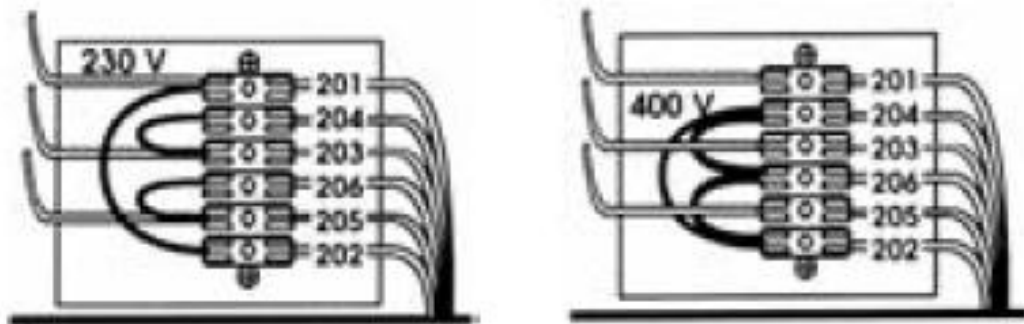


### **Kemppi 4000**

Ονομαστική τάση: 230 V- 400V

Ασφάλειες, καθυστέρηση: 25A - 16A

Καλώδιο σύνδεσης: 4X6.0 S mm<sup>2</sup>- 4X2.5 Smm<sup>2</sup>



## Διατομές καλωδίων ρεύματος συγκόλλησης και επιστροφής

Χρησιμοποιούμε μόνο χάλκινα καλώδια με περιοχή εγκάρσιας διατομής τουλάχιστον 50 mm<sup>2</sup>. Στο συνημμένο πίνακα φαίνονται τυπικές ικανότητες φόρτωσης μεμονωμένων καλωδίων χαλκού μονωμένα με καουτσούκ, όταν θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 25 ° C και η θερμοκρασία του αγωγού είναι 85 ° C

Διατομή καλωδίου	Κύκλος λειτουργίας ED			Απώλεια τάσης /10 m
Χαλκός	100%	60%	40%	Για 100A
50mm <sup>2</sup>	285A	370A	450A	0.35V
70mm <sup>2</sup>	355 A	460 A	560 A	0.25 V

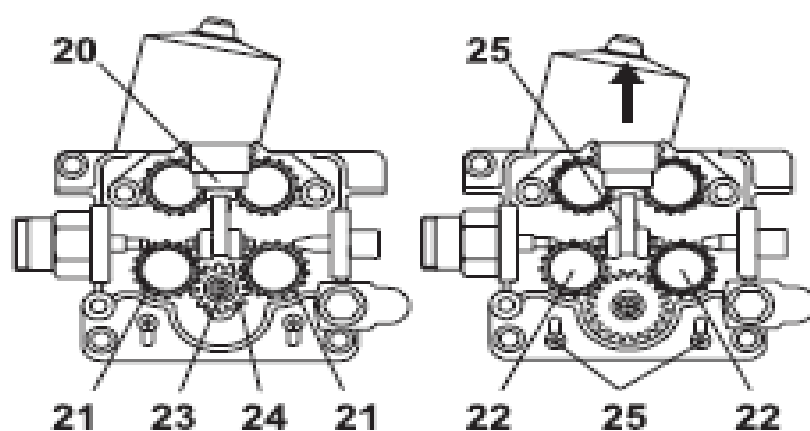
Δεν πρέπει να υπερφορτώνουμε τα καλώδια συγκόλλησης πάνω από τις επιτρεπόμενες τιμές λόγω των απωλειών τάσης και θέρμανσης. Στερεώνουμε την γείωση της μηχανής προσεκτικά, κατά προτίμηση απευθείας πάνω στο τεμάχιο που πρόκειται να συγκολληθεί. Η επιφάνεια επαφής του τεμαχίου θα πρέπει πάντα να είναι όσο το δυνατόν μεγάλη και σταθερή . Καθαρίζουμε την επιφάνεια επαφής από χρώμα και οξειδωση.

## Μονάδα τροφοδοσίας σύρματος

Ο τροφοδοτικός μηχανισμός της μηχανής φέρει 4 κυλίνδρους- ράουλα, (δυο ζεύγη) και είναι μέσα στη μηχανή. Η μηχανή μας φέρει μονάδα συγχρονισμού και τροφοδοσίας σύρματος K.M.W η οποία απαιτείται για τη σύνδεση και τη χρήση των μηχανισμών ώθησης-έλξης Binzel και Hulfegger. Η ορθή ρύθμιση του συστήματος αυτού είναι σημαντικός παράγοντα για την καλή λειτουργία του τόξου. Περιλαμβάνει τον κινητήρα περιστροφής των ράουλων διαμέτρου Φ28mm ο οποίος περιστρέφεται με γραμμική ταχύτητα από 0-18m/min, και ένα οδοντωτό τροχό Φ40mm ο οποίος κινείται με ταχύτητα από 0-25m/min, τα ράουλα τροφοδοσίας υλικού εναπόθεσης (δυο ζεύγη) και τα στοιχεία στήριξης. Εξωτερικό βρίσκονται τα σημεία σύνδεσης της σιμπίδας, οι ρυθμιστές παραμέτρων συγκόλλησης. Στους τροχούς κύλισης (ράουλα) διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να φέρουν αυλακώσεις διαμέτρου ανάλογες της διαμέτρου του υλικού

εναπόθεσης δυο σε αριθμό κατά τροχό κύλισης (ράουλο) και ωθούν η έλκουν το υλικό εναπόθεσης που βρίσκεται σε μορφή μπομπίνας με ταχύτητες από 2,5 έως 15 m/min. Για την περίπτωση (συγκόλληση αλουμινίου) μας γίνεται χρήση τροχών κύλισης  $\Phi$  1,2 , 1,6 και 2,4 mm. Σε περίπτωση κατά την οποία είναι αναγκαία μεγάλη ταχύτητα κίνησης του υλικού εναπόθεσης επιλέγεται ο μεγάλος συνθετικός οδοντωτός τροχός  $\Phi$ 40mm ενώ σε μικρές ταχύτητες ο  $\Phi$  28mm αυτό επιτυγχάνεται με την χαλάρωση των κοχλιών στήριξης του μηχανισμού .

## Μονάδα τροφοδοσίας σύρματος



Εικόνα 5.1 Μηχανισμός τροφοδοσίας υλικού εναποθεσης

## Κύλινδροι τροφοδοσίας

Χρώμα	Σύρμα πλήρωσης $\varnothing$ mm	(inch)
Λευκό	0.6 mm και 0.8 mm	0.030"
Κόκκινο	0.9/1.0 mm και 1.2 mm	0.035, 0.045 και 0.052"
Κίτρινο	1.4 1.6 mm και 2.0 mm	1/16 και 5/64



## Σωλήνες καθοδήγησης

Χρώμα	Σύρμα πλήρωσης $\varnothing$ mm (inch)
Πορτοκαλί	0.6 -1.6 mm 0.024"-1/16"

### Κύλινδροι τροφοδοσίας με απλό αυλάκι (Τριγωνικό)

Κύλινδροι τροφοδοσίας για τη συγκόλληση όλων των ειδών των καλωδίων.

### Κύλινδροι τροφοδοσίας με οδοντωτό αυλάκι

Ειδικά κύλινδροι τροφοδοσίας για καλώδια και σύρματα με πυρήνα από χάλυβα.

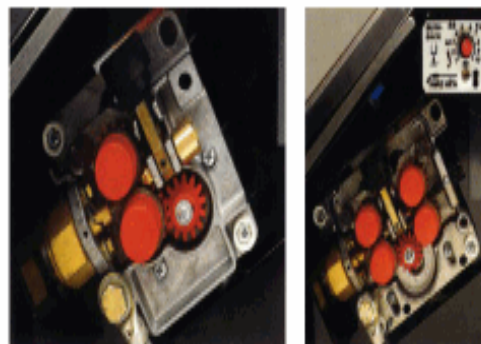
### Κύλινδροι τροφοδοσίας με αυλάκια τύπου U

Ειδικοί κύλινδροι τροφοδοσίας για σύρματα αλουμινίου.

Οι κύλινδροι τροφοδοσίας έχουν δυο αυλάκια για διαφορετικές διαμέτρους σύρματος πλήρωσης. Για να επιλέξουμε το σωστό αυλάκι για τη διάμετρο σύρματος που έχουμε, πρέπει να μετακινήσουμε τη ροδέλα από την μια ή από την άλλη πλευρά του κυλίνδρου τροφοδοσίας. Οι κύλινδροι τροφοδοσίας και οι οδηγοί κατεύθυνσης σύρματος έχουν χρωματικούς κώδικες για να αναγνωρίζονται ευκολότερα. Με την παράδοση η kenprī 4000 είναι εξοπλισμένη με κόκκινους κυλίνδρους τροφοδοσίας με απλό αυλάκι και με πορτοκαλί οδηγούς κατεύθυνσης σύρματος για σύρματα συγκόλλησης διατομής 0.9mm-1.2mm.



(A)



(B)

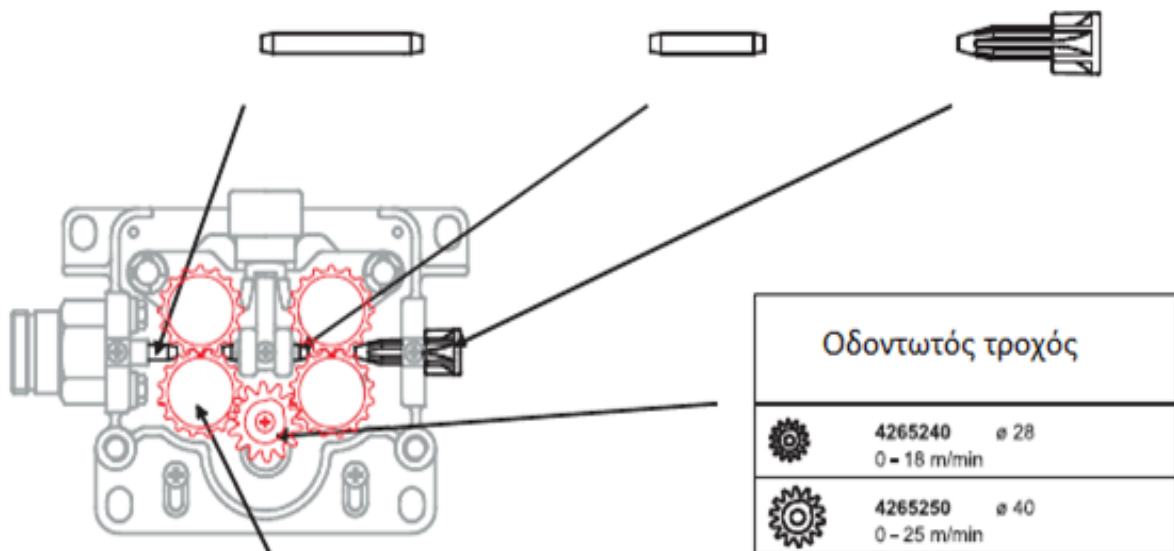
Εικόνα 5.2 (A) Πρόσθετος Τροφοδότης σύρματος για M.I.G/M.A.G (B) Ενσωματωμένος τροφοδότης σύρματος



Εικόνα 5.3 Διάφορα συστήματα ράουλων προώθησης-τάνυσης του σύρματος

## Τεχνικά χαρακτηριστικά και μέρη τροφοδότη μηχανισμού προώθησης σύρματος Kemppi 4000

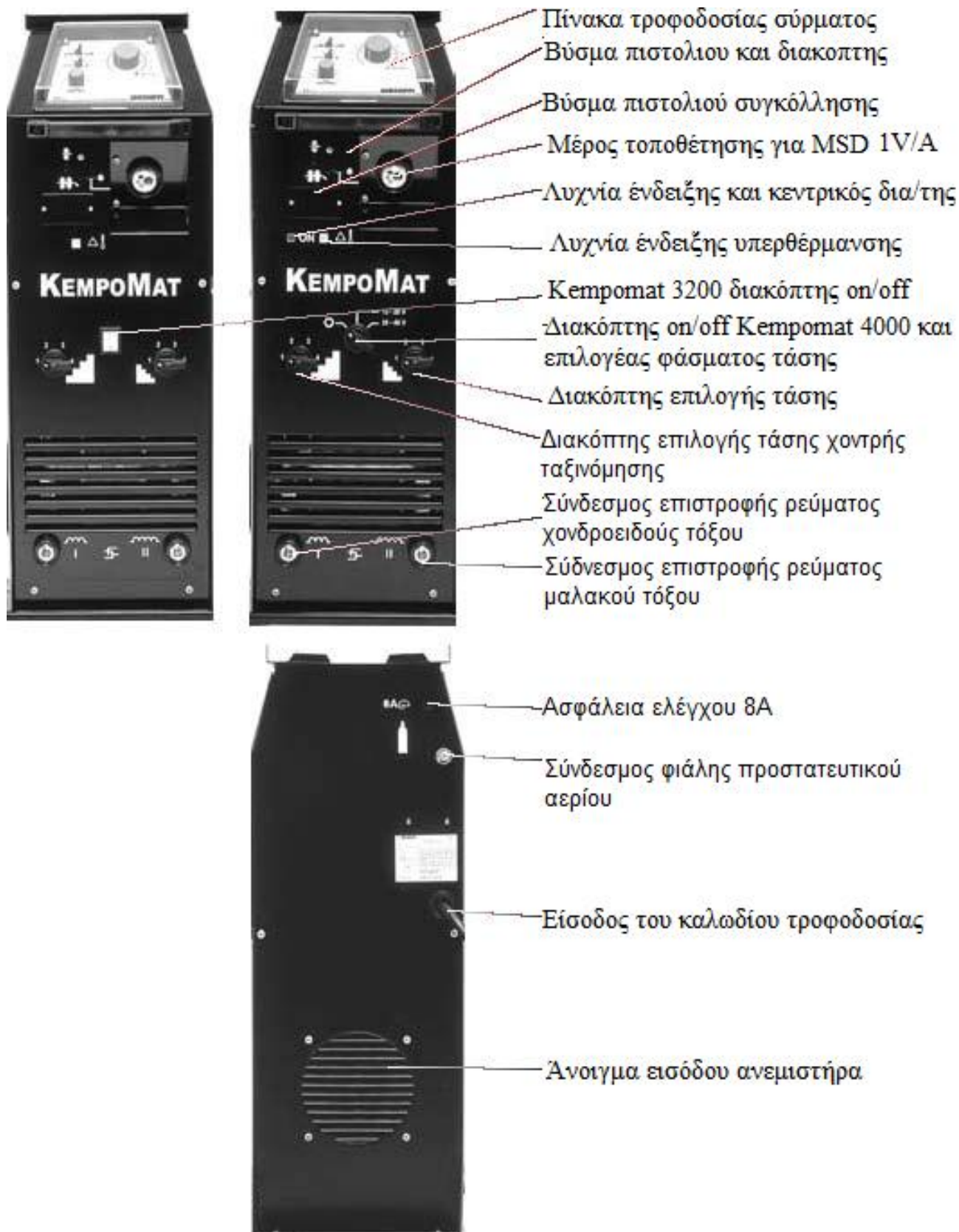
FE MC FC SSFC	0,6 - 0,8 mm	3134140 ρ 1 Λευκό	3134120 ρ 2 Πορτοκαλί	4267220 ρ 2 Πλαστικό
	0,9 - 1,6 mm	3133700 ρ 2 Πορτοκαλί		
SS AL	0,8 - 1,6 mm	3134290 ρ 2 Πορτοκαλί	3134300 ρ 2 Πορτοκαλί	4267220 ρ 2 Πλαστικό



			0,6 mm	0,8 mm 0.030"	0,9-1,0 mm 0.035"	1,2 mm 0.045-52"	1,4-1,6 mm 1 / 16"	2,0 mm (5 / 64)
FE SS AL	Αυλάκια με ομαλή επιφάνεια		3133810 Λευκό		3133210 Κόκκινο		3133820 Κίτρινο	
FE FC	Ριγωτά αυλάκια			—	3133940 Κόκκινο		3133990 Κίτρινο	
AL	Αυλάκια με ραβδώσεις-U			—	3133960 Κόκκινο		—	



## Διάταξη μηχανής συγκόλλησης Kemppi 4000





Εικόνα 5.6 Ρυθμιστής τάσης συγκόλλησης

## Κεμπρι 4000

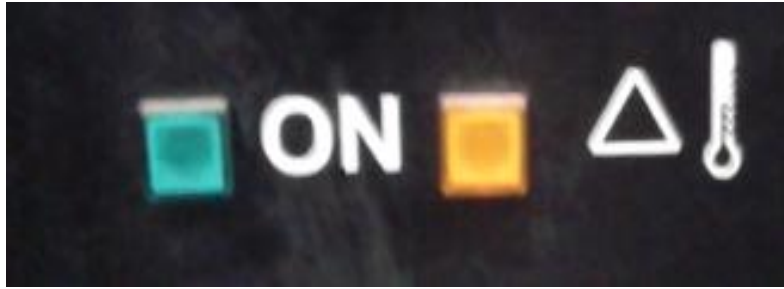
Κεντρικός διακόπτης	Μεγάλο φάσμα έλεγχου	Μικρό φάσμα έλεγχου	Τάση ανοιχτού κυκλώματος
15 - 28 V	1 / 4	1 / 4 - 4 / 4	15,9 - 17,3 V
15 - 28 V	2 / 4	1 / 4 - 4 / 4	17,9 - 19,7 V
15 - 28 V	3 / 4	1 / 4 - 4 / 4	20,4 - 22,8 V
15 - 28 V	4 / 4	1 / 4 - 4 / 4	23,7 - 27,0 V
28 - 48 V	1 / 4	1 / 4 - 4 / 4	28,2 - 30,7 V
28 - 48 V	2 / 4	1 / 4 - 4 / 4	31,6 - 34,8 V
28 - 48 V	3 / 4	1 / 4 - 4 / 4	36,0 - 40,1 V
28 - 48 V	4 / 4	1 / 4 - 4 / 4	41,7 - 47,3 V

Πρώτα επιλέγουμε από τον κεντρικό διακόπτη μια από τις δυο κλίμακες. Οι οδηγίες για την επιλογή της τάσης συγκόλλησης φαίνονται στον πίνακα στην εσωτερική πλευρά της πόρτας του κουτιού της μονάδας.

## Ενδεικτικές λυχνίες της μηχανής για ηλεκτρική λειτουργία:

Η πράσινη ενδεικτική λυχνία δείχνει ότι το μηχάνημα είναι σε λειτουργία και είναι πάντα φωτισμένη, όταν η συσκευή είναι συνδεδεμένη με την τάση δικτύου και έχουμε επιλέξει το εύρος τάσης συγκόλλησης από τον κεντρικό διακόπτη.

Η κίτρινη ενδεικτική λυχνία θερμικής προστασίας φωτίζεται, όταν η μηχανή συγκόλλησης έχει υπερθερμανθεί. Η μηχανή υπερθερμαίνεται όταν η τιμές τάσης λειτουργίας είναι πάνω από το όριο του κατασκευαστή και όταν η λειτουργία του ανεμιστήρα ψύξης παρεμποδίζεται. Όταν ο ανεμιστήρας ψύξης λειτουργεί σωστά η μηχανή κρυώνει και έτσι η λυχνία σβήνει και μπορούμε να συνεχίσουμε τη συγκόλληση.



## Ασφάλεια ελέγχου

Στο πίσω μέρος της μηχανής συγκόλλησης υπάρχει μια ασφάλεια 8A η οποία προστατεύει την μηχανή από βραχυκύκλωμα. Θα πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται το μέγεθος ασφάλειας και τύπου σύμφωνα με τις σημάνσεις.

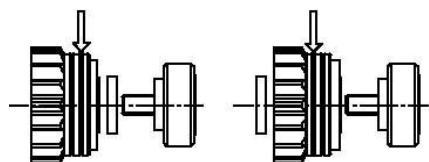
## Ρύθμιση συχνότητας ρεύματος συγκόλλησης I , II

Το τόξο τραχύτητας ρυθμίζεται συνδέοντας το καλώδιο επιστροφής του ρεύματος σε μια από της δυο υποδοχές που βρίσκονται στην μπροστινή επιφάνεια της μηχανής. Η υποδοχή που σημειώνονται με το σύμβολο I δίνει ένα πιο τραχύ τόξο, το οποίο χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων κατά 0,6 - 1,0 χιλιοστά σύρματος και ειδικά με προστατευτικό αέριο CO<sub>2</sub>. Η υποδοχή που σημειώνεται με το σύμβολο II είναι κατάλληλη για παχύτερα υλικά εναπόθεσης και ειδικά για αλουμίνιο και ανοξείδωτο υλικό. Για να βρούμε την κατάλληλη τραχύτητα λειτουργίας σε μια κόλληση θα πρέπει να κάνουμε πολλές δοκιμές.

## Αυτόματη και χειροκίνητη τροφοδοσία σύρματος στη λαβίδα

Η ρύθμιση της τροφοδοσίας σύρματος μπορεί να είναι αυτόματη αλλά και χειροκίνητη. Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης του κομματιού μας επιλέξαμε την χειροκίνητη ρύθμιση τροφοδοσίας. Η αυτόματη τροφοδοσία σύρματος κάνει την αλλαγή της μπομπίνας σύρματος ταχύτερη. Στην αλλαγή πίεσης στους κυλίνδρους τροφοδοσίας σύρματος πρέπει να προσέξουμε ώστε να μην απελευθερωθεί το σύρμα πλήρωσης. Μετά την αλλαγή θα πάει μόνο του στη σωστή γραμμή τροφοδοσίας. Η χειροκίνητη ρύθμιση γίνεται ως εξής:

- Βεβαιωνόμαστε ότι η εγκοπή του κυλίνδρου τροφοδοσίας ταιριάζει με τη διάμετρο του σύρματος συγκόλλησης που χρησιμοποιείται. Για να αλλάξουμε αυλάκι στον κύλινδρο τροφοδοσίας σύρματος μετακινούμε το αυλάκι που θέλουμε αλλάζοντας θέση στη ροδέλα.



### Επιλογή αύλακα με αλλαγή θέσης στη ροδέλα

- Αφήνουμε το τέλος σύρματος από το καρούλι και κόβουμε το λυγισμένο μήκος. Όταν τοποθετούμε την μπομπίνα στη μηχανή πρέπει να είμαστε προσεκτικοί ώστε το καλώδιο να μην ξετυλιχτεί από το καρούλι από τις πλαϊνές πλευρές!
- Ισιώνουμε περίπου 20 cm από το σύρμα και ελέγχουμε ότι το τέλος δεν έχει αιχμηρές άκρες . Μία αιχμηρή άκρη μπορεί να καταστρέψει το οδηγό (σωλήνα) τροφοδοσίας του σύρματος και το άκρο επαφής της λαβίδας συγκόλλησης.
- Τραβάμε ένα κομμάτι χαλαρού σύρματος μέσα από τον κύλινδρο τροφοδοσίας ώστε να τροφοδοτηθούν οι κύλινδροι. Κατά τη διαδικασία αυτή δεν πρέπει να έχουμε χαλαρώσει την πίεση στους κυλίνδρους τροφοδοσίας.
- Πατάμε τον διακόπτη της λαβίδας μέχρι το σύρμα να περάσει από τους κυλίνδρους τροφοδοσίας της μηχανής και να φτάσει στη λαβίδα συγκόλλησης. Σιγουρευόμαστε ότι το σύρμα είναι σωστά τοποθετημένο στα αυλάκια και στα δυο ζεύγη των κυλίνδρων τροφοδοσίας.
- Πατάμε ακόμα το διακόπτη μέχρι το σύρμα να έρθει μέσα από το άκρο επαφής.

Η αυτόματη τροφοδοσία μπορεί μερικές φορές να μην λειτουργήσει σωστά με λεπτά σύρματα (Fe, Ss: 0,6 ... 0,8 χιλιοστών, Al, Fc: 0,8 ... 1,0 mm). Αν συμβεί αυτό θα πρέπει να λασκάρουμε τους κυλίνδρους τροφοδοσίας και να τροφοδοτήσουμε το σύρμα με το χέρι.

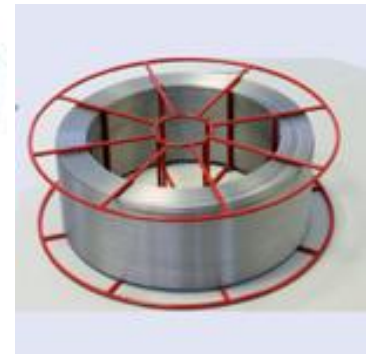
## Ρύθμιση της πίεσης

Η πίεση τροφοδοσίας του σύρματος ρυθμίζεται από τον κοχλία ελέγχου έτσι ώστε το σύρμα να τροφοδοτείται μέσα στον οδηγό σωλήνα σύρματος ομοιόμορφα και να επιτρέπει μια μικρή πέδηση όταν βγαίνει από το άκρο επαφής χωρίς ολίσθηση των κυλίνδρων τροφοδοσίας.

Υπερβολική πίεση προκαλεί επιπέδωση του σύρματος πλήρωσης και βλάβη στην επικάλυψη. Επίσης προκαλεί αδικαιολόγητη φθορά των κυλίνδρων τροφοδοσίας, καθώς και την τριβή.

## Υλικό εναπόθεσης Kemppi 4000

Βασικό στοιχείο της μεθόδου M.I.G είναι το σύρμα συγκόλλησης το οποίο επιτελεί ρόλο ηλεκτροδίου με διατομές και σύσταση σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς. Το χρησιμοποιούμενο σύρμα στη μέθοδο αυτή είναι δυο τύπων το συμπαγές και το σωληνωτό και είναι τυλιγμένο σε μπομπίνες οι οποίες εγκαθίστανται σε κατάλληλη υποδοχή της μηχανής πλησίον του τροφοδότη μηχανισμού της. Τα σωληνωτά σύρματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς προστατευτικό αέριο ενώ τα συμπαγή θέλουν πάντα αέριο κατά τη συγκόλληση.



Εικόνα 5.4 Βασικό σύρμα συγκόλλησης

Σύρμα συγκόλλησης SG2 (G3Si1)

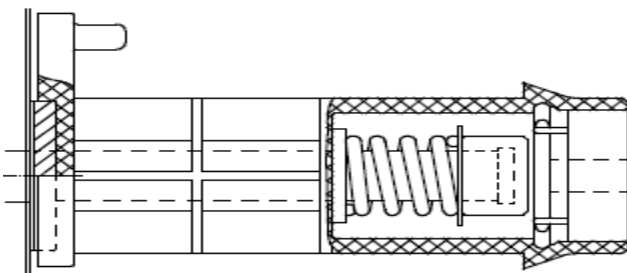
Σύρμα συγκόλλησης inox και AL

## Ρύθμιση σύσφιξης των φρένων των κυλίνδρων τροφοδοσίας σύρματος

Η δύναμη πέδησης ρυθμίζεται μέσω της τρύπας στη συσκευής ασφάλισης του διανομέα της μπομπίνας σύρματος.

Ρυθμίζουμε τη δύναμη πέδησης, τόσο ώστε το σύρμα να μην μπορεί να μην ξετυλιχθεί από την μπομπίνα όταν η περιστροφή του κυλίνδρου σταματήσει. Η ανάγκη για πέδηση αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας τροφοδοσίας του σύρματος. Επειδή τα φορτία των φρένων είναι από την πλευρά του κινητήρα, δεν θα πρέπει να τα κρατάμε σφιχτά χωρίς λόγο.

Βεβαιωνόμαστε ότι η λαβίδα συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται έχει σχεδιαστεί για μέγιστο ρεύμα συγκόλλησης που απαιτείται.



Κοχλίας ρύθμισης

Ελέγχουμε στο σύρμα πλήρωσης ώστε να μην εξέχουν μέρη τα οποία τρίβονται πάνω στο σώμα της μηχανής ή στην πόρτα της μονάδας τροφοδοσίας. Η ύπαρξη τέτοιων μερών στο σύρμα θα μπορούσαν να θέσουν την μονάδα τροφοδοσίας σύρματος υπό τάση.



LOCKED



OPEN

## Συσκευή συγκόλλησης

Όλα όσα έχουμε περιγράψει μέχρι τώρα χρειάζονται ένα κοινό σημείο σύνδεσης ώστε να μπορέσουν να δουλέψουν αρμονικά για να δώσουν στον συγκολλητή το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Αυτό το σημείο είναι η συσκευή συγκόλλησης η οποία τροφοδοτείται με ρεύμα και παράλληλα συνδέεται με όλα τα προαναφερόμενα εξαρτήματα έτσι ώστε όλα μαζί να μας δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Υπάρχουν πολλά ήδη μηχανών ανάλογα με τη χρήση που θέλει ο κάθε χειριστής. Φορητές, τροχήλατες, μικρές, μεγάλες, φτηνές και ακριβές.





Εικόνα 5.5 Μηχανές συγκόλλησης M.I.G/M.A.G

### Kempomat 4000



## Κυρίως διακόπτες και ενδεικτικές λυχνίες kemppi 4000

Στη θέση μηδέν όλα τα κυκλώματα ελέγχου και συγκόλλησης της μηχανής είναι νεκρά (χωρίς τάση). Στις θέσεις 15V-28V όλα τα κυκλώματα ελέγχου και ψύξης της μηχανής έχουν τάση. Τα πρωτοβάθμια κυκλώματα και τα κυκλώματα συγκόλλησης της μηχανής είναι νεκρά, εάν δεν πατηθεί το κουμπί συγκόλλησης από τη λαβίδα. Πάντα ενεργοποιούμε και να απενεργοποιούμε το μηχάνημα από τον κεντρικό διακόπτη. Ποτέ δεν χρησιμοποιούμε το βύσμα για να ενεργοποιήσουμε ή να απενεργοποιήσουμε τη μηχανή.

## Ρύθμιση της τάσης συγκόλλησης

Η τάση συγκόλλησης ρυθμίζεται με δυο περιστροφικούς διακόπτες 4-βηματων. Υπάρχει διακόπτης μεγάλου φάσματος ελέγχου των τάσεων και διακόπτης λεπτομερέστερου ελέγχου (μικρότερου φάσματος) τάσεων λειτουργίας της μηχανής.

## Λειτουργία του ανεμιστήρα ψύξης της μηχανής

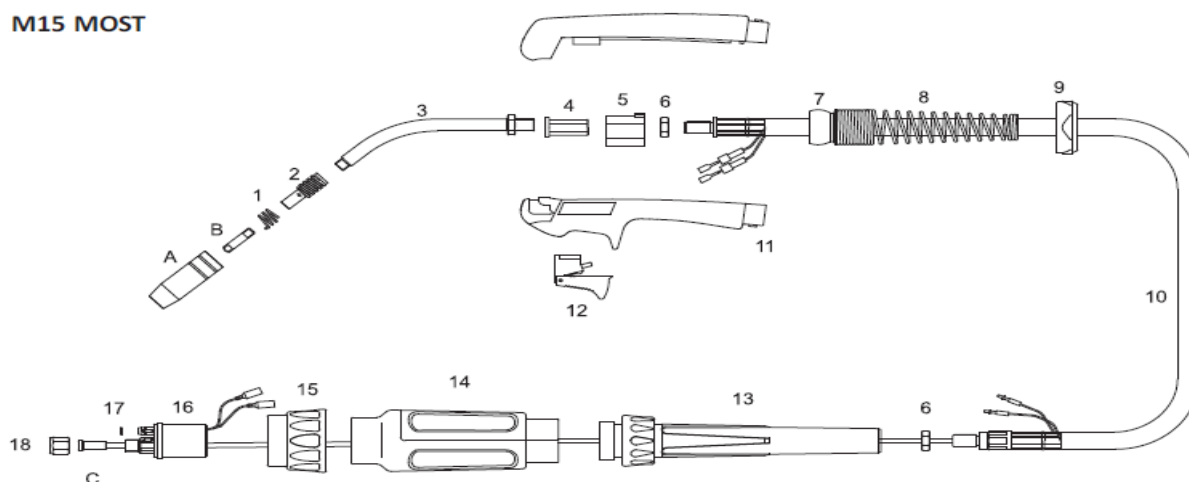
Ο ανεμιστήρας ψύξης της μηχανής ξεκινά και σταματά ανάλογα τη χρήση της μηχανής. Ενεργοποιείται 30 δευτερόλεπτα μετά την εκκίνηση της συγκόλλησης και απενεργοποιείται 5 με 7 λεπτά μετά το τέλος αυτής. Αν η συνθήκες συγκόλλησης κριθούν ακραίες ενεργοποιεί τον θερμοστάτη ασφαλείας και η μηχανή σταματά να λειτουργεί. Δεν πρέπει να απενεργοποιούμε τη μηχανή πριν ο ανεμιστήρας σταματήσει να λειτουργεί από μόνος του. Αν την ξανανοίξουμε ο ανεμιστήρας δεν θα ξεκινήσει ξανά.

## Λαβίδα συγκόλλησης

Η λαβίδα συγκόλλησης είναι από τα πιο βασικά εξαρτήματα της συσκευής και αυτό με το οποίο ο χρήστης “συνεργάζεται” για να πάρει το αποτέλεσμα που επιθυμεί κατά τη συγκόλληση. Οι λαβίδες πρέπει να προσφέρουν υψηλή τεχνολογία και ποιότητα για να είναι πάντα η συγκόλληση απαλή και απροβλημάτιστη. Υπάρχουν λαβίδες για χειροκίνητη και ημιαυτόματη συγκόλληση, αερόψυκτες και υδρόψυκτες οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για μεγάλες εντάσεις ρεύματος. Επειδή το ηλεκτρόδιο προωθείται συνεχώς κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, η λαβίδα πρέπει απαραίτητα να διαθέτει μία ολισθαίνουσα ηλεκτρική επαφή (σωλήνα επαφής) για τη διοχέτευση ρεύματος. Πρέπει, επίσης, να διαθέτει ακροφύσιο για την παροχή αερίου προστασίας το οποίο θα πρέπει συχνά να καθαρίζεται και να λιπαίνεται. Επίσης, για τις δύσκολες περιπτώσεις, υπάρχουν ειδικές λαβίδες M.I.G/M.A.G για το αλουμίνιο που έχουν ενσωματωμένο ένα δικό τους σύστημα έλξης του σύρματος. Αυτό συνεργαζόμενο με το σύστημα προώθησης σύρματος της μηχανής, περιορίζει σημαντικά τον κίνδυνο εμπλοκής του σύρματος. Προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή συγκόλληση ελέγχουμε στις οδηγίες λειτουργίας της λαβίδας που χρησιμοποιούμε ότι ο οδηγός κατεύθυνσης σύρματος και το άκρο επαφής είναι σύμφωνο με αυτό που προτείνει ο κατασκευαστής και είναι κατάλληλο για να χρησιμοποιείται για τη συγκεκριμένη διάμετρο σύρματος. Ένας πάρα πολύ σφιχτός οδηγός κατεύθυνσης σύρματος θα μπορούσε να προκαλέσει στη μονάδα τροφοδοσίας μεγαλύτερη πίεση καθώς και διαταραχές στην τροφοδοσία σύρματος. Βιδώνουμε σφιχτά τον αυτόματο συνδετήρα της λαβίδας έτσι ώστε να μην υπάρχουν απώλειες τάσης στις επιφάνειες σύνδεσης. Μια χαλαρή σύνδεση θα θερμάνει τη λαβίδα και τη μονάδα τροφοδοσίας σύρματος.



## M15 MOST



Τα μέρη από τα οποία αποτελείται η τσιμπίδα είναι:

A.A	Περιγραφή
A	1. Φλογοκρύπτης αερίου ίσιος Φ16
A.1	2. Φλογοκρύπτης αερίου κωνικός
A.2	3. Φλογοκρύπτης αερίου κυλινδρικός Φ9,5
1	Ελατήριο
2	Διανομέας αερίου
3	Λαιμός τσιμπίδας
3.1	Λαιμός τσιμπίδας χωρίς φλογοκρύπτη και άκρο
4	Εξάγωνος μαστός
5	Σώμα ενωτικού
6	Παξιμάδι (κόντρα)
7	Σπαστός σύνδεσμος
8	Ελατήριο προστασίας καλωδίου
9	Πλαστικός δακτύλιος λαβής
10	Καλώδιο συγκόλλησης
11	Σώμα λαβής τσιμπίδας
12	Σκανδάλη
13	Ελαστικό περίβλημα προστασίας καλωδίου
14	Σώμα βύσματος
15	Παξιμάδι βύσματος
16	Βύσμα αυτοτελές
17	O-ring
18	Παξιμάδι εσωτερικής επένδυσης
B	Μπέκ
C	Ντίζες για τσιμπίδες M.I.G-M.A.G

Το πιστόλι (τσιμπίδα) συγκόλλησης που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα μας είναι το παρακάτω.



#### Ακροφύσιο αερίου

1. 4295760*	Standard / M8
2. 4295760L	Long
3. 4295760C	Conical
4. 4294970	Standard / M6

#### Ακρο επαφής

9580123\* 1.0 / M8

#### Προσαρμογέας άκτου επαφής

4295740\* MB

4294890 MG

#### Διαχύτης αερίου

4294880\*

4294880CER

#### 1. Λαιμός 50°

3146800 MMT 30W/PMT 30W/WS 30W

#### 2. Λαιμός 50°

3146780 FE 27/MMT 27/PMT 27

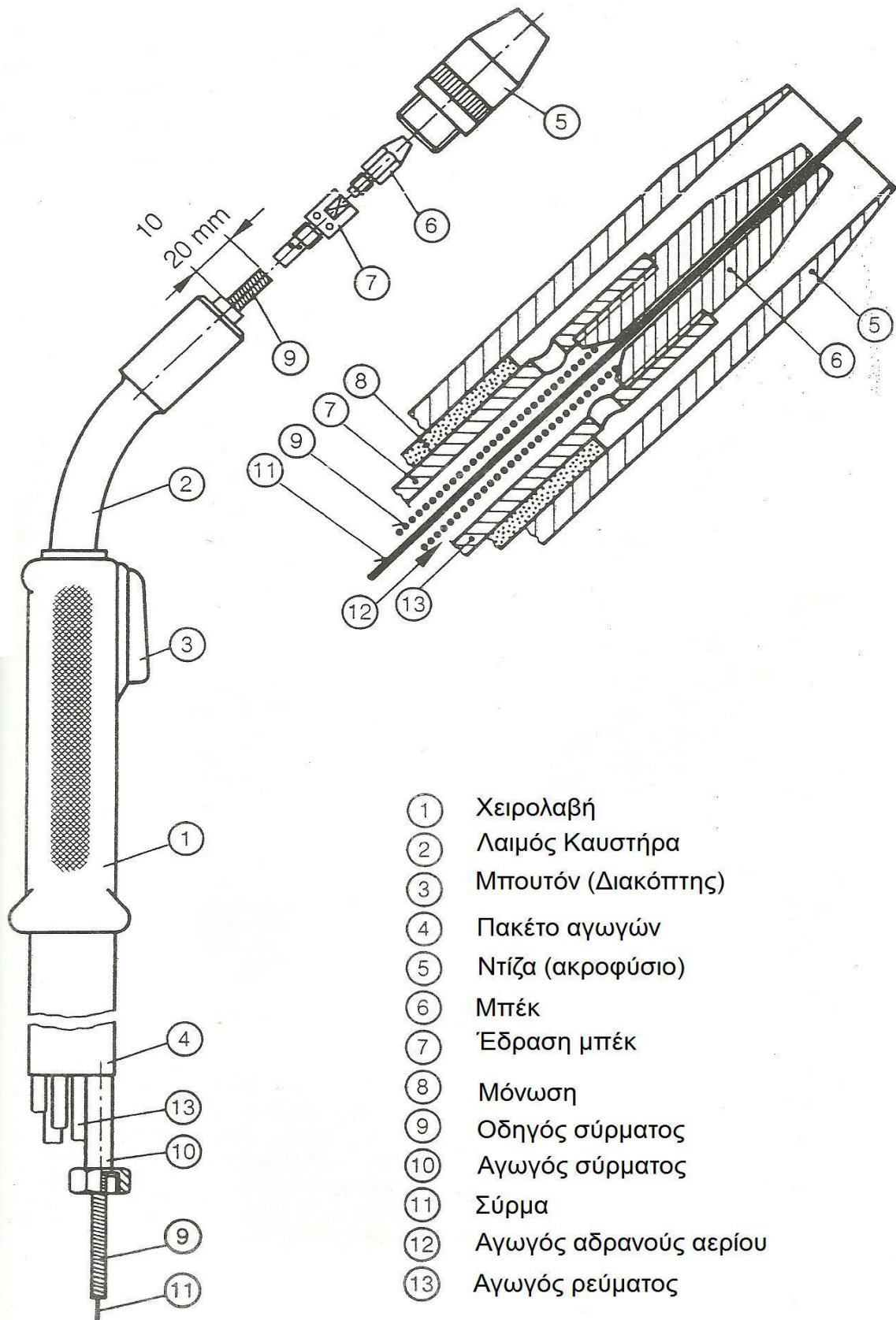
FE 32/MMT 32/PMT 32

#### Επενδύσεις καλωδίων

4188581*	Spiral	0.9...1.2	3m/red
4188582*	Spiral	0.9...1.2	4.5m/red
W006453*	Spiral	0.9...1.2	3.5 m/red
W006454*	Spiral	0.9...1.2	5 m/red

Suitable liners: white, red, yellow, DL-Teflon.

\* Standard delivery/WeldSnake according to filler wire.



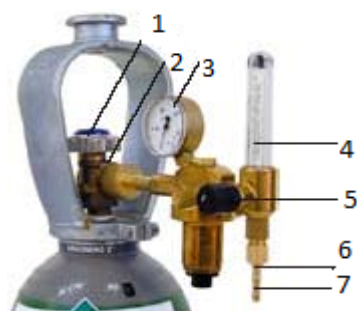
- ① Χειρολαβή
- ② Λαιμός Καυστήρα
- ③ Μπουτόν (Διακόπτης)
- ④ Πακέτο αγωγών
- ⑤ Ντίζα (ακροφύσιο)
- ⑥ Μπέκ
- ⑦ Έδραση μπέκ
- ⑧ Μόνωση
- ⑨ Οδηγός σύρματος
- ⑩ Αγωγός σύρματος
- ⑪ Σύρμα
- ⑫ Αγωγός αδρανούς αερίου
- ⑬ Αγωγός ρεύματος

Η προσαρμογή της λαβίδας M.I.G, γίνεται με ειδικό ακροδεκτη τον οποίο βλέπουμε στο σχήμα και βρίσκεται πάνω στην μονάδα προώθησης σύρματος. Ο ακροδέκτης τροφοδοσίας μηχανής φέρει από το ένα του άκρο τη λαβίδα M.I.G η οποία μπορεί να είναι αερόψυκτη ή υδρόψυκτη και από το άλλο κατάλληλη διάταξη σύνδεσης με τον τροφοδότη μηχανισμό. Ο ακροδέκτης τροφοδοσίας περιλαμβάνει τον αγωγό ρεύματος, τον σωλήνα παροχής αερίου προστασίας, τα ηλεκτρικά καλώδια εντολών της μηχανής και τον οδηγό του υλικού εναπόθεσης (σπιράλ).



## Φιάλη προστατευτικού αερίου και ρυθμιστής πίεσης

Η φιάλη αερίου είναι ο χώρος αποθήκευσης του προστατευτικού αερίου. Οι φιάλες αερίων περιέχουν αέρια με πίεση από μερικά μέχρι 200 bar. Συνήθως είναι χρωματισμένες ανάλογα με το αέριο που περιέχουν, πράγμα που καθορίζεται από τα εκάστοτε πρότυπα. Είναι κατασκευασμένες από χάλυβα, το είδος του οποίου εξαρτάται από την ουσία που περιέχουν, έχουν εσωτερικό όγκο 50 λίτρων, διάμετρο 25cm και ύψος 1,60m. Το σχήμα τους είναι κυλινδρικό με κυρτό πυθμένα και κατά κύριο λόγο είναι μονοκόμματα, χωρίς συγκόλληση. Συγκολλητές φιάλες χρησιμοποιούνται για αέρια που αποθηκεύονται σε χαμηλότερες πιέσεις όπως η ασετιλίνη. Απαραίτητη διαδικασία για την χρήση του αερίου είναι ο υποβιβασμός και η ρύθμιση της πίεσης στα επιθυμητά από την εκάστοτε εφαρμογή όρια. Τον ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι ρυθμιστές πίεσης ή εκτονωτές ή ακόμα και υποβιβαστές πίεσης. Οι ρυθμιστές πίεσης (pressure regulators) είναι όργανα που παρεμβάλλονται στην ροή ενός αερίου με σκοπό να μετατρέψουν μία υψηλή και κυμαινόμενη πολλές φορές πίεση σε μία χαμηλότερη και σταθερότερη. Είναι το εξάρτημα εκείνο το οποίο μειώνει την πίεση των αερίων που βρίσκονται μέσα στις φιάλες σε υψηλές πιέσεις και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλειοψηφία των εφαρμογών.



1. Βαλβίδα της φιάλης αερίου
2. Παξιμάδι σύνδεσης
3. Μετρητής πίεσης φιάλης αερίου
4. Μετρητής αερίου υπό πίεση σωλήνα
5. Κοιλίας ρύθμισης πίεσης
6. Παξιμάδι εύκαμπτου σωλήνα
7. Άξονας εύκαμπτου σωλήνα

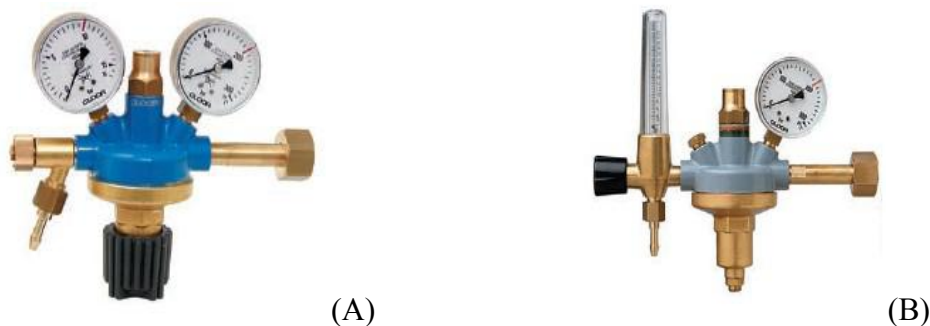
*Εικόνα 5.8 Ρυθμιστής πίεσης αερίου*

Ως προστατευτικό αέριο η μηχανή M.I.G kemppi 4000 χρησιμοποιεί μικτά αέρια με βάση το αργό σε μια αναλογία περίπου 90%. Ο ρυθμός ροής του προστατευτικού αερίου καθορίζεται από το μέγεθος του ρεύματος συγκόλλησης. Ο συνήθης ρυθμός ροής του αερίου στη συγκόλληση είναι 8-15 l/min.

Η φιάλη προστατευτικού αερίου θα πρέπει πάντα να στερεώνεται σφιχτά σε κάθετη θέση, σε τοίχο ή σε βάση ειδικά σχεδιασμένη για το σκοπό αυτό στο πίσω μέρος της μηχανής. Για λόγους ασφαλείας αφαιρούμε πάντα φιάλη αερίου από τη βάση μεταφοράς της μηχανής κατά τη μεταφορά και δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή στην προσαρμογή των ροόμετρων επάνω στις φιάλες κατά την αντικατάσταση των φιαλών προκειμένου να μην συμβούν διαρροές αερίου και απρόσμενα συμβάντα .



*Εικόνα 5.9 Φιάλες αερίων: (A) Χαλύβδινη (η εικονιζόμενη είναι για Αργόν) (B) Αλουμινένια*



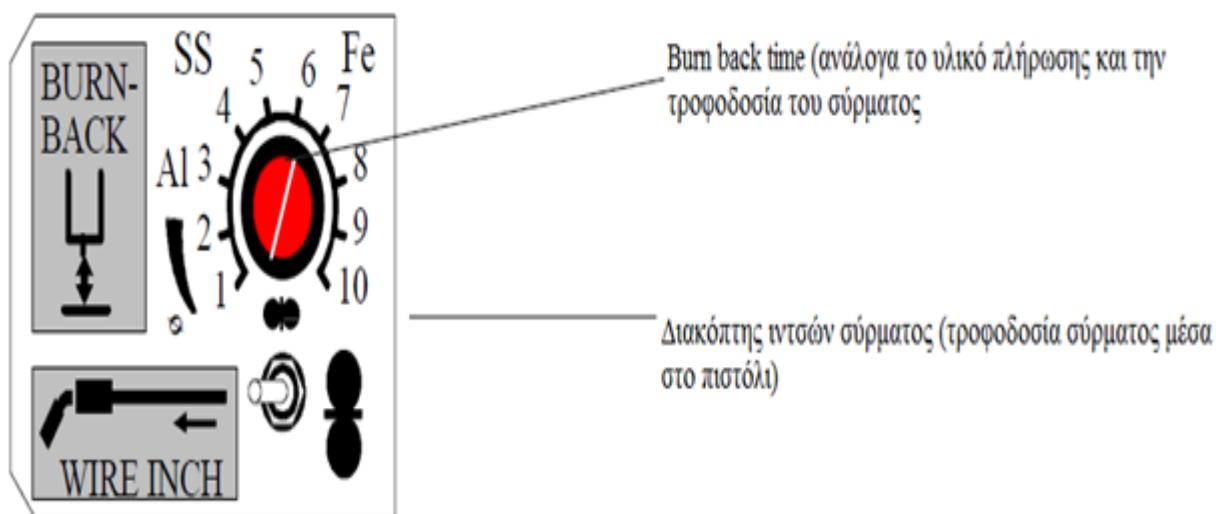
*Εικόνα 5.10 Ρυθμιστής ροής αερίων: (A) Μεμανόμετρο υψηλής και χαμηλής πίεσης (B) Μεμανόμετρο υψηλής πίεσης και ροόμετρο.*

## Διάταξη μηχανής M.I.G

Η μηχανή συγκόλλησης αποτελείται όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.8 από:

- Συσκευή συγκόλλησης
- Τσιμπίδα συγκόλλησης
- Σύστημα τροφοδοσίας σύρματος
- Φιάλη αερίου και ρυθμιστής πίεσης
- Συγκρότημα ψύξης τσιμπίδας
- Σώμα γείωσης

## Ρυθμιστής καθυστέρησης του ρεύματος συγκόλλησης



Η ταχύτητα τροφοδοσίας σύρματος ρυθμίζεται κατά τρόπο συνεχή από το ποτενσιόμετρο στην πρόσοψη της μηχανής. Το ποτενσιόμετρο έχει κλίμακα μνήμης για μέγιστη ταχύτητα 18m/min και 25m/min. Τα διάφορα υλικά εναπόθεσης και προστατευτικά αέρια συμπεριφέρονται με διαφορετικούς τρόπους στην πορεία μιας συγκόλλησης, κατά συνέπεια το ρεύμα συγκόλλησης πρέπει να διακόπτεται με μια καθυστέρηση η οποία αλλάζει ανάλογα το υλικό και τις επικρατούσες συνθήκες. Αν προσπαθήσουμε να τερματίσουμε τη συγκόλληση με ακατάλληλο χρόνο παύσης του ρεύματος συγκόλλησης το υλικό εναπόθεσης θα καεί στο άκρο επαφής με αποτέλεσμα να υπάρξει πολύ μεγάλη «φούσκα» στο τέλος της ραφής και πιθανόν το σύρμα να κολλήσει στο σημείο τερματισμού. Το υλικό εναπόθεσης μπορεί να συνεχίσει να βγαίνει από το άκρο της λαβίδας ακόμα και όταν απενεργοποιήσουμε τη μηχανή. Θα πρέπει να προσέξουμε κατά την επόμενη εκκίνηση να μην είναι κοντά σε αντικείμενα που τυχόν θα δημιουργήσουν πρόβλημα αν έρθουν σε επαφή με το σύρμα.

### Παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την καθυστέρηση είναι:

- Η τήξη του αλουμινίου είναι πολύ ταχύτερη από ότι από άλλα υλικά βάσης, ο χρόνος διακοπής ρεύματος είναι σαφώς μικρότερος.
- Μεγαλύτερου πάχους υλικά εναπόθεσης απαιτούν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επίσης με την αύξηση της ταχύτητας των κυλίνδρων προώθησης, απαιτούμενος χρόνος διακοπής ρεύματος αλλάζει. Ο χρόνος ρύθμισης αλλάζει ανάλογα την περίπτωση.
- Η κλίμακα στα ποτενσιόμετρα ρύθμισης.

## Πάνελ ελέγχου ταχύτητας Vd του υλικού εναπόθεσης και Χρονοδιακόπτης K.M.W



Η μηχανή μας παραπλεύρως του διακόπτη K.M.W φέρει διακόπτη συνεχούς συγκόλλησης και διακοπτόμενης συγκόλλησης ( — — — — και συνεχους). Στην περίπτωση όπου επιλέγουμε διακοπτόμενη συγκόλληση από τον χρονοδιακόπτη K.M.W ρυθμίζουμε τον χρόνο των νεκρών διαστημάτων της μηχανής από 0,2 έως 1,0 sec. Το πρότυπο ελέγχου περιλαμβάνει τη συγκόλληση με κλειστή-ανοικτή λειτουργία της λαβίδας. Αυτό ονομάζεται διαδικασία διπλής λειτουργίας. Ο χρονοδιακόπτης K.M.W έχει επίσης τη διαδικασία τετραπλής λειτουργία, με την οποία μπορεί να απελευθερώσει το μπουτόν της λαβίδας κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης, καθώς και τον χρόνο τροφοδοσίας σύρματος ο οποίος μας βοηθά στο να ελέγχουμε το τόξο συγκόλλησης.

### Διαδικασία διπλής και τετραπλής λειτουργίας

*Διαδικασία διπλής λειτουργίας*                      *Η συγκόλληση με τη διαδικασία ενεργοποίησης 2-σειρά του πιστολιού.*

- |                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Ο διακόπτης πιέζεται: | Η συγκόλληση ξεκινά  |
| 2. Ο διακόπτης ανοίγει:  | Η συγκόλληση σταματά |

*Διαδικασία τετραπλής λειτουργίας*                      *Η συγκόλληση με τη διαδικασία ενεργοποίησης 2-σειρά του πιστολιού.*

- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. Ο διακόπτης πιέζεται  | Το αέριο αρχίζει να ρέει. |
| 2. Ο διακόπτης ανοίγει:  | Η συγκόλληση ξεκινά.      |
| 3. Ο διακόπτης πιέζεται: | Η συγκόλληση σταματά.     |
| 4. Ο διακόπτης ανοίγει:  | Η ροή του αερίου σταματά. |

Το τόξο κύκλου και η συνεχή συγκόλληση λειτουργεί μόνο στην διαδικασία διπλής λειτουργίας.

## Συγκόλληση κατά σημείο ●

1. Επιλέγουμε την συγκόλληση σημείου από το ποτενσιόμετρο.
2. Για την εκκίνηση της συγκόλλησης πιέζουμε το button της λαβίδας.
3. Η συγκόλληση σταματά αυτόματα μετά το πέρας του επιλεγμένου χρόνου.

## Κύκλος συγκόλλησης τόξου - - - -

1. Επιλέγουμε τον κύκλο συγκόλλησης τόξου από το ποτενσιόμετρο. Ο χρόνος παύσης είναι σταθερός στα 3sec. Η χρονική διάρκεια παύσης μπορεί να ρυθμιστεί από το χρονόμετρο του πίνακα ελέγχου από 0,2 έως 1,0 sec.
2. Ο διακόπτης πιέζεται: Η συγκόλληση ξεκινά και διαρκεί για όση ώρα ο διακόπτης είναι πατημένος.

## Μονάδα μέτρησης VOLT / AMPERE MSD1

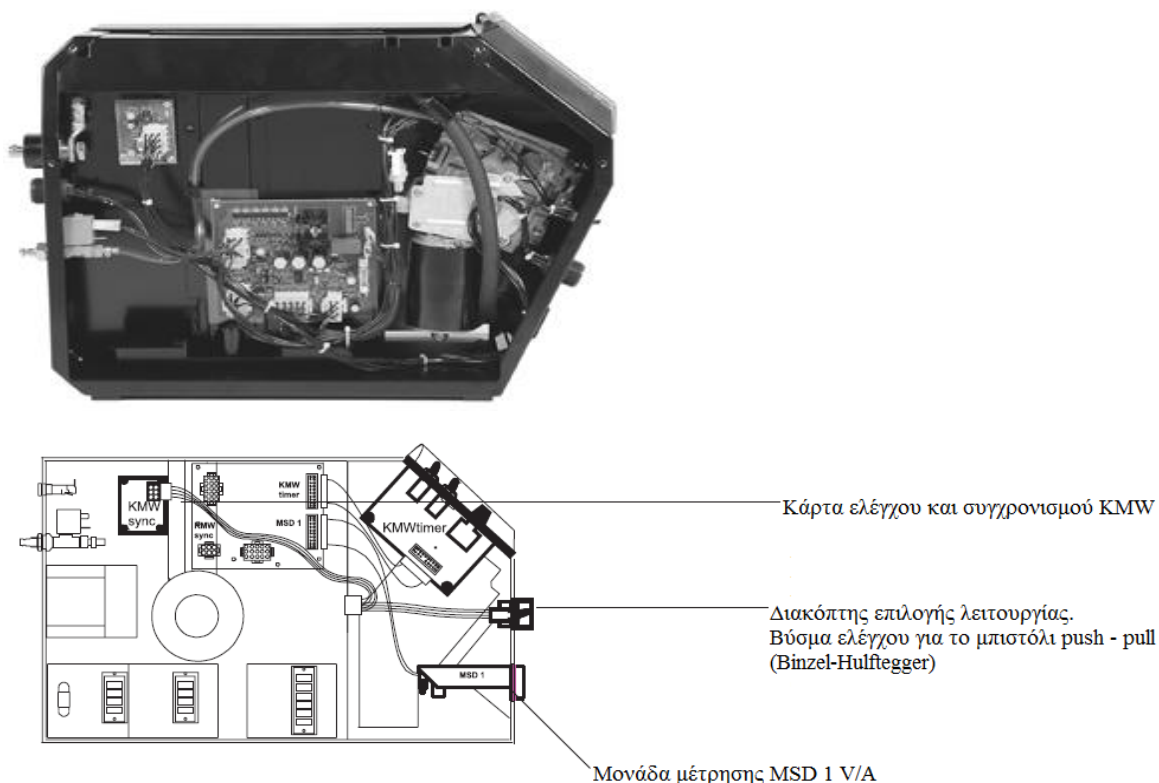


Για την τοποθέτηση της MSD 1 διάταξης αφαιρούμε το κάλυμμα στην μπροστινή πλευρά της μονάδας. Το βύσμα του πλακέ καλωδίου στερεώνεται στην πλάκα καλύμματος και είναι συνδεδεμένο με το αντίστοιχο βύσμα του MSD 1. Από τη μονάδα μέτρησης, μπορούμε μετακινώντας τον κατάλληλο μοχλό να επιλέξουμε στιγμιαία απεικόνιση στην οθόνη τάσης ή ρεύματος. Με ανοικτό κύκλωμα εμφανίζεται μόνο τιμή της τάσης, επειδή δεν υπάρχει τρέχουσα συγκόλληση. Η τιμή της τάσης είναι η τάση μεταξύ των ακροδεκτών συγκόλλησης της μονάδας. Η τιμή της τάσης ανοικτού κυκλώματος δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία για την συγκόλληση, για το λόγο αυτό η οθόνη της μονάδας μέτρησης ρυθμίζεται ανάλογα με την κατάσταση συγκόλλησης. Η ένδειξη της τάσης του ανοικτού κυκλώματος διαφέρει 1-2 V από την πραγματική τάση. Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης η τάση ακροδεκτών μεταβάλλεται και η τάση τόξου διαφέρει από τον ακροδέκτη τάσης διαφόρων απωλειών. Η ενδεικτική τιμή τάσης σε σχέση με την πραγματική τιμή κατά τη συγκόλληση είναι  $\pm 4,0\% \pm 0,2 V$ , τιμές σύμφωνα με το πρότυπο. Η ακρίβεια της τρέχουσας τιμής σε σχέση με την πραγματική τιμή είναι  $\pm 2,5\% \pm 2 A$ . Η μονάδες μέτρησης MSD δεν εμφανίζουν τις τιμές τάσης στους μηχανισμούς τροφοδοσίας σύρματος. Η MSD 1 στη μηχανή που χρησιμοποιήσαμε δεν χρειάζεται βαθμονόμηση. Οι θέσεις του διακόπτη είναι: V = Ένδειξη τάσης, A = τρέχουσα οθόνη.



## Μονάδα συγχρονισμού και τροφοδοσίας σύρματος

Η λαβίδα push - pull είναι πιο συχνά χρησιμοποιούμενη κατά τη τροφοδοσία ακροδεκτών μεγαλύτερων των 5 μέτρων στην συγκόλληση αλουμινίου. Μπορούμε να συνδέσουμε το άκρο του ακροδέκτη της λαβίδας με την οποία είναι εφοδιασμένη η μηχανή με το βύσμα στο σώμα της μονάδας KMC SYNC. Το ποντενσιόμετρο της λαβίδας push -pull συνδέεται το βύσμα amphenol, το οποίο βρίσκεται επάνω στο εμπρόσθιο τοίχωμα της μηχανής. Μπορούμε να συνδέσουμε σε αυτό το βύσμα και άλλα ποντενσιόμετρα τα οποία έχουν κατάλληλες τιμές για αυτή τη μηχανή. Με το διακόπτη της μονάδας, μπορούμε να επιλέξουμε την κανονική λειτουργία ή τη λειτουργία push -pull.



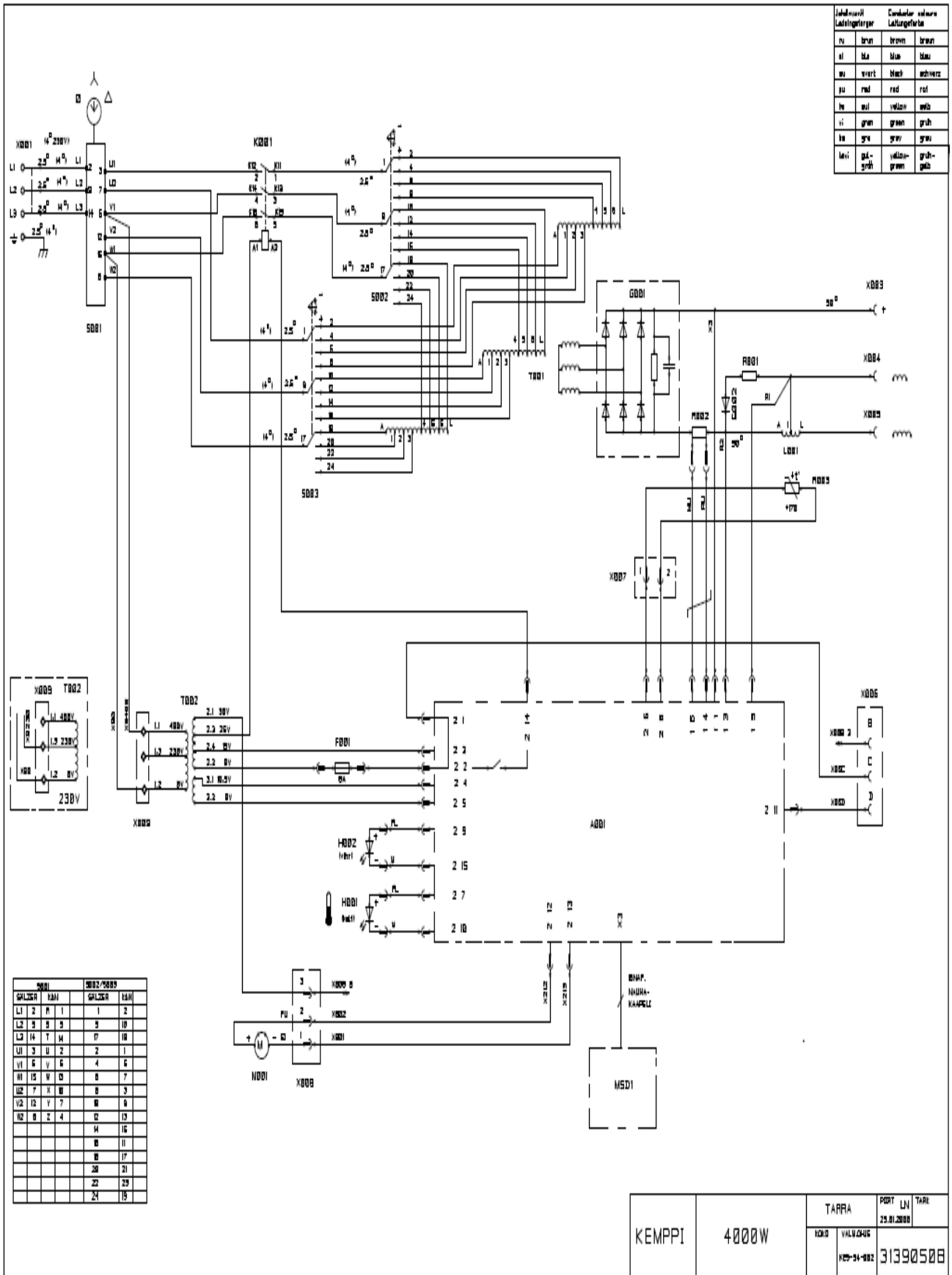
Ένα ακόμα εξάρτημα της μηχανής μας είναι και η θέση στήριξης της τσιμπίδας (gun holder)



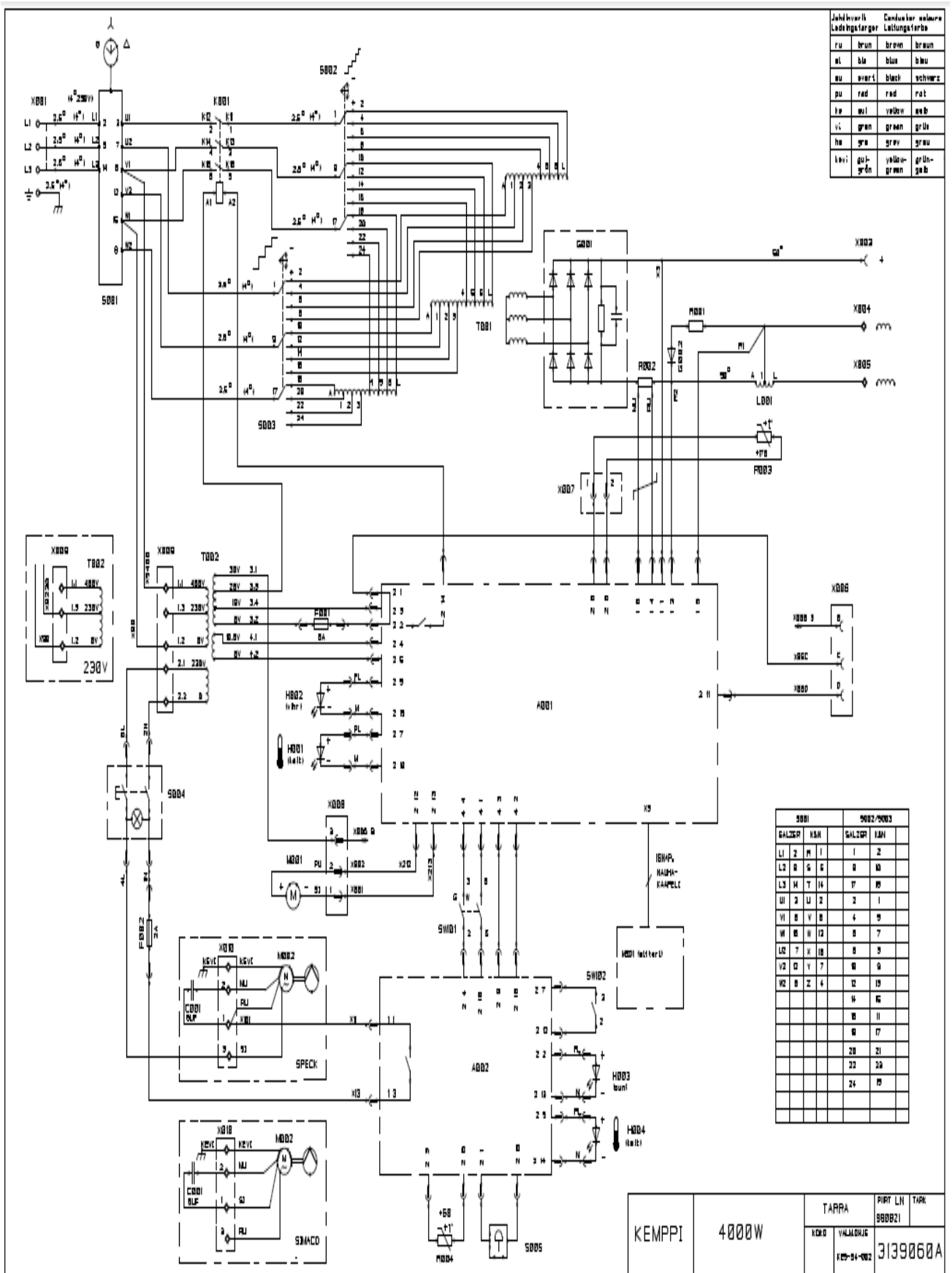
Εικόνα 5.11 Θέση στήριξης λαβίδας

## ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΕΜΠΡΙ 4000

Ονομαστική τάση	230 V, 400 V
<b>Τάση σύνδεσης</b>	
3~ 400 V	380 V -10%...415 V +6%
3~ 230 V	220 V -10%...240 V +6%
<b>Ικανότητα σύνδεσης</b>	
230 V / 400 V	
40 % ED	18.5 kVA
60 % ED	13.5 kVA
100 % ED	9.0 kVA
<b>Ικανότητα φόρτωσης (ονομαστικές τιμές)</b>	
40 % ED	400 A / 34 V
60 % ED	325 A / 30 V
100 % ED	260 A / 27 V
Εύρος ελέγχου	40 - 400 A / 15 - 34 V
Βήματα τάσης	32 steps
Μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος.	48 V
Αποδοτικότητα	400 A / 34 V 80 %
Συντελεστής ισχύος	400 A / 34 V 0.95
Ασφάλεια	8 A Καθυστέρηση
Μονάδα τροφοδοσίας σύρματος	4-Κινητήριους τροχούς
Διάμετρος του κυλίνδρου τροφοδοσίας	32 mm
Ταχύτητα τροφοδότησης σύρματος	0-18 m / min
Καλώδια Πλήρωσης	0-25 m / min
∅ Fe (Σίδηρος)	0.6-1.2 mm
∅ Σύρματα με πυρήνα	0.8-1.6 mm
∅ Al (Αλουμίνιο)	1.0-1.6 mm
<b>Κύλινδρος τροφοδοσίας</b>	
Μέγιστο βάρος	20 kg
Μέγιστο μέγεθος	∅ 300 mm
Υποδοχή μπιστολιού	Euro
Κατηγορία θερμοκρασίας	H (180 °C)
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20...+40 °C
Όρια θερμοκρασίας αποθήκευσης	-40...+60 °C
Βαθμός προστασίας	IP 23C
<b>Εξωτερικές διαστάσεις</b>	
Πλάτος	480 mm
Ύψος	970 mm
Βάρος	130 kg

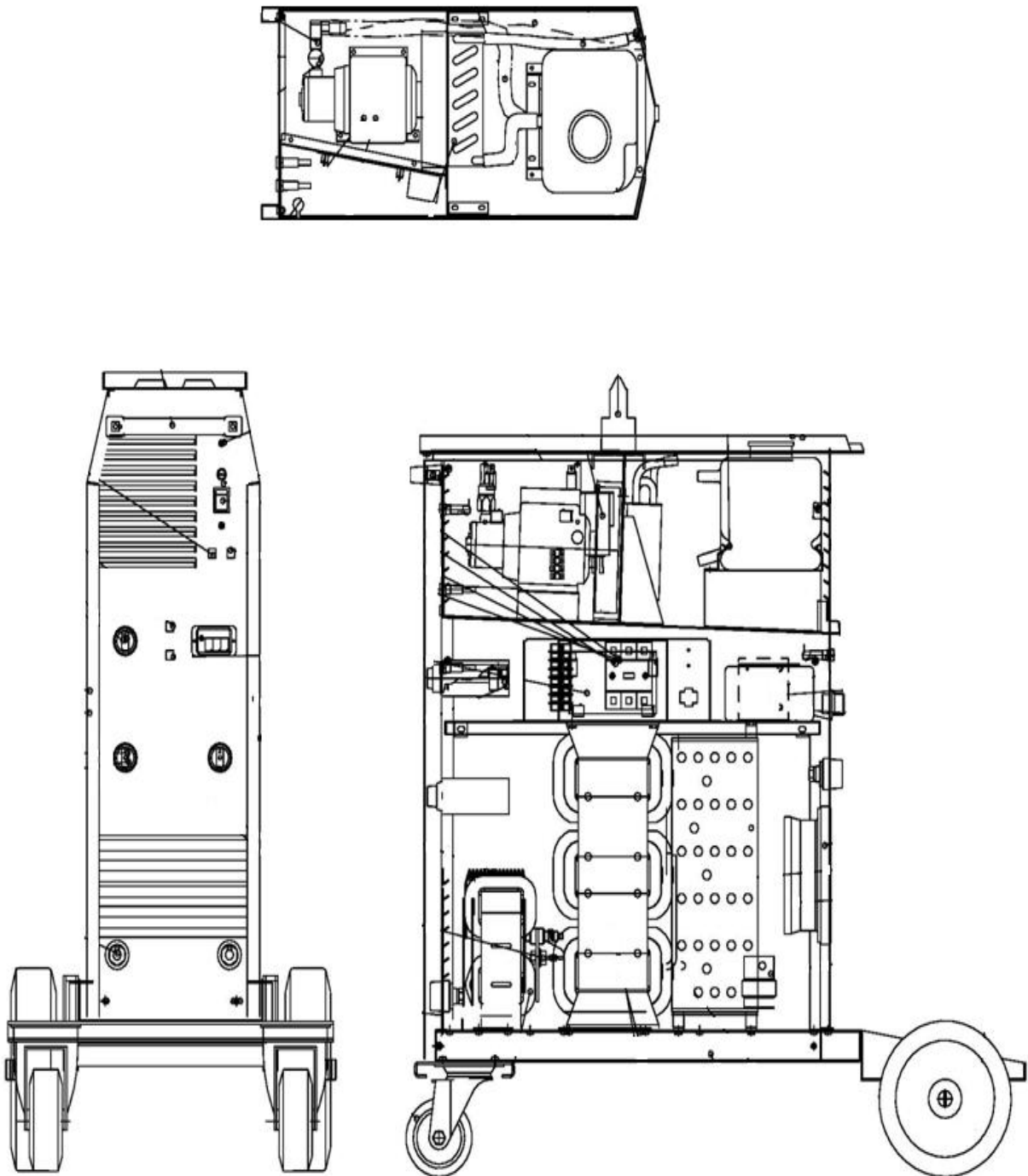


Εικόνα 5.12 Ηλεκτρονικό κύκλωμα kemppi 4000



Εικόνα 5.13 Ηλεκτρονικό κύκλωμα kemppi 4000

KEMPOWELD4000/4000W



Εικόνα 5.14 Τομή μηχανής Kemppi 4000

Η μέθοδος είναι ευρύτατα διαδεδομένη λόγω των υψηλών παραγωγικών δυνατοτήτων (που έχει) της και της δυνατότητας αυτοματοποίησης της. Απαιτεί ακριβής ρυθμίσεις παραμέτρων συγκόλλησης. Είναι μέθοδος εκτέλεσης συγκολλήσεων για όλα ανεξαιρέτα τα μεταλλικά υλικά τόσο λεπτού όσο και μεγαλύτερου πάχους αυτών. Δύναται να συγκολλήσει με μεγάλη ταχύτητα γιατί το υλικό εναπόθεσης που φέρει είναι συνεχούς παροχής, δεν υπάρχουν νεκροί χρόνοι και αν ακόμα αυτή χρησιμοποιείται χειροκίνητα μπορεί να γίνει εναλλαγή πιασίματος λαβίδας στο χέρι από τους χειριστές.

Σε κάθε εφαρμογή της μεθόδου κρίσιμα στοιχεία επιτυχούς συγκόλλησης είναι:

- Οι παράμετροι συγκόλλησης. Εννοούμε το είδος του ρεύματος συγκόλλησης (συνεχές ή παλμικό), την ένταση ή την τάση του ρεύματος καθώς και την ταχύτητα κίνησης του υλικού εναπόθεσης  $U_d$
- Η παροχή του αερίου προστασίας
- Το είδος των αερίων προστασίας
- Η ποιότητα του τροφοδότη μηχανισμού της μηχανής. Όσες μηχανές φέρουν τέσσερα ράουλα σαφώς και έχουν σταθερότερη κίνηση του υλικού εναπόθεσης σύρματος από αυτές που φέρουν μόνο δυο.

## Ειδικότερα παράμετροι μηχανής είναι:

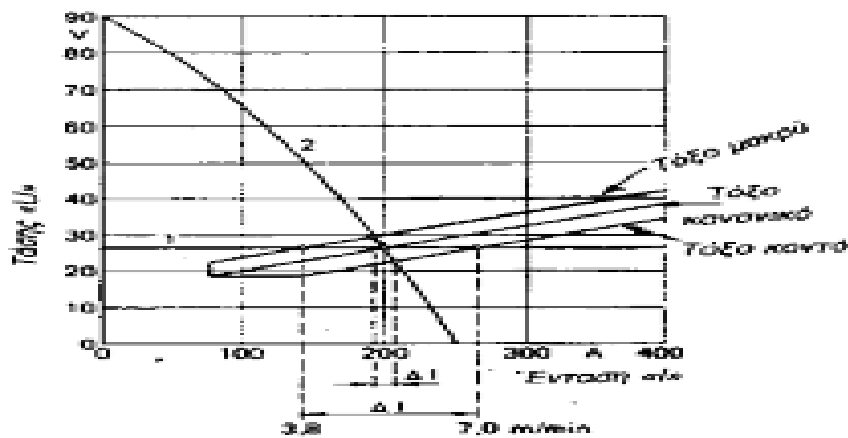
**Πολικότητα:** Η πλειοψηφία των συγκολλήσεων με χρήση G.M.A.W γίνεται με το ηλεκτρόδιο συνδεδεμένο στο θετικό πόλο της πηγής (ανάστροφη πολικότητα, το ηλεκτρόδιο θετικά φορτισμένο), διότι προσφέρει σταθερότητα στο τόξο, μικρό πιτσίλισμα, καλό προφίλ ραφής και μεγαλύτερη διείσδυση.

**Τάση τόξου:** Καθορίζει το πλάτος του κορδονιού και την έκταση του διασκορπισμού κυρίως. Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση τόσο μεγαλύτερο διασκορπισμό και μεγαλύτερο πλάτος κορδονιού έχουμε, ενώ η υπερβολική αύξηση δημιουργεί πορώδες και υποκοπές. Υπερβολική μείωση της τάσης δημιουργεί εκροές. Κυμαίνεται από 10 μέχρι 40V.

**Ταχύτητα:** Ορίζεται ως ο γραμμικός ρυθμός με τον οποίο το τόξο κινείται κατά μήκος της σύνδεσης. Όταν όλες οι άλλες παράμετροι διατηρούνται αμετάβλητες, η διείσδυση της συγκόλλησης είναι μέγιστη σε μια μέση ταχύτητα. Όταν η ταχύτητα μειώνεται, ο ρυθμός απόθεσης μετάλλου συγκόλλησης ανά μονάδα μήκους αυξάνεται. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες το τόξο επιδρά περισσότερο στο λουτρό της συγκόλλησης παρά στο μέταλλο βάσης και έτσι μειώνεται η αποτελεσματική διείσδυση. Με αύξηση της ταχύτητας, η θερμότητα που μεταδίδεται στο μέταλλο βάσης από το τόξο αυξάνεται διότι το τόξο επιδρά περισσότερο σε αυτό. Όμως περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη θερμότητα στο μέταλλο βάσης. Οπότε, η τήξη του μετάλλου βάσης αρχικά αυξάνεται και μετά μειώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα. Σε μεγάλες ταχύτητες παρατηρείται τάση για δημιουργία υποκοπών κατά μήκος των άκρων των ραφών λόγω της ανεπαρκούς απόθεσης μετάλλου συγκόλλησης.

**Προσανατολισμός ηλεκτροδίου:** Ο προσανατολισμός του ηλεκτροδίου περιγράφεται με τους εξής δύο τρόπους: Με τη σχέση του άξονα του ηλεκτροδίου με την κατεύθυνση της συγκόλλησης (travel angle) και

από τη γωνία μεταξύ του ηλεκτροδίου και της επιφάνειας στην οποία γίνεται η συγκόλληση (work angle). Όταν το ηλεκτρόδιο δείχνει σε κατεύθυνση αντίθετη με αυτή της ταχύτητας, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οπισθέλκουσας γωνίας (trail angle). Αντίθετα, όταν το ηλεκτρόδιο δείχνει προς την κατεύθυνση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πρόσω γωνίας (lead angle). Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται backhand welding technique και forhand welding technique, αντίστοιχα. Για όλες τις θέσεις, μια γωνία μεταξύ 5-15° ως προς την κατακόρυφο αποδίδει συγκόλληση με μέγιστη διείσδυση και στενή κυρτή επιφάνεια της ραφής και, επίσης, επιτυγχάνεται η βέλτιστη προστασία του λουτρού συγκόλλησης. Ωστόσο, είναι πιο σύνηθες να εφαρμόζεται γωνία leading που προσφέρει καλύτερη ορατότητα στο χειριστή και ραφή με λιγότερη κυρτότητα. Για κάποια υλικά, όπως το αλουμίνιο, προτιμάται η leading angle διότι έτσι επιτυγχάνεται «καθαριστική δράση» μπροστά από το λουτρό συγκόλλησης, κάτι που μειώνει την υγρασία και την οξείδωση του μετάλλου βάσης.



Σχ. 2 Ταχύτητα σύρματος.

Εικόνα 5.15 Διάγραμμα ταχύτητας σύρματος  $U$  και τάσης ρεύματος  $V$

**Έκταση του ηλεκτροδίου:** Είναι η απόσταση μεταξύ του τελευταίου σημείου του αγωγού επαφής του πιστολιού και του άκρου του ηλεκτροδίου. Αύξηση της απόστασης αυτής οδηγεί σε αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία προκαλεί επιπλέον θερμότητα στο ηλεκτρόδιο και συμβάλλει σε υψηλότερους ρυθμούς τήξης του. Με σταθερή την τάση του τόξου το επιπλέον μέταλλο θα αποτεθεί σαν μια στενή και έντονα κυρτή ραφή. Η βέλτιστη έκταση του ηλεκτροδίου κυμαίνεται γενικά μεταξύ 6,4-13 mm για μεταφορά με περιοδικές βραχυκυκλώσεις του τόξου και μεταξύ 13-25 mm για μεταφορά με σταγόνες ή ψεκασμό.

**Διάμετρος του ηλεκτροδίου:** Η διάμετρος του ηλεκτροδίου επηρεάζει κι αυτή με τη σειρά της τη μορφή της ραφής. Ένα μεγαλύτερο ηλεκτρόδιο απαιτεί υψηλότερη κατώτατη τιμή ρεύματος από ότι ένα μικρότερο για να επιτύχει τα ίδια χαρακτηριστικά μεταφοράς μετάλλου. Υψηλότερα ρεύματα, με τη σειρά τους, προκαλούν επιπλέον τήξη του ηλεκτροδίου και περισσότερη απόθεση μετάλλου σε ρευστή μορφή. Ακόμη, υψηλές τιμές ρεύματος έχουν αποτέλεσμα μεγαλύτερους ρυθμούς απόθεσης και μεγαλύτερη διείσδυση, αλλά μπορεί να μην επιτρέπουν τη χρήση κάποιων ηλεκτροδίων σε κατακόρυφη ή οροφιαία θέση.

**Το είδος του προστατευτικού αερίου:** Εξαρτάται από το είδος του μετάλλου που πρόκειται να συγκολληθεί καθώς και από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τόξου. Η προσθήκη για παράδειγμα  $CO_2$  σε αδρανή αέρια

συμβάλλει στη σταθερότητα του τόξου, τη μείωση του διασκορπισμού και στην αύξηση της ταχύτητας συγκόλλησης. Κατά συνέπεια με τη δυνατότητα που προσφέρει για μεγαλύτερη τάση. Η παροχή του προστατευτικού αερίου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η επαρκής προστασία της συγκόλλησης από τον ατμοσφαιρικό αέρα και η πραγματοποίησή της σε ωφέλιμες θερμικές και μεταλλουργικές συνθήκες. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και πιθανό ρεύμα αέρα που απομακρύνει το προστατευτικό αέριο (σε εργασίες σε εξωτερικούς χώρους). Πρακτικά η παροχή καθορίζεται σαν l/min ανά χιλιοστό της διαμέτρου του ακροφυσίου του καυστήρα

**Η διάταξη παροχής** αερίου της μηχανής ενεργοποιείται κάθε φορά που πατάμε το μπουτόν της λαβίδας μέσο κατάλληλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Όμως μέσω άλλης διάταξης που φέρει η μηχανή δίνεται μια αργοπορία ανάμματος του τόξου ανάλογα με την απόσταση που αυτό ανάβει σε σχέση με τον κορμό της μηχανής.

**Τα αέρια προστασίας** μπορεί να είναι εντελώς αδρανή όποτε η μέθοδος ονομάζεται M.I.G (metal inert gas) η να είναι μίγματα αδρανών και άλλων δραστικών αερίων οπότε η μέθοδος ονομάζεται M.A.G (metal active gas). Με σημαντικό αέριο μιγμάτων το διοξείδιο του άνθρακα. Τα σημαντικότερα αέρια προστασίας είναι το AR αργόν το οποίο χρησιμοποιείται για συγκολλήσεις αλουμινίου όπως και το He ήλιο, ενώ αργόν με οξυγόνο μαζί είναι κατάλληλο για ανοξειδωτους χάλυβες. Στους ανθρακούχους χάλυβες μεγάλου πάχους χρησιμοποιείται το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ενώ για χάλυβες μικρού πάχους το μίγμα Ar+CO<sub>2</sub> είναι καταλληλότερο, δημιουργεί καλού βάθους και πλάτους ραφή.

**Ρεύμα συγκόλλησης:** Αλλάζοντας το ρυθμό τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου, αλλάζει και η τιμή του ρεύματος συγκόλλησης με αντίστοιχο τρόπο όταν πρόκειται για πηγή σταθερού ρεύματος. Αυτό συμβαίνει διότι το παρεχόμενο ρεύμα από την πηγή διαφοροποιείται σημαντικά με μικροαλλαγές στην τάση (μήκος τόξου) που προκαλούνται όταν αλλάζει ο ρυθμός τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου. Όταν όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν σταθερές, μια ενδεχόμενη αύξηση του ρεύματος οδηγεί σε αύξηση του βάθους και του πλάτους της διείδυσης, του ρυθμού απόθεσης και του μεγέθους της ραφής. Για την ακρίβεια αντί για ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος έχουμε την τάση που καθορίζει έμμεσα την ένταση του ρεύματος.

Welding Variables to change	Desired changes							
	Penetration		Deposition rate		Bead size		Bead width	
	Increase	Decrease	Increase	Decrease	Increase	Decrease	Increase	Decrease
Current and wire feed speed	Increase	Decrease	Increase	Decrease	Increase	Decrease	Little effect	Little effect
Voltage	No effect	No effect	Little effect	Little effect	Little effect	Little effect	Increase	Decrease
Travel speed	No effect	No effect	Little effect	Little effect	Decrease	Increase	Decrease	Increase
Electrode extension	Decrease	Increase	Increase	Decrease	Increase	Decrease	Decrease	Increase
Wire diameter	Decrease	Increase	Decrease	Increase	Little effect	Little effect	Little effect	Little effect
Shield gas %	Increase	Decrease	Little effect	Little effect	Little effect	Little effect	Increase	Decrease
Gun angle	Drag	Push	Little effect	Little effect	Little effect	Little effect	Push	Drag

**Πίνακας 5.1** Επίδραση παραμέτρων στα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης G.MAW

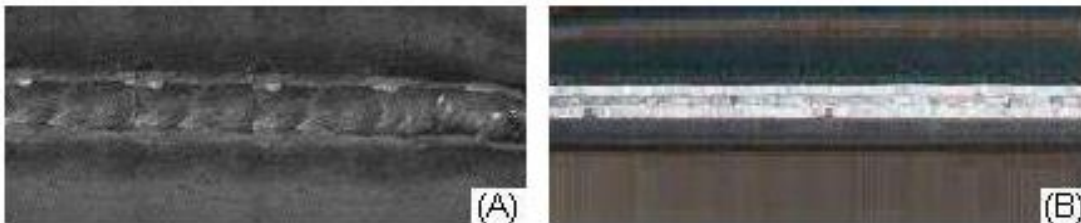


### Ειδικότερα για τα ρεύματα αναφέρονται τα παρακάτω:

Η συγκόλληση M.I.G/M.A.G γίνεται με δυο είδη ηλεκτρικού ρεύματος:

- Το **συνεχές ρεύμα** με ορθή και ανάστροφη φορά (συμβολισμός DC+ ή DCEP)
- Το **παλμικό ρεύμα** (παλμορεύμα)

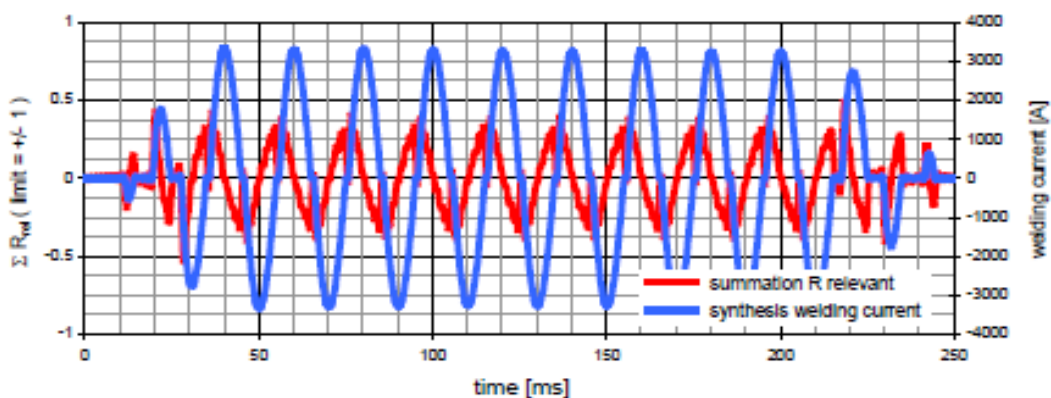
Στην εικόνα φαίνονται ραφές συγκόλλησης με τα δυο είδη ρευμάτων που αναφέραμε πιο πριν.



A) Με ρεύμα DC

B) Με παλμικό ρεύμα

Το ρεύμα που προτιμάται κατά τη χρήση μηχανών M.I.G/M.A.G είναι το παλμορεύμα. Με τη χρήση του ρεύματος αυτού έχουμε καλύτερη ποιότητα ραφής.



Εικόνα 5.16 Τυπική μορφή παλμορεύματος

### Σε κάθε μηχανή συγκόλλησης υπάρχουν δύο ηλεκτρικές τάσεις:

- Η τάση του δικτύου ή πρωτεύουσα τάση, η οποία δίνει εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Σε μονοφασική μηχανή είναι 230 V και σε τριφασική 400 V.
- Η τάση εξόδου ή δευτερεύουσα τάση, με την οποία εκτελείται η συγκόλληση. Όταν δεν εκτελείται συγκόλληση, είναι συνήθως 50-90 V.

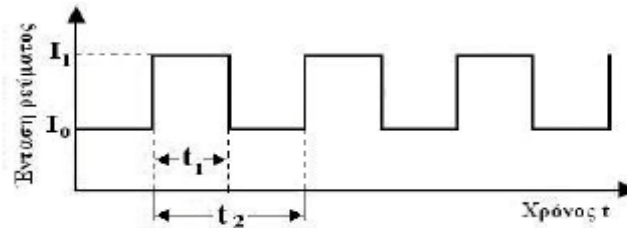
### Η δευτερεύουσα τάση μπορεί να δίνει:

- Συνεχές ρεύμα (DC). Στην περίπτωση αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία αν το ηλεκτρόδιο θα είναι στο (+) ή στο (-).
- Εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)
- Παλμικό ρεύμα

Το κάθε είδος συγκόλλησης, καθώς και το κάθε ηλεκτρόδιο, απαιτεί το κατάλληλο είδος ηλεκτρικής παροχής. Οι κατασκευαστές αναλώσιμων υλικών συγκόλλησης (ηλεκτροδίων, συρμάτων κ.λπ.) προδιαγράφουν τις μορφές του ρεύματος που μπορούν να εφαρμοστούν. Ενδέχεται όμως ένα ηλεκτρόδιο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με περισσότερα από ένα είδη ηλεκτρικού ρεύματος και ο συγκολλητής να έχει την απαραίτητη τεχνογνωσία για να κάνει τη σωστή επιλογή.

$t_1$  : Χρονική διάρκεια της υψηλής έντασης του ρεύματος, συνήθως % του  $t_2$

Σχήμα 1.:



$I_1$  : Ένταση ρεύματος παλμού (η ρύθμιση του ρεύματος εξόδου της μηχανής)

$I_0$  : Βασικό ρεύμα, που συνήθως ρυθμίζεται ως % του  $I_1$

$t_2$  : Χρονική διάρκεια παλμού

$t_1$  : Χρονική διάρκεια της υψηλής έντασης του ρεύματος, συνήθως % του  $t_2$

*Εικόνα 5.17 Χαρακτηριστικά παλμικού ρεύματος*

Σε βασικές γραμμές ισχύουν τα εξής:

**(α) Επιλογή της κατάλληλης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος**

- Το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα είναι κατάλληλο για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις.
- Το εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται στη S.M.A.W όταν επιδιώκουμε μεγάλη εναπόθεση μετάλλου ή όταν η επένδυση των ηλεκτροδίων περιέχει σκόνη μετάλλου.
- Εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που παρουσιαστεί μαγνητικό φύσημα.
- Παλμικό ρεύμα χρησιμοποιείται στη T.I.G, αλλά και στη M.I.G

**(β) Επιλογή της πολικότητας για συνεχές ρεύμα**

Η κάθοδος (-) έχει θερμοκρασία περίπου 2500°C ενώ η άνοδος (+) έχει περίπου 3500°C. Για το λόγο αυτό, έχει σημασία αν θα έχουμε το (+) το (-) στο ηλεκτρόδιο ή στο μέταλλο βάσης. Γενικά ισχύουν τα εξής:

- Αν επιδιώκεται μεγάλη τήξη στο μέταλλο βάσης με σκοπό την καλή ανάμειξη, τότε έχουμε το (+) στο μέταλλο βάσης και το (-) στο ηλεκτρόδιο (ορθή πολικότητα. Τα ηλεκτρόνια πάνε από το αρνητικό στο θετικό όπου θέλουμε μεγάλη θερμοκρασία εκεί που προσπίπτουν). Οι περισσότερες συγκολλήσεις ανθρακούχων αλουμινίων ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία. Συμβολίζεται ως D.C.E.N ή DC-.
- Αν δεν απαιτείται έντονη ανάμειξη του μετάλλου βάσης με το μέταλλο του ηλεκτροδίου, τότε έχουμε το (-) στο μέταλλο βάσης και το (+) στο ηλεκτρόδιο (ανάστροφη πολικότητα). Τέτοια

περίπτωση π.χ. είναι η αναγόμευση αλουμινίου. Εφαρμόζεται, επίσης, όταν δε θέλουμε να περιοριστεί η Θ.Ε.Ζ (π.χ. ειδικά αλουμίνια), ή όταν επιδιώκεται μεγάλη εναπόθεση μετάλλου. Συμβολίζεται ως D.C.E.P ή DC+. Αυτή η πολικότητα συντελεί στην απομάκρυνση των οξειδίων του αλουμινίου κοινώς αλουμίνια από την επιφάνεια του μετάλλου βάσης.

## Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-έντασης ρεύματος

Με βάση τη μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης τάσης-έντασης ρεύματος οι μηχανές συγκόλλησης διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Μηχανές σταθερού ή κατερχόμενου ρεύματος (constant current or drooping).
- Μηχανές σταθερής ή ανερχόμενης τάσης (constant voltage or increasing voltage).

Υπάρχουν, βέβαια, και μερικές μηχανές που συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά και των δύο τύπων. Επίσης, ο όρος «σταθερός» σε αυτή την περίπτωση δεν είναι απόλυτος, αλλά σχετικός.

Η μηχανή συγκόλλησης σταθερού ρεύματος ορίζεται εκείνη που παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης της έντασης ρεύματος και που διαθέτει χαρακτηριστική τάσης-έντασης ρεύματος τέτοια που οδηγεί στην παραγωγή σχετικά σταθερής έντασης ρεύματος. Για δεδομένη ένταση ρεύματος, η τάση τόξου εξαρτάται από το ρυθμό τροφοδοσίας του τηκόμενου ηλεκτροδίου ή σε περίπτωση μη αναλίσκόμενου ηλεκτροδίου, από την απόσταση του άκρου του ηλεκτροδίου από το προς συγκόλληση τεμάχιο. Η μηχανή συγκόλλησης σταθερού ρεύματος χρησιμοποιείται συνήθως σε μη αυτοματοποιημένες μεθόδους συγκόλλησης.

Η μηχανή συγκόλλησης σταθερής τάσης ορίζεται ως εκείνη που παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης της τάσης τόξου και που διαθέτει χαρακτηριστική τάσης-έντασης ρεύματος τέτοια που οδηγεί στην παραγωγή σχετικά σταθερής τάσης. Για δεδομένη τάση, η ένταση ρεύματος εξαρτάται από το ρυθμό τροφοδοσίας του τηκόμενου ηλεκτροδίου. Η μηχανή συγκόλλησης σταθερής τάσης χρησιμοποιείται συνήθως σε μεθόδους συγκόλλησης που παρέχουν συνεχή τροφοδοσία του ηλεκτροδίου (M.I.G/M.A.G, S.A.W). Κατά κύριο λόγο οι συγκολλήσεις M.I.G/M.A.G πραγματοποιούνται με συνεχές ρεύμα και ανάστροφη πολικότητα (το ηλεκτρόδιο θετικά φορτισμένο).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### Μίγματα αερίων προστασίας

Η χρήση του κατάλληλου αερίου προστασίας για μία δεδομένη εφαρμογή είναι κρίσιμη, επειδή συμβάλει αρκετά στην τελική ποιότητα της συγκόλλησης. Στόχος των αερίων είναι να προστατεύουν τη συγκόλληση από την ατμόσφαιρα, δημιουργώντας γύρω από αυτήν ένα προστατευτικό περιβάλλον. Δηλαδή κάνουν ότι και η επένδυση στα επενδυμένα ηλεκτρόδια. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή του αερίου προστασίας είναι οι παρακάτω:

- Το σύστημα 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 επιλογή του κατάλληλου αερίου προστασίας, η παροχή που απαιτείται, καθώς και οι ιδιότητες τόσο των αδρανών όσο και των ενεργών αερίων έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας.

## Εφαρμογές των προστατευτικών αερίων

Τα αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη M.I.G/M.A.G είναι τα παρακάτω:

- Αργό (Ar). Είναι το κλασικό αέριο για την εκτέλεση συνηθισμένων συγκολλήσεων. Είναι χημικά αδρανές, προστατεύει το μεταλλικό λουτρό από την επίδραση του αέρα, έχει χαμηλό δυναμικό ιονισμού και ευκολία στο άναμμα του τόξου. Χρησιμοποιείται στην M.I.G και στην T.I.G και σαν βάση στα περισσότερα μίγματα συγκόλλησης.
- Ήλιο (He). Είναι χημικά αδρανές, έχει ουδέτερη δράση στη μεταφορά χημικών στοιχείων από το υλικό εναπόθεσης στις ραφές και αυξάνει την ενέργεια και την ταχύτητα της συγκόλλησης. Χρησιμοποιείται σαν συστατικό μιγμάτων στην M.I.G και T.I.G και μόνο του σε μεθόδους για συγκόλληση ελαφρών κραμάτων με συνεχές ρεύμα.
- Υδρογόνο ( $H_2$ ). Είναι ισχυρό αναγωγικό, έχει μεγάλη διείδυση, καλή εμφάνιση ραφής και αυξάνει την ταχύτητα συγκόλλησης. Χρησιμοποιείται σαν συστατικό μίγμα για την προστασία των συγκολλήσεων από την αντίθετη πλευρά της ραφής κυρίως στις ραφές ρίζας (πρώτο πέρασμα συγκόλλησης).
- Οξυγόνο ( $O_2$ ). Σταθεροποιεί το τόξο, βελτιώνει την αδιαβροχή, μειώνει τα πιτσιλίσματα, αυξάνει τη μεταφορά του μετάλλου με τη μέθοδο με ψεκασμό και αυξάνει τη θερμοκρασία του μεταλλικού λουτρού με αποτέλεσμα τη μείωση του ιξώδους. Χρησιμοποιείται σε κοπή με Plasma και σαν συστατικό μιγμάτων συγκολλήσεων.
- Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Έχει καλή διείδυση, αυξάνει το ιξώδες του λουτρού, δημιουργεί προβληματικό τόξο με πολλά πιτσιλίσματα. Χρησιμοποιείται μόνο του στη M.I.G και σαν συστατικό μιγμάτων.

Το καθένα από τα μείγματα έχει συγκεκριμένο συμβολισμό, όπως φαίνεται και στον πίνακα. Το ISO-14175 περιγράφει όλα γενικά τα αέρια των ηλεκτροσυγκολλήσεων και με βάση αυτό, με το .I. συμβολίζονται τα αδρανή αέρια, με το .C. τα μείγματα του  $CO_2$  και με το M τα ενεργά μείγματα που βασίζονται στο Ar. Στο ISO-14341, το οποίο αναφέρεται στα σύρματα ηλεκτροσυγκόλλησης, οι συμβολισμοί των C1, M13, M21 απλοποιούνται αντίστοιχα σε C, A, M και με αυτά τα σύμβολα υπεισέρχονται στην περιγραφή των συρμάτων. Τα αέρια Ar, He και Ar + He δε χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση χαλύβων με M.I.G/M.A.G.

Οι εφαρμογές των αερίων στην ηλεκτροσυγκόλληση, κυρίως, έχουν ως εξής:

- Στην T.I.G χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά το Ar, ανεξάρτητα από το είδος του μετάλλου βάσης. Σε μερικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μίγμα του Ar με το He.
- Στις συγκολλήσεις αλουμινίου, είτε πρόκειται για T.I.G είτε για M.I.G, χρησιμοποιείται, επίσης, σχεδόν αποκλειστικά το Ar και σε μερικές εφαρμογές το μίγμα Ar με He.
- Στις συγκολλήσεις ανοξείδωτων χαλύβων χρησιμοποιείται το Ar + 1-3%  $O_2$  (συνήθως όμως το  $O_2$  δεν υπερβαίνει το 2%). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί Ar+3% $CO_2$ .

- Στις συγκολλήσεις M.I.G/M.A.G, των ανθρακούχων χαλύβων ή των ελαφρά κραματικών χαλύβων, όταν επιδιώκουμε να έχουμε βαθιά διείσδυση, χρησιμοποιείται το CO<sub>2</sub>. Για ομαλή συγκόλληση με πολύ σταθερό τόξο, με καλή εμφάνιση και με ελάχιστα πιτσιλίσματα, προτιμότερο είναι ένα μείγμα του Ar με 20-25% CO<sub>2</sub> ή με 1-3% O<sub>2</sub>. Δε χρησιμοποιείται καθαρό Ar, επειδή η συγκόλληση αυτών των χαλύβων απαιτεί την παρουσία και κάποιας ποσότητας ενεργού αερίου.

Συμβολισμός των προστατευτικών αερίων		
ΑΕΡΙΟ	ISO - 14175	ISO - 14341
Ar	I1	-
He	I2	-
Ar + He	I3	-
CO <sub>2</sub>	C1	C
Ar + 1-3% O <sub>2</sub>	M13	A
Ar + 20- 25% CO <sub>2</sub>	M21	M

*Πίνακας 6.1 Συμβολισμός Αερίων*

## Αδρανή αέρια προστασίας

Αργό (Ar) , ήλιο (He) και μείγματα αυτών χρησιμοποιούνται σε συγκολλήσεις μη σιδηρούχων κραμάτων αλλά και σε συγκολλήσεις ανθρακούχων και ανοξειδωτων χαλύβων. Πρόκειται για αδρανή 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.

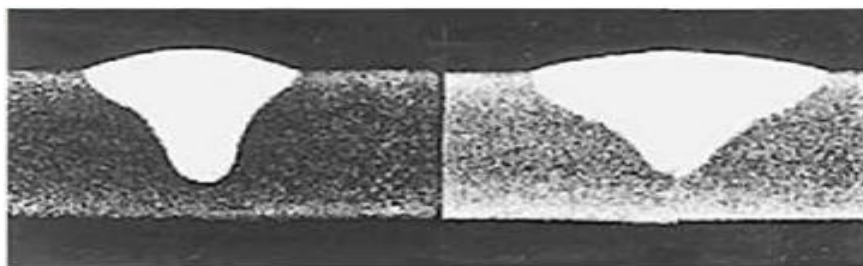
Η θερμική αγωγιμότητα, δηλαδή η ικανότητα ενός αερίου να μεταφέρει θερμική ενέργεια, είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του κατάλληλου αερίου προστασίας.

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 διείσδυσης.

Από την άλλη πλευρά, αέρια μείγματα με Ar οδηγούν σε μακρόστενο προφίλ διείσδυσης. 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 διείσδυση. Σε συγκολλήσεις όπου η προστασία εξασφαλίζεται με παροχή He, η ραφή έχει μεγαλύτερο πλάτος και η διείσδυση έχει παραβολική μορφή.



**Εικόνα 6.1** Συγκολλήσεις σε αλουμίνιο με G.M.A.W με Ar (αριστερά) και με 75% Ar-25% He (δεξιά).

Ωστόσο σε σιδηρούχα κράματα, το He μπορεί να προκαλέσει εκτοξεύσεις μετάλλου, με προσθήκη O<sub>2</sub> (περίπου 3%) ή CO<sub>2</sub> (περίπου 9%). Οι ανθρακούχοι και μικροκραματωμένοι χάλυβες συνήθως συγκολλούνται με προστασία CO<sub>2</sub>, αφού εξασφαλίζονται υψηλότερες ταχύτητες, μεγαλύτερη διείσδυση και μικρότερα κόστη. Επειδή, όμως, το CO<sub>2</sub> προκαλεί υψηλά επίπεδα εκτοξεύσεων, πρέπει να εφαρμόζεται σχετικά μικρή τάση κατά την συγκόλληση, προκειμένου να διατηρείται μικρού μήκους βυθισμένο τόξο και να ελαχιστοποιούνται οι εκτοξεύσεις. Δηλαδή, σε αυτή την περίπτωση, το άκρο του ηλεκτροδίου τοποθετείται κάτω από την επιφάνεια των προς συγκόλληση τεμαχίων.

Μέταλλο	Αέριο προστασίας
Αλουμίνιο	Αργό, για μικρά πάχη ως 25 mm Μίγμα 75% He, 25% Ar, για πάχη από 25 ως 76 mm. Μίγμα 90% He, 10% Ar, για πολύ μεγάλα πάχη
Μαλακός χάλυβας	Μίγμα Ar, 5% O <sub>2</sub> Για μεταφορά με βύθιση Ar, 25% O <sub>2</sub> , για πάχη μικρότερα από 3,2 mm, 3,2mm Ar, 50% CO <sub>2</sub> για μεγαλύτερα πάχη, η σκέτο CO <sub>2</sub> για μεγαλύτερη διείσδυση
Ανοξειδωτος χάλυβας	Μίγμα Ar με 1 - 2% O <sub>2</sub> Για μεταφορά με βύθιση μίγμα 90% He, 7.5% Ar, 2.5% CO <sub>2</sub>

**Πίνακας 6.2** Χρησιμοποιούμενα αέρια ανάλογα το μέταλλο συγκόλληση

## Δραστικά αέρια προστασίας

Το οξυγόνο ( $O_2$ ), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N) και το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) είναι ενεργά αέρια. Τα ενεργά αέρια αντιδρούν χημικά με το λουτρό συγκόλλησης προκειμένου να προκύψουν επιθυμητές ιδιότητες.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι αδρανές σε θερμοκρασία δωματίου. Στο πλάσμα του τόξου και στο λουτρο συγκόλλησης, όμως, είναι ενεργό. Η μεγάλη ενέργεια του πλάσματος και οι μεγάλες θερμοκρασίες το οδηγούν σε διάσπαση σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και σε οξυγόνο ( $O_2$ ). Το ελεύθερο οξυγόνο ενώνεται με πυρίτιο, μαγγάνιο και σίδηρο προκειμένου να σχηματίσει αντίστοιχα οξειδία. Τα σχηματιζόμενα οξειδία, γνωστά και ως «νησίδες πυριτίου», αρχικά επιπλέουν στην επιφάνεια του λουτρο συγκόλλησης, έπειτα στερεοποιούνται σε «νησίδες» ή συγκεντρώνονται στην βάση της συγκόλλησης.

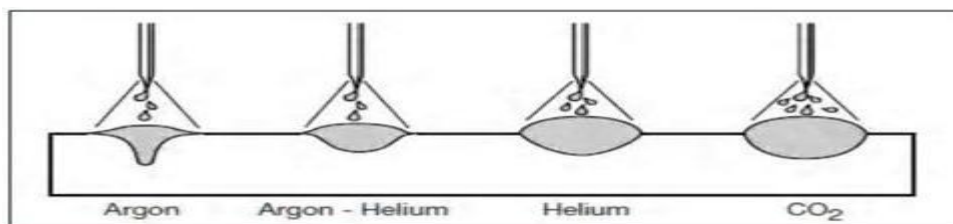
Μεγαλύτερα ποσοστά  $CO_2$  αυξάνουν τα ποσοστά σκουριάς που σχηματίζονται στην επιφάνεια της συγκόλλησης. Μικρότερα ποσοστά  $CO_2$  αυξάνουν το ποσοστό πυριτίου και μαγγανίου που διατηρούνται στην συγκόλληση. Συνεπώς, μικρότερα ποσοστά σε διμερές ή τριμερές αέριο μείγμα, αυξάνουν την τάση διαρροής και την μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό της συγκόλλησης.

Το οξυγόνο αντιδρά με τα συστατικά του λουτρο συγκόλλησης προκειμένου να σχηματίσει οξειδία. Μείγμα Ar με μικρές ποσότητες  $O_2$  (1-5%), εξασφαλίζουν σταθερότητα στο τόξο και εξαιρετική όψη ραφής. Προσθήκες οξειδωτικών στοιχείων στο ηλεκτρόδιο, μπορούν να περιορίσουν τον βαθμό οξείδωσης του λουτρού συγκόλλησης.

Το υδρογόνο σε μικρά ποσοστά, 1-5%, προστίθεται στο αργό για προστασία ανοξειδωτων χαλύβων και κραμάτων νικελίου. Η μεγάλη θερμική του αγωγιμότητα οδηγεί σε αυξημένη ρευστότητα του λουτρού συγκόλλησης, διευκολύνοντας τη βάσης συγκόλλησης και την χρήση μεγαλύτερων ταχυτήτων.

## Διμερή μείγματα αερίων προστασίας

Σε αυτό το μείγμα, το μεγαλύτερο ποσοστό σε ήλιο αυξάνει την θερμική αγωγιμότητα και ρευστότητα του λουτρού συγκόλλησης. Το προφίλ διείσδυσης χαρακτηρίζεται από μεγάλο πλάτος, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται πολύ καλή διαβροχή της βάσης συγκόλλησης από το μέταλλο συγκόλλησης. Ο Chang υποστηρίζει ότι η εναλλασσόμενη παροχή Ar-He, μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στις συγκολλήσεις G.M.A.W (M.I.G) ,όπως περιορισμένη εμφάνιση πόρων και ρωγμών και βελτίωση της αντοχής στο αλουμίνιο, και ελάττωση των στρεβλώσεων στους ανοξειδωτους χάλυβες (εικόνα 3.16).



Εικόνα 6.2 Όψη ραφής και προφίλ διείσδυσης για διάφορα αέρια προστασίας



## Τριμερή μείγματα αερίων προστασίας

Τα τριμερή μείγματα χρησιμοποιούνται, συνήθως, σε κοινούς και ανοξειδωτους χάλυβες, και σπανιότερα, σε κράματα νικελίου. Σε μεταφορά με βραχυκύκλωση, προσθήκη 40% He σε μείγμα Ar/CO<sub>2</sub> οδηγεί σε ραφή με μεγαλύτερο πλάτος. Το ήλιο παρέχει μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα σε μεταφορά με βύθιση, όταν το μέταλλο βάσης είναι κοινός ή ανοξειδωτος χάλυβας.

Το μεγαλύτερο πλάτος ραφής και η καλύτερη τήξη στη βάση της συγκόλλησης, ελαχιστοποιούν τις πιθανότητες εμφάνισης σφαλμάτων λόγω ατελούς τήξης. Σε εφαρμογές ανοξειδωτων χαλύβων, τα τριμερή μείγματα είναι πολύ κοινά. Οι συνήθειες προσθήκης He σε μείγμα Ar με 2.5% CO<sub>2</sub> είναι περίπου 55-90%, για μεταφορά με βραχυκύκλωση. Με την σύσταση αυτή ελαττώνονται οι εκτοξεύσεις, βελτιώνεται η ρευστότητα του λουτρού συγκόλλησης και προκύπτει ραφή μικρότερης κυρτότητας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ιδιότητες του ηλίου (He) και του αργού (Ar), των δύο ευγενών αερίων που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις M.I.G αλλά και οι ιδιότητες του αζώτου.

He	
Φυσική κατάσταση	Αέριο
Σημείο βρασμού	-268,93 °C
Σημείο τήξης	<-272,3 °C
Οριακή τιμή έκθεσης (Π.Δ. 90/1999)	-
Ανώτατη οριακή τιμή έκθεσης (Π.Δ 90/1999)	-
TLV-TWA (ACGHIH)	-
LC <sub>50</sub>	-
Οσμή, χρώμα	Άοσμο, Άχρωμο

Το ήλιο παράγεται με κλασματική απόσταξη του φυσικού αερίου στο οποίο βρίσκεται σε περιεκτικότητα 7% κ.ο.

Ar	
Φυσική κατάσταση	Αέριο
Σημείο βρασμού	-185,85 °C
Σημείο τήξης	-189,35 °C
Οριακή τιμή έκθεσης (Π.Δ. 90/1999)	-
Ανώτατη οριακή τιμή έκθεσης (Π.Δ 90/1999)	-
TLV-TWA (ACGHIH)	-
LC <sub>50</sub>	-
Οσμή, χρώμα	Άοσμο, Άχρωμο

Το αργό παράγεται με κλασματική απόσταξη του υγροποιημένου ατμοσφαιρικού αέρα στον οποίο βρίσκεται σε περιεκτικότητα 0,934% κ .ο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### Κανονισμοί υλικών εναπόθεσης

Η σωστή επιλογή του κατάλληλου σύρματος συγκόλλησης παίζει μεγάλο ρόλο στην σωστή και αποτελεσματική συγκόλληση. Η τυποποίηση που ισχύει αυτή τη στιγμή στη χώρα μας για τα υλικά εναπόθεσης είναι κατά ISO, EN , ΕΛΟΤ και AWS. Η πιο διαδεδομένη είναι η AWS γιατί προσφέρει απλότητα και ευκολία απομνημόνευσης. Επίσης, πρόκειται για ένα πλήρες σύστημα τυποποίησης, όπου συμπεριλαμβάνονται τα πάντα, όπως π.χ. η τυποποίηση των ηλεκτροδίων του αλουμινίου και των χυτοσιδήρων για τα οποία δεν υπάρχουν αντίστοιχα πρότυπα κατά ISO.

Στις ηλεκτροσυγκολλήσεις που γίνονται κάτω από προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου δεν έχουμε πολλά είδη αναλώσιμων υλικών. Υπάρχει μόνο ένας σχετικά μικρός αριθμός διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα διάφορα αέρια. Η κατάσταση παρουσιάζεται τελείως διαφορετική από αυτήν που γνωρίζουμε για τα επενδυμένα υλικά εναπόθεσης, όπου υπάρχει ένα πλήθος διαφορετικών ηλεκτροδίων που έχουν πυρήνα από το ίδιο υλικό και οι ιδιότητές τους μεταβάλλονται εξ αιτίας των πολλών ειδών επένδυσης που υπάρχουν. Για τη συγκόλληση αλουμινίου το σύστημα τυποποίησης είναι σύμφωνο με το AWS-A5.10. Η ονομασίες των συρμάτων σε αυτή την τυποποίηση διαφέρουν σε σχέση με όλα τα άλλα υλικά εναπόθεσης συγκολλήσεων μόνο στο ότι παίρνουν μπροστά τα γράμματα ER Π.χ. το E4043 είναι επενδυμένο ηλεκτρόδιο για M.M.A, ενώ το ER4043 είναι γυμνό σύρμα για M.I.G. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι συρμάτων και ράβδων αλουμινίου αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Τα πιο χρήσιμα υλικά εναπόθεσης και ράβδοι				
Ονομασία	Ιδανικό για:	Κατάλληλο επίσης για:	Ακατάλληλο για:	Μορφή
ER 1100	1xxx	-	3xxx, 4xxxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx	Σύρμα, Ράβδοι
ER 4043, ER 4047	6xxx	1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx	5052, 7xxx	
ER 5356	5xxx	3xxx, 4xxx, 6xxx, 7xxx	1xxx	

**Πινάκας 7.1** Τύποι συρμάτων συγκόλλησης αλουμινίου

Τα ER4043 και ER4047 περιέχουν Si σε ποσοστά 5% και 12% αντίστοιχα, ενώ το ER5356 περιέχει 5% μαγνήσιο (Mg). Και τα τρία αυτά υλικά έχουν εφαρμογή στις περισσότερες περιπτώσεις. Όλα είναι κατάλληλα για τα αλουμίνια 3xxx, 4xxx, 5xxx, 6xxx. Το ER4043 είναι άριστο στη συγκόλληση των αλουμινίων 6xxx που είναι τα πλέον διαδεδομένα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με τα αλουμίνια 1xxx που έχουν επίσης αρκετή διάδοση. Σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη μηχανική αντοχή χρησιμοποιείται το ER4047 το οποίο έχει όμως μικρότερη ελαστικότητα από το ER4043. Το ER5356 χρησιμοποιείται πολύ στις ηλεκτροσυγκολλήσεις αλουμινίου με M.I.G, επειδή είναι σκληρό και δύστηκτο και μπερδεύεται πιο δύσκολα, απαιτεί όμως μεγαλύτερες συνθήκες ρεύματος. Χαρακτηριστικό για την υπεροχή του υλικού ER4043 είναι και το γεγονός ότι τα επενδυμένα υλικά εναπόθεσης αλουμινίου που έχουν περιορισμένη χρήση, είναι κυρίως του τύπου ER4043, ενώ δεν κατασκευάζονται επενδυμένα υλικά εναπόθεσης ER5356.

Χρήσιμα υλικά για τη συγκόλληση σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου						
Τυποποίηση κατά A.W.S			Τυποποίηση κατά E.N			
	M.I.G/M.A.G	F.C.A.W	T.I.G	M.I.G/M.A.G	F.C.A.W	T.I.G
Ανθρακούχοι Χάλυβες	ER70S-6	E71T1MH4	ER70S-3	G3Si1	T462PM1H5	W3Si1
Σε ανοιχτό χώρο	-	E70T-4	-	-	T462W	-
Ελαφρά κραματικοί χάλυβες	ER80S-D2	-	ER80S-D2	G462MG4Mo	-	W4Mo
Ανοξειδωτοι χάλυβες	ER308LSi	-	ER308L	G199L	-	W199L
Αλουμίνιο	ER5356	-	ER4043	-	-	-

**Πίνακας 7.2** Χρησιμοποιούμενα υλικά για τη συγκόλληση σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου

Γενικά τα υλικά εναπόθεσης συγκόλλησης αλουμινίου διαφέρουν σημαντικά με άλλα π.χ. έχουν μεγαλύτερες και διάφορες διατομές είναι κυρίως χυτευτά, φέρουν επιφανειακή επίστρωση αλουμινίου ή αργύρου. Συχνά χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδιο με πυρήνα αλουμινίου και πρεσαριστή επένδυση, η οποία συνήθως περιέχει τα στοιχεία Ni, Mn τα οποία επιδρούν θετικά στη συγκόλληση. Κατά τη συγκόλληση τόσο με τη μέθοδο M.I.G, όσο και με την M.A.G χρησιμοποιείται πρόσθετα προστατευτική σκόνη, η οποία:

1. Βοηθάει στην καλύτερη ρευστοποίηση του.
2. Διαλύει διάφορα ανεπιθύμητα οξειδία, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται στην επιφάνεια του.
3. Διευκολύνει τη σύνδεση βασικού μετάλλου με υλικό εναπόθεσης.

Επειδή η παραπάνω σκόνη είναι υδροσκοπική πρέπει πριν χρησιμοποιηθεί να γίνεται κάποια αποξήρανση η στέγνωμα όπως γίνεται και στα βασικά ηλεκτρόδια. Το ίδιο ισχύει και όταν δεν χρησιμοποιείται υπό μορφή σκόνης, αλλά βρίσκεται ως επένδυση στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Στην περίπτωση επένδυσης, η συγκόλληση γίνεται καλύτερη και ευκολότερη, λόγω του ότι η επίστρωση είναι συγκεκριμένου πάχους και η δοσολογία γίνεται ομοιόμορφη. Καθ' όλη τη διάρκεια της συγκόλλησης ή προετοιμασίας, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο με τη σκόνη, όσο και με το επενδυμένο ηλεκτρόδιο.

























Τα υλικά εναπόθεσης της συγκόλλησης M.I.G προδιαγράφονται στο DIN 8573. Η επιλογή του κατάλληλου συγκολλητικού υλικού εναπόθεσης γίνεται με βάση την αξιολόγηση παραμέτρων όπως η ευκολία συγκόλλησης, η αντοχή, η συμπεριφορά σε αυξημένες θερμοκρασίες, οι αισθητικοί λόγοι και η πλαστικότητα της σύνδεσης. Γενικά ως υλικά εναπόθεσης προτιμούνται κράματα με παρόμοια χημική σύσταση με των προς συγκόλληση τεμαχίων. Όταν το χρησιμοποιούμενο αέριο είναι ενεργό τότε είναι απαραίτητη η προσθήκη αποξειδωτικών στη σύσταση του ηλεκτροδίου.

Οι συνηθισμένες διαμέτροι υλικού εναπόθεσης είναι από 1.02 mm έως 1.59 mm και σε κάποιες περιπτώσεις μέχρι και 0.5mm ή και 3.18mm. Η ιδιότητες των υλικών εναπόθεσης υπάρχουν σε πίνακες από τους οποίους γίνεται και η επιλογή τους.

Αντοχή fw (N/mm <sup>2</sup> )	Υλικό πλήρωσης (filler metal)	Σύσταση υλικού εναπόθεσης				
		6060	6005A	6061	6082	7020
5356		160	180	190	210	260
4043A		150	160	170	190	210

**Πινάκας 7.3** Αντοχή υλικού εναπόθεσης fw

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται κάποια υλικά εναπόθεσης συγκόλλησης αλουμινίου καθώς και οι διατομές, το ρεύμα, οι θέση συγκόλλησης και οι μηχανές συγκολλήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Σύματα και ράβδοι για την συγκόλληση αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου					
Ορισμός και περιγραφή	Ταξινόμηση	Ρεύμα συγκόλλησης	Θέση συγκόλλησης	Ιδιότητες	Χημική σύνθεση (%)
MOST Al 99,5 (IA 1070) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG	Werkstoff nr: 3.0259 EN ISO 18273: S Al 1070 (Al99,5)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=39–59 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=68–88 A5=25–35%	Al > 99,5 Si < 0,40 Cu = 0,05 Zn = 0,07 Fe < 0,30 Ti = 0,05
MOST Al 99,5 Ti (IA 1450) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	DIN 1732 : SG Al 99,5 Ti Werkstoff nr: 3.0805 EN ISO 18273: S Al 1450 (Al99,5Ti)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]= 40– 60 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=70 – 90 A5=25 – 35%	Al > 99,5 Si < 0,25 Mn > 0,05 Mg = 0,05 Cu = 0,05 Zn = 0,10 Fe < 0,40 Ti < 0,15
MOST Al Mg 3 (IA 5754) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	AWS A5.10: ER 5754 Werkstoff nr: 3.3536 EN ISO 18273: S Al 5754 (AlMg3)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=80–100 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=175–205 A5=15–20%	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
MOST Al Mg 5 (IA 5356) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	AWS A5.10: ER 5356 Werkstoff nr: 3.3556 EN ISO 18273: S Al 5356 (AlMg5Cr)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=100–135 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=220–260 A5=15–25%	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
MOST Al Mg 4.5 Mn (IA 5183) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	AWS A5.10: ER 5183 Werkstoff nr: 3.3548 EN ISO 18273: S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=110–150 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=275–335 A5=15–20%	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
MOST Al Mg 4,5 Mn Zr (IA 5087) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	AWS A5.10: ER 5187 Werkstoff nr: 3.3546 EN ISO 18273: S Al 5087 (AlMg4,5MnZr)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=110–150 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=>285 A5=15–20%	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
MOST Al Si 5 (IA 4043) Αέριο προστασίας: Ar. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	AWS A5.10: ER 4043 Werkstoff nr: 3.2245 EN ISO 18273: S Al 4043 (AlSi5)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=>50 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=120–150 A5=10–18%	Si = 4,5–5,5 Mn = 0,10 Mg = 0,1 Cu = 0,05 Fe < 0,40 Ti < 0,25 Al – υπόλοιπο
MOST Al Si 12 (IA 4047) Αέριο προστασίας: Ar, Ar+He. Μέθοδος συγκόλλησης: MIG και TIG.	AWS A5.10: ER 4047 Werkstoff nr: 3.2885 EN ISO 18273: S Al 4047 (AlSi12)	MIG  TIG 		Re [N/mm <sup>2</sup> ]=>70 Rm [N/mm <sup>2</sup> ]=>160–190 A5=10–15%	Si = 11–13,5 Mn > 0,5 Mg = 0,05 Cu = 0,05 Zn = 0,10 Fe < 0,60 Al – υπόλοιπο Ti < 0,15

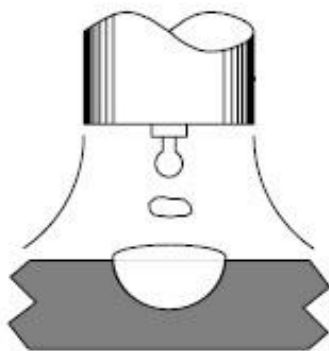
Πινάκας 7.4 Υλικά εναπόθεσης αλουμινίου

## Μέθοδοι εναπόθεσης υλικού

Το τηγμένο μέταλλο στην άκρη του ηλεκτροδίου μπορεί να μεταφερθεί στο λουτρό της συγκόλλησης με τρεις διαφορετικούς τρόπους

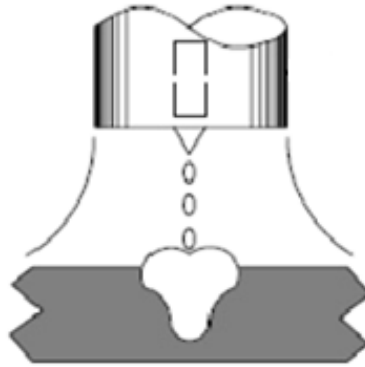
- Με σταγόνες
- Με ψεκασμό
- Με βραχυκυκλωμένο τόξο

**A. Με σταγόνες.** Οι σταγόνες μετάλλου, με διάμετρο ίδια ή και μεγαλύτερη από αυτή του ηλεκτροδίου, μεταφέρονται μέσα στο τόξο με την επίδραση της βαρύτητας. Η μεταφορά ξεκινά όταν αυξηθεί και άλλο η τάση, οπότε η δημιουργία ισχυρών εντάσεων ηλεκτρικού ρεύματος έχει ως συνέπεια να εκλύονται υψηλά ποσά θερμότητας. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται σταγόνες που η διάμετρός τους είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη διάμετρο του σύρματος και που αποσπώνται από την άκρη του σύρματος, πριν ακόμη αυτό προλάβει να ακουμπήσει στο μέταλλο βάσης. Το επιθυμητό είναι οι σταγόνες αυτές να εναποτίθενται στο λουτρό συγκόλλησης, αλλά αυτό δε συμβαίνει πάντοτε. Η μεταφορά αυτή δεν είναι συχνά ομαλή και παράγει εκτινάξεις. Οι δυνάμεις που επενεργούν στις σταγόνες και τις κάνουν να αποσπώνται από το άκρο του σύρματος είναι, η βαρύτητα και οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. Αυτές, στις χαμηλότερες εντάσεις του ρεύματος, έχουν ως αποτέλεσμα να εκτινάσσονται οι σταγόνες μακριά από το λουτρό συγκόλλησης και να δημιουργούν πιτσιλίσματα, ενώ στις υψηλότερες εντάσεις να εναποτίθενται στο λουτρό συγκόλλησης. Η μεταφορά υλικού με σταγόνες γίνεται με ορθή πολικότητα.



*Εικόνα 7.1 Μεταφορά υλικού με σταγόνες.*

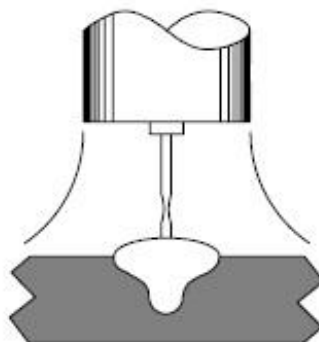
**B. Με ψεκασμό.** Πάνω από μία κρίσιμη τιμή του ρεύματος συγκόλλησης, συνήθως πάνω από 250A και ανάστροφη πολικότητα, μικρές σταγόνες μετάλλου μεταφέρονται μέσα στο τόξο με την επίδραση ηλεκτρομαγνητικής δύναμης, με μεγαλύτερη ταχύτητα και συχνότητα απ' ότι στο μηχανισμό με σταγόνες. Η μεταφορά με ψεκασμό δεν παρουσιάζεται, όταν χρησιμοποιείται το CO<sub>2</sub> και το μίγμα αερίου που απαιτείται είναι το Ar + 1-3% O<sub>2</sub>. Ο μηχανισμός αυτός είναι σταθερότερος και χωρίς εκτινάξεις. Έτσι με τη μέθοδο αυτή έχουμε καλύτερη ραφή κόλλησης. Η κρίσιμη τιμή του ρεύματος (ή ρεύμα μετάβασης), εξαρτάται από το προς συγκόλληση υλικό, από το μέγεθος του ηλεκτροδίου και τέλος από τη σύνθεση του αερίου προστασίας. Η μεταφορά υλικού με ψεκασμό γίνεται με ανάστροφη πολικότητα.



*Εικόνα 7.2 Μεταφορά υλικού με ψεκασμό*

**Γ. Με περιοδικές βραχυκυκλώσεις του τόξου.** Μεταφορά με βραχυκύκλωση έχουμε σε εντάσεις ρεύματος μέχρι 200 A, ανάστροφη πολικότητα και με χρήση CO<sub>2</sub> ή μίγματος 75% Ar – 25% CO<sub>2</sub>. Το τηγμένο μέταλλο στην άκρη του ηλεκτροδίου μεταφέρεται στο λουτρό της συγκόλλησης όταν το ηλεκτρόδιο αγγίξει την επιφάνεια του λουτρού, δηλαδή προκαλώντας βραχυκύκλωμα του τόξου. Κατά τη στιγμή αυτή το τόξο σβήνει και το λιωμένο μέταλλο εναποτίθενται στο λουτρό συγκόλλησης. Το τόξο ανάβει πάλι όταν η λιωμένη άκρη του υλικού εναπόθεσης και το λουτρό συγκόλλησης δεν είναι σε επαφή. Τότε δημιουργείται εκ νέου σταγόνα στο άκρο του ηλεκτροδίου η οποία δεν αποκόπτεται από το ηλεκτρόδιο παρά μόνο όταν έρθει ξανά σε επαφή με το λουτρό. Αυτό επαναλαμβάνεται 20 ως 200 φορές το δευτερόλεπτο.

Η μεταφορά με περιοδικές βραχυκυκλώσεις εφαρμόζεται σε μικρής κλίμακας ρεύματα και σε μικρές διαμέτρους υλικών εναπόθεσης. Ο μηχανισμός αυτός παράγει μικρή και γρήγορη απόψυξη λουτρού συγκόλλησης, που είναι επιθυμητό για τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων, για τις οροφιαίες συγκολλήσεις και για τη γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων στη ρίζα των προς συγκόλληση ελασμάτων.



*Εικόνα 7.3 Μεταφορά υλικού με βραχυκύκλωση*



Εικόνα 7.4 Τύποι μηχανισμού εναπόθεσης υλικού

## Σύγκριση των τριών μεθόδων μεταφοράς υλικού

Με τη μέθοδο **βραχυκυκλωμένου τόξου** μπορούν να γίνουν συγκολλήσεις ακόμη και πολύ λεπτών ελασμάτων. Η συγκόλληση είναι δυνατή σε όλες τις θέσεις. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται αρκετά πιτσιλίσματα και η παραγωγικότητα είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες δύο, αλλά και πάλι υπερέχει σημαντικά σε παραγωγικότητα από τη M.M.A. Πρέπει να αποφεύγεται στα μεγάλα πάχη ελασμάτων, επειδή υπάρχει κίνδυνος να μη δημιουργηθεί καλή πρόσφυση λόγω της πιθανής ημιτελούς τήξης του μετάλλου βάσης.

Οι μέθοδοι μεταφοράς με **σταγόνες** και με **ψεκασμό** είναι δυνατές μόνο σε επίπεδες και οριζόντιες θέσεις και απαιτούν καλά εκπαιδευμένο και έμπειρο χειριστή. Επίσης, εκλύονται πολύ υψηλά ποσά θερμότητας που μπορούν να προκαλέσουν ισχυρές παραμορφώσεις, ιδίως στα λεπτά ελάσματα. Παρουσιάζουν όμως καλή πρόσφυση, βαθιά διείσδυση και υψηλή παραγωγικότητα. Συγκρινόμενες μεταξύ τους, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μεταφορά με σταγόνες χρησιμοποιεί φθινό αέριο ( $\text{CO}_2$ ), αλλά παρουσιάζει πολλά πιτσιλίσματα. Αντίθετα, η μεταφορά με ψεκασμό χρησιμοποιεί ακριβό αέριο ( $\text{Ar} + 1-3\% \text{O}_2$ ), αλλά προσφέρει ραφή με πολύ καλή εμφάνιση και με ελάχιστα πιτσιλίσματα.

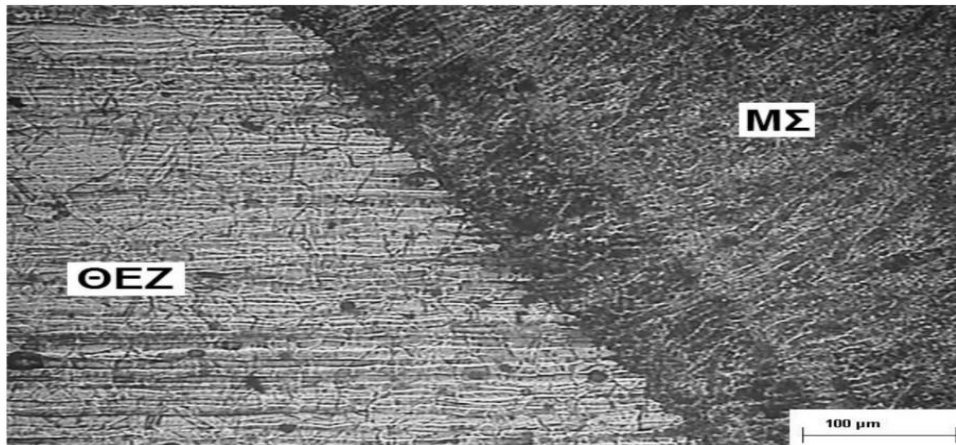


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

### Θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη υλικού βάσης (Θ.Ε.Ζ)

Η θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη Θ.Ε.Ζ υλικού βάσης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω 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.

Στην εικόνα 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.



Εικόνα 8.1 Μέταλλο συγκόλλησης με την ΘΕΖ.

Θα ήταν βέβαια ιδανικό αν οι ιδιότητες και η τήξη της συγκόλλησης και της Θ.Ε.Ζ. ήταν ίδιες με τις ιδιότητες του προς συγκόλληση μετάλλου βάσης. Αυτό φυσικά δεν είναι δυνατό εφ' όσον το λουτρό συγκόλλησης μοιάζει με χύτευση ενώ τα περισσότερα μέταλλα που υπόκεινται σε συγκόλληση βρίσκονται σε κατάσταση εξέλασης. Τα προϊόντα αυτά σχεδόν πάντοτε έχουν καλύτερη στατική και δυναμική αντοχή, ολκιμότητα και αντοχή σε κρούση από 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.

Εξ αιτίας λοιπόν των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται μέσα στην τήξη 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 δουλεύεται το υλικό εναπόθεσης ή τη λαβίδα συγκόλλησης.

Η τελική χημική σύνθεση του λουτρού συγκόλλησης είναι αποτέλεσμα της μίξης του ηλεκτροδίου ή του υλικού εναπόθεσης συγκόλλησης και των τηκόμενων κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, μετάλλων βάσης. Τότε λέμε ότι το μέταλλο του υλικού εναπόθεσης που έχει προσαχθεί στο λουτρό συγκόλλησης έχει αραιωθεί από το λιωμένο μέταλλο βάσης. Στην περίπτωση αυτογενούς συγκόλλησης, δηλαδή, εκεί που δεν χρησιμοποιούμε καθόλου υλικό εναπόθεσης, τότε λέμε ότι η αραιώση ανέρχεται στο 100%.

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται συνήθως με την εξέταση της διατομής της συγκόλλησης. Τέτοιου είδους απλοί υπολογισμοί είναι πολύ σημαντικοί, όταν το υλικό συγκόλλησης ή το υλικό εναπόθεσης είναι σημαντικά διαφορετικό σε χημική σύσταση από το υλικό βάσης όπως π.χ. στη συγκόλληση ανόμοιων υλικών, όπως π.χ. συγκολλήσεις αλουμινίου κ.λ.π.

Μια άλλη περίπτωση όπου είναι αναγκαίο να εξετάσουμε την αραιώση, 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.

Στο αλουμίνιο, οι επιμήκεις κόκκοι της συγκόλλησης είναι φερριτικής μορφής. Αυτός ο τύπος της δομής έχει πολύ μικρή αντοχή σε κρούση και είναι απαραίτητο ν' 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.

$$\% \text{ Αραιώση} = \frac{\text{Εμβαδόν γραμ. περιοχής}}{\text{Εμβαδόν συγκόλλησης}} \times 100$$

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 τελευταία ραφή συγκόλλησης δεν υπόκειται στην ευεργετική ανακρυστάλλωση.

## Παράγοντες που επιδρούν στο 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 το πάχος του ελάσματος, οι συνθήκες συγκόλλησης, η προθέρμανση, το μήκος συγκόλλησης. Πιο αναλυτικά:

**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.

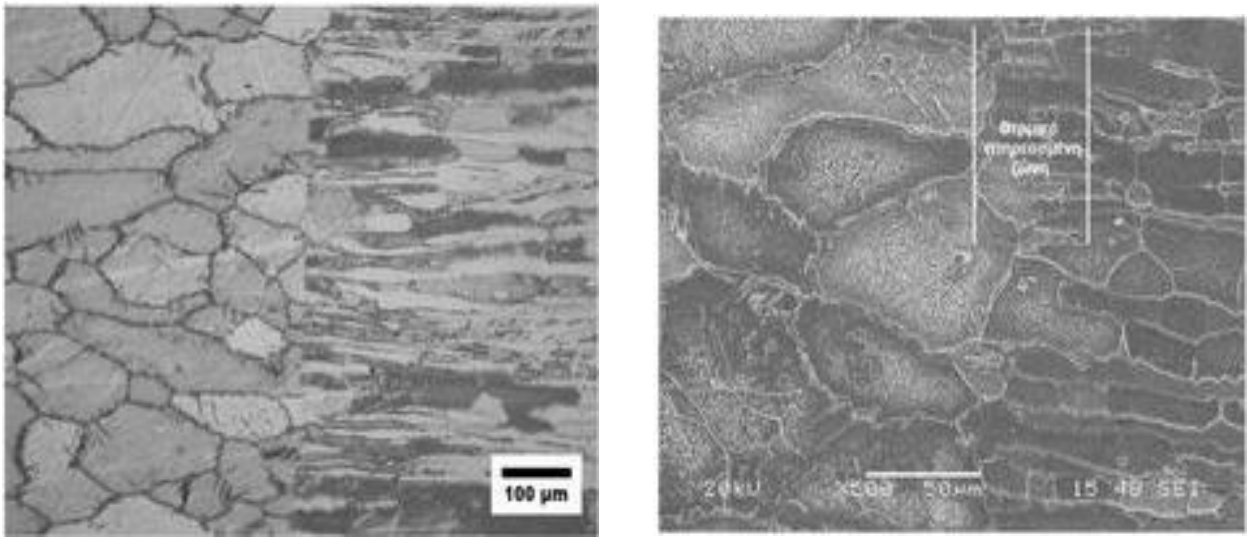
**Συνθήκες συγκόλλησης:** Η προδιδόμενη στο έλασμα θερμότητα είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος και γενικά, ο ρυθμός ψύξης μειώνεται με αύξηση του λόγου  $I/u$ , όπου  $u$  η ταχύτητα της πηγής θερμότητας.

**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.

**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.

**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.



**Εικόνα 8.2** Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη υλικού με τη μέθοδο δέσμης ηλεκτρονίων

Ο όσο το δυνατόν πιο ακριβής προσδιορισμός της θερμικής ιστορίας της Θ.Ε.Ζ, δηλαδή περιοχής ενδιάμεσα στο μέταλλο βάσης (ΜΒ) και το μέταλλο συγκόλλησης (ΜΣ), 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).

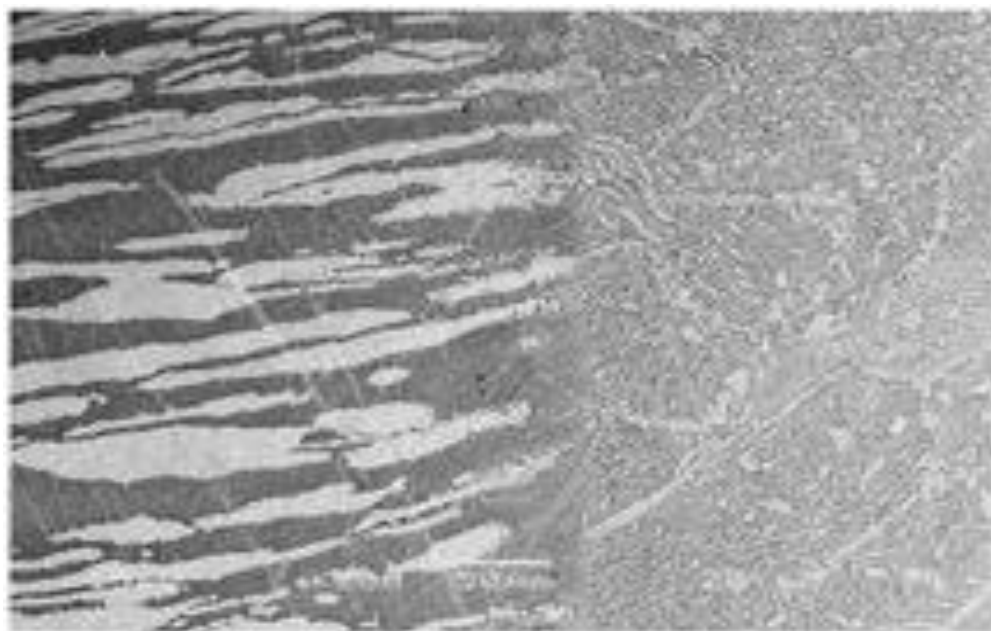
Τα παραπάνω οδήγησαν στο να υιοθετηθούν πειραματικές μετρήσεις για τον προσδιορισμό των θερμικών κύκλων της Θ.Ε.Ζ. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης είναι εκείνη με χρήση θερμοστοιχείων κατάλληλα τοποθετημένων σε προκαθορισμένες θέσεις της Θ.Ε.Ζ. Σημειώνεται, ότι για τη λήψη ικανοποιητικών 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 μέταλλου, 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 (ή διαχυσιμότητας)  $D$ :

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

Μέταλλο	Θερμ. τήξης °C	Ειδι. Θερμότητα cal/gr.°C	Θερμ. αγωγ. Cal.cm/°C.S	Πυκνότητα	Θερμ. Διαχυσ. Cm <sup>4</sup> /S
Αλουμίνιο	660	0,215	0,53	2,70	0,91
Χάλυβας	1500	0,120	0,14	7,85	0,14
Σίδηρος	1536	0,110	0,18	7,87	0,21
Νικέλιο	1453	0,105	0,22	8,90	0,24
Μόλυβδος	327	0,031	0,08	11,34	0,22
Χαλκός	1083	0,092	0,94	8,96	1,14
Κασσίτερος	232	0,054	0,15	7,30	0,38
Βολφράμιο	3410	0,033	0,40	19,30	0,63
Ψευδάργυρος	420	0,092	0,27	7,13	0,41
Άργυρος	961	0,056	1,00	10,49	1,70
Τιτάνιο	1668	0,124	0,03	4,51	0,06

**Πίνακας 8.1** Τιμές υλικών για τον συντελεστή θερμικής διάχυσης



**Εικόνα 8.3** Θερμικά επηρεαζόμενη Ζώνη υλικού μετά από επιφανειακή κατεργασία

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### Δυνατότητες αυτοματοποίησης της μεθόδου

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.

Το πρώτο σύστημα αυτόματης διαδικασίας συγκόλλησης ήταν η S.A.W (βυθισμένου τόξου) και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1951. Όλα τα συστήματα S.A.W χρησιμοποιούν υλικό εναποθέσης, μεγάλης διαμέτρου, που αρχίζει από 2 mm και φθάνει μέχρι και 6 mm, ενώ το συλλίπασμα πέφτει στο λουτρό της συγκόλλησης χύμα.

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.

Τα μέρη ενός ρομποτικού συστήματος είναι:

- Η μηχανή συγκόλλησης, (στις περισσότερες περιπτώσεις είναι και ακριβώς η ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται στις συγκολλήσεις με το χέρι.)
- Τραπέζι εργασίας και μηχανισμοί συγκράτησης
- Το ρομπότ
- Ο πίνακας έλεγχου του ρομπότ
- Περιφερειακές βοηθητικές συσκευές

Στην αυτόματη συγκόλληση με Robot, όλη η διαδικασία ελέγχεται από τον πίνακα ελέγχου (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 είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυξημένες απαιτήσεις παραγωγής. Επίσης όλος ο υπόλοιπος εξοπλισμός θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δεχθεί μέσω σειριακής επικοινωνίας όλες τις παραμέτρους συγκόλλησης από τον πίνακα ελέγχου 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 λαβίδα συγκόλλησης, η οποία μεταφέρει το ρεύμα συγκόλλησης, το υλικό εναπόθεσης, το αέριο προστασίας και το υγρό ψύξης.

Το ακροφύσιο της λαβίδας , 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 καθαρισμό. Επίσης ο σωστός σχεδιασμός του τροφοδοτικού του υλικού εναπόθεσης και η σωστή τοποθέτηση της λαβίδας εξασφαλίζει την ομαλή τροφοδοσία του υλικού εναπόθεσης και κατά συνέπεια την ομαλή λειτουργία του τόξου συγκόλλησης.

Οι περιφερειακές συσκευές συγκράτησης του αντικειμένου που συγκολλείται, 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.

Τα ρομποτικά συστήματα απαιτούν εξοικειωμένους χειριστές οι οποίοι πρέπει να είναι πολύ καλοί συγκολλητές ώστε να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται την ποιότητα μιας συγκόλλησης. Πρέπει, όμως, προηγουμένως να εκπαιδευτούν στον προγραμματισμό τέτοιων συστημάτων, δηλαδή ουσιαστικά πρόκειται για συγκολλητές-προγραμματιστές. Επίσης, είναι αδύνατο να εκτελούνται όλων των ειδών οι συγκολλήσεις με ρομπότ. Συχνά τα ρομπότ κάνουν την εργασία μέχρι ενός σημείου και αυτή ολοκληρώνεται από κάποιο τεχνίτη με τα συμβατικά συστήματα συγκόλλησης.

Σε όλα γενικά τα αυτόματα συστήματα εφαρμόζονται οι συγκολλήσεις σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου. Τα συστήματα G.M.A.W (M.I.G) είναι τα πλέον συνηθισμένα, αλλά υπάρχουν και συστήματα που βασίζονται στην G.M.A.W (T.I.G), με τη μόνη διαφορά από την κλασική T.I.G ότι η τροφοδοσία του υλικού εναπόθεσης γίνεται υπό μορφή σύρματος.

Στην εικόνα 4.5 φαίνεται ένα σύγχρονο ρομπότ. Αυτό μπορεί να εκτελέσει 6 διαφορετικές κινήσεις γύρω από άξονες και έτσι έχει 6 βαθμούς ελευθερίας. Στην περιοχή, όμως, που κινείται ένα τέτοιο ρομπότ, όταν αυτό είναι σε λειτουργία δεν επιτρέπεται να εισέλθει κάποιος, επειδή υπάρχει κίνδυνος να τραυματιστεί σοβαρά από κάποια κίνηση του ρομπότ γι' αυτό η περιοχή αυτή θα πρέπει να είναι περιφραγμένη.



**Εικόνα 9.1** Ρομποτικοί βραχίονες συγκόλλησης με 6 βαθμούς ελευθερίας.

## Ρεύμα σε αυτόματες μηχανές συγκόλλησης

Το ρεύμα στις αυτόματες μηχανές συγκόλλησης δεν είναι πάντα το ίδιο με τις ημιαυτόματες. Σε κανονικές συνθήκες η ισχύς που απαιτείται για την συγκόλληση είναι από 10V έως 35V και ρεύμα από 5 A έως 500 A. Κάθε εφαρμογή απαιτεί και διαφορετικές ρυθμίσεις.

Οι αυτόματες μηχανές απαιτούν πιο πολύπλοκα τροφοδοτικά από τις ημιαυτόματες. Το τροφοδοτικό σε μια αυτόματη μηχανή είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να παρέχει αξιόπιστα όλα τα στοιχεία που χρειάζεται για να λειτουργήσει η μηχανή.

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 ο οποίος χρησιμοποιείται στις συγκόλλησης M.I.G/M.A.G.
- Οι μηχανές σταθερού ρεύματος (constant current-CC) οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση βολφραμίου και πλάσματος.

## Λαβίδα συγκόλλησης αυτόματης μηχανής

Η λαβίδα συγκόλλησης χρησιμοποιείται σε ένα αυτόματο σύστημα συγκόλλησης για να κατευθύνει το υλικό εναπόθεσης στο τόξο, να μεταφέρει την ισχύ στο υλικό εναπόθεσης και το αέριο προστασίας. Υπάρχουν πολλοί τύποι λαβίδων, και η επιλογή εξαρτάται από τα δεδομένα της συγκόλλησης. Η λαβίδα συγκόλλησης προσαρμόζεται πάνω στον ρομποτικό βραχίονα μέσω ενός αυτόνομου συνδέσμου 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 λαβίδας μπορεί να προκαλέσει δυσκολία στην τροφοδοσία του υλικού εναπόθεσης, στην παροχή του ρεύματος για το τόξο καθώς και στην τροφοδοσία του προστατευτικού αερίου. Όλα αυτά συμβάλουν σημαντικά τόσο στην παραγωγικότητα όσο και στην ποιότητα της συγκόλλησης.

## Αυτόματο καθαριστικό ρομπότ

Το ρομπότ κατά τη διάρκεια συγκόλλησης δουλεύει ασταμάτητα. Έτσι ο φλογοκρύπτης είναι ευάλωτος σε φράξιμο από τις επικαθίσεις με αποτέλεσμα τη μη ομαλή ροή του αερίου προστασίας και κατά συνέπεια τη δυσχέρεια της συγκόλλησης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Για να αποφευχθεί αυτό τοποθετείται κοντά στο ρομπότ ένα σύστημα αυτομάτου καθαρισμού της λαβίδας(εικόνα 9.2). Έτσι το ρομπότ με μια συχνότητα την οποία καθορίζουμε από το πρόγραμμα, πηγαίνει στο καθαριστικό,

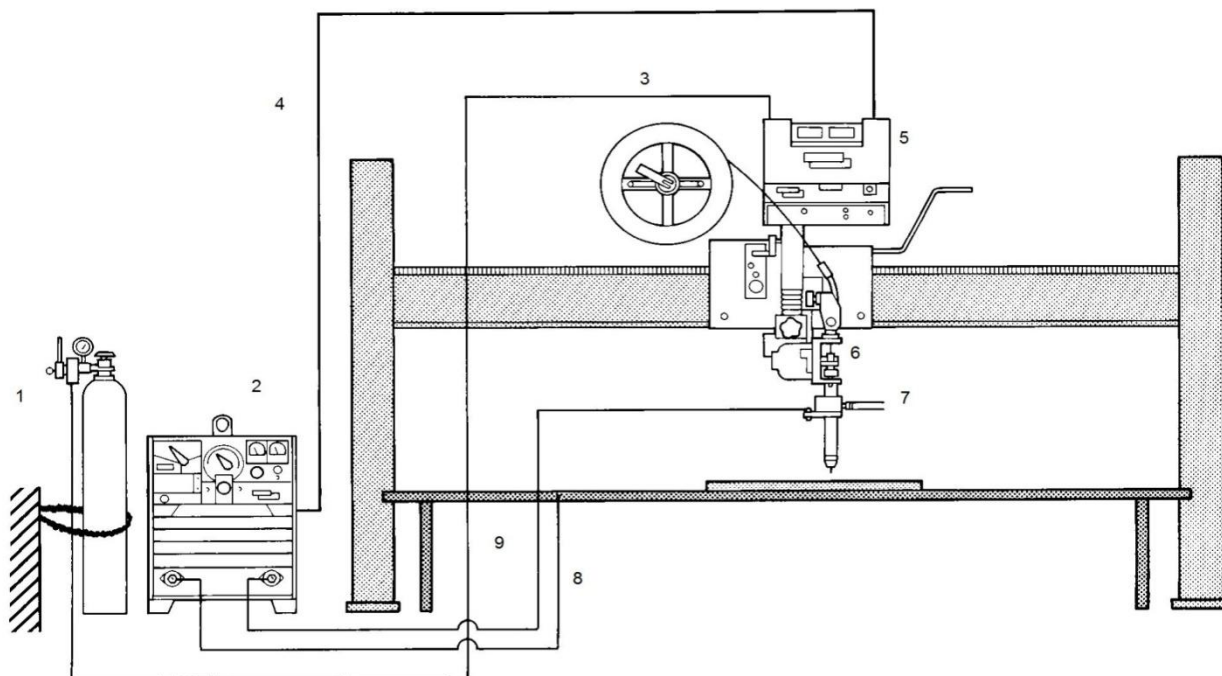


καθαρίζει τον φλογοκρύπτη και τον ψεκάζει με σπρέι. Έτσι εξασφαλίζεται η καλή συντήρηση του ακροφυσίου και η αδιάκοπη λειτουργία του μηχανήματος.



*Εικόνα 9.2* Αυτόματο καθαριστικό ρομπότ

Στην εικόνα 9.3 φαίνεται μια αυτόματη μηχανή συγκόλλησης με κίνηση μόνο στους δυο άξονες.



*Εικόνα 9.3* Αυτοματοποιημένη μέθοδος συγκόλλησης M.I.G-M.A.G

**Τα μέρη από τα οποία αποτελείται η μηχανή συγκόλλησης της εικόνας 5.6 είναι τα εξής:**

1. Φιάλη προστατευτικού αερίου
2. Μονάδα τροφοδοσίας
3. Σωλήνα τροφοδοσίας αερίου
4. Κεντρικό καλώδιο έλεγχου λειτουργιών
5. Μονάδα έλεγχου
6. Μηχανισμός τροφοδοσίας υλικού εναπόθεσης
7. Είσοδος υγρού ψύξης
8. Βασικό καλώδιο λειτουργίας I
9. Βασικό καλώδιο λειτουργίας II

Όλα τα αυτόματα μηχανήματα συγκόλλησης είτε αυτά είναι ρομπότ είτε απλά αυτόματες μηχανές συγκόλλησης διαθέτουν αισθητήρες για να μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια και να μπορούν να κάνουν τις απαραίτητες διορθωτικές κινήσεις. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να γνωρίζουν οποιαδήποτε στιγμή τι συμβαίνει κατά την επαφή με το μέταλλο. Επίσης εκτός από τους αισθητήρες "ασφαλείας" υπάρχουν και οπτικοί αισθητήρες οι οποίοι μεταφέρουν εικόνα στον χειριστή και έτσι μπορεί κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης να δώσει κάποιες εντολές στην μηχανή (ρομπότ).

**Με ένα σύστημα αυτόματης συγκόλλησης έχουμε την δυνατότητα για:**

- Μεγάλη ακρίβεια συγκόλλησης
- Επαναληψιμότητα
- Ευελιξία
- Αυτοματοποίηση της παραγωγής
- Καλύτερη ποιότητα παραγωγής
- Ποιότητα σε ειδικές συγκολλήσεις
- Αύξηση της παραγωγικότητας
- Ασφάλεια
- Οικονομία

Όλα αυτά παραπάνω συμβάλουν στην παραγωγή ποιοτικών προϊόντων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup>

### Σφάλματα ραφών

#### Ποιότητα ραφών

Οι απαιτήσεις που επιβάλλει το κοινωνικό σύνολο για αξιόπιστες κατασκευές, μαζί με την ταυτόχρονη αύξηση της πολυπλοκότητας της τεχνολογίας και την ανάγκη για την όσο το δυνατό καλύτερη χρήση των πρώτων υλών, έχουν αναγκάσει τους κατασκευαστές να δώσουν μεγάλη έμφαση στη ποιότητα των συγκολλήσεων. Παρόλα αυτά σε πολλές περιπτώσεις δεν ξεκαθαρίζεται τι σημαίνει ο όρος «ποιότητα συγκόλλησης».

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. Το αντίθετο μπορεί να αυξήσει υπερβολικά το κόστος κατασκευής. Για τον λόγο αυτό, έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια η φιλοσοφία της λεγόμενης «καταλληλότητας για την επιδιωκόμενη χρήση». Δηλαδή ο κατασκευαστής έχει τη δυνατότητα να αλλάζει το επίπεδο ποιότητας ανάμεσα σε διάφορες συγκολλήσεις, ακόμα και όταν αυτές βρίσκονται στην ίδια κατασκευή, με κριτήριο τις απαιτήσεις της υπηρεσιακής ζωής τους.

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. Συνδυάζοντας κανείς όλα αυτά τα χαρακτηριστικά

και εκτιμώντας τους πιθανούς τρόπους αστοχίας μιας συγκόλλησης, μπορεί εύκολα να καταλήξει στο συμπέρασμα του κατά πόσο η συγκόλληση αυτή είναι κατάλληλη για την επιδιωκόμενη χρήση.

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

- **A. 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 ροφών.** 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.

## Τυπικά σφαλμάτων ραφών

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

- Ανακριβές μέγεθος συγκόλλησης
- Ανακριβές προφίλ-κατατομή συγκόλλησης
- Ανακριβείς τελικές διαστάσεις
- Υπερβολική ενίσχυση της συγκόλλησης ή αλλιώς υπερβολική χρήση συγκολλητού υλικού

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

- Πόροι -Σπηλαιώσεις
- Εγκλείσματα σκουριάς
- Εγκλείσματα βολφραμίου
- Ατελής τήξη
- Ανεπαρκής διείδυση
- Υποκοπή
- Ρωγμές
- Επιφανειακές ανωμαλίες και λοιπές ανωμαλίες

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

## Ασυνέχειες γεωμετρίας και διαστάσεων

Η δημιουργία μιας αποδεκτής συγκόλλησης απαιτεί την τήρηση συγκεκριμένων μεγεθών και σχημάτων που βρίσκονται σε εναρμόνιση με τα σχέδια της συγκόλλησης. Μπορεί όμως και να υπάρξουν κάποιες ανοχές για τις διαστάσεις και τα σχήματα κάποιας συγκόλλησης βάση πάντα κάποιου κανονισμού.

## Παραμορφώσεις/Στρεβλώσεις :

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 αντίθετων τάσεων από αυτές που παραμόρφωσαν προηγουμένως την κατασκευή
1. **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.
  2. **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 εγχοπές που είναι επικίνδυνες σε διάφορες συγκεντρώσεις τάσεων και φορτίσεων. Τέτοια σφάλματα προκαλούνται λόγω εσφαλμένων διαδικασιών και τεχνικών συγκόλλησης.
  3. **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.

## Περιγραφή τυπικών ασυνεχειών συγκόλλησης

Υπάρχουν πολλοί λόγοι ασυνέχειας και σφάλματος μιας συγκόλλησης. Στους βασικότερους θα αναφερθούμε παρακάτω:

### Ρωγμές

Η ρωγμή είναι ο βασικότερος λόγος ασυνέχειας μιας συγκόλλησης και αποτελούν τη πιο επικίνδυνη μορφή σφάλματος σε συγκολλητές κατασκευές. Ορίζεται σαν μία ασυνέχεια υλικού οφειλόμενη σε θραύση και χαρακτηρίζεται από οξύ άκρο και μεγάλους λόγους μήκους και πλάτους προς το άνοιγμά της και κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να επεκταθούν με μεγάλη ταχύτητα και να προκαλέσει τη αστοχία της κόλλησης. Οι ρωγμές σε συγκολλήσεις συμβαίνουν όταν παρατηρηθεί κάποια οι και οι δυο από τις παρακάτω καταστάσεις:

1. Το υλικό είναι ψαθυρό,
2. Παρουσιάζονται στην κόλληση εφελκυστικές τάσεις υψηλής έντασης.

Οι ρωγμές που εμφανίζονται σε συγκολλητές κατασκευές μπορούν να ταξινομηθούν κατά δύο τρόπους ανάλογα με τη θέση τους, και ανάλογα με τις συνθήκες δημιουργίας τους.

Ταξινόμηση ρωγμών με κριτήριο την εμφάνιση και τη θέση:

- Εγκάρσιες Ρωγμές
- Διαμήκειες Ρωγμές.

Στη περίπτωση αυχενικών συγκολλήσεων διακρίνουμε τους ακόλουθους δύο τύπους:

- Ρωγμές Βάσης
- Ρωγμές Ρίζας
- Ρωγμές Κρατήρα

Ταξινόμηση ρωγμών με κριτήριο τις συνθήκες δημιουργίας:

- Θερμές ρωγμές
- Ψυχρές ρωγμές

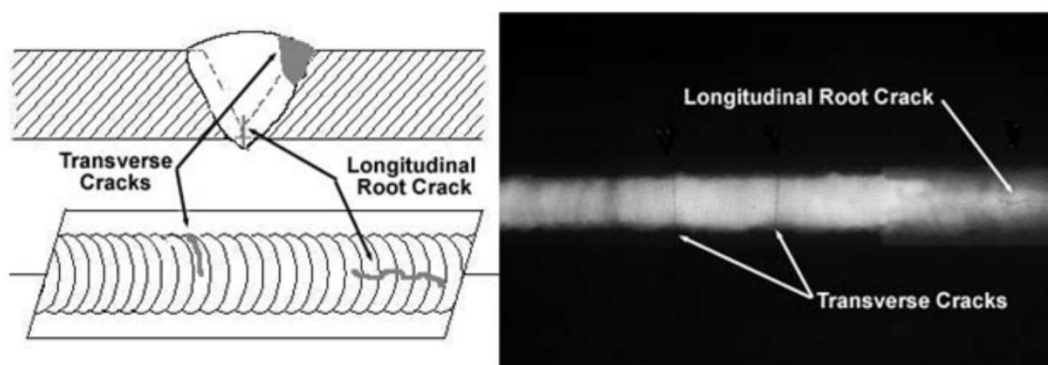
Για να αποφευχθεί η δημιουργία ρωγμών στην περίπτωση του μετάλλου συγκόλλησης, πρέπει να ακολουθηθούν οι παρακάτω διαδικασίες:

- Αλλαγή στον χειρισμό του ηλεκτροδίου ή στις συνθήκες συγκόλλησης, ώστε να βελτιωθεί η σύνθεση του υλικού απόθεσης.

- Ελάττωση της ταχύτητας συγκόλλησης έτσι ώστε να αυξηθεί το πάχος του υλικού εναπόθεσης και να δημιουργηθεί περισσότερο μέταλλο συγκόλλησης που να μπορεί να αντέξει στις αναπτυσσόμενες τάσεις.
- Χρήση προθέρμανσης, ώστε να ελαττωθούν οι θερμικές τάσεις.
- Χρήση ηλεκτροδίων μικρής περιεκτικότητας σε υδρογόνο.
- Κατάλληλη διαδικασία συγκόλλησης ώστε να ελαττωθούν οι τάσεις συστολής.
- Αποφυγή συνθηκών ταχείας απόψυξης της συγκόλλησης, ώστε να αποφευχθεί η ψαθυροποίησή της.

Στη περίπτωση των ρωγμών που εμφανίζονται στο βασικό μέταλλο, και πιο συγκεκριμένα στη θερμαινόμενη ζώνη τα κύρια αίτια είναι τα μεταλλουργικά χαρακτηριστικά του υλικού. Σε αυτή την περίπτωση για να αποφευχθεί η δημιουργία αυτών των ρωγμών πρέπει να ακολουθηθεί μια από τις παρακάτω διαδικασίες:

- Χρήση προθέρμανσης ώστε να υπάρχει έλεγχος της ταχύτητας απόψυξης.
- Ελεγχόμενη πρόσδοση θερμότητας.
- Χρήση του κατάλληλου ηλεκτροδίου.
- Σωστός έλεγχος των υλικών συγκόλλησης.



**Εικόνα 10.1** Ρωγμές συγκόλλησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι ρώμες αποτελούν το πιο σημαντικό σφάλμα σε μια συγκόλληση σε όποια μορφή από όσες αναφέρθηκαν και αν παρουσιαστούν. Από τη φύση της η ρωγμή έχει πολύ αιχμηρά άκρα τα οποία δρουν σαν σημεία υψηλής συγκέντρωσης τάσεων. Για τον λόγο αυτό, όλοι οι διεθνείς και εθνικοί κανονισμοί που διέπουν συγκολλητές κατασκευές δεν επιτρέπουν την ύπαρξη ρωγμών, ανεξαρτήτου μεγέθους, σε συγκολλήσεις. Η διόρθωση των ρωγμών οι οποίες εντοπίζονται με οποιαδήποτε μέθοδο μη καταστρεπτικού ελέγχου είναι υποχρεωτική.

Με τη σημερινή εξέλιξη της θεωρίας της θραύσης (fracture mechanics) είναι δυνατή η αξιολόγηση της σημασίας των ρωγμών σε όλους τους τύπους συγκολλήσεων. Έτσι όταν ακολουθείται η φιλοσοφία της καταλληλότητας για την επιδιωκόμενη χρήση, είναι δυνατό να επιτρέπεται η ύπαρξη ορισμένων ρωγμών δεδομένου μεγέθους, κατεύθυνσης και θέσης.



## Σπηλαιώσεις

Οι σπηλαιώσεις αποτελούν τη δεύτερη πιο μεγάλη κατηγορία των σφαλμάτων συγκόλλησης. Το πιο συνηθισμένο τέτοιο σφάλμα είναι οι πόροι που ορίζονται σαν «σπηλαιώδεις ασυνέχειες που δημιουργούνται από τη παγίδευση αερίων κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης». Οι πόροι είναι συνήθως σφαιρικοί αν και μερικές φορές μπορεί να είναι και επιμήκεις. Μπορεί να είναι:

- Επιφανειακοί τους οποίους μπορούμε να τους δούμε με γυμνό μάτι και να τους προσδιορίσουμε με οπτικές τεχνικές.
- Εσωτερικοί για τους οποίους απαιτούνται τεχνικές εσωτερικού προσδιορισμού (π.χ. ραδιογραφία).

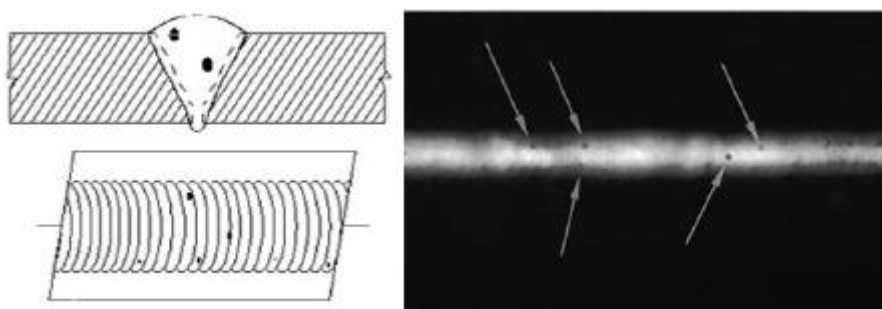
Ανάλογα με τη κατανομή και τη μορφή των πόρων, διακρίνονται οι ακόλουθες υποκατηγορίες:

**Ομοιόμορφα κατανεμημένοι πόροι** (uniformly scattered porosity), που βρίσκονται σε συγκολλήσεις μιας ή πολλαπλών στρώσεων, και που οφείλονται γενικά σε λανθασμένη διαδικασία συγκόλλησης ή σε ακατάλληλα υλικά, ή και στα δύο.

**Συγκεντρωμένοι πόροι** (cluster porosity), που οφείλονται σε λανθασμένη ένωση άναμμα ή σβήσιμο του ηλεκτρικού τόξου.

**Γραμμική κατανομή πόρων** (linear porosity), που συναντάται κατά μήκος της άκρης της συγκόλλησης, της ρίζας, ή μεταξύ διαδοχικών στρώσεων. Οφείλεται σε απελευθέρωση αερίων από ξένες ουσίες κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας.

**Σωληνοειδείς πόροι** (ripping porosity), όρος που αναφέρεται για τους επιμήκεις πόρους. Στη περίπτωση των αυχενικών συγκολλήσεων, οι πόροι αυτοί εκτείνονται συνήθως από τη ρίζα της συγκόλλησης προς την όψη της.



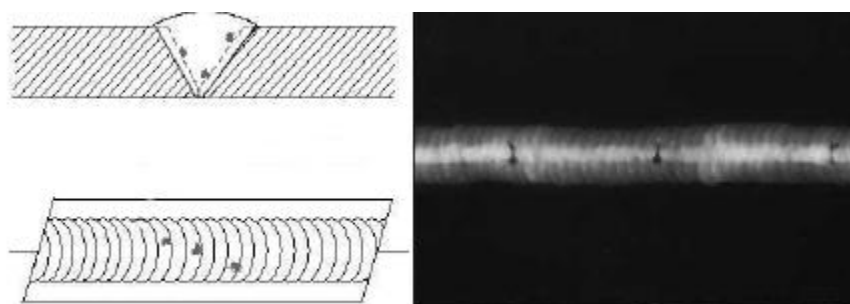
*Εικόνα 10.2 Πόροι συγκόλλησης*

Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, υπάρχουν πάντοτε διαλυμένα αέρια στο τηγμένο μέταλλο. Καθώς αυτό στερεοποιείται, οι πόροι δημιουργούνται από τα διαλυμένα αέρια που εξακολουθούν να υπάρχουν σε ποσότητες μεγαλύτερες από αυτές που τους επιτρέπει η διαλυτότητά τους στο στερεό πια μέταλλο. Οι λόγοι για τη παγίδευση των αερίων έχουν σχέση με τη μέθοδο και διαδικασία της συγκόλλησης, και μερικές φορές

με αυτή τη χημική σύσταση του μετάλλου. Η σπουδαιότητα των πόρων σαν σφάλμα συγκολλήσεων έχει ερευνηθεί σε μεγάλο βάθος τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά. Έχει αποδειχθεί ότι η ύπαρξη πόρων σε ποσοστό 2 έως 3%, ποσοστό γενικά μεγαλύτερο από αυτό που επιτρέπουν οι διάφοροι κανονισμοί, έχει ασήμαντη επίδραση στη στατική αντοχή των συγκολλήσεων. Το ίδιο ισχύει και για την ολκιμότητα αν και η επίδραση εδώ αυξάνει όσο αυξάνει η αντοχή του υλικού.

## Στερεά εγκλείσματα

Τα στερεά εγκλείσματα, εμφανίζονται κυρίως στο εσωτερικό των συγκολλήσεων και περιλαμβάνουν κάθε ξένη ουσία που παγιδεύεται στο μέταλλο συγκόλλησης όπως είναι η σκουριά και η σκόνη.



*Εικόνα 10.3 Στερεά εγκλείσματα συγκόλλησης*

Σε ορισμένα μέταλλα, και κυρίως σε αυτά που σχηματίζουν οξειδικές επιστρώσεις υψηλής θερμοκρασίας, υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας εγκλεισμάτων οξειδίου στο μέταλλο συγκόλλησης. Η περίπτωση της συγκόλλησης αλουμινίου είναι χαρακτηριστική. Το οξείδιο του αλουμινίου δημιουργείται πολύ γρήγορα στην ατμόσφαιρα και μπορεί να παγιδευτεί πολύ εύκολα στο μέταλλο της συγκόλλησης αν δεν παρθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις.

Η σκουριά που δημιουργείται σε αρκετές μεθόδους συγκόλλησης είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων, κανονικά επιπλέει στην επιφάνεια του τηγμένου μετάλλου συγκόλλησης λόγω χαμηλότερης ειδικής πυκνότητάς, καθώς και για ενεργειακούς λόγους. Υπάρχει όμως μια σειρά παραγόντων που μπορεί να εμποδίσουν την επίπλευση της σκουριάς, με αποτέλεσμα τη παγίδευσή της. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- Το υψηλό ιξώδες του μετάλλου συγκόλλησης
- Πολύ γρήγορη στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης
- Υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία
- Λανθασμένος χειρισμός του ηλεκτροδίου
- Υποκοπή σε προηγούμενες στρώσεις,
- Ακατάλληλη γεωμετρική διαμόρφωση των ακμών για συγκόλληση

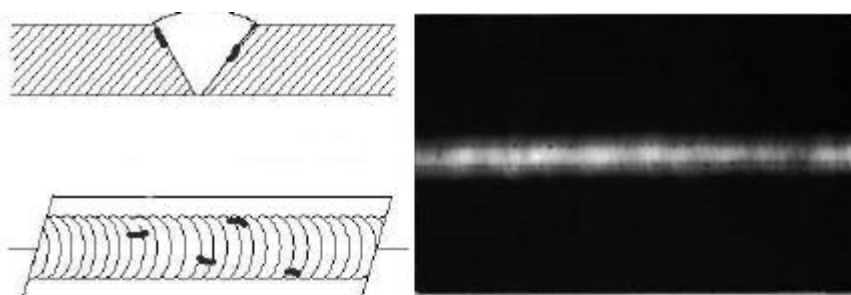
Γενικά παρατηρείται, ότι η ύπαρξη εγκλεισμάτων σκουριάς προέρχεται από λανθασμένη εφαρμογή της μεθόδου συγκόλλησης. Τα κυριότερα αυτά λάθη είναι:

- Ατελής τεχνική του χειρισμού του ηλεκτροδίου.
- Η σκουριά να τρέχει μπροστά από τη συγκόλληση, λόγω λανθασμένης τοποθέτησης του προϊόντος που συγκολλάται.
- Ατελής αφαίρεση της σκουριάς από προηγούμενα στρώματα στη περίπτωση συγκόλλησης πολλαπλών στρώσεων.
- Ακατάλληλο σχήμα ενδιάμεσης στρώσης σε συγκόλληση πολλαπλών στρώσεων.
- Παρουσία σκουριάς στο βασικό μέταλλο.
- Χρήση ηλεκτροδίων με χαλαρή επένδυση.

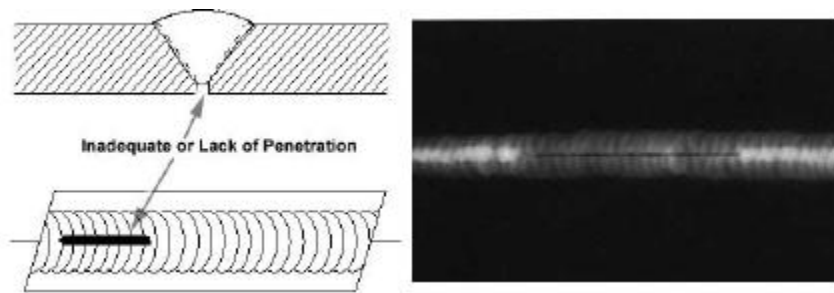
Η αποφυγή των ανωτέρω λαθών αποτελεί σημαντική εγγύηση και για την αποφυγή δημιουργίας εγκλεισμάτων σκουριάς.

## Ατελής τήξη ή διείσδυση

Η 4η κατηγορία σφαλμάτων περιλαμβάνει δύο πολύ σημαντικά και διαφορετικά σφάλματα, τα οποία δυστυχώς πολλές φορές συγχέονται μεταξύ τους. Με τον όρο ατελής τήξη (incomplete fusion) εννοείται η μη επίτευξη πλήρους τήξης του μετάλλου συγκόλλησης με το βασικό μέταλλο, ή των στρώσεων μετάλλου συγκόλλησης μεταξύ τους. Το σφάλμα αυτό μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε σημείο της συγκόλλησης. Συνεπώς, ατελής τήξη σημαίνει ότι είτε το απόθεμα συγκόλλησης δεν γέμισε τελείως όλο τον χώρο μεταξύ των διαμορφωμένων ακμών, είτε ότι υπάρχει κενό μεταξύ αποθεμάτων ή στρώσεων, ή τέλος ότι υπάρχει κενό στη ρίζα της συγκόλλησης. Από την άλλη μεριά, ατελής διείσδυση (inadequate joint penetration) σημαίνει ότι η διείσδυση που επιτεύχθηκε είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, και επομένως η συγκόλληση δεν είναι επαρκής για τη προοριζόμενη εφαρμογή. Το σφάλμα αυτό μπορεί να συμβεί μόνο στη περίπτωση που η προδιαγραφή της συγκόλλησης απαιτεί διείσδυση του μετάλλου εναπόθεσης πέραν της αρχικής διαμόρφωσης των ακμών των υπό συγκόλληση ελασμάτων. Όταν η συγκόλληση αποτύχει στο να διεισδύσει στη περιοχή της ένωσης, που για τη τήξη της απαιτεί διείσδυση, τότε η περιοχή αυτή λέγεται ότι έχει ατελή διείσδυση.



**Εικόνα 10.4** Ατελής τήξη συγκόλλησης



*Εικόνα 10.5 Ατελής διείσδυση συγκόλλησης*

Το σφάλμα της ατελούς τήξης, συμβαίνει σχεδόν πάντα, σαν αποτέλεσμα λανθασμένης εφαρμογής της διαδικασίας για δεδομένη γεωμετρία και μέθοδο συγκόλλησης. Τα σημαντικότερα από τα λάθη αυτά είναι:

- Ανεπαρκής πρόσδοση θερμότητας λόγω χαμηλής έντασης ρεύματος, ή υψηλής ταχύτητας συγκόλλησης.
- Λανθασμένη τοποθέτηση του ηλεκτροδίου.
- Τρέξιμο τηγμένου μετάλλου μπροστά από τη συγκόλληση λόγω κακής τοποθέτησης των συνδεόμενων τεμαχίων.
- Μη απομάκρυνση οξειδίων ή σκουριάς από την επιφάνεια της ραφής ή από προηγούμενες στρώσεις.
- Λανθασμένος τύπος ή μέγεθος ηλεκτροδίου.
- Ακατάλληλη διαμόρφωση ακμών.
- Ανεπαρκής προστασία με αέριο.

Στη περίπτωση της ατελούς διείσδυσης, οι σημαντικότερες πηγές προέλευσης είναι η λανθασμένη τεχνική συγκόλλησης και η γεωμετρική διαμόρφωση των ακμών. Πιο συγκεκριμένα, τα κυριότερα λάθη που οδηγούν στο σφάλμα αυτό είναι:

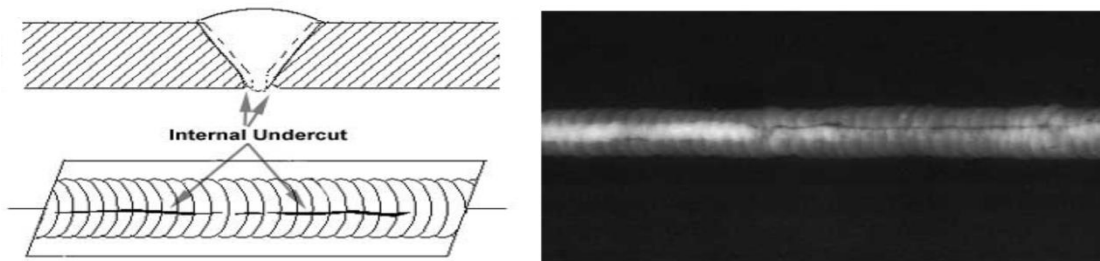
- Υπερβολικά παχιά όψη της ρίζας, ή ανεπαρκές άνοιγμα ρίζας.
- Χρήση ακατάλληλης ακολουθίας στρώσεων ή ραφών.
- Ανεπαρκής πρόσδοση θερμότητας λόγω χαμηλής έντασης ρεύματος, ή υψηλής ταχύτητας μετατόπισης ηλεκτροδίου.
- Μεγάλη διάμετρος ηλεκτροδίου.
- Υπερβολικά υψηλή αυτεπαγωγή στο ηλεκτρικό κύκλωμα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς μετάλλου με βραχυκύκλωση στη μέθοδο συγκόλλησης G.M.A.W.
- Πολλές από τις ανωτέρω αιτίες μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση μιας μεθόδου συγκόλλησης που εγγυάται μεγάλη διείσδυση.

## **Ατελές σχήμα και ανώμαλη όψη**

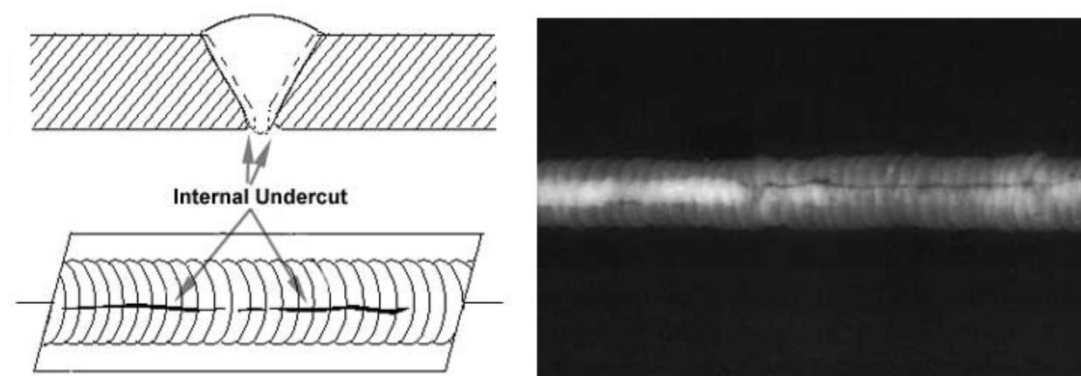
Ένας μεγάλος αριθμός σφαλμάτων συγκολλήσεων έχουν σχέση με τη γεωμετρία της ραφής. Τα κυριότερα από αυτά τα σφάλματα είναι τα εξής:

**Υποκοπή (undercut):** Είναι ένα από τα σημαντικότερα σφάλματα που παρουσιάζονται σε μια κόλληση. Συνήθως συναντάτε στη ρίζα ή στο πρόσωπο της συγκόλλησης παράλληλα προς την ένωση του μετάλλου συγκόλλησης και του βασικού μετάλλου. Προέρχεται συνήθως είτε από λανθασμένες τεχνικές συγκόλλησης, είτε από υπερβολικά υψηλή ένταση ρεύματος.

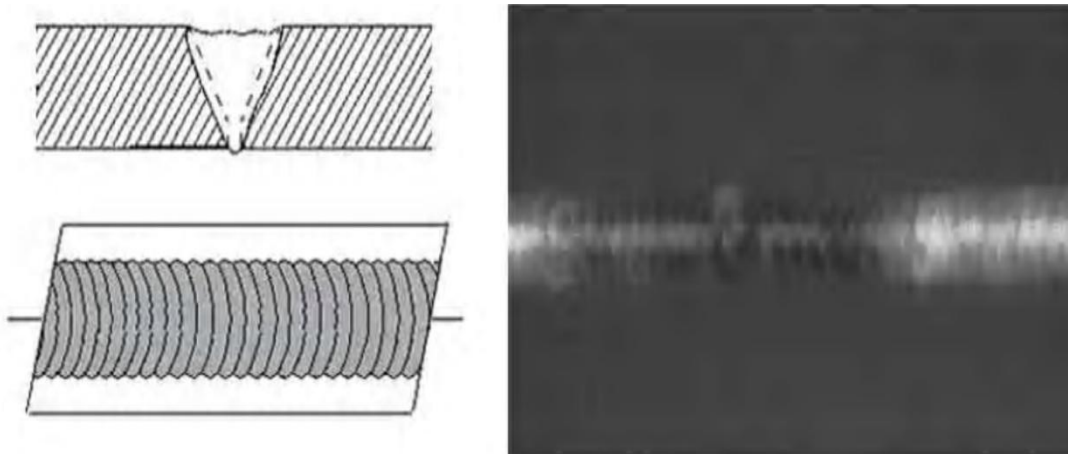
- **Υπερκάλυψη (overlap):** Συνήθως εμφανίζεται παράλληλα προς τον άξονα της συγκόλλησης. Οι βασικές αιτίες είναι λανθασμένες τεχνικές συγκόλλησης, λανθασμένη επιλογή των υλικών πλήρωσης, ή ακατάλληλη προετοιμασία του βασικού μετάλλου πριν τη συγκόλληση.
- **Ανεπαρκές γέμισμα (under fill):** Αυτό ορίζεται σαν μια εσοχή, στην όψη ή στη ρίζα της συγκόλλησης, που είναι χαμηλότερη από το επίπεδο του βασικού μετάλλου. (εικόνα 4.9-4.10). Οφείλεται στο ότι ο συγκολλητής παρέλειψε να κάνει όλες τις στρώσεις, όπως απαιτούν οι προδιαγραφές. Συνήθως το σφάλμα αυτό, διορθώνεται με τη προσθήκη μιας ή περισσότερων στρώσεων μετάλλου συγκόλλησης.
- **Υπερβολική ενίσχυση όψης (excessive reinforcement):** Είναι το αντίθετο του προηγούμενου σφάλματος δηλαδή ένα εξόγκωμα αν μπορεί να αναφερθεί έτσι το οποίο είναι ψηλότερα από το επίπεδο του βασικού μετάλλου. Τόσο αυτό όσο και τα δυο επόμενα αναφέρεται ότι προέρχονται από λανθασμένη εφαρμογή των προδιαγραφόμενων συνθηκών συγκόλλησης όπως τάση, ένταση ρεύματος, ταχύτητα συγκόλλησης, τύπος ηλεκτροδίου κλπ
- **Ανεπαρκής διάσταση ραφής (insufficient leg).**
- **Υπερβολική κυρτότητα όψης (excessive convexity) (σχήμα 4.8.3)**



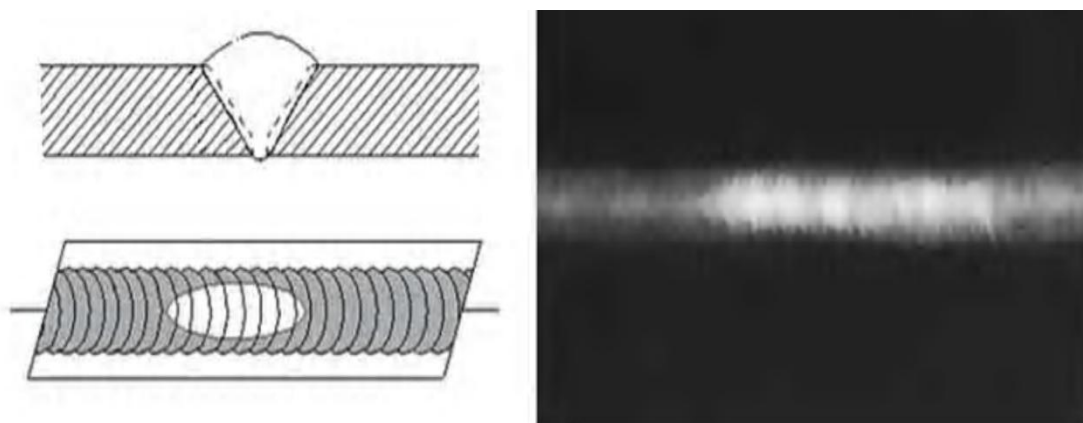
*Εικόνα 10.6 Εσωτερική υποκοπή*



*Εικόνα 10.7 Εξωτερική υποκοπή.*



**Εικόνα 10.8** Ανεπαρκές γέμισμα



**Εικόνα 10.9** Υπερβολική ενίσχυση όψης

## Διάφορα άλλα σφάλματα

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα σφάλματα που δεν ανήκουν σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Ανάματα τόξου (arc strikes), που συμβαίνουν όταν ο συγκολλητής ανάψει κατά λάθος το τόξο πάνω στο μέταλλο βάσης που γειτονεύει με το μέταλλο της συγκόλλησης με αποτέλεσμα τη προσωρινή τήξη μικρού όγκου από το μέταλλο βάσης.
- Υπερβολικές εναποθεσίες μετάλλου (πιτσιλισματα), που συμβαίνει στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου βάσης κοντά στη συγκόλληση.
- Διάφορα διασταστικά σφάλματα, όπως μη ευθυγράμμιση ελασμάτων λανθασμένη προετοιμασία ακμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11<sup>ο</sup>

### Προστασία από τις συγκολλήσεις

Όπως σε όλες τις εργασίες, πολλοί είναι οι κίνδυνοι που παρουσιάζονται και κατά τη διάρκεια της εργασίας συγκόλλησης. Κάποιοι από τους κινδύνους αυτούς είναι οι εξής:

### Ηλεκτρικό ρεύμα

Ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας υφίσταται καθ' όλη τη διαδικασία της συγκόλλησης, αλλά όχι μόνο τότε και όχι μόνο εξ αιτίας αυτής. Οι σημαντικότερες πηγές κινδύνου κατά τις εργασίες είναι:

- Το πρωτεύον και δευτερεύον κύκλωμα συγκόλλησης.
- Οι μηχανές παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος .
- Τα ηλεκτρικά ή τα ηλεκτρονικά όργανα.
- Οι μόνιμες καλωδιώσεις.
- Διάφορα ηλεκτρικά εργαλεία χειρός που μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τον συγκολλητή (π.χ. τροχοί).
- Μπαλαντέζες φωτισμού.
- Λοιπές καλωδιώσεις διαφόρων εργαλείων και μηχανημάτων.

Η ηλεκτροπληξία συμβαίνει όταν το ανθρώπινο σώμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή όταν το ανθρώπινο σώμα παρεμβάλλεται μεταξύ δύο σημείων με διαφορά δυναμικού. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι αυτό και μόνο αρκεί και δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει επαφή με τα σημεία αυτά. Για παράδειγμα αρκεί ένας άνθρωπος να πλησιάσει αρκετά κοντά σε ρευματοφόρους αγωγούς υψηλής τάσης ούτως ώστε να κεραυνοβοληθεί.

Η απόσταση την οποία μπορεί να καλύψει το ηλεκτρικό ρεύμα ανάμεσα σε δύο σημεία που δε βρίσκονται σε επαφή, δημιουργώντας ηλεκτρικό τόξο ονομάζεται κρίσιμη απόσταση. Αυτή η απόσταση μπορεί να είναι και μερικά μέτρα όταν πρόκειται για ρευματοφόρους αγωγούς υψηλής τάσης.

Τα ηλεκτρικά ατυχήματα υποδιαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Ηλεκτρικά ατυχήματα λόγω άμεσης επίδρασης του ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα.
- Ηλεκτρικά ατυχήματα λόγω υψηλής εκλυόμενης θερμικής ενέργειας από ηλεκτρικό τόξο, πρόκληση εγκαυμάτων.
- Δευτερεύοντα ατυχήματα από ασθενή συνήθως ηλεκτρικά ρεύματα που μπορούν να προκαλέσουν ακούσιες κινήσεις με αποτέλεσμα π.χ. πτώση ολίσθηση λόγω ξαφνιάσματος.

Προκύπτει ότι οι κίνδυνοι για την ασφάλεια των εργαζομένων από το ηλεκτρικό ρεύμα ποικίλουν και επομένως πρέπει να υπάρχει ειδική μέριμνα για κάθε έναν από αυτούς. Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκληθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Άμεση επαφή με ηλεκτροφόρο αγωγό, όπως:
  - Εναέριες γραμμές μεταφοράς ρεύματος μέσα σε βιομηχανικούς χώρους
  - Μονάδες μετασχηματιστών υψηλής τάσης
  - Ηλεκτρικό σύστημα που έχει απομονωθεί για επισκευή ή συντήρηση και τίθεται σε λειτουργία κατά λάθος από μη αρμόδιο άτομο
  - Πρωτεύων και δευτερεύων κύκλωμα συγκόλλησης
  - Επαφή με ρευματοφόρο καλώδιο που έχει υποστεί φθορά.

Σημαντικό ρόλο στη φθορά των αγωγών παίζουν παράγοντες όπως:

- **Υπερθέρμανση:** η ροή ρεύματος πάντα ανεβάζει τη θερμοκρασία, ακόμη και σε συμβατές θερμοκρασίες δημιουργείται σταδιακή φθορά και αποσύνθεση ορισμένων πολυμερών.
- **Υγρασία περιβάλλοντος:** η υγρασία δημιουργεί διαδρόμους για το ρεύμα και η προκαλούμενη φθορά εξαρτάται από την απορροφητικότητα και την υφή του υλικού της μόνωσης.
- **Βιολογικοί παράγοντες:** μερικά μονωτικά είναι θρεπτικά για ζώντες οργανισμούς όπως αρουραίοι, άλλα τροφικά, έντομα που τρώνε οργανικά υλικά μόνωσης κόβοντας ή αδυνατίζοντας τα.
- Επαφή με ηλεκτρική συσκευή που έχει βλάβη με αποτέλεσμα τη δημιουργία βραχυκυκλώματος.
- Εκφόρτιση στατικού ηλεκτρισμού.

## Πυρκαγιάς κατά την ηλεκτροσυγκόλληση

Σε οποιαδήποτε θερμή εργασία όπως είναι η συγκόλληση M.I.G-M.A.G ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι αρκετά μεγάλος. Κατά την εργασία του ηλεκτροσυγκολλητή παράγονται αρκετές και σημαντικές πηγές ανάφλεξης, ενώ αυτή λαμβάνει χώρα σε αρκετές περιπτώσεις κοντά ή μέσα σε χώρους που προηγουμένως είχαν χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση καυσίμων και γενικά εύφλεκτων υλών (π.χ. κύτη πλοίων). Είναι επίσης σύνηθες να γίνονται εργασίες συγκολλήσεων σε βιομηχανικούς χώρους κοντά σε δεξαμενές καυσίμων ή σε σημεία αποθήκευσης εύφλεκτων ουσιών.

Η κύρια πηγή ανάφλεξης που δημιουργείται κατά την ηλεκτροσυγκόλληση είναι το βολταϊκό τόξο. Ανάλογα με την ένταση του ρεύματος που χρησιμοποιείται η θερμοκρασία του μπορεί να είναι από 6000 έως 8000 °C,



μια θερμοκρασία αρκετά υψηλή – σημαντικά υψηλότερη από το σημείο τήξης και από το σημείο ανάφλεξης αρκετών ουσιών. Το γεγονός αυτό μπορεί να μετριάζεται από την ύπαρξη προστατευτικού αερίου, αλλά σε αμελητέο βαθμό.

Σημαντική πηγή ανάφλεξης, ίσως σημαντικότερη και από το βολταϊκό τόξο είναι τα σταγονίδια τηγμένου μετάλλου που διασκορπίζονται κατά τη συγκόλληση. Αυτά έχουν θερμοκρασία αρκετών χιλιάδων °C και μπορούν να διασκορπιστούν σε απόσταση αρκετών μέτρων. Το γεγονός αυτό κάνει τα σταγονίδια πολύ επικίνδυνη πηγή ανάφλεξης μιας και μπορεί να φτάσουν σε σημεία που δεν έχουν ληφθεί κατάλληλα μέτρα ή σε σημεία που δεν υπάρχει πρόβλεψη να ελέγχονται για την προστασία από πυρκαγιά. Επίσης είναι δυνατόν να φτάσουν σε σημεία που να μη φαίνεται με την πρώτη ματιά τυχόν ανάφλεξη.

Σπινθήρες και πυρακτωμένα σωματίδια παράγονται επίσης και κατά την εκτέλεση βοηθητικών εργασιών από τον ηλεκτροσυγκολλητή, όπως το τρόχισμα ή το ματσακόνισμα. Και εδώ τα σωματίδια αυτά μπορούν να διασκορπιστούν σε μεγάλη απόσταση και να αποτελέσουν σοβαρή πηγή κινδύνου για πυρκαγιά, όπως επίσης και σπινθήρες που μπορεί να δημιουργηθούν κατά το ματσακόνισμα.

Ο χώρος, επίσης, που γίνονται οι εργασίες ενδέχεται να έχει υπολείμματα εύφλεκτων, οξειδωτικών και άλλων επικίνδυνων ουσιών. Ιδιαίτερα σε κλειστούς και περιορισμένους χώρους το πρόβλημα γίνεται πιο έντονο, καθώς μπορεί αρκετά εύκολα να συσσωρευτούν αναθυμιάσεις των ουσιών αυτών σε επικίνδυνες συγκεντρώσεις. Εξίσου επικίνδυνη μπορεί να είναι και η υπερβολική συγκέντρωση οξυγόνου σε ένα χώρο, μιας και σε τέτοια περίπτωση διευκολύνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό η ανάφλεξη και η διάδοση της φωτιάς. Ο περιβάλλον χώρος μπορεί να περιέχει πηγές κινδύνου πυρκαγιάς. Ακόμα κι αν στο χώρο που εκτελούνται οι εργασίες έχουν απομακρυνθεί ή εξουδετερωθεί ενδεχόμενες εστίες φωτιάς, σε κάποιο γειτονικό οίκημα, αποθήκη κ.λ.π. μπορεί να υπάρχουν εύφλεκτες ύλες και γενικά επικίνδυνα σημεία τα οποία να μην έχουν ληφθεί υπ' όψιν κατά τη λήψη μέτρων προστασίας. Ένας χώρος στάθμευσης οχημάτων, μια δεξαμενή καυσίμου, χώροι αποθήκευσης χρωμάτων κ.α. υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να αποτελέσουν εστίες πυρκαγιάς, ακόμα και αν οι εργασίες γίνονται σε απόσταση, αν δε ληφθούν κατάλληλα μέτρα.

Τέλος, ένας κίνδυνος που παραγνωρίζεται είναι το ίδιο το σώμα του εργαζομένου μιας και μπορεί να κρύβει πηγές κινδύνου. Τα ρούχα του, τα παπούτσια του και γενικά όλος ο εξοπλισμός που φέρει μπορεί να είναι ακάθαρτος, να έχει λερωθεί με χρώματα, διαλυτικά και γενικά εύφλεκτες ουσίες. Σε τέτοια περίπτωση ένας σπινθήρας ή ένα εκτοξευόμενο σταγονίδιο κατά την εργασία του μπορεί να έχει ολέθρια αποτελέσματα. Για τους λόγους αυτούς θα ήταν σωστό πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε εργασία συγκόλλησης να έχει δοθεί άδεια από τον επιβλέποντα μηχανικό ο οποίος θα έχει ελέγξει πριν όλες αυτές τις προϋποθέσεις για την ασφαλή εκκίνηση της εργασίας.

## 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.

## Φιάλες αερίων υπό πίεση

Τα συμπιεσμένα αέρια σε φιάλες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία. Κατά τις συγκολλήσεις τα αέρια προστασίας αποθηκεύονται, μεταφέρονται και χρησιμοποιούνται γενικά σε φιάλες.

Από τον I.L.O συμπιεσμένα αέρια θεωρούνται αυτά που έχουν μανομετρική πίεση πάνω από 1,47 bar και υγρά με πίεση ατμών πάνω από 2,94 bar. Οι φιάλες μπορεί να περιέχουν εύφλεκτα, οξειδωτικά ή εκρηκτικά αέρια τα χαρακτηριστικά των οποίων επιδεινώνονται από το γεγονός ότι βρίσκονται σε υψηλή πίεση,

επομένως χρειάζεται ακόμα μεγαλύτερη προσοχή κατά τη χρήση τους. Οι φιάλες αυτές είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να μπορούν να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις της εργασίας για την οποία προορίζονται (υλικό κατασκευής, διαστασιολόγηση κ.α.). Παρ' όλα αυτά όμως σοβαρά ατυχήματα μπορούν να συμβούν λόγω πλημμελούς χρήσης ή διαφορετικής από αυτήν για την οποία προορίζονται.

Οι κύριοι κίνδυνοι κατά τη χρήση συμπιεσμένων αερίων σε φιάλες προκύπτουν από την υψηλή πίεση τους και από τις ιδιότητές τους (εύφλεκτα ή και τοξικά αέρια). Το πρώτο και κύριο που πρέπει να διασφαλίζεται είναι ότι τα αέρια και οι φιάλες αυτές θα χρησιμοποιούνται μόνο για το σκοπό που έχουν παραχθεί. Ο υπόλοιπος εξοπλισμός (εύκαμπτοι αγωγοί, ρυθμιστές πίεσης κλπ) πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση και να ελέγχεται τακτικά. Όπου χρειάζεται πρέπει να χρησιμοποιούνται αντεπίστροφες βαλβίδες οι οποίες να ελέγχονται τακτικά και να αποφεύγονται οι πολύπλοκες συνδέσεις.

Τέλος κατά τη χρήση τους θα πρέπει να ελέγχεται η κατεύθυνση του ρεύματος του αερίου ειδικά αν αυτό έχει μεγάλη ταχύτητα (πράγμα που στις συγκολλήσεις μπορεί να συμβεί μόνο μετά από αστοχία τις φιάλης ή του ρυθμιστή πίεσης). Σωματίδια που έχουν παρασυρθεί από το ρεύμα μπορεί να γίνουν επικίνδυνα, ενώ αν αέριο μεγάλης ταχύτητας πέσει πάνω σε ανοιχτή πληγή από την οποία μπορεί να εισέλθει στην κυκλοφορία του αίματος ή στους ιστούς έχει μεγάλη πιθανότητα να αποβεί μοιραίο.

Η σήμανση των φιαλών πρέπει να ακολουθεί τους κανόνες τις ισχύουσας πρακτικής και νομοθεσίας σε κάθε χώρα, ούτως ώστε να είναι γνωστό στο χρήστη ακριβώς ποιο αέριο περιέχει η κάθε φιάλη αλλά και διάφορα άλλα στοιχεία. Η χρήση ενός αερίου στη θέση κάποιου άλλου κατά λάθος μπορεί να προκαλέσει πολύ σοβαρά ατυχήματα. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση που σε μία φιάλη που περιείχε μια ουσία εισαχθεί μια άλλη χωρίς προηγουμένως να γίνουν οι απαραίτητες εργασίες καθαρισμού και επανακαθορισμού της σήμανσής της.

Η ουσία που περιέχεται σε μία φιάλη είναι συνήθως γνωστή από το χρώμα της φιάλης, το οποίο ακολουθεί συγκεκριμένη κωδικοποίηση. Όμως επειδή αυτό μπορεί να μην ισχύει παγκοσμίως ο ασφαλέστερος τρόπος να γνωρίζει το άτομο που πρόκειται να χρησιμοποιήσει τη φιάλη είναι τα έγγραφα που τη συνοδεύουν. Το ίδιο συμβαίνει και με τους εύκαμπτους αγωγούς, δηλαδή κατά τη συνήθη πρακτική είναι χρωματισμένοι ανάλογα με το αέριο που μεταφέρουν. Βάσει νομοθεσίας καθορίζεται επίσης και η υπόλοιπη σήμανση της φιάλης.

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία με την οποία εναρμονίζεται και η ελληνική σε κάθε φιάλη πρέπει να αναγράφονται τα εξής:

- Η χώρα στην οποία κατασκευάστηκε, το σήμα του κατασκευαστή
- Ο αριθμός παρτίδας,
- Ο κωδικός που δείχνει το ότι πέρασε από τους απαιτούμενους ελέγχους μηχανικής αντοχής και αντοχής σε διάβρωση, η αντοχή του υλικού της φιάλης σε εφελκυσμό σε N/mm
- Η πίεση δοκιμής σε bar, το βάρος της σε kg και η ελάχιστη εγγυημένη χωρητικότητα σε lt.

Οι φιάλες μπορεί κατά τη διάρκεια της χρήσης τους να εκτεθούν σε δυσχερείς συνθήκες όπως η διάβρωση, η μηχανική καταπόνηση, πυρκαγιές κλπ. Είναι επομένως απαραίτητοι οι συχνοί περιοδικοί έλεγχοι που θα

διασφαλίζουν τη δυνατότητά τους να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις χρήσης τους. Οι φιάλες ελέγχονται σε μηνιαία και ετήσια βάση και η ημερομηνία του κάθε ελέγχου αναγράφεται πάνω σε αυτές. Προσοχή επίσης πρέπει να δίνεται και κατά την απόρριψή τους ούτως ώστε να μη συμβούν ατυχήματα από τυχόν υπολείμματα αερίων.

Τα παρελκόμενα της φιάλης θα πρέπει επίσης να βρίσκονται σε καλή κατάσταση. Οι ρυθμιστές πίεσης και οι βαλβίδες εκτόνωσης είναι προφανές ότι πρέπει ανά πάσα στιγμή να μπορούν να αποτρέψουν τυχόν βίαιη εκτόνωση του αερίου που περιέχεται στη φιάλη. Όλα αυτά θα πρέπει να είναι καθαρά από λάδια ή βρωμιές, καθώς οξειδωτικά αέρια όπως το οξυγόνο μπορούν να αντιδράσουν με τις οργανικές ενώσεις και να προκαλέσουν φθορές και ατυχήματα.

Οι κίνδυνοι που προκύπτουν κατά τη χρήση και το χειρισμό φιαλών που περιέχουν αέρια υπό πίεση χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κίνδυνοι που προκύπτουν γενικά από το χειρισμό και τη μεταφορά βαριών αντικειμένων
- Κίνδυνοι που προκύπτουν από την υψηλή πίεση στην οποία είναι αποθηκευμένα τα αέρια
- Κίνδυνοι που προκύπτουν από τις ιδιότητες του κάθε αερίου (τοξικότητα, ευφλεκτότητα, χαμηλή θερμοκρασία, οξειδωτικές ιδιότητες κ.α.)

Οι φιάλες αερίων είναι βαριά αντικείμενα τα οποία χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή κατά το χειρισμό τους. Η μεταφορά τους γίνεται όλο και περισσότερο με μηχανικά μέσα και οχήματα (περονοφόρα οχήματα, φορτηγά κ.α.) γεγονός που δημιουργεί πρόσθετους κινδύνους. Θα πρέπει οι φιάλες που μεταφέρονται να ασφαρίζονται από πτώση και να φέρουν προστατευτικά καλύμματα για τις βαλβίδες κατά τη μεταφορά τους. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα φορτοεκφορτωτικά μέσα τα οποία θα βρίσκονται σε καλή κατάσταση (ιμάντες κ.α.). Κατά τη φορτοεκφόρτωση των φιαλών θα πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται κατάλληλα μεταλλικά πλαίσια, ενώ δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μαγνητικά μέσα φορτοεκφόρτωσης. Τα συνηθέστερα ατυχήματα που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά των φιαλών είναι τραυματισμοί λόγω βάρους και δυσκολίας χειρισμού τους. Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να φέρουν παπούτσια ασφαλείας και να χρησιμοποιούν αμαξίδια για τη μεταφορά μεμονωμένων φιαλών.

Όσο υψηλότερη είναι η συμπίεση ενός αερίου τόσο μεγαλύτερη είναι η αποθηκευμένη ενέργειά του. Κατά τη βίαιη εκτόνωση ή έκρηξη ενός αερίου (π.χ. λόγω αστοχίας της φιάλης) μπορούν να προκληθούν τραυματισμοί από αντικείμενα και σωματίδια που παρασύρονται από αυτό. Τραυματισμοί μπορούν επίσης να προκληθούν και από το ίδιο το αέριο. Ο κίνδυνος αυτός δεν εξαλείφεται όσο υπάρχουν αέρια υπό πίεση και αυξάνεται όταν αυξάνεται και η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αερίου.

- Προτείνονται οι παρακάτω κανόνες ασφαλείας (ILO):
- Οι φιάλες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον σκοπό για τον οποίο προορίζονται και όχι ως στοιχεία στήριξης.

- Θα πρέπει να αποθηκεύονται και να χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά η μηχανική τους αντοχή (λόγω ρωγμών, διάβρωσης κ.λ.π.).
- Πρέπει να απομακρύνονται από εστίες θερμότητας και πυρκαγιές.
- Μόνο ο απαραίτητος αριθμός φιαλών θα πρέπει να βρίσκεται στο χώρο εργασίας. Ενδείκνυται να τοποθετούνται κοντά σε εξόδους ούτως ώστε να είναι ευκολότερη η απομάκρυνσή τους, αλλά μακριά από οδούς διαφυγής και δυσπρόσιτα σημεία.
- Οι φιάλες που έχουν εκτεθεί σε πυρκαγιά πρέπει να επιστρέφονται στον κατασκευαστή για να ελέγχεται εκ νέου η αντοχή τους.
- Θα πρέπει να αποθηκεύονται σε καλά αεριζόμενους χώρους μακριά από εύφλεκτα υλικά και να προστατεύονται από τα καιρικά φαινόμενα.
- Οι φιάλες πρέπει να ασφαλίζονται έναντι πτώσης.
- Πριν από τη χρήση θα πρέπει να βεβαιώνεται το περιεχόμενο της φιάλης.
- Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι ο κατάλληλος για τη συγκεκριμένη χρήση.
- Οι συνδέσεις πρέπει να βρίσκονται σε καλή κατάσταση και να ελέγχονται τακτικά.
- Οι βαλβίδες των φιαλών πρέπει να είναι κλειστές όταν δε χρησιμοποιούνται.
- Οι φιάλες πρέπει να απομακρύνονται από κλειστούς χώρους όταν δεν εκτελούνται εργασίες ακόμα και κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων.
- Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ελέγχεται η ατμόσφαιρα του χώρου εργασίας για την πρόληψη διαρροών και για την επάρκειά της σε οξυγόνο.
- Οι άδειες φιάλες θα πρέπει να επιστρέφονται με κλειστές τις βαλβίδες και με προστατευτικά καλύμματα και με μια μικρή ποσότητα αερίου ούτως ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να εισέλθει σε αυτές ατμοσφαιρικός αέρας ή υγρασία.
- Ο κατασκευαστής θα πρέπει να ενημερώνεται για τυχόν ελαττωματικές φιάλες.
- Οι φιάλες θα πρέπει να είναι εφοδιασμένες με αντεπίστροφες βαλβίδες.

## **Κίνδυνοι από ευγενή αέρια και άζωτο (He, Ar, N<sub>2</sub>)**

Τα προστατευτικά αέρια αποτελούνται, όπως προαναφέρθηκε από αέρια ή μείγματά τους, τα οποία μπορεί να είναι είτε αδρανή (ευγενή αέρια), είτε δραστικά. Τα ευγενή αέρια δεν έχουν τοξικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό και είναι απλά ασφουξιογόνα σε υπερβολικές συγκεντρώσεις. Για αυτό το λόγο άλλωστε και δεν έχει νόημα η αναφορά οριακής τιμής έκθεσης σε αυτά. Οι επιδράσεις τους έχουν να κάνουν επομένως με τη μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου για αναπνοή στην ατμόσφαιρα του χώρου εργασίας, η συγκέντρωση του οποίου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 18% κ.ο. υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Τα συμπτώματα που μπορεί να εμφανιστούν είναι ναυτία, κόπωση, αδυναμία συγκέντρωσης, κεφαλαλγία, γενική κατάπτωση,

απώλεια αισθήσεων και τελικά θάνατο. Σε περίπτωση ατυχήματος το θύμα θα πρέπει να μεταφερθεί άμεσα σε χώρο με επάρκεια οξυγόνου και να του χορηγηθεί οξυγόνο αν έχει δυσκολία στην αναπνοή μέχρι να του δοθεί ιατρική βοήθεια.

Σε περίπτωση διαρροής ο χώρος στον οποίο έγινε θα πρέπει να εκκενώνεται και να ελέγχεται ως προς την επάρκεια οξυγόνου προτού επιτραπεί η επανείσοδος σε αυτόν, ενώ ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε περιορισμένους χώρους όπου το πρόβλημα μπορεί να γίνει αρκετά πιο έντονο.

## Υπέρυθρη ακτινοβολία (IR)

Η υπέρυθη ακτινοβολία αποτελεί το τμήμα του φάσματος της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας μεταξύ των μικροκυμάτων και του ορατού φωτός και εκπέμπεται από κάθε θερμό σώμα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του. Σε μικρές ποσότητες οι άνθρωποι εκτίθενται καθημερινά στην ακτινοβολία αυτή, κυρίως μέσω του ηλιακού φωτός. Η υπέρυθη ακτινοβολία έχει μήκη κύματος από 780nm έως και 1mm. Η σημαντικότερη πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας για έναν ηλεκτροσυγκολλητή είναι τα θερμά ελάσματα και το τηγμένο μέταλλο που δημιουργείται κατά τη συγκόλληση. Κατά τη συγκόλληση εκπέμπονται σημαντικά ποσά μιας και αναπτύσσονται θερμοκρασίες χιλιάδων °C συνιστώντας έτσι έναν επικίνδυνο παράγοντα. Η IRA ακτινοβολία επιδρά κυρίως στον αμφιβληστροειδή θερμικά λόγω της διαφάνειας των υπόλοιπων τμημάτων του ματιού σε αυτό το εύρος των συχνοτήτων. Για μεγαλύτερα μήκη κύματος, πάνω από 1μm αυξάνεται η απορροφητικότητα του φακού και της ίριδας, συνεισφέροντας στο σχηματισμό αλλοιώσεων και καταρράκτη. Ο κίνδυνος για σχηματισμό καταρράκτη υφίσταται για εκθέσεις σε ακτινοβολία στο φάσμα των IRA και IRB.

Οι ακτινοβολίες IRB και IRC απορροφούνται σημαντικά από το υδατοειδές υγρό και τον κερατοειδή, και σε μήκη κύματος μεγαλύτερα των 1,9 μm μόνο από τον κερατοειδή. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας στο μάτι λόγω συναγωγής και να προκαλεί εγκαύματα. Λόγω, όμως του υψηλού ρυθμού ανανέωσης των εξωτερικών κυττάρων του κερατοειδούς, η πιθανή βλάβη αναμένεται προσωρινή. Στην περίπτωση υπερβολικής έκθεσης σε ακτινοβολία στην περιοχή της IRC ο κερατοειδής υφίσταται εγκαύματα παρόμοια με αυτά του δέρματος. Η υπέρυθη ακτινοβολία δε διεισδύει βαθιά στο δέρμα και έτσι η υπερβολική έκθεση οδηγεί σε τοπικά μόνο συμπτώματα διαφορετικής σοβαρότητας. Τα συμπτώματα αυτά μπορεί να είναι από μια απλή αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος, κοκκίνισμα μέχρι και σοβαρά εγκαύματα. Το είδος των επιπτώσεων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται το δέρμα και από το χρόνο έκθεσης. Οι μέγιστες τιμές πάνω από τις οποίες εμφανίζονται τα συμπτώματα αυτά εξαρτώνται και αυτές από το χρόνο έκθεσης ο οποίος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν όπως και το θερμικό φορτίο που επιβαρύνει το σώμα του εργαζομένου. Σε αυτήν την περίπτωση το θερμορυθμιστικό σύστημα του οργανισμού απορυθμίζεται, προκαλώντας δυσμενείς αντιδράσεις του σώματος (εφίδρωση, κράμπες, θερμοπληξία σε σοβαρές περιπτώσεις κ.λ.π.) και γενικά κάνοντας την εργασία αφόρητη. Η οριακή τιμή για αυτόν τον επαγγελματικό κίνδυνο εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (υγρασία, θερμοκρασία, άνεμος), τις

ιδιαιτερότητες του κάθε ατόμου και το είδος της εργασίας (χειρωνακτική ή όχι). Μια έκθεση 300 W/m<sup>2</sup> μπορεί να είναι ανεκτή για εργασία χωρίς σημαντικό σωματικό έργο, ενώ για εργασία με βαρύ σωματικό έργο η αντίστοιχη τιμή είναι 140 W/m<sup>2</sup>.

Για την προστασία από την υπέρυθη ακτινοβολία ο πιο αποτελεσματικός τρόπος είναι η γενική απομόνωση της πηγής, ούτως ώστε να μην εκτίθενται στον παράγοντα αυτόν οι εργαζόμενοι. Αυτό δεν είναι εφικτό όμως για τους εργαζόμενους όσον αφορά τη συγκεκριμένη μέθοδο. Η χρήση κατάλληλου προστατευτικού εξοπλισμού είναι αναγκαία για την προστασία των ματιών και του δέρματος του εργαζομένου, όπως επίσης και ο έλεγχος των συνθηκών του περιβάλλοντος για την αποφυγή της θερμικής καταπόνησης. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται μέτρα όπως συχνά διαλείμματα και κλιματισμός. Για την προστασία των παρευρισκομένων πρέπει να τοποθετούνται ειδικά παραπετάσματα που εμποδίζουν την ακτινοβολία να διαφεύγει στους γύρω χώρους.

## Ορατή ακτινοβολία

Το ορατό φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από 400 έως 780 nm και είναι το μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Ανάλογα με το μήκος κύματος του φωτός χωρίζεται σε διάφορα χρώματα από βαθύ μπλε μέχρι κόκκινο.

Το φως αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της καθημερινότητας και της ασφάλειας του εργαζομένου. Ο επαρκής φωτισμός είναι απαραίτητος για την ασφαλή εκτέλεση κάθε εργασίας ιδιαίτερα αν αυτή απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και συγκέντρωση. Από την καταλληλότητα του φωτισμού στο χώρο εργασίας εξαρτώνται η ικανότητα των εργαζομένων να αντιλαμβάνονται το γύρω χώρο και τους ενδεχόμενους κινδύνους που υπάρχουν σε αυτόν, να παρατηρούν με ακρίβεια και άνεση τα διάφορα ερεθίσματα. Σημαντική επίδραση έχει επίσης στην ψυχική διάθεση, την απόδοση και γενικά την ανθρώπινη συμπεριφορά.

Πέρα όμως από τα επιθυμητά αποτελέσματα του φωτισμού, προκύπτουν και διάφορες αρνητικές επιπτώσεις αν η ένταση του φωτός είναι υπερβολικά μεγάλη. Αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις μπορεί να είναι θάμβωση, η οποία μπορεί να έχει και ψυχολογικά αίτια ή οπτική κόπωση γενικά. Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση φως αρκετά μεγάλης έντασης εκπέμπεται από το τόξο αποτελώντας έναν αρκετά σημαντικό επικίνδυνο παράγοντα.

Οι επιπτώσεις της ορατής ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό αφορούν τα μάτια και γενικά περιορίζονται λόγω της ακούσιας αντίδρασης του ανθρώπινου ματιού απέναντι σε έντονα οπτικά ερεθίσματα. Υπό φυσιολογικές συνθήκες αυτή η αντίδραση προστατεύει τα μάτια από βλάβες που προκύπτουν από την έκθεση σε πηγές έντονου φωτός, περιορίζοντας το χρόνο έκθεσης σε κλάσματα του. Σημαντικός παράγοντας είναι ότι η έντονη έκθεση στην ορατή ακτινοβολία προκαλεί δυσφορία στον εργαζόμενο, επομένως γενικά ο εργαζόμενος την αποφεύγει.

Πέρα όμως από κινδύνους που προκύπτουν για τα μάτια λόγω της υψηλής ενέργειας της ορατής ακτινοβολίας, υφίστανται και κίνδυνοι λόγω ακατάλληλου φωτισμού γενικά, οι οποίοι δεν προκαλούν βλάβες και τραυματισμούς μόνο στα μάτια, αλλά έχουν γενικότερες επιπτώσεις στον εργαζόμενο,

συμπεριλαμβανομένων και των ψυχολογικών. Οι βλαβες που προκαλούνται από την ορατή ακτινοβολία είναι οι εξής:

- Φωτοαμφιβληστροειδίτιδα
- Θάμβωση
- Ψυχολογική θαμβώση
- Οπτική κόπωση

## Υπεριώδης ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι μια μορφή οπτικής ακτινοβολίας με μικρότερο μήκος κύματος και μεγαλύτερη συχνότητα από το ορατό φως. Είναι μη ιοντίζουσα ακτινοβολία με μήκη κύματος από 100 έως 400 nm, υπάρχει και στο ηλιακό φως και παράγεται από αρκετές συσκευές είτε εκούσια (για χρήση της ακτινοβολίας στην ιατρική και τη βιομηχανία) είτε ακούσια (επαγγελματικός κίνδυνος π.χ. κατά τις ηλεκτροσυγκολλήσεις). Αρκετές πηγές φωτός παράγουν και υπεριώδη ακτινοβολία μαζί με το ορατό φως.

Όπως το φως αναλύεται σε χρώματα με διαφορετικά μήκη κύματος, έτσι και η υπεριώδης ακτινοβολία υποδιαιρείται σε UVA (συχνότητες από 315 έως 400 nm), UVB (συχνότητες από 280 έως 315 nm) και UVC (συχνότητες από 280 έως 100 nm).

Η υπεριώδης ακτινοβολία κατά τη συγκόλληση παράγεται από το τόξο της συγκόλλησης και αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας κατά την εργασία μαζί με το ηλιακό φως. Μικρότερη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία προέρχεται από λάμπες UV που χρησιμοποιούνται κατά το μη καταστρεπτικό έλεγχο των συγκολλήσεων σε συνδυασμό με φθορίζουσες ουσίες. Σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουμε σημαντικό κίνδυνο για τον εργαζόμενο, εκτός ίσως από κάποιες περιπτώσεις που προϋπάρχει φωτοευαισθησία στο δέρμα ή τα μάτια. Τέλος υπεριώδης ακτινοβολία εκπέμπεται και από τους λαμπτήρες αλογόνου, οι οποίοι αν δεν καλύπτονται με φίλτρα μπορεί να προκαλέσουν βλάβες. Οι λαμπτήρες φθορισμού που έχουν διαδοθεί σε μεγάλη κλίμακα εκπέμπουν αμελητέες ποσότητες UV.

Οι επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στον άνθρωπο είναι:

- Στο δέρμα: Χρόνιες επιπτώσεις, Φωτοευαισθησία
- Στα μάτια: Φωτοκερατίτιδα και επιπεφυκίτιδα, βλάβες στον αμφιβληστροειδή, Χρόνιες επιπτώσεις

Η επαγγελματική έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ελάχιστη με κύριο μέλημα την απομόνωση των πηγών της και τον περιορισμό της πρόσβασης σε αντίστοιχους χώρους. Αρκετές από τις εργασίες συγκόλλησης γίνονται σε ανοιχτούς χώρους πράγμα που σημαίνει ότι θα πρέπει να περιορίζεται και η έκθεση στο ηλιακό φως. Οι εργαζόμενοι σε ανοιχτούς χώρους πρέπει να φέρουν ρουχισμό πυκνής ύφανσης για την προστασία του σώματος και καλύμματα κεφαλής για τον προστασία του προσώπου, των ματιών και του λαιμού από την ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης θα πρέπει να διαθέτουν πρόσβαση σε σκιασμένους χώρους.



Για την προστασία από τεχνητές πηγές (τόξο συγκόλλησης, λάμπες μη καταστρεπτικού ελέγχου) θα πρέπει πέρα από τρόπους περιορισμού της ακτινοβολίας στην πηγή να χρησιμοποιούνται και μέσα ατομικής προστασίας όπως μάσκες και ειδικός ρουχισμός.

## Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι κάθε ακτινοβολία η οποία, όταν αλληλεπιδρά με την ύλη δημιουργεί ζεύγη ιόντων. Ένας ηλεκτροσυγκολλητής εκτίθεται σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες κατά τη διάρκεια του ποιοτικού ελέγχου των συγκολλήσεων. Αυτός ο παράγοντας δεν προκύπτει, λοιπόν, κατά τη διάρκεια της εργασίας του αυτής καθ' αυτής, αλλά κατά το μη καταστρεπτικό έλεγχο των συγκολλήσεων, ο οποίος αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας στην οποία είναι ενταγμένος.

Η ραδιογραφία είναι μια πολύ σημαντική μέθοδος μη καταστρεπτικού ελέγχου συγκολλήσεων. Προσφέρει πάρα πολύ καλή απεικόνιση της συγκόλλησης και των σφαλμάτων που ενδεχόμενα να έχει, όμως το κύριο μειονέκτημά της είναι οι κίνδυνοι που προκύπτουν από αυτή για την υγεία των ελεγκτών, αλλά και των υπόλοιπων εργαζομένων που παρευρίσκονται στο χώρο που διενεργείται. Οι επιπτώσεις των ιοντίζουσων ακτινοβολιών στον ανθρώπινο οργανισμό μπορεί να είναι είτε άμεσες, λόγω υψηλής έκθεσης σε μικρό χρονικό διάστημα, είτε χρόνιες, λόγω μικρότερης έκθεσης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της έκθεσης σε ακτινοβολία δε γίνονται άμεσα αντιληπτά από τον εργαζόμενο, γεγονός που δημιουργεί επιπλέον προβλήματα κατά την προστασία από τους κινδύνους αυτούς. Παρ' όλα αυτά οι κίνδυνοι μπορούν να ελαχιστοποιηθούν όταν οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες χειρίζονται σωστά και λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας.

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο των συγκολλήσεων χρησιμοποιούνται δύο τύποι ιοντίζουσων ακτινοβολιών:

- Οι ακτίνες X, οι οποίες παράγονται από ηλεκτρικές συσκευές
- Οι ακτίνες γ, οι οποίες παράγονται από ραδιενεργά υλικά.

Σε αυτό το σημείο είναι αναγκαίο να οριστούν κάποια μεγέθη σχετικά με τη φύση, την ισχύ των ιοντίζουσών ακτινοβολιών και τις επιπτώσεις τους στον άνθρωπο.

**Απορροφούμενη δόση (D):** Το πηλίκο του  $de$  διά  $dm$  όπου  $de$  είναι η μέση ενέργεια που μεταδίδεται από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες στην ύλη μέσα σε ένα στοιχείο όγκου και  $dm$  η μάζα της ύλης που περιέχεται μέσα σ' αυτό το στοιχείο όγκου.

$$D = \frac{de}{dm} \text{ Gray (Gy)}. 1\text{Gy}=1\text{J/kg}$$

**Ισοδύναμο δόσης ή ισοδύναμη δόση (H):** Η απορροφούμενη δόση ενός ιστού ή οργάνου σταθμισμένη ανάλογα με την ακτινοβολία που εξετάζεται.

$$H = D \times w \times R \text{ Sievert (Sv)} 1\text{Sv}=1\text{J/kg}$$

**Συντελεστής στάθμισης ακτινοβολίας (WR):** Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από τη φύση της ακτινοβολίας, μιας και ακτινοβολίες ίδιας ισχύος, αλλά διαφορετικής φύσης έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στους βιολογικούς ιστούς.

Η προστασία των εργαζομένων ηλεκτροσυγκολλητών έχει να κάνει με οργανωτικά μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν για οποιονδήποτε παρευρισκόμενο δεν έχει σχέση με τη διαδικασία της ραδιογράφισης.

Σε κάθε περίπτωση η δόση που λαμβάνει ένα άτομο πρέπει να είναι όσο χαμηλή είναι πρακτικά δυνατό.

Γενικά οι προστασία από την ακτινοβολία έχει να κάνει με τρεις παράγοντες ([www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org)):

- Το χρόνο έκθεσης: τρόποι μείωσης της δόσης μέσω της μείωσης του χρόνου έκθεσης στην ακτινοβολία.
- Την απόσταση από την πηγή: τρόποι μείωσης της δόσης μέσω της αύξησης της απόστασης του εργαζομένου από την πηγή της ακτινοβολίας
- Τη μειωμένη διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας σε κάποια υλικά: τρόποι μείωσης της δόσης με τη χρήση προστατευτικών μέσων (παραπετάσματα, ποδιές κ.λ.π.) ανάμεσα στην πηγή και τον εργαζόμενο.

Ο πλέον εφαρμόσιμος τρόπος προστασίας από την έκθεση στην ακτινοβολία για τις περιπτώσεις που εξετάζουμε είναι η αύξηση της απόστασης των εργαζομένων από την πηγή με τη λήψη μέτρων όπως η οριοθέτηση περιοχών και η ελεγχόμενη πρόσβαση σε αυτές. Οι περιοχές αυτές θα πρέπει να επιβλέπονται όσον αφορά την ένταση της ακτινοβολίας εντός αυτών για την προστασία από τους κινδύνους που προκύπτουν.

Η ένταση της ακτινοβολίας (η δόση στη μονάδα του χρόνου) είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή. Αυτό σημαίνει ότι αν διπλασιαστεί η απόσταση η ένταση υποτετραπλασιάζεται..

Είδος ακτινοβολίας	$W_R$
Ακτίνες X	1
Ακτίνες $\gamma$	1
Σωματίδια $\alpha$	20
Νετρόνια <10 KeV	5
Νετρόνια <10 KeV- 100 KeV	20
Νετρόνια 2-20 MeV	10
Νετρονια >20 MeV	5

**Πίνακας 11.1** Συντελεστές ακτινοβολιών

**Ενεργός δόση (E):** Το ισοδύναμο δόσης σταθμισμένο με ένα συντελεστή ανάλογα με τον ιστό που εκτίθεται.

$$E = H \times w \times T$$

**Συντελεστής στάθμισης ιστού (WT):** Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το είδος του ιστού που εξετάζεται, λόγω του ότι οι διάφοροι ιστοί του ανθρώπινου σώματος έχουν διαφορετική ευαισθησία στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

## Κίνδυνοι από αναθυμιάσεις και ατμούς μετάλλων

Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης εκτός των αερίων εκλύονται και καπνοί με σχετικά πολύπλοκη σύνθεση η οποία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Κατά κύριο λόγο σχηματίζεται από το μέταλλο του σύρματος τροφοδοσίας. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, οι οποίες φτάνουν τους 6000-8000 °C ενώ το σημείο βρασμού του χάλυβα είναι περίπου 2400 °C, ένα μέρος του μετάλλου συγκόλλησης εξατμίζεται και διαχέεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Έπειτα ψύχεται και συμπυκνώνεται σχηματίζοντας στερεά σωματίδια σφαιρικού κυρίως σχήματος, τα οποία συμμετέχουν σε αντιδράσεις μεταξύ τους και με τον ατμοσφαιρικό αέρα και μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνευστικής οδού.

Τα σωματίδια αυτά έχουν διάμετρο μικρότερη από 1μm (0,001-1μm) κατά το σχηματισμό τους, ο οποίος λαμβάνει χώρα στην περιοχή του ηλεκτρικού τόξου. Όμως με την πάροδο του χρόνου διαχέονται στο χώρο και, λόγω των συγκρούσεων μεταξύ τους, συσσωματώνονται και δημιουργούν συσσωματώματα διαμέτρου 0,5-2 μm. Σωματίδια τέτοιας διαμέτρου αποτελούν σημαντικό κίνδυνο επειδή μπορούν να εισπνευσθούν και να εισέλθουν στις κυψελίδες των πνευμόνων.

Επιπλέον μεγαλύτερα σε διάμετρο σωματίδια δημιουργούνται όταν τα σταγονίδια τήγματος από το ηλεκτρόδιο αποσπώνται από αυτό. Έτσι σε συνδυασμό με τις μεγαλύτερες σταγόνες που εκτοξεύονται (πιτσιλιές) αυξάνεται η συνολική επιφάνεια από την οποία εξατμίζεται το μέταλλο και γενικά συντελούν και αυτά στη δημιουργία καπνού. Κατά κύριο λόγο πρόκειται για οξειδία μετάλλων επειδή όταν βρεθούν εκτός της προστατευόμενης περιοχής από το αέριο προστασίας αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Στην περιοχή αναπνοής του χειριστή έχουν διάμετρο συνήθως λιγότερη από 2μm και σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι ορατά με τη μορφή καπνού, ενώ λόγω του μικρού τους βάρους και μεγέθους παραμένουν στην ατμόσφαιρα για αρκετές ώρες αν δεν υπάρχει εξαερισμός. Τα σωματίδια που είναι ορατά συνήθως είναι και βαρύτερα και επικάθονται στις επιφάνειες του χώρου εργασίας με τη μορφή σκόνης.

Η σύνθεση του καπνού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Οι παράμετροι της συγκόλλησης (ρεύμα και τάση), πολύ μικρό ρόλο παίζει το υλικό και η σύσταση του βασικού μετάλλου ενώ, κυρίαρχη επίδραση έχει το υλικό του καταναλισκόμενου ηλεκτροδίου (η σύσταση του οποίου είναι σχεδόν η ίδια με αυτή του βασικού μετάλλου), από το οποίο προέρχεται το 90% του καπνού που παράγεται κατά τη συγκόλληση.
- Ο ρυθμός σχηματισμού του καπνού, αλλά και η χημική σύνθεση σχετίζονται με τις παραμέτρους της συγκόλλησης και γενικά τη φύση της διαδικασίας. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα παραπάνω είναι:

- Η πτώση τάσης κατά μήκος του τόξου, πράγμα που σχετίζεται και με το μήκος του
- Το ρεύμα και η πολικότητα κατά τη συγκόλληση (εναλλασσόμενο ή συνεχές, ευθεία ή ανάστροφη πολικότητα),
- Η μέθοδος της συγκόλλησης: η μέθοδος SAW (Submerged Arc Welding) παρουσιάζει το μικρότερο ρυθμό σχηματισμού καπνού και ακολουθούν με αύξουσα σειρά οι μέθοδοι: G.T.A.W / T.I.G (Gas Tungsten Arc Welding/ Tungsten Inert Gas), G.M.A.W / M.I.G/M.A.G (Gas Metal Arc Welding/ Metal Inert Gas/ Metal Active Gas), S.M.A.W (Shielded Metal Arc Welding) και F.C.A.W (Flux Cored Arc Welding),
- Η ένταση του ρεύματος,
- Η γωνία μεταξύ ηλεκτροδίου και τεμαχίου συγκόλλησης,
- Η θέση της συγκόλλησης,
- Ο ρυθμός πρόσδοσης θερμότητας που είναι ανάλογος με την ισχύ του τόξου και αντιστρόφως ανάλογος με την ταχύτητα της συγκόλλησης.

Η ταχύτητα σχηματισμού του καπνού μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το μήκος του τόξου, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από τη δεξιότητα του χειριστή. Γενικά η ποσότητα του παραγόμενου καπνού αυξάνεται για μεγαλύτερη τάση και ένταση ρεύματος και μήκος τόξου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ουσίες που δεν περιέχονται απαραίτητα στο ηλεκτρόδιο μπορεί να βρεθούν στον καπνό που παράγεται κατά τη συγκόλληση. Για παράδειγμα: όταν συγκολλούνται μέταλλα που έχουν βαφή στην επιφάνειά τους, τότε ο καπνός που παράγεται μπορεί να περιέχει μεταλλικά στοιχεία από τη χρωστική ύλη, ενώ μπορεί να δημιουργηθούν άλλοι ρυπαντές, οργανικής φύσης, από το συνδετικό μέσο, όταν το ίδιο το βασικό μέταλλο περιέχει πτητικά συστατικά, όπως το βηρύλλιο στα κράματα του χαλκού όταν στην επιφάνεια του μετάλλου υπάρχουν απολυμαντικά λόγω προηγούμενων εργασιών διαμόρφωσης του ελάσματος προς συγκόλληση.

Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να ταυτοποιείται η σύσταση του επιστρώματος και να αφαιρείται από την περιοχή της συγκόλλησης. Παρ' όλο που έχουν αναπτυχθεί επιστρώματα τα οποία μπορούν να δεχτούν συγκόλληση χωρίς να αφαιρεθούν, εντούτοις θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι αυτά απλά περιορίζουν το σχηματισμό καπνού και δεν εξαλείφουν εντελώς το πρόβλημα. Ακόμα θα πρέπει τα προς συγκόλληση ελάσματα να είναι τελειώς απαλλαγμένα από απολυμαντικές ουσίες. Γενικά ο τρόπος μεταφοράς του τηγμένου μετάλλου από το ηλεκτρόδιο στο βασικό μέταλλο επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό σχηματισμού καπνού. Κατά συνέπεια η τάση και η ένταση του ρεύματος συγκόλλησης και το αέριο προστασίας παίζουν με τη σειρά τους σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία.

Οι επιπτώσεις στην υγεία κατά τη συγκόλληση είναι πολλές και μπορούν να αποβούν μοιραίες. Παρακάτω αναφέρονται ονομαστικά κάποιες από τις πιο συνηθισμένες παθήσεις που παρουσιάζονται κατά την ηλεκτροσυγκόλληση.

- Μυοσκελετικές παθήσεις
- Νεφροί
- Νευρικό σύστημα
- Δέρμα
- Αναπαραγωγικό σύστημα
- Αναπνευστικό σύστημα
  - Πυρετός από ατμούς μετάλλων
  - Ρινίτιδα
  - Βρογχίτιδα
  - Άσθμα
  - Πνευμονίτιδα
  - Πνευμοκονίαση
  - Βρογχογενές καρκίνωμα

## Μυοσκελετικές παθήσεις και συγκόλληση

Επιπλέον όλων των παραπάνω ένας ηλεκτροσυγκολλητής εκτίθεται ειδικότερα σε εργονομικούς κινδύνους που σχετίζονται άμεσα με την εργασία του. Οι κίνδυνοι που αναφέρθηκαν πιο πάνω εκφράζονται με ιδιαίτερο τρόπο στο περιβάλλον εργασίας ενός ηλεκτροσυγκολλητή και αλληλεπιδρούν διαφορετικά και με τους υπόλοιπους επικίνδυνους παράγοντες στους οποίους εκτίθεται.

Σημαντικός παράγοντας εργονομικών κινδύνων είναι τα στατικά φορτία που δέχεται ο ηλεκτροσυγκολλητής κατά τη διάρκεια της εργασίας του. Αυτά μπορεί να οφείλονται στον εξοπλισμό του, αλλά και στη στάση του σώματός του. Ο καυστήρας συγκόλλησης και η μάσκα προστασίας συνεισφέρουν σημαντικά στην καταπόνηση των μυών του ώμου, του χεριού και του αυχένα αντίστοιχα, ενώ οι μύες καταπονούνται σε μεγάλο βαθμό όταν η στάση του σώματος είναι ανορθόδοξη και επίπονη. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι ακόμα και μια φυσιολογική στάση του σώματος μπορεί να προκαλέσει καταπόνηση σε διάφορους μύες όταν αυτή διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η φύση της εργασίας του αναγκάζει τον ηλεκτροσυγκολλητή να κρατά το σώμα του ακίνητο για μεγάλο χρονικό διάστημα, γεγονός που αυξάνει το στατικό φορτίο των μυών σε ολόκληρο το σώμα.

Γενικά κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης αυτή καθ' αυτή, όταν εκτελείται σε φυσιολογική στάση, δεν απαιτείται μεγάλη μυϊκή δύναμη. Όμως ένας ηλεκτροσυγκολλητής κατά τη διάρκεια της εργασίας του εκτελεί και διάφορες άλλες εργασίες βοηθητικές ως προς αυτήν, όπως τη μεταφορά βαρέων φορτίων (μηχανές συγκόλλησης, φιάλες αερίων, έτοιμα τεμάχια κ.α.), πλανάρισμα, τρόχισμα και διάφορες άλλες. Σε αυτές τις περιπτώσεις δέχεται αρκετά επίπονα και κοπιαστικά φορτία τα οποία οδηγούν σε τραυματισμούς αντίστοιχης φύσεως όπως διαστρέμματα, χτυπήματα από μετακινούμενα φορτία, κακώσεις των μυών κ.α.

## Άνω άκρα

Ενοχλήσεις στους ηλεκτροσυγκολλητές εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στην περιοχή του ώμου και των άνω άκρων γενικά και ακολουθεί η περιοχή της μέσης, του αυχένα και τέλος των γονάτων. Οι ενοχλήσεις αυτές έχουν να κάνουν με κακώσεις και φλεγμονές των μυών και των μαλακών μορίων της κάθε περιοχής (τενοντίτιδες, κακώσεις των μεσοσπονδύλιων δίσκων κ.λ.π.).

Μια πολύ διαδεδομένη μυοσκελετική πάθηση που παρουσιάζεται είναι η τενοντίτιδα των μυών του ώμου (υπερακανθώδης, υπακανθώδης). Πρόκειται για φλεγμονή των τενόντων στην περιοχή αυτή και προκαλείται κυρίως από την έντονη κόπωσή τους, είτε λόγω παρατεταμένης εργασίας, είτε λόγω κοπιαστικής θέσης του χεριού (στο ύψος του ώμου και πάνω από αυτόν), είτε και από τους δύο παράγοντες. Σε κάθε περίπτωση σημαντικότερος είναι ο ρόλος του βάρους και του σχεδιασμού γενικά του καυστήρα συγκόλλησης, ο οποίος μαζί με τα καλώδια και τους εύκαμπτους αγωγούς που τον συνδέουν με τη μηχανή συγκόλλησης καταπονεί σε σημαντικό βαθμό τα χέρια και τους ώμους του εργαζομένου. Όπως και σε κάθε μυοσκελετική πάθηση και εδώ η επαναληψιμότητα της κάθε κίνησης σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την εμφάνιση και τη σοβαρότητα της πάθησης.

Αντίστοιχα για την περιοχή του χεριού και του καρπού παρουσιάζεται το σύνδρομο του καρπιαίου σωλήνα, το οποίο αποτελεί φλεγμονώδη αντίδραση των μυών και των τενόντων του καρπού και οφείλεται σε αντίστοιχους παράγοντες, ένας από τους οποίους είναι η χρήση μεγάλης, σχετικά, δύναμης για την ενεργοποίηση της σκανδάλης του καυστήρα συγκόλλησης. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες παθήσεις εμφανίζεται σπανιότερα στους ηλεκτροσυγκολλητές ενώ οφείλεται και σε δευτερεύουσες εργασίες που εκτελούνται, όπως το ματσακόνισμα και το τρόχισμα (κραδασιμοί από εργαλεία χειρός κ.α.).

## Αυχένιας

Συχνά οι εργαζόμενοι ηλεκτροσυγκολλητές παραπονούνται για ενοχλήσεις στην περιοχή του αυχένα. Συγκριτικά με τους υπόλοιπους εργαζόμενους γενικά, οι ηλεκτροσυγκολλητές έχουν δύο φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν κακώσεις ή παθήσεις στον αυχένα, όπως δείχνουν έρευνες στη Σουηδία.

Η αιτία για αυτό είναι το φορτίο που θέτει η μάσκα λόγω του βάρους της στον αυχένα του ηλεκτροσυγκολλητή. Βάσει ερευνών, το φορτίο αυτό αυξάνεται κατά 15% περίπου όταν το κεφάλι βρίσκεται σε κάμψη 30°. Η γωνία κλίσης του κεφαλιού ενός ηλεκτροσυγκολλητή κατά τη συγκόλληση μπορεί να κυμανθεί από 10 έως 50° με μέσο όρο τις 30°.

Σημαντικός επίσης παράγοντας πρόκλησης κακώσεων στον αυχένα, ο οποίος δρα συσσωρευτικά, είναι οι απότομη κίνηση που κάνουν συχνά οι ηλεκτροσυγκολλητές με το κεφάλι τους, ιδιαίτερα αυτοί που εργάζονται σε βιομηχανίες με υψηλές απαιτήσεις ακριβείας και αυστηρές προδιαγραφές, κάνουν μια χαρακτηριστική κίνηση για να κατεβάσουν τη μάσκα (όταν αυτή είναι σταθερής σκίασης) προτού ξεκινήσουν τη συγκόλληση. Σε περιπτώσεις που οι απαιτήσεις είναι αρκετά μεγάλες ο ηλεκτροσυγκολλητής αναγκάζεται να χρησιμοποιεί και τα δύο του χέρια κατά την εργασία του και για αυτόν το λόγο ακολουθεί αυτήν την

πρακτική που του το επιτρέπει αυτό. Σε άλλες περιπτώσεις η εξοικονόμηση χρόνου και η ανάγκη να προσαρμοστούν στους ρυθμούς της γραμμής παραγωγής οδηγεί σε τέτοιες λανθασμένες πρακτικές.

## Κατάλληλος εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται από τον εργαζόμενο πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένος ούτως ώστε να εξαλείφει ή να περιορίζει τους εργονομικούς κινδύνους που προκύπτουν από τη χρήση του. Ο εξοπλισμός πρέπει να απαιτεί την ελάχιστη δυνατή δύναμη για τη χρήση του και τη μεταφορά του. Επομένως πρέπει να είναι όσον το δυνατό ελαφρύτερος και να μην αναγκάζει τον εργαζόμενο να παίρνει άβολες στάσεις εργασίας ή θέσεις των άνω και κάτω άκρων.

## Λαβίδα συγκόλλησης

Ο καυστήρας συγκόλλησης (λαβίδα) αποτελεί το εργαλείο που χρησιμοποιεί ο ηλεκτροσυγκολλητής κατά το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας του και είναι προφανές ότι τα όποια προβλήματα προκύπτουν στα χέρια του προκύπτουν κυρίως από αυτόν.

Έτσι ένας καυστήρας συγκόλλησης πρέπει:

- Να είναι ελαφρύς.

Ένας ελαφρύς καυστήρας απαιτεί λιγότερη δύναμη από τον εργαζόμενο για να το χειριστεί και γενικά είναι το πρώτο βήμα για τον περιορισμό της κόπωσης των μυών των άνω άκρων και κατά συνέπεια των παθήσεων και των τραυματισμών στην περιοχή αυτή του σώματος.

- Να απαιτεί μικρή δύναμη για την ενεργοποίησή του.

Όσο μικρότερη δύναμη ασκείται στη σκανδάλη τόσο περισσότερο άνετα γίνεται ο χειρισμός του καυστήρα και προλαμβάνεται το σύνδρομο του καρπιαίου σωλήνα.

- Να απαιτεί μικρή ροπή για την περιστροφή του.

Το παραπάνω μέγεθος αποτελεί ένδειξη του πόσο εύκολα και ξεκούραστα μπορεί ένας εργαζόμενος να χειριστεί τον καυστήρα. Σε αυτό σημαντικό ρόλο παίζουν και οι σωληνώσεις που συνδέονται με τον καυστήρα. Η σύνδεση του καυστήρα με τους εύκαμπτους αγωγούς με τρόπο ώστε αυτοί να μη χρειάζεται να περιστρέφονται μαζί του αποτελεί σημαντική βελτίωση, όπως επίσης και η χρήση αρκετά εύκαμπτων αγωγών.

- Να διαθέτει εργονομικά σχεδιασμένη λαβή

Τα χαρακτηριστικά της λαβής που επηρεάζουν το σχεδιασμό της είναι η διάμετρος της, το σχήμα της και το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένη. Η διάμετρος της πρέπει να είναι από 9 έως 16 εκατοστά και να είναι κατασκευασμένη από μαλακό υλικό με μεγάλο συντελεστή τριβής, ούτως ώστε να χρειάζεται όσο το δυνατό μικρότερη δύναμη για να κρατηθεί και να είναι άνετη. Το σχήμα της διατομής της επίσης πρέπει να ανταποκρίνεται στην ανατομία του ανθρώπινου χεριού. Αν η λαβή είναι ορθογωνικής διατομής, τότε στις γωνίες ασκείται μεγάλη πίεση στην παλάμη του εργαζομένου, ενώ αν είναι κυκλικής διατομής, τότε χρειάζεται μεγάλη δύναμη για να κρατηθεί.

## Μάσκα συγκόλλησης

Ο ηλεκτροσυγκολλητής φορά τη μάσκα του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας του και είναι το κομμάτι εκείνο του εξοπλισμού που επιδρά στο σώμα του το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το βάρος της σχετίζεται άμεσα με το στατικό φορτίο που παραλαμβάνουν οι μύες του εργαζομένου είτε αυτή είναι χειρός είτε κεφαλής. Πρέπει, λοιπόν, να προτιμώνται μάσκες μικρού βάρους. Σε περιπτώσεις που η ηλεκτροσυγκόλληση είναι η κύρια εργασία πρέπει να χρησιμοποιούνται μάσκες κεφαλής μιας και η χρήση μάσκας χειρός επιβαρύνει σημαντικά τα άνω άκρα.

Όσον αφορά τις μάσκες κεφαλής, ένας καλός τρόπος για να αποφεύγεται η πρακτική κατεβάρσματος που αναφέρθηκε παραπάνω είναι η χρήση φίλτρων αυτόματης σκίασης, που έχει και άλλα θετικά αποτελέσματα.

## Λοιπά εργαλεία χειρός

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένας ηλεκτροσυγκολλητής χρησιμοποιεί και μια σειρά από διάφορα άλλα εργαλεία χειρός για την εκτέλεση βοηθητικών εργασιών κατά τη διάρκεια της εργασίας του. Σύμφωνα με τον Αμερικάνικο Οργανισμό για την Επαγγελματική Ασφάλεια και Υγιεινή το καλύτερο από εργονομική άποψη εργαλείο είναι αυτό που:

- Ταιριάζει στη συγκεκριμένη εργασία
- Ταιριάζει στο διαθέσιμο εργασιακό χώρο
- Μειώνει τη δύναμη που χρειάζεται να ασκηθεί
- Ταιριάζει στο χέρι του εργαζομένου
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια άνετη στάση εργασίας (π.χ. να αναρτηθεί από το ταβάνι)

Ορισμένες αρχές που πρέπει να ισχύουν κατά την επιλογή εργαλείων χειρός είναι οι εξής:

- Τα εργαλεία πρέπει να έχουν μεγάλες λαβές ώστε να ταιριάζουν σε ολόκληρο το χέρι και με αυτόν τον τρόπο να μειώνεται η πίεση στις αρθρώσεις και την παλάμη του χεριού.
- Οι λαβές των εργαλείων πρέπει να είναι επενδεδυμένες με μαλακό πλαστικό για να προφυλάσσουν από το ηλεκτρικό ρεύμα, να είναι άνετες και να μη γλιστρούν.
- Πρέπει να επιλέγονται εργαλεία μικρού και ομοιόμορφα κατανεμημένου βάρους.
- Τα εργαλεία δεν πρέπει να αναγκάζουν τον καρπό να είναι σε κάμψη και γενικά επίπονη στάση.
- Θα πρέπει να είναι κατάλληλα και για δεξιόχειρες και για αριστερόχειρες.

## Θέση εργασίας

Σε αρκετές περιπτώσεις ένας ηλεκτροσυγκολλητής δεν έχει συγκεκριμένη θέση εργασίας, εκτός και αν πρόκειται για τη συγκόλληση μικρών κομματιών ή τη συμμετοχή σε γραμμή παραγωγής. Ειδικά κατά τις ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες η θέση εργασίας μπορεί να αλλάξει αρκετές φορές σε μια μέρα. Πρέπει



όμως να ακολουθούνται κάποιοι βασικοί κανόνες κατά την εργασία και κατά το σχεδιασμό μιας θέσης εργασίας όπου αυτό είναι δυνατό, όπως:

- Να υπάρχει επαρκής χώρος για τον πιο ψηλό εργαζόμενο.
- Τα αντικείμενα της εργασίας πρέπει να βρίσκονται κοντά στον εργαζόμενο, ώστε να αποφεύγετε το τέντωμα προς τα πάνω ή προς τα έξω και το σκύψιμο.
- Το ύψος της επιφάνειας εργασίας πρέπει να είναι τέτοιο έτσι ώστε η εκτέλεση των περισσότερων εργασιών να γίνεται στο ύψος του αγκώνα ή λίγο πιο κάτω απ' αυτό.
- Βεβαιωθείτε ότι αντικείμενα που πρέπει να σηκωθούν βρίσκονται στο ύψος μεταξύ χεριού και ώμου.
- Αν η εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε περιορισμένο χώρο, τότε να εκτελείται σε καθιστή θέση.
- Το ύψος του καθίσματος πρέπει να είναι προσαρμοσμένο σύμφωνα με το ύψος των κάτω άκρων και το ύψος της επιφάνειας εργασίας.
- Να υπάρχει αρκετός χώρος ώστε τα κάτω άκρα να μπορούν να τεντώνονται εντελώς.
- Να υπάρχει προσαρμοζόμενο υποπόδιο έτσι ώστε τα κάτω άκρα να μην αιωρούνται και ο εργαζόμενος να μπορεί ν' αλλάζει στάση.
- Να μπορεί ο εργαζόμενος να έχει πρόσβαση σε όλη την επιφάνεια εργασίας χωρίς να τεντώνεται ή να στρίβει.
- Να διασφαλίζεται ότι ο εργαζόμενος δεν είναι καθιστός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με επαρκή διαλείμματα και ποικιλία καθηκόντων.
- Να αποφεύγεται η εργασία σε όρθια θέση
- Να μπορεί ο εργαζόμενος να καθίσει ανά τακτά χρονικά διαστήματα και να αλλάζει στάση.
- Ο εργαζόμενος να στέκεται σε καθαρό, επίπεδο πάτωμα και να μη γλιστρά.
- Να υπάρχει αρκετός χώρος για τα γόνατα.
- Γενικά ο εργαζόμενος να έχει τη δυνατότητα να αλλάζει στάση εργασίας τακτικά.

Ακόμα, λοιπόν, και αν η θέση εργασίας ενός εργαζομένου δεν είναι συγκεκριμένη οι παραπάνω κανόνες θα πρέπει να τηρούνται όπου αυτό είναι δυνατόν.

## **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



*Εικόνα 11.1 Ηλεκτρονική μάσκα συγκόλλησης*



*Εικόνα 11.2 Μάσκα συγκόλλησης χειρός*



*Εικόνα 11.3 Γυαλιά προστασίας*



*Εικόνα 11.4* Γάντια προστασίας



*Εικόνα 11.5* Ρουχισμός προστασίας συγκολλητή



*Εικόνα 11.6* Παπούτσια προστασίας



*Εικόνα 11.7 Γκέτες προστασίας*



*Εικόνα 11.8 Μάσκες κεφαλής με ενσωματωμένο σύστημα αναπνοής*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12<sup>ο</sup>

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Σημειώσεις Μηχανολογικού εργαστηρίου Ι Τμήματος Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι Ηρακλείου του καθηγητή Κ.Αεράκη Ζαχαρία
2. Γεωργίου Δ. Παπαδημητρίου, Εισαγωγή στη Μεταλλουργία, την Τεχνολογία και τον Έλεγχο των Συγκολλήσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996
3. Β. Ι. Παπάζογλου και Γ. Δ. Παπαδημητρίου, Επιστήμη και Τεχνική των Συγκολλήσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1994
4. Δ. Ι. Παντελής και Γ. Χρυσουλάκης, Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2005
5. American Welding Society (AWS), *AWS Handbooks, Section 5, 6th Edition*, AWS 1973
6. Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών <http://www.didaktorika.gr/eadd/>
7. Διπλωματική εργασία Καίρης Σταύρος: Η Εφαρμογή της ραδιογραφίας για τον μη καταστροφικό έλεγχο συγκολλητών
8. Πτυχιακή εργασία Γκουζιώτη Αρετή: Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου και καταγραφή μεθόδων κατεργασίας για παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων με πλαστική παραμόρφωση
9. Εισαγωγή στις συγκολλήσεις Χαϊδεϊμενοπουλος Γρηγόρης Ν.
10. Βιομηχανικά κράματα Λεκάτου Αγγελική
11. Aluminum & Aluminum Alloys, Specialty Handbook, 1993
12. Sindo Kou, *Welding Metallurgy (Second Edition)*, John Wiley and Sons Publication, 2003
13. Αθάν. Γ. Μάμαλη, «Κατεργασίες των Υλικών», Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 1991
14. Α. Α. Σεραφετινίδης, «Εισαγωγή στην οπτικοηλεκτρονική» (Οργανισμός Εκδόσεως (διδασκτικών Βιβλίων, Αθήνα 1985
15. Εμμανουήλ Π. Γεωργίου, «(Διαμόρφωση και Τεχνολογικές Ιδιότητες του Κράματος Αλουμινίου 5083» (Διδακτορική διατριβή (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, Αθήνα 2009)

## Πειρατικό μέρος

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13<sup>ο</sup>

#### Προετοιμασία της συγκόλλησης

Για το πειραματικό μέρος της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δυο τεμάχια καθαρού αλουμινίου με διαστάσεις 10mmX60mmX160mm



*Εικόνα 13.1 Δοκίμιο αλουμινίου*

Τα τεμάχια αυτά προετοιμάστηκαν και μορφοποιήθηκαν ώστε στο ένα τους άκρο από τη μεγάλη τους πλευρά να δημιουργήσουμε μια λοξοτομή τύπου V γωνίας  $\phi$  60° με πάχος δοκίμιου 3mm, με σκοπό στο κενό που θα δημιουργηθεί μεταξύ των δυο δοκιμίων να προσθέσουμε υλικό εναπόθεσης. Χαράξαμε το δοκίμιο στα 3mm και στη συνέχεια το τοποθετήσαμε στη φρέζα με κλίση 60° και κατεργαστήκαμε τα δοκίμια μας. Οι κατεργασίες αυτές έγιναν με χρήση της φρέζας του μηχανολογικού εργαστηρίου Ernaut – Somua.



*Εικόνα 13.2 Φρέζα*



*Εικόνα 13.3 Χάραξη δοκιμίου στα 3mm*

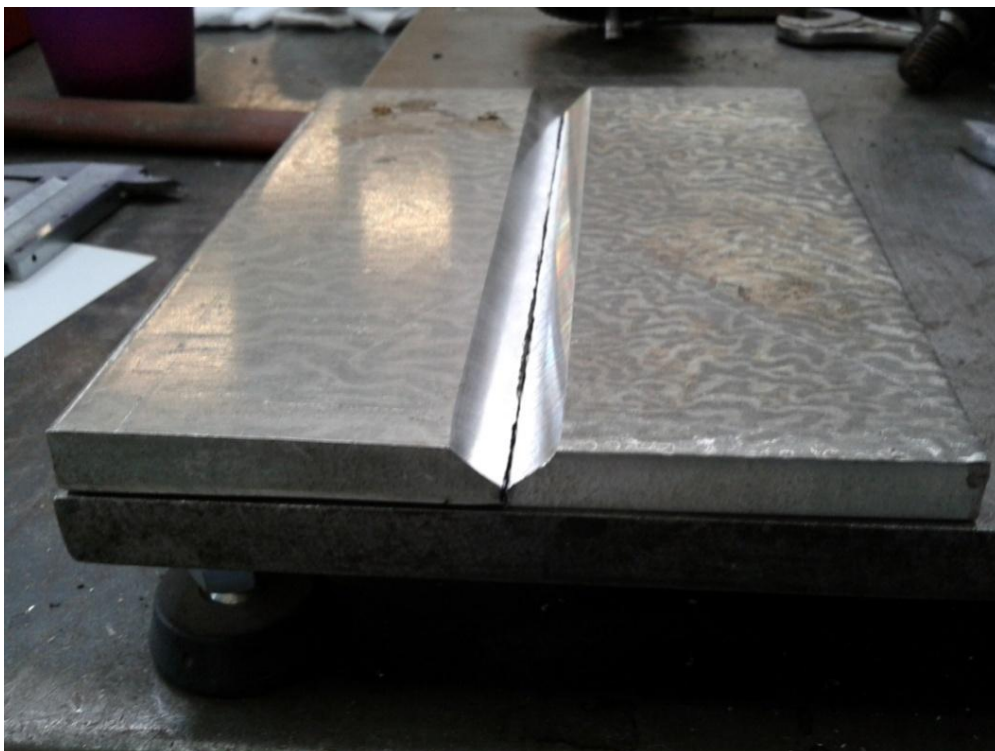




*Εικόνα 13.4 Δοκίμιο δεμένο σε μέγενη 45°*



*Εικόνα 13.5 Κατεργασία φρεζαρίσματος λοξοτομής*



*Εικόνα 13.6 Προφίλ ένωσης δοκιμίων*

## **Εκτέλεση της συγκόλλησης**

Ακολούθως τα τεμάχια αυτά συγκολλήθηκαν με χρήση μηχανής σύρματος μεθόδου M.I.G δηλαδή χρησιμοποιήθηκε αδρανές αέριο υψηλής καθαρότητας με την επωνυμία Arcal I. 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). Αφού πραγματοποιήσαμε αρκετές δοκιμαστικές αποθέσεις υλικού σε άλλο έλασμα αλουμινίου καταλήξαμε στις παρακάτω παραμέτρους συγκόλλησης.

### **Συγκεκριμένα:**

**A:** Επιλέξαμε από τον πίνακα τάσεων του κατασκευαστή στη μηχανή σύρματος θέση κύριου διακόπτη 1 15-28 V και θέσεις δευτερευόντων διακοπών 4/4 (23.7-27.0V) Είναι τιμές βραχυκυκλωμένου τόξου τις μηχανής. Για το λόγο ότι το μέταλλο βάσης (αλουμίνιο) έχει συντελεστή υψηλής θερμοαγωγιμότητας επιλέχθηκαν αυτές οι τιμές τάσεων οι οποίες είναι σχετικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες για ιδίου πάχους τεμαχίων άλλου υλικού.

Κεντρικός διακόπτης	Μεγάλο φάσμα έλεγχου	Μικρό φάσμα έλεγχου	Τάση ανοιχτού κυκλώματος
15 - 28 V	1 / 4	1 / 4 - 4 / 4	15,9 - 17,3 V
15 - 28 V	2 / 4	1 / 4 - 4 / 4	17,9 - 19,7 V
15 - 28 V	3 / 4	1 / 4 - 4 / 4	20,4 - 22,8 V
15 - 28 V	4 / 4	1 / 4 - 4 / 4	23,7 - 27,0 V
28 - 48 V	1 / 4	1 / 4 - 4 / 4	28,2 - 30,7 V

**Β.** Επιλέξαμε ταχύτητα κίνησης του υλικού εναπόθεσης  $V_d$  που αντιστοιχεί στη θέση 12 του ποτενσιόμετρου της μηχανής και το υλικό εναπόθεσης με διάμετρο 1.2mm.

**Γ.** Ακολούθησε η ρύθμιση της παροχής του αερίου προστασίας Arcal I της μηχανής .(Υψηλής καθαρότητας αργό 99%) στα 15M/m από το παροχόμετρο της φιάλης αερίου

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 2mm από το μέταλλο βάσης καταφέραμε να πετύχουμε μια ομοιόμορφη και συμπαγής ραφή εύρους περίπου 2cm , χωρίς πιτσιλίσματα και από τις δυο πλευρές των τεμαχίων μας.



**Εικόνα 13.7** Δοκίμιο κατά τη διάρκεια ρύθμισης παραμέτρων της μηχανής



*Εικόνα 13.8 Συγκολλημένα δοκίμια*



*Εικόνα 13.9 Συγκολλημένα δοκίμια*

Το ενιαίο σύνολο που πρόεκυψε μετά τη συγκόλληση με πολύ μικρές παραμορφώσεις τοποθετήθηκε στη φρέζα του εργαστηρίου Ernaut – 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

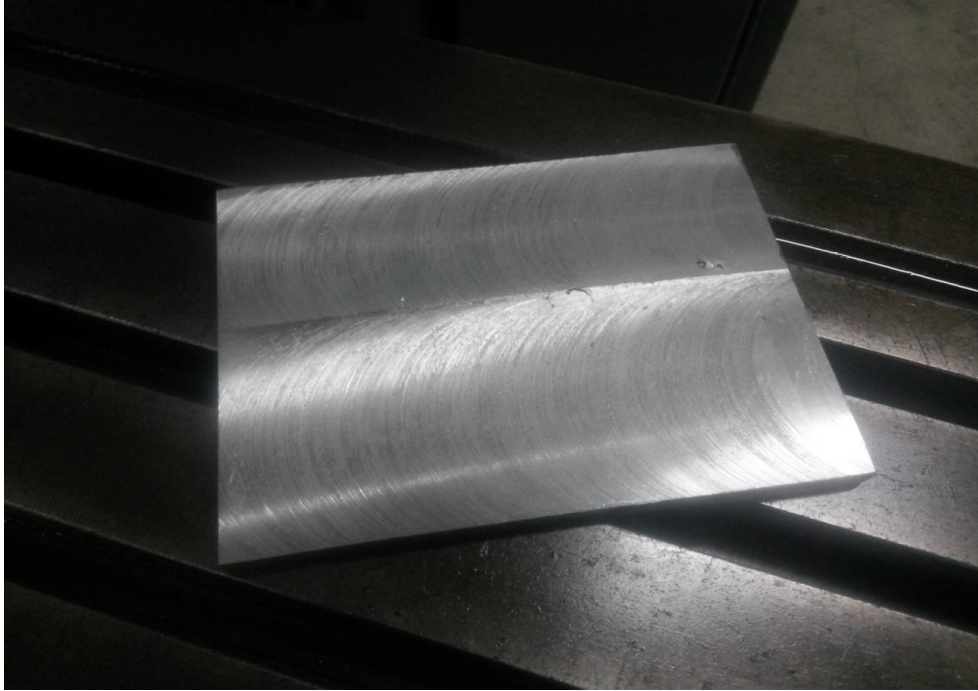
και ακολούθως από τις παράπλευρες. Με σχετικές διαστάσεις όμως εις τρόπον ώστε όλες οι προκύπτουσες επιφάνειες να καταστούν λείες καθόλη την έκτασή τους και με σχετικά μικρό βαθμό τραχύτητας.



*Εικόνα 13.10 Διαδικασία φρεζαρίσματος κάθετης πλευράς δοκιμίου*



*Εικόνα 13.11 Διαδικασία φρεζαρίσματος οριζόντιας πλευράς δοκιμίου*

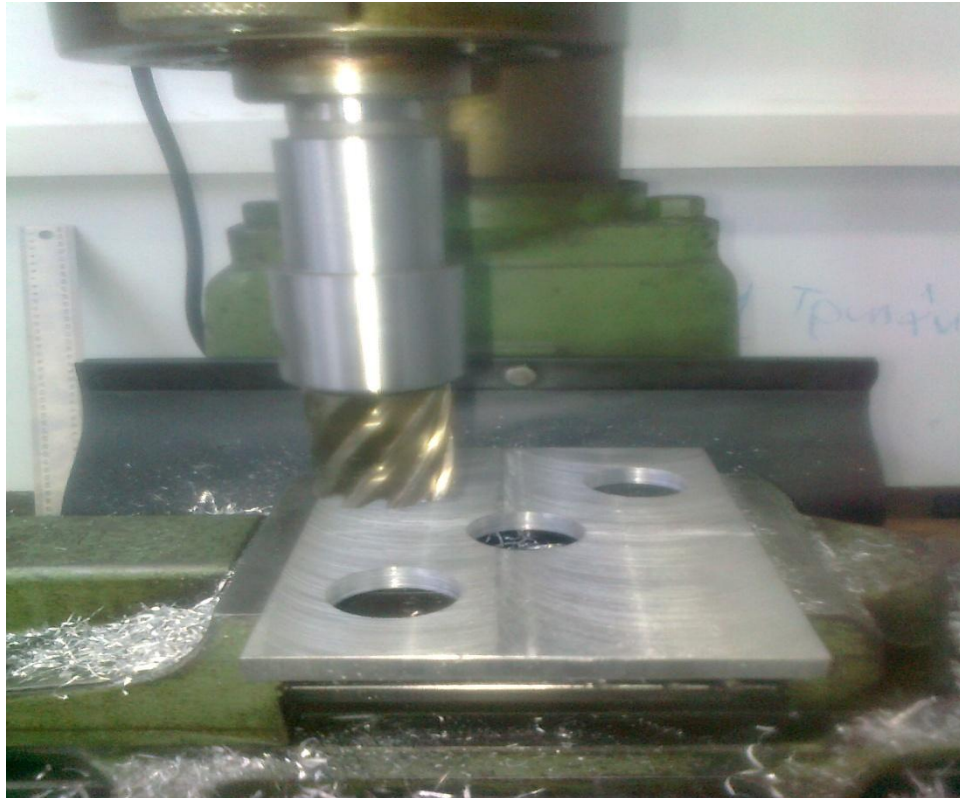


*Εικόνα 13.12 Τελική μορφή δοκιμίου*

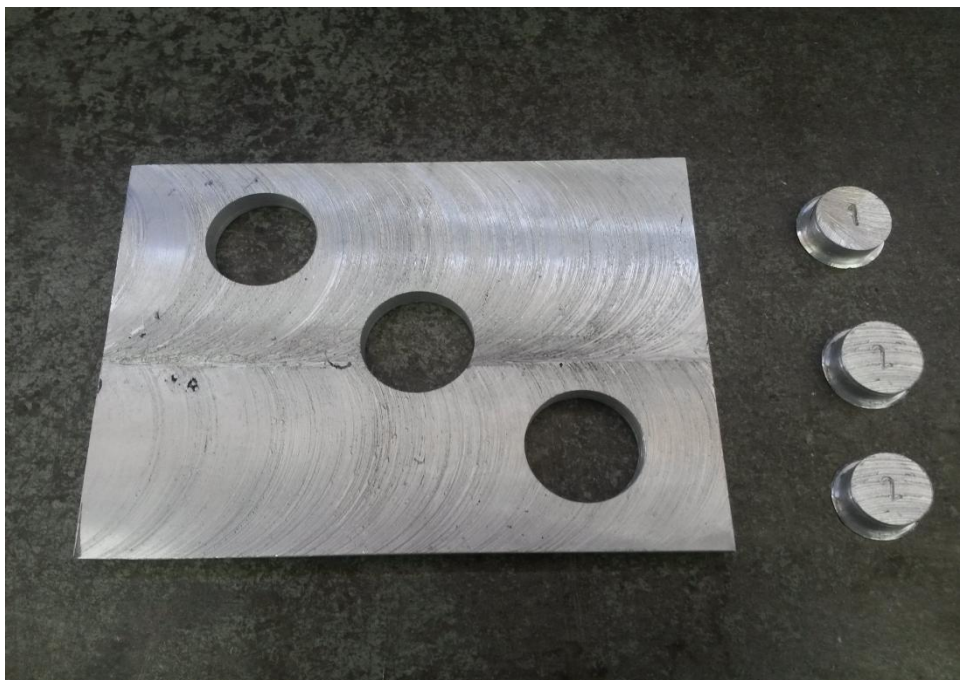
Στη συνέχεια τα δοκίμια αυτά διατρήθηκαν στο μηχανουργείο με κατάλληλο κοπτικό διαμέτρου  $\Phi 30\text{mm}$  (Εικόνα 13.12) διάσταση ικανή ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί στο μικροσκόπιο. Συνολικά πήραμε 3 δοκίμια. Αρχικά ένα επάνω στη ραφή (Z.T.Y) και μετέπειτα δυο παραπλεύρως μακριά από την  $\Theta.E.Z$  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)



*Εικόνα 13.13 Κοπτικό εργαλείο δοκιμίων*



*Εικόνα 13.14 Διαδικασία διάτρησης δοκιμίων*



*Εικόνα 13.15 Τελική μορφή δοκιμίων*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14<sup>ο</sup>

### Μεταλλογραφική διερεύνηση δοκιμίων (μικροσκοπία)

#### Λείανση - στίλβωση

Για την μεταλλογραφική διερεύνηση δοκιμίων απαραίτητη είναι η προετοιμασία της επιφάνειας των προς παρατήρηση δοκιμίων με λείανση και στίλβωση. Αυτό έγινε στο εργαστήριο τεχνολογίας υλικών του Τ.Ε. Ι. Καθαρίσαμε τις επιφάνειες 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 τοποθετήσαμε τα δοκίμια στη συσκευή υπερήχων στην οποία είχαμε βάλει ασετόν. Αυτό έγινε 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.



*Εικόνα 14.1* Συσκευή υπερήχων



## Χημική προσβολή

Η χημική προσβολή χρησιμοποιείται στη μεταλλογραφία για την αποκάλυψη της μικροδομής ενός δοκιμίου και την παρατήρησή του στο οπτικό μικροσκόπιο. Αυτό γίνεται με τοπική διάβρωση της επιφάνειας. Για την χημική προσβολή των δοκιμίων μας χρησιμοποιήθηκε μίγμα διαβρωτικών υγρών το οποίο αποτελούνταν από καυστική σόδα (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.



*Εικόνα 14.2 Μικροσκόπιο σάρωσης S.E.M*

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.

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 γι' 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 διατηρηθεί 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.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα πεδία που μας ενδιαφέρει η γεωμετρία και η σύσταση της μικροδομής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία μεγάλη ποικιλία δειγμάτων όπως, βιολογικά υλικά, φιλμ, μεμβράνες, φίλτρα, ίνες, ρητίνες, τέφρες, τσιμέντα, χρώματα, μεταλλικές επιφάνειες, κλπ. Η μεγάλη δυνατότητα εστίασης και αλλαγής μεγέθυνσης σε ένα ευρύ πεδίο, η ελάχιστη προετοιμασία του δείγματος και τα τρισδιάστατα διαγράμματα που μας προσφέρει το SEM το έχουν κάνει ένα απαραίτητο όργανο έρευνας.

Το μικροσκόπιο αυτό περιλαμβάνει τους διαφόρους ανιχνευτές που δέχονται τα σήματα που παράγονται από την αλληλεπίδραση της δέσμης ηλεκτρονίων με το δείγμα και το σύστημα παρουσίασης (μεγέθυνση-

παρουσίαση-καταγραφή). Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ανιχνευτές δευτερογενών ηλεκτρονίων όπως ο ανιχνευτής Everhart – Thornley (ETD), ο ανιχνευτής ευρέως πεδίου (Large Field Detector, LFD), ο ανιχνευτής σε ατμοσφαιρική πίεση (Gaseous Electron Detector GED), ο ανιχνευτής διόδου στερεάς φάσης (Solid State Electron Detector, SSED) για τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (BSE), καθώς και ο ανιχνευτής διόδου λιθίου – πυριτίου (SiLi), με τον οποίο ανιχνεύουμε ενεργειακή διασπορά ακτίνων - X (Energy Dispersive Spectrometer, EDS). Επίσης είναι εφοδιασμένο με σύστημα ποσοτικής ανάλυσης E.D.X μια περιοχής του δείγματος διακριτικής ικανότητας περίπου 4nm.



*Εικόνα 14.3 Εσωτερική όψη μικροσκοπίου σάρωσης S.E.M*

## **Μελέτη μικροδομής μετάλλου εναπόθεσης**

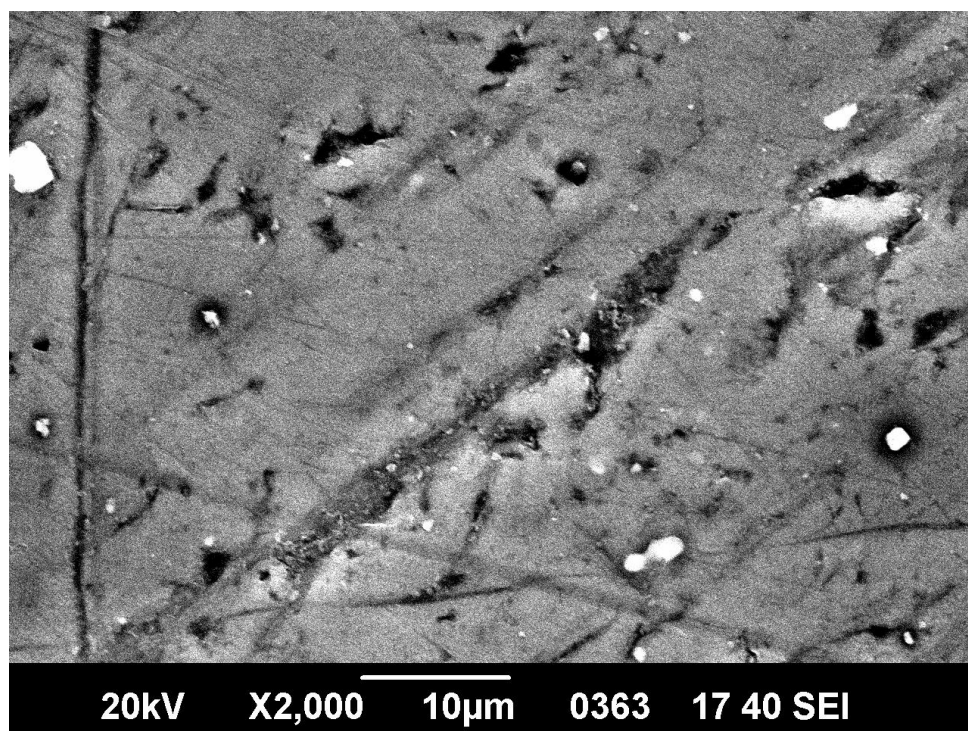
Τοποθετήσαμε το κομμάτι Νο1 στο μικροσκόπιο και αφού το αφήσαμε 10 λεπτά να προθερμανθεί ξεκινήσαμε να σκανάρουμε το κομμάτι μας με 5KV ρεύμα επιτάχυνσης ηλεκτρονίων μέχρι 20KV. Αυτό έγινε για να θερμάνουμε από σιγά σιγά το κομμάτι και να μην δώσουμε αμέσως 20KV ρεύμα γιατί έτσι θα το καταστρέφαμε.

Ξεκινήσαμε το σκανάρισμα του δοκιμίου παίρνοντας εικόνες για:

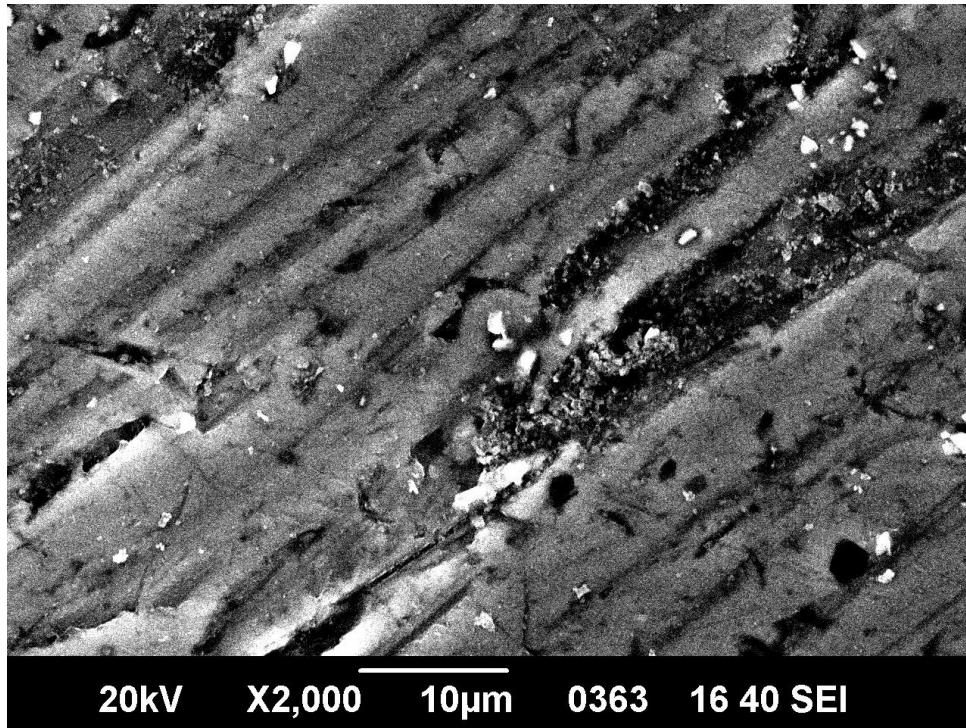
- Καθαρό αλουμίνιο (MB) σε διαβρωμένη περιοχή
- Καθαρό αλουμίνιο (MB) μακριά από την κόλληση σε διαβρωμένη περιοχή
- Καθαρό αλουμίνιο (MB) σε μη διαβρωμένη περιοχή
- Θ.Ε.Ζ σε μη διαβρωμένη περιοχή
- Υλικό εναπόθεσης σε μη διαβρωμένη περιοχή
- Υλικό εναπόθεσης σε διαβρωμένη περιοχή
- Υλικό εναπόθεσης 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 Νο2 το οποίο αποτελούνταν από καθαρό αλουμίνιο (M.B) και πήραμε και από εκεί τις αντίστοιχες εικόνες:

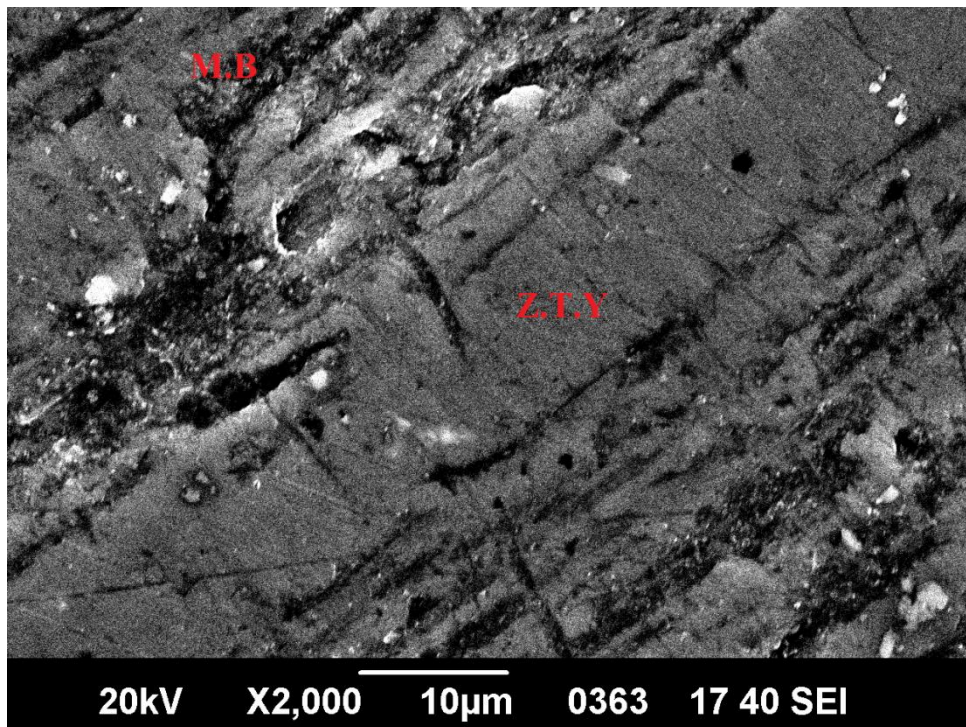
- Καθαρό αλουμίνιο (M.B) σε διαβρωμένη περιοχή
- Καθαρό αλουμίνιο (M.B) σε μη διαβρωμένη περιοχή



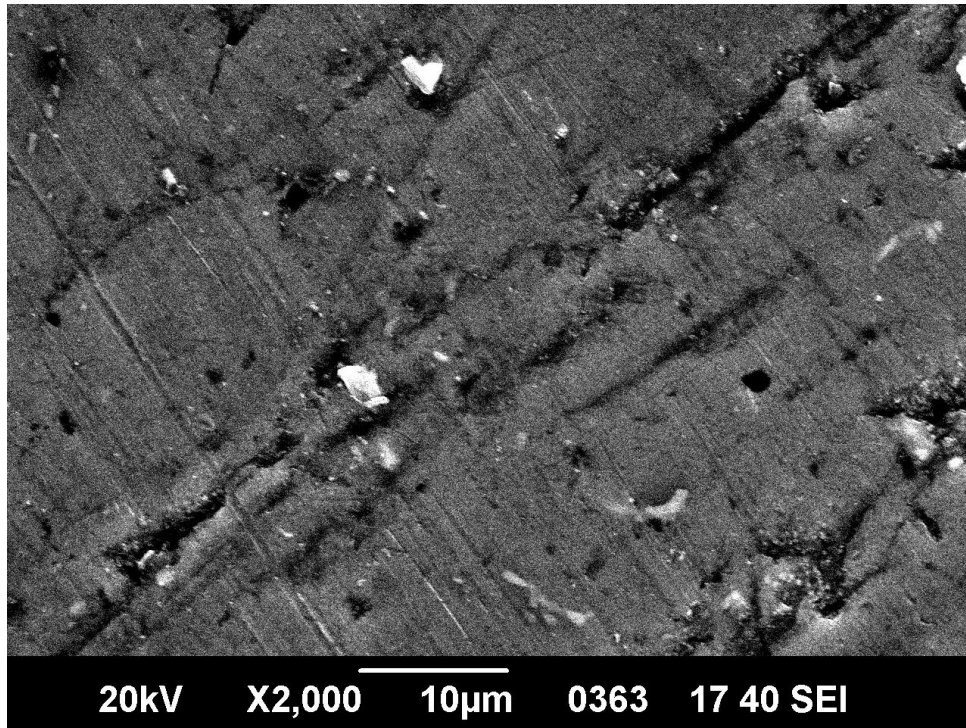
*Εικόνα 14.4 Μέταλλο βάσης σε διαβρωμένη περιοχή*



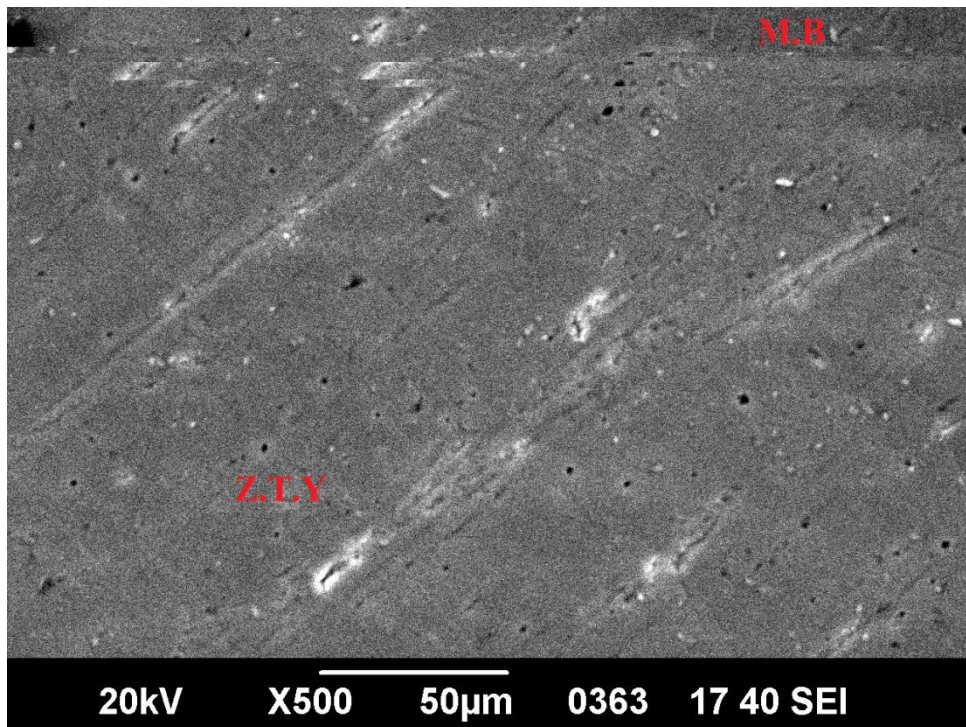
*Εικόνα 14.5 Μέταλλο βάσης σε διαβρωμένη περιοχή μακριά από την κόλληση*



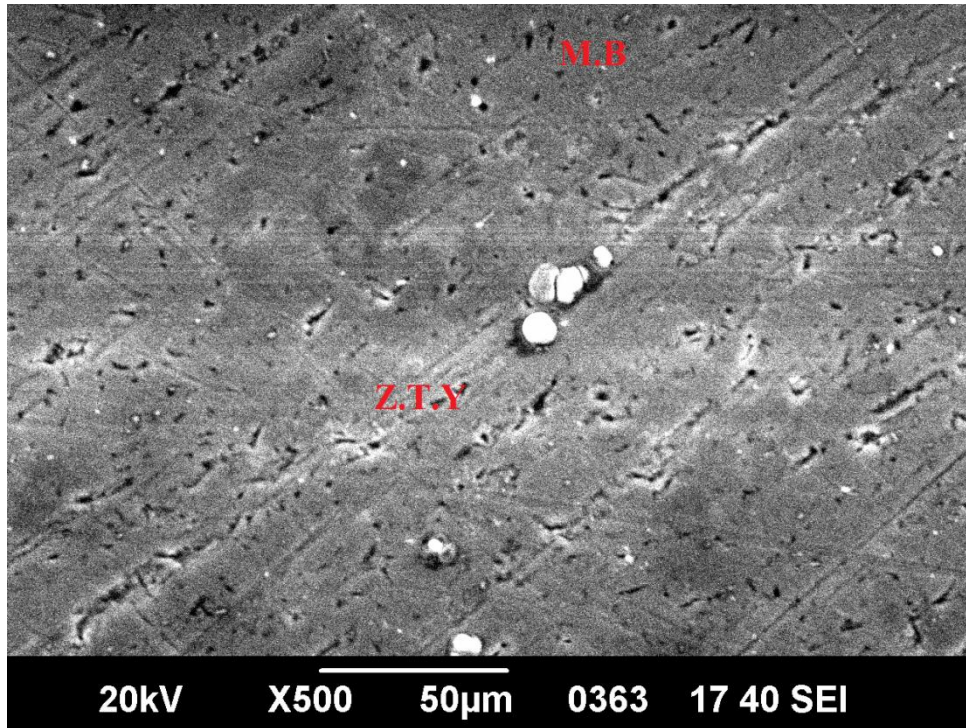
*Εικόνα 14.6 Μέταλλο βάσης και Θ.Ε.Ζ σε μη διαβρωμένη περιοχή*



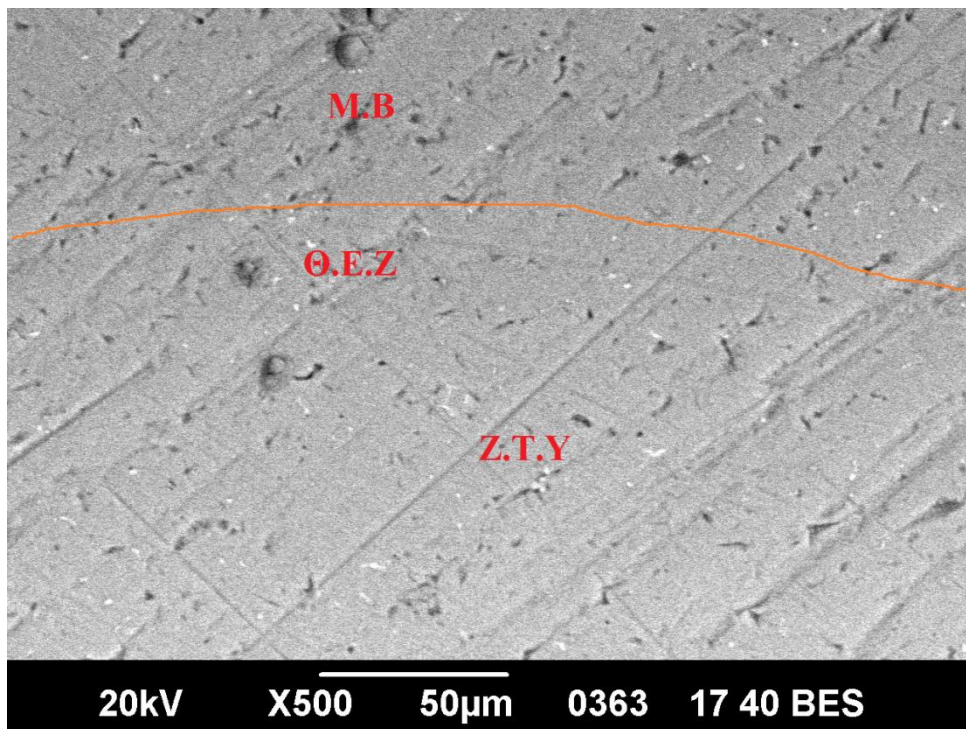
*Εικόνα 14.7 Μέταλλο βάσης σε μη διαβρωμένη περιοχή*



*Εικόνα 14.8 Ζώνη τήξης σε μη διαβρωμένη περιοχή*



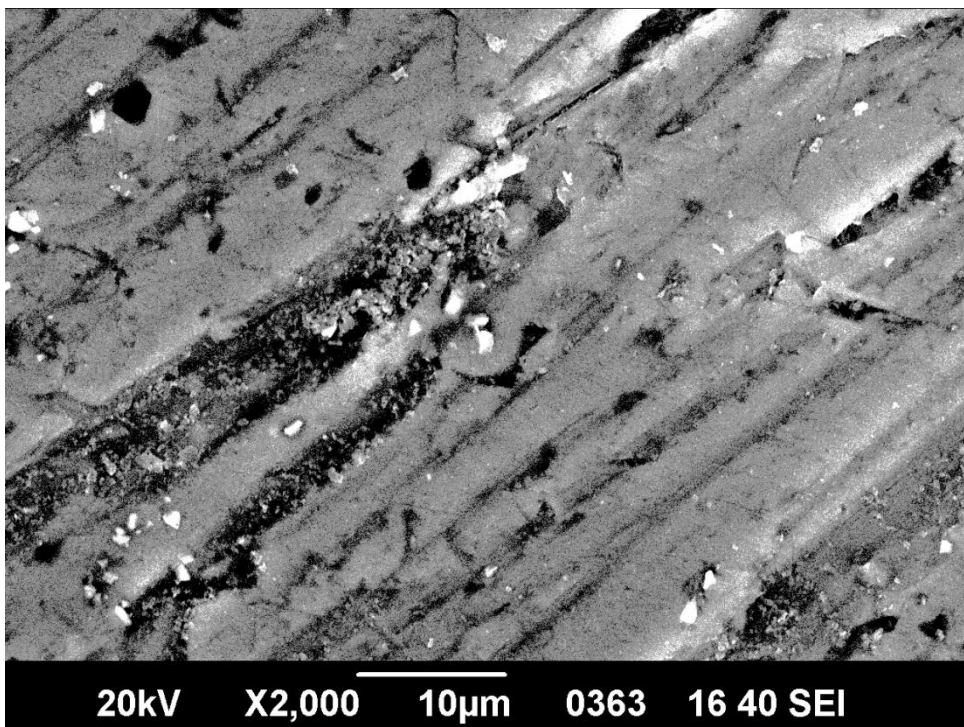
Εικόνα 14.9 Ζώνη τήξης σε διαβρωμένη περιοχή



Εικόνα 14.10 Ζώνη τήξης σε διαβρωμένη περιοχή με εστίαση στην επιφάνεια

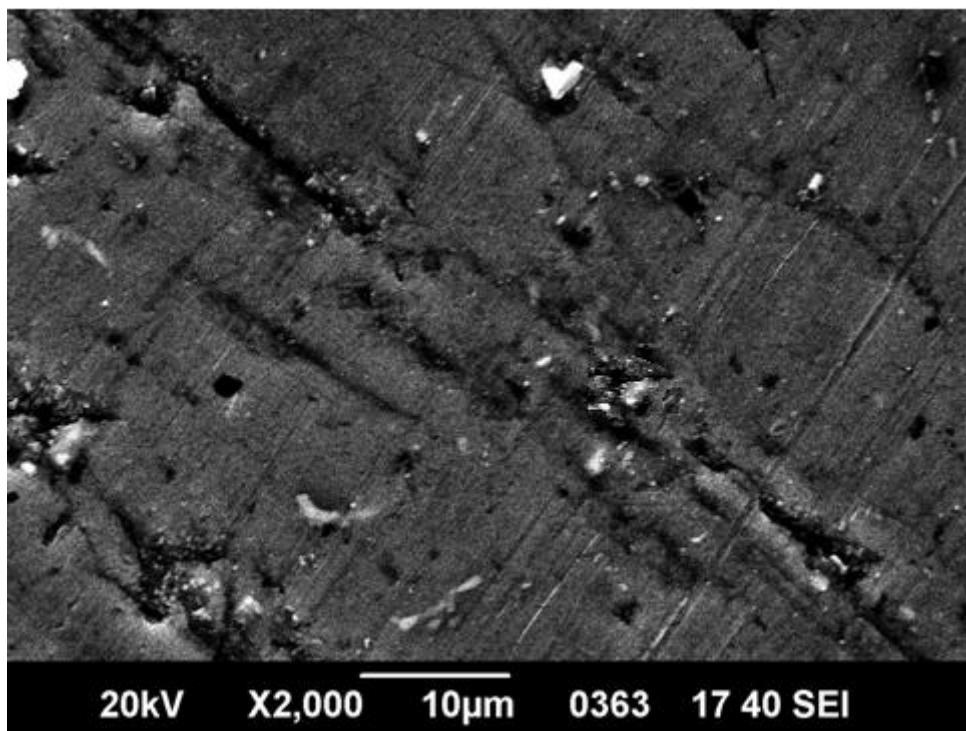


*Εικόνα 14.11 Ζώνη τήξης σε μη διαβρωμένη περιοχή με εστίαση στη μορφολογία της επιφάνειας*



*Εικόνα 14.11 Μέταλλο βάσης σε διαβρωμένη περιοχή Δοκίμιο Νο2*





*Εικόνα 14.12 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 στην 14.4, 14.5 και 14.6 μια αισθητή αλλαγή της δομής όπως επίσης και εντόνους πόρους από τη διάβρωση. Η διαφορά είναι αισθητή στην εικόνα 14.7 όπου έχουμε και πάλι M.B αλλά αυτή τη φορά σε μη διαβρωμένη περιοχή.

Στις εικόνες 14.8 και 14.9 βλέπουμε τη ζώνη τήξης του υλικού (Z.T.Y) και πάλι σε διαβρωμένη και μη διαβρωμένη περιοχή. Και εδώ η διάφορα είναι αισθητή στη διάβρωση όπως επίσης παρατηρούμε και την μικρή αλλαγή της δομής του υλικού και της μορφολογίας σε M.B και Θ.Ε.Ζ. Στις εικόνες 14.10 και 14.11 βλέπουμε την Z.T.Y με μεγαλύτερη εστίαση στην επιφάνεια όπου εδώ είναι ακόμα πιο εμφανή η μικρή αλλαγή στη δομή του υλικού όπως επίσης και ότι το υλικό εναπόθεσης που χρησιμοποιήσαμε «έδεσε» πολύ καλά με το M.B. Είχαμε δηλαδή μια επιτυχημένη συγκόλληση με μικρές αλλαγές στην δομή όσο και στην επιφάνεια του υλικού. Αυτό οφείλεται στο υλικό το οποίο επιλέξαμε αλλά και στη μέθοδο συγκόλλησης την οποία χρησιμοποιήσαμε. Στις εικόνες που πήραμε από το δοκίμιο Νο2 βλέπουμε ότι το καθαρό M.B του πρώτου δοκιμίου έχει ακριβώς την ίδια δομή με το δοκίμιο Νο1 σε διαβρωμένη και μη διαβρωμένη περιοχή. Αυτό συνέβη γιατί και τα δυο σημεία του δοκιμίου επηρεάστηκαν ελάχιστα από τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μετωπικές συγκολλήσεις ελασμάτων αλουμινίου με μέθοδο την M.I.G – G.M.A.W (Metal inert Gas welding-Gas Metal Arc Welding).

Μελετώντας την εργασία και δουλεύοντας τα κομμάτια στο εργαστήριο γνωρίσαμε νέα υλικά κατασκευής και τα κράματα τους, νέες μεθόδους συγκόλλησης, την εξέλιξη της συγκόλλησης και αυτών των μεθόδων στο χρόνο, τους τρόπους κατεργασίας του αλουμινίου και τη δομή του.

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 και αναγκαστήκαμε αντιμετωπίζοντας όσα προβλήματα μας παρουσιάστηκαν να γνωρίσουμε διαφορετικές ρυθμίσεις λειτουργίας και συγκόλλησης της μηχανής ανάλογα το ρεύμα συγκόλλησης, το υλικό εναπόθεσης και την ταχύτητα του υλικού, το προστατευτικό αέριο ακόμα και την θέση συγκόλλησης και γι' αυτό και χρειάστηκε να κάνουμε πολλές δοκιμαστικές συγκόλλησης πριν την τελική συγκόλληση του τεμαχίου μας. 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. Από τις διαδικασίες αυτές παρατηρήσαμε ότι δεν είχαμε σημαντική διαφορά στην αλλαγή της δομής του υλικού μας πράγμα που σημαίνει ότι το υλικό μετά την συγκόλληση και την όλη κατεργασία, ομογενοποιήθηκε σε μεγάλο ποσοστό με το υλικό εναπόθεσης και μας έδωσε ένα πολύ καλό αποτέλεσμα.

Περαιτέρω μελέτη των συγκολλήσεων αυτών θα μπορούσε να περιλαμβάνει μετρήσεις σκληρομέτρησης κάτι το οποίο δεν μας δόθηκε η ευκαιρία να πραγματοποιήσουμε στο T.E.I έτσι ώστε να πάρουμε παραπάνω δεδομένα για το υλικό αλλά και την μέθοδο συγκόλλησης που χρησιμοποιήσαμε.

Τέλος, για μια ακόμη φορά η εργασία αυτή μας έβαλε στη διαδικασία συνεργασίας με τους καθηγητές του ιδρύματος και μας έδειξε πως θα πρέπει να συνεργαζόμαστε στη συνέχεια της ζωής μας έξω από αυτό για να παίρνουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα.