
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.



**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΧΑΛΗΒΑ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

**ΟΥΖΟΥΝ ΧΟΥΣΕΪΝ
ΧΑΦΟΥΖΟΓΛΟΥ ΣΑΛΗ**

Επιβλέπων: ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΣΙΝΔΟΣ, 2019

ΔΗΛΩΣΗ ΦΟΙΤΗΤΗ

στο εσώφυλλο (copyright notice)

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων του Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και του/των φοιτητή/ών. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το Τμήμα του ΑΤΕΙΘ.

Η έγκριση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Οχημάτων δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι δηλώνουμε υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μας έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων. Δηλώνουμε υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολουθήσαμε την πρέπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχουμε αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

Ο Φοιτητής

(Ολογράφως)

(Υπογραφή)

Σίνδος, ___ / ___ / 20__

Ο Φοιτητής

(Ολογράφως)

(Υπογραφή)

Σίνδος, ___ / ___ / 20__

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 6 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1. Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων – συγκολλήσεων..... | 7 |
| Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας των συγκολλήσεων | 7 |
| 2. Μέταλλα – Κράματα | 8 |
| 2.1 Φυσικές ιδιότητες των μετάλλων..... | 8 |
| 2.1.1 Η κοκκώδης δομή των μετάλλων | 9 |
| 2.1.2 Η επίδραση της κοκκώδους δομής στις μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων | 10 |
| 2.1.3 Η επίδραση της συγκόλλησης στην κοκκώδη δομή των μετάλλων και στην αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων τους | 11 |
| 2.1.4 Η σημασία των προσμίξεων..... | 12 |
| 2.2 Τα μέταλλα | 13 |
| 2.2.1 Οι χάλυβες..... | 13 |
| 3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ | 16 |
| ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ | 18 |
| 3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ | 18 |
| 3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ | 20 |
| 3.2.1 Ιδιότητες ηλεκτροδίων | 21 |
| 3.2.2 Η υγρασία των ηλεκτροδίων | 23 |
| 3.2.3 Κωδικοποίηση Ηλεκτροδίων | 24 |
| 3.2.4 Τυποποίηση των χαρακτηριστικών των ηλεκτροδίων | 25 |
| 3.2.5 Επιλογή ηλεκτροδίων και έντασης ρεύματος | 25 |
| 3.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ MIG – MAG | 26 |
| 3.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά των συγκολλήσεων MIG – MAG | 27 |
| 3.3.2 Αρχή της συγκόλλησης MIG – MAG..... | 29 |
| 3.3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου | 32 |
| 3.3.4 Ειδικά χαρακτηριστικά των αερίων συγκόλλησης | 34 |
| 3.3.5 Εξοπλισμός συγκολλήσεων MIG/MAG | 39 |
| 3.3.6 Πηγές ρεύματος | 40 |
| 3.3.7 Τεχνικά στοιχεία | 41 |
| 3.3.8 Πυρσός (όπλο) συγκόλλησης..... | 43 |
| 3.3.9 Υγρόψυκτα όπλα συγκόλλησης..... | 45 |
| 3.3.10 Σύστημα τροφοδοσίας σύρματος..... | 46 |
| 3.3.11 Υλικά πλήρωσης..... | 47 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.12 | Τρόποι μεταφοράς τηγμένου υλικού πλήρωσης (transfer modes)..... | 48 |
| 3.3.13 | Μίγματα προστατευτικών αερίων για τις συγκολλήσεις MIG/MAG..... | 50 |
| 3.3.14 | Παράμετροι λειτουργίας | 51 |
| 4. | Σχεδιασμός και μεταλλουργία των συγκολλήσεων | 54 |
| 4.1 | Οι εσωραφές ή βυθισμένες ραφές | 56 |
| 4.1.1 | Οι εξωραφές ή γωνιακές ραφές | 57 |
| 4.1.2 | Ο συμβολισμός των συγκολλήσεων | 59 |
| 4.1.3 | Οι θέσεις ηλεκτροσυγκόλλησης | 61 |
| 5. | Μεταλλουργία συγκολλήσεων..... | 62 |
| 5.1 | Συγκολλήσεις Ανοξειδωτων χαλύβων..... | 62 |
| 5.1.1 | Επίδραση των κραματικών στοιχείων | 63 |
| 5.1.2 | Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες..... | 64 |
| 5.1.3 | Συγκολλησιμότητα των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων | 66 |
| 5.1.4 | Επιλογή υλικών συγκόλλησης | 67 |
| 5.1.5 | Φερριτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες | 68 |
| 5.1.6 | Διφασικοί (duplex) ανοξειδωτοι χάλυβες..... | 69 |
| 5.1.7 | Μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες | 70 |
| 5.2 | Διαγράμματα φάσεων..... | 71 |
| 5.2.1 | Το τριμερές σύστημα σιδήρου – νικελίου – χρωμίου..... | 71 |
| 5.2.2 | Το ψευδοδιμερές διάγραμμα σιδήρου-νικελίου-χρωμίου..... | 72 |
| 6. | Ελαττώματα συγκολλήσεων και ποιοτικός έλεγχος αυτών | 81 |
| 6.1 | Παραμορφώσεις..... | 82 |
| 6.1.1 | Περιορισμός των παραμορφώσεων | 83 |
| 6.2 | Ρηγματώσεις..... | 86 |
| 6.2.1 | Η αντιμετώπιση ρηγματώσεων που δεν οφείλονται στο υδρογόνο | 87 |
| 6.2.2 | Ο ρόλος του υδρογόνου στις ρηγματώσεις..... | 88 |
| 6.2.3 | Η πρόληψη των ρηγματώσεων εξαιτίας του υδρογόνου | 88 |
| 6.2.4 | Η παρουσία πόρων και λοιπών ελαττωμάτων | 89 |
| 6.2.5 | Η προθέρμανση..... | 90 |
| 7. | Ο ποιοτικός έλεγχος της ηλεκτροσυγκόλλησης..... | 91 |
| 7.1. | Η οπτική επιθεώρηση..... | 92 |
| 7.2 | Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές..... | 93 |
| 7.3 | Οι καταστρεπτικές δοκιμές | 95 |
| 8. | Θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης | 96 |
| 8.1. | Η προστασία της όρασης και του προσώπου με τη μάσκα | 98 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 9. Βιβλιογραφία | 103 |
| 10. Ηλεκτρονικές πηγές..... | 103 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία αρχικά αναλύσαμε τα μέταλλα , τη δομή των μετάλλων και τις επιδράσεις στη συνέχεια τις συγκόλλησης και τα είδη των συγκολλήσεων. Σχεδιασμός και μεταλλουργία των συγκολλήσεων όπως και συγκολλήσεις ανοξείδωτων χαλύβων και διαγράμματα φάσεων .

Κατόπιν έγινε αναφορά στα ελαττώματα και στις παραμορφώσεις λόγω της έντασης και ποιοτικός έλεγχος της ηλεκτροσυγκόλλησης όπως και οπτική επιθεώρηση.

Ακολουθεί στο τέλος τα θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης.

ABSTRACT

In this degree thesis we first analyzed the metals, the metal structure and the effects of welding and the types of welds. Welding design and metallurgy as well as welding of stainless steels and phase diagrams.

Then reference was made to defects and deformations due to tension and quality control of welding as well as visual inspection.

Finally, the hygiene and safety issues related to the welding processes follow

1. Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων – συγκολλήσεων

Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας των συγκολλήσεων

Η έννοια της σύνδεσης των μετάλλων είναι άρρητα συνδεδεμένη με την έννοια της κατασκευής υπό οποιαδήποτε μορφή. Οι πρώτες ενδείξεις σύνδεσης είναι ορατές περισσότερο από 4.000 χρόνια πριν, όταν συνδεθήκανε φύλλα χρυσού για την κατασκευή κοσμημάτων. Στην Βίβλο υπάρχει ίσως ή πρώτη αναφορά ονόματος τεχνίτη, του Tubal Cain, σαν τον πρώτο που σφυρηλάτησε σε καμίνι μπρούτζο και σίδηρο για την κατασκευή εργαλείων. Στην αρχαία Ελλάδα η πρώτη επώνυμη συγκόλληση σιδήρου, έγινε από τον Γλαύκο τον Χίο το 700 π.Χ. Η χρήση όμως του ξύλου, ως πρώτη ύλη για τις κατασκευές, και η περιορισμένων δυνατοτήτων εφαρμογή της συγκόλλησης μετάλλων, ήταν ο λόγος που στην διαδικασία σύνδεσης των κατασκευών κυρίαρχο λόγο είχε η ήλωση. Η διαδικασία αυτή επικράτησε μέχρι τον 19 αιώνα, όταν πλέον το μέταλλο άρχισε να αντικαθιστά το ξύλο και να γίνεται εκμεταλλεύσιμη η νέα πηγή ενέργειας, το ηλεκτρικό ρεύμα. Το 1881 ο Ρώσος Benardos ήταν ο πρώτος που ξεκίνησε συγκολλήσεις με την χρήση ηλεκτρικού τόξου. Χρησιμοποίησε ένα ηλεκτρόδιο άνθρακα και μια βέργα με υλικό πλήρωσης. Ένας άλλος Ρώσος, ο Slavyanov, το 1891 χρησιμοποίησε μια μεταλλική ράβδο η οποία δημιουργούσε το τόξο και αποτελούσε ταυτόχρονα και το υλικό πλήρωσης. Έτσι γεννήθηκε η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο. Στην αρχή τα ηλεκτρόδια ήταν γυμνά, αλλά μετά από κάποιο καιρό, αυτά εμβαπτίζονταν σε λουτρό από ορυκτά, για καλύτερες ιδιότητες. Η πρώτη πατέντα δημιουργίας και χρήσης επικαλυμμένων ηλεκτροδίων έγινε το 1907 από τον Σουηδό μηχανικό O. Kjellberg. Η μέθοδος με την οποία εφαρμοζόταν η επικάλυψη στα ηλεκτρόδια ήταν η διέλαση. Η εισαγωγή των μεθόδων συγκόλληση με χρήση προστατευτικής ατμόσφαιρας, άρχισε να γίνεται δυνατή από τη στιγμή που ξεκίνησε η κατασκευή καρβιδίων του ασβεστίου. (Wilson 1882) και με την ανάπτυξη της πρώτης χρηστικής τσιμπίδας, η οποία μπορούσε να προστατεύει με αέριο την συγκόλληση, από τον Heinrich Draeger το 1896.

2. Μέταλλα – Κράματα

2.1. Φυσικές ιδιότητες των μετάλλων

Τα μέταλλα παρουσιάζουν χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες. Αυτές είναι:

- Η μεταλλική λάμψη
- Η στερεά κατάσταση στις συνθήκες περιβάλλοντος πλην του υδραργύρου
- Το μεγάλο ειδικό βάρος
- Η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Η καλή μηχανική αντοχή

Επίσης:

- Μπορούν να πάρουν τη μορφή σύρματος ή ράβδου, δηλαδή είναι όλκιμα υλικά.
- Μπορούν να πάρουν τη μορφή ελασμάτων, δηλαδή είναι ελατά υλικά.
- Επηρεάζουν το μαγνητικό πεδίο. Η επιρροή στο μαγνητικό πεδίο είναι πολύ έντονη στο σίδηρο, στο νικέλιο και στο κοβάλτιο.

Οι παραπάνω ιδιότητες, μεμονωμένες, δεν αρκούν για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ότι είναι μέταλλο. Π.χ.:

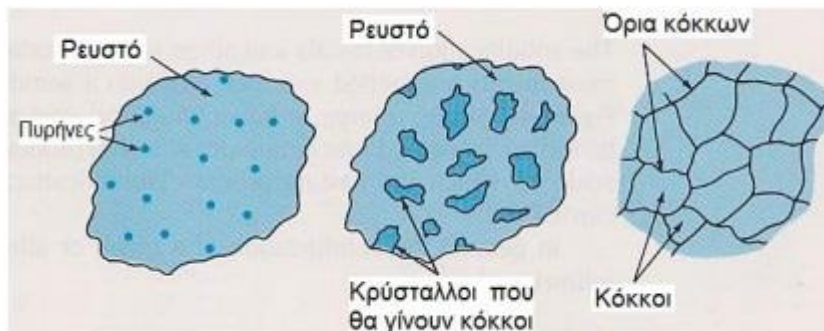
- Μεταλλική λάμψη παρουσιάζουν και αρκετά αμέταλλα (π.χ. αντιμόνιο).
- Καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούμε να συναντήσουμε και σε πολλά ακόμη υλικά (π.χ. άνθρακας).

Κατά συνέπεια, για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ως μέταλλο, θα πρέπει να δούμε αν έχει όλες μαζί τις ιδιότητες που προαναφέραμε. Ο βαθμός που παρουσιάζει ένα μέταλλο την κάθε ιδιότητά του ποικίλλει. Π.χ.:

- Το αλουμίνιο μπορεί να λάβει μορφή λεπτών αλλά ανθεκτικών ελασμάτων, όπως είναι το γνωστό σε όλους αλουμινόχαρτο. Τα περισσότερα από τα άλλα μέταλλα δε διαμορφώνονται σε ελάσματα πάχους μικρότερου από 0,1 mm.
- Ο χαλκός παρουσιάζει 6,5 φορές μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα και 6 φορές μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από το σίδηρο.
- Το τιτάνιο παρουσιάζει τριπλάσια μηχανική αντοχή από το σίδηρο.

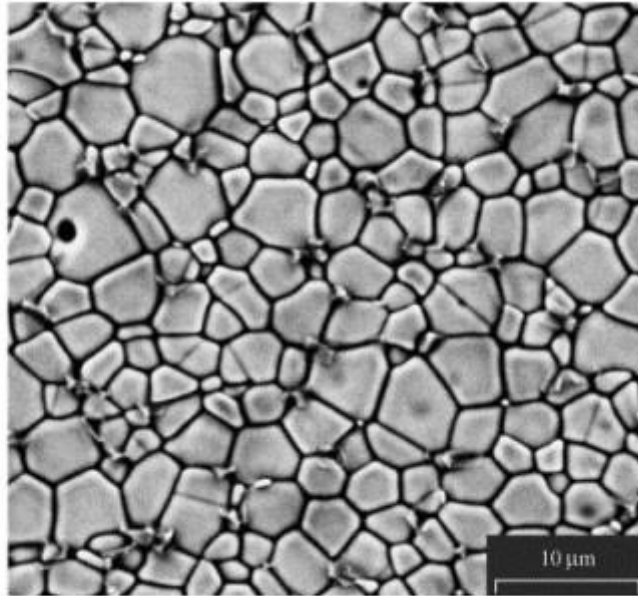
2.1.1. Η κοκκώδης δομή των μετάλλων

Η μάζα ενός μεταλλικού τεμαχίου αποτελείται από πολλούς κρυστάλλους που τους ονομάζουμε «κόκκους» και που στον κάθε ένα από αυτούς τα άτομα είναι διατεταγμένα με μία γεωμετρική μορφή. Ο σχηματισμός των κόκκων οφείλεται στον τρόπο που παράγονται τα μέταλλα. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στις διαδοχικές φάσεις του σχήματος. Στην αρχή το μέταλλο βρίσκεται σε υγρή μορφή, κάτω από υψηλή θερμοκρασία. Ενώ η θερμοκρασία αρχίζει να ελαττώνεται, αρχίζει η στερεοποίηση. Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα φαίνονται στο Σχήμα 1 και μπορούν να περιγραφούν ως εξής:



Σχήμα 1 : Οι διαδοχικές φάσεις στερεοποίησης του μετάλλου και ο σχηματισμός των κόκκων

- Σε διάφορα σημεία της μάζας του ρευστού μετάλλου αρχίζει η στερεοποίηση. Εμφανίζονται οι πρώτοι μικροί κρύσταλλοι.
- Πάνω στους πρώτους κρυστάλλους προσκολλώνται συνεχώς νέα άτομα. Συγχρόνως εμφανίζονται και νέοι κρύσταλλοι.
- Όταν το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του μετάλλου έχει ενσωματωθεί στους κρυστάλλους, αυτοί θα αρχίσουν να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους.
- Όταν η θερμοκρασία ελαττωθεί κάτω από το σημείο πήξης, τότε όλη η μάζα του μετάλλου έχει στερεοποιηθεί και οι κόκκοι έχουν ενωθεί μεταξύ τους.



Σχήμα 2 : Φωτογραφία από μικροσκόπιο στην οποία φαίνεται η κοκκώδης δομή των μετάλλων. Διακρίνονται σαφώς τα όρια των κόκκων.

- Η παραπάνω διαδικασία στερεοποίησης του μετάλλου καταλήγει σε μία δομή στην οποία έχουμε: Τους κόκκους του μετάλλου με την κανονική κρυσταλλική δομή τους
- Τις επιφάνειες που ενώνονται οι κόκκοι μεταξύ τους, οι οποίες αποτελούν περιοχές ακαταστασίας της κρυσταλλικής δομής.

Τους κόκκους μπορούμε να τους δούμε κάτω από μικροσκόπιο, αφού γίνει η κατάλληλη επεξεργασία στην επιφάνεια του μετάλλου. Στο Σχήμα 2 , φαίνεται μία φωτογραφία της κοκκώδους δομής ενός μετάλλου. Η πρώτη εντύπωση, που ίσως σχηματίζεται στον αναγνώστη, είναι ότι η ανομοιομορφία στα όρια των κόκκων είναι ανεπιθύμητη. Αυτό όμως δεν είναι αληθές. Επιδιώκουμε ακριβώς το αντίθετο, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

2.1.2. Η επίδραση της κοκκώδους δομής στις μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων

Ένα μέταλλο, που θα αποτελέιτο από ένα και μοναδικό κρύσταλλο, θα έσπαγε πολύ εύκολα. Οι καλές μηχανικές ιδιότητες (αντοχή, ελαστικότητα) οφείλονται στην αντοχή που παρουσιάζουν τα σημεία που ενώνονται οι κόκκοι μεταξύ τους. Ο κανόνας που πρέπει να γνωρίζουμε είναι: Όσο μικρότεροι είναι οι κόκκοι ενός μεταλλικού τεμαχίου, τόσο καλύτερες είναι οι μηχανικές του ιδιότητες. Το μέγεθος των κόκκων ποικίλλει. Για να δοθεί μία ιδέα για το μέγεθός τους, αναφέρουμε ότι η μέση διάμετρος στους χάλυβες κυμαίνεται από 0,022 mm

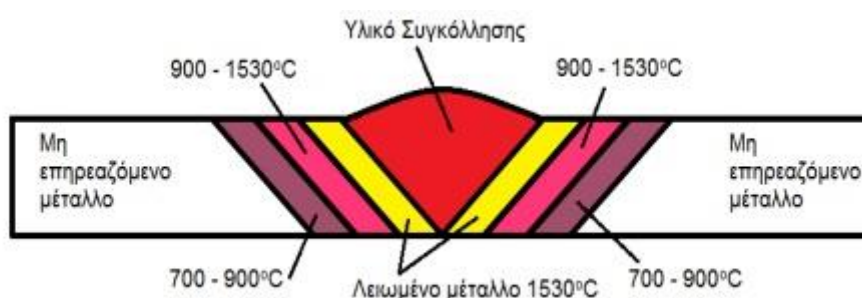
μέχρι 0,25 mm. Οι χάλυβες με μέσο μέγεθος κόκκου μικρότερο από 0,088 mm ονομάζονται λεπτόκοκκοι, ενώ πάνω από αυτό το όριο ονομάζονται χοντρόκοκκοι.

2.1.3. Η επίδραση της συγκόλλησης στην κοκκώδη δομή των μετάλλων και στην αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Αν ένα μέταλλο θερμανθεί πάνω από μία ορισμένη θερμοκρασία, αρχίζει η ανακρυστάλλωσή του. Αυτή μπορεί, μετά την ψύξη, να οδηγήσει σε άλλη κρυσταλλική δομή και να αλλάξει τις ιδιότητες του μετάλλου. Η αλλαγή αυτή μπορεί να είναι προς το καλύτερο, όταν γίνεται κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Όταν όμως γίνεται τυχαία, συνήθως, το αποτέλεσμα είναι η μείωση της αντοχής.

(α) Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ)

Η συγκόλληση των μετάλλων γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την ψύξη γίνεται ανακρυστάλλωση γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Η ζώνη επιρροής επεκτείνεται μέχρι το σημείο που η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από ένα όριο που αποτελεί προϋπόθεση για την εμφάνιση της ανακρυστάλλωσης, όπως φαίνεται στην Σχήμα 3. Η περιοχή αυτή ονομάζεται **Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη** και συμβολίζεται ως **ΘΕΖ**.



Σχήμα 3: Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ) σε έναν ανθρακούχο χάλυβα

Στη ΖΕΘ η δομή του μετάλλου μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συγκόλληση. Το αποτέλεσμα είναι, σχεδόν πάντοτε, να έχουμε μείωση της αντοχής γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Ο κανόνας είναι:

Η αντοχή του μετάλλου στην ΘΕΖ συνήθως μειώνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας η οποία προκαλεί την αλλαγή της κρυσταλλικής δομής του.

(β) Ανόπτηση- Βαφή - Επαναφορά

Δύο βασικές έννοιες που έχουν σχέση με τη δημιουργία της κοκκώδους μορφής ενός μετάλλου είναι η ανόπτηση και η βαφή. Πρόκειται για δύο θερμικές κατεργασίες που συνήθως γίνονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Αλλά, κατά τη συγκόλληση, αυτές γίνονται άθελά μας και επηρεάζουν άμεσα τις μηχανικές ιδιότητες. Ανόπτηση είναι η θέρμανση ενός μετάλλου σε μία θερμοκρασία τέτοια που να αρχίζει η ανακρυστάλλωσή του. Με την εφαρμογή ενός ελεγχόμενου ρυθμού ψύξης μπορούμε να έχουμε μέταλλο με την επιθυμητή κρυσταλλική δομή και το επιδιωκόμενο μέγεθος κόκκου.

Βαφή είναι η απότομη ψύξη του μετάλλου, η οποία, συνήθως, γίνεται όταν ρίχνουμε το μέταλλο σε νερό. Το αποτέλεσμα είναι να μην υπάρχει χρόνος για την ομαλή ανακρυστάλλωση και να προκύπτει μέταλλο σκληρό, αλλά συγχρόνως εύθραυστο. Όταν ο ηλεκτροσυγκολλητής, μετά τη συγκόλληση, ρίχνει το καυτό τεμάχιο στο νερό, για να το ψύξει ταχύτερα, του προκαλεί βαφή, δηλαδή το κάνει σκληρό και εύθραυστο. Ένα μεταλλικό τεμάχιο που υπεβλήθη σε βαφή, αν υποστεί ανόπτηση, θα γίνει πάλι ελαστικό, αλλά θα χάσει τη σκληρότητά του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επαναφορά.

2.1.4. Η σημασία των προσμίξεων

Η κρυσταλλική μορφή μέσα στον κάθε κόκκο διαταράσσεται εξ αιτίας ξένων προσμίξεων. Δεν υπάρχει τρόπος παραγωγής απόλυτα καθαρού μετάλλου. Τα άτομα των προσμίξεων εισέρχονται στην κρυσταλλική δομή των κόκκων και την ανατρέπουν. Συχνά, επίσης, δημιουργούν χημικές ενώσεις οι οποίες διασπείρονται μέσα στη μάζα του μετάλλου. Σημαντική επισήμανση: Εδώ θα μπορούσε να δημιουργηθεί η εσφαλμένη εντύπωση ότι η παρουσία των προσμίξεων είναι ανεπιθύμητη. Αυτό όμως δεν είναι αληθές. Αν και υπάρχουν επιβλαβείς προσμίξεις, υπάρχουν και άλλες που είναι χρήσιμες και βελτιώνουν τις ιδιότητες των μετάλλων, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Με τη χρήση των κατάλληλων προσμίξεων, βελτιώνονται οι ιδιότητες των μετάλλων και προκύπτουν κράματα διαφορετικών μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων π.χ. παράγονται κράματα με μεγάλη μηχανική αντοχή ή με μεγάλη ελαστικότητα ή με αντοχή στην οξειδωση κτλ. Ο κανόνας είναι:

Οι ιδιότητες των μετάλλων και των κραμάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις προσμίξεις τους.

Υπάρχουν όμως και ανεπιθύμητες προσμίξεις, οι οποίες ονομάζονται ακαθαρσίες και μειώνουν τη μηχανική αντοχή του μετάλλου.

2.2. Τα μέταλλα

Τα περισσότερα από τα 92 στοιχεία που συναντάμε στη φύση, μπορούν να χαρακτηριστούν μέταλλα. Ελάχιστα όμως από αυτά χρησιμοποιούνται σε κατασκευές. Τα μέταλλα τα οποία έχουν ενδιαφέρον στις συγκολλήσεις, κατά σειρά σπουδαιότητας, κυρίως είναι τα εξής:

- Ο σίδηρος
- Το αλουμίνιο
- Ο χαλκός

Αρκετά, ακόμη, μέταλλα, αλλά και ορισμένα αμέταλλα, συμμετέχουν υπό μορφή προσμίξεων, σε μικρά κυρίως ποσοστά, για τη διαμόρφωση κραμάτων με βελτιωμένες ιδιότητες (π.χ. με μεγάλη μηχανική αντοχή). Οι κυριότερες προσμίξεις που υπάρχουν στα κράματα είναι οι εξής:

Στα κράματα σιδήρου: ο άνθρακας (C) και το πυρίτιο (Si) που είναι αμέταλλα, καθώς και τα μέταλλα χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni).

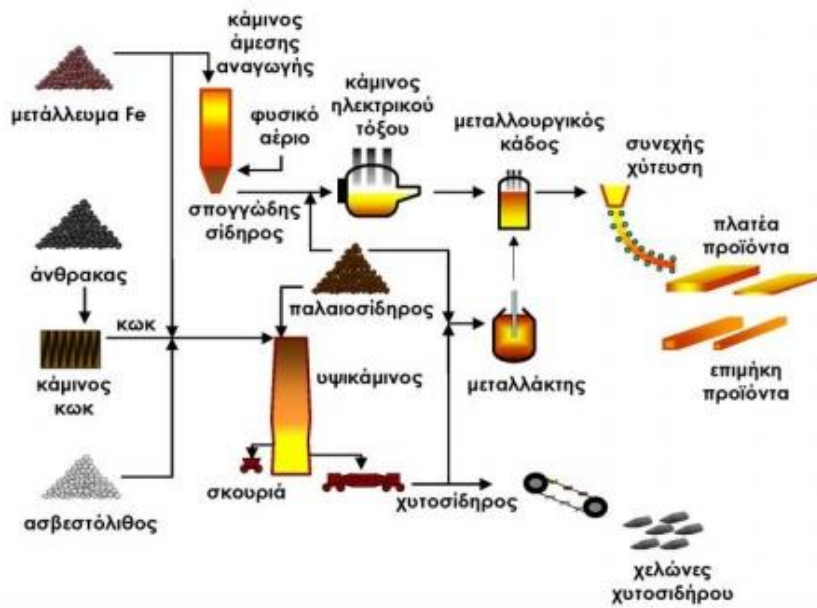
- Στα κράματα αλουμινίου: Το πυρίτιο (Si), το μαγνήσιο (Mg) και ο χαλκός (Cu).
- Στα κράματα χαλκού: Ο ψευδάργυρος (Zn) και ο κασσίτερος (Sn). Η περιεκτικότητα ενός στοιχείου συμβολίζεται για συντομία με το π. π.χ. $\pi(C)=0,12\%$, $\pi(Si)=0,5\%$ κτλ.

2.2.1. Οι χάλυβες

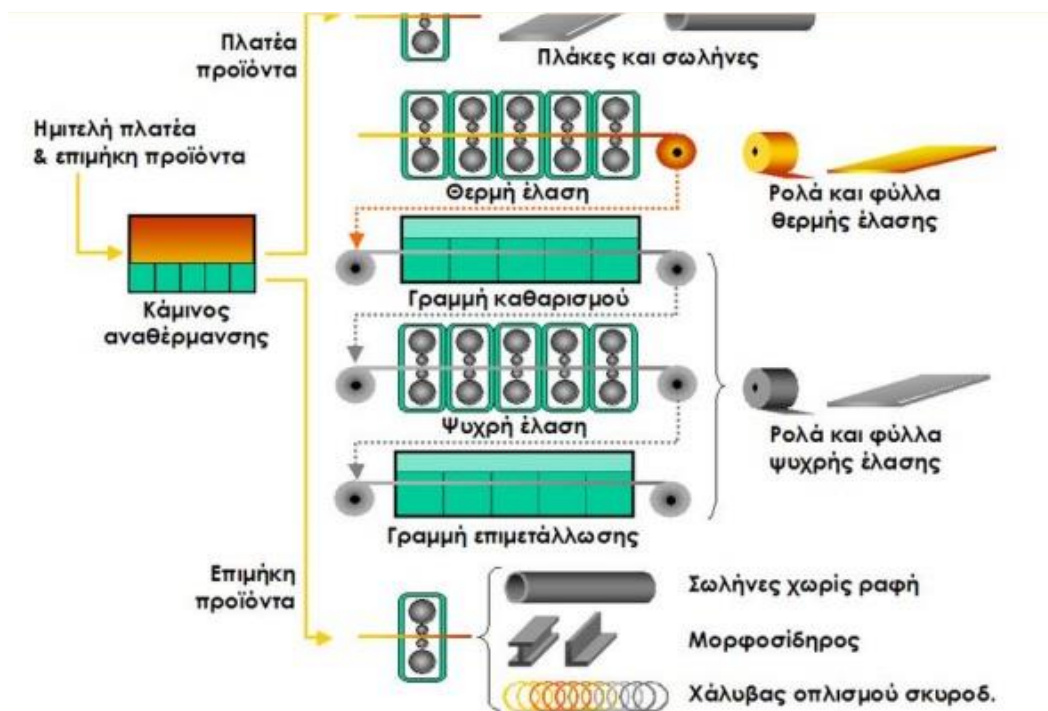
Η παραγωγή του χάλυβα

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

- με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου·
- με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (Direct reduced iron ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου· και
- με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).

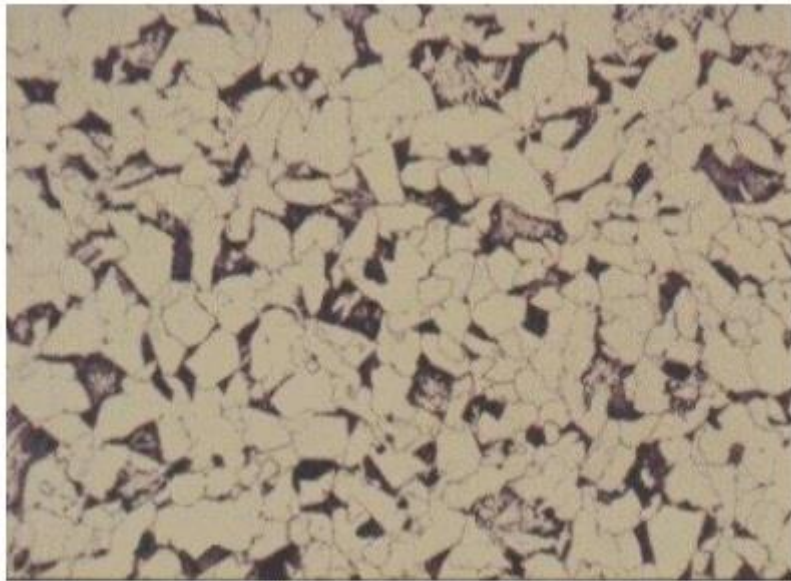


Σχήμα 4: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα



Σχήμα 5: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα

Τη μεγαλύτερη σημασία από όλα τα μέταλλα για τις τεχνικές κατασκευές την έχει ο σίδηρος. Ποτέ ο σίδηρος δε συναντάται αποκλειστικά μόνος, επειδή είναι δύσκολο να απομονωθεί πλήρως από τις προσμίξεις του και, ιδίως, από τον άνθρακα. Επίσης, χωρίς τον άνθρακα, ο σίδηρος έχει πολύ χαμηλή μηχανική αντοχή. Πάντοτε, το λιγότερο που θα συναντήσουμε, είναι μία, έστω και μικρή, προσθήκη άνθρακα, η οποία μεταβάλλει εντυπωσιακά τις ιδιότητες του μετάλλου, παρόλο που ως ποσοστό ακούγεται να είναι τελείως ασήμαντη, π.χ. 0,2%.



Σχήμα 6: Φωτογραφία από μικροσκόπιο στην οποία φαίνονται οι κόκκοι ανθρακούχου χάλυβα

3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Γενικά

Με τον τεχνικό όρο συγκόλληση εννοούμε την ένωση δύο ή περισσότερων μεταλλικών κομματιών με τη βοήθεια της θέρμανσης ή της πίεσης ή, ακόμη, και με ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο.

Οι μέθοδοι συγκόλλησης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με:

α. Τον τρόπο μεταφοράς της ενέργειας από τις εξωτερικές πηγές ενέργειας. Δηλαδή συγκόλληση με στερεό, υγρό ή αέριο μέσο, με πλάσμα, με ακτινοβολία ή με ηλεκτρικό ρεύμα.

β. Τον τύπο του μετάλλου βάσης. Δηλαδή συγκόλληση μεταξύ μετάλλων, συγκόλληση πλαστικών ή άλλων υλικών, συγκόλληση ανόμοιων υλικών.

γ. Τον σκοπό της συγκόλλησης. Δηλαδή συγκόλληση/συνένωση δύο άκρων ή αναγόμευση επιφανειών.

δ. Τον τρόπο μεταφοράς ενέργειας. Δηλαδή συγκολλήσεις με εφαρμογή πίεσης ή συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου.

ε. Τον βαθμό αυτοματοποίησης.

Οι συγκολλήσεις κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μέσο. Έτσι έχουμε:

- Τις συγκολλήσεις τήξης
- Τις συγκολλήσεις πίεσης
- Τις ειδικές συγκολλήσεις

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

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

Σκοπός του συγκολλητικού υλικού (κόλλησης) είναι να γεμίσει το διάκενο μεταξύ των δύο μεταλλικών κομματιών που θα συγκολληθούν, ώστε, όταν κρυώσει, να αποτελέσει τη συνδετική τους γέφυρα.

Οι συγκολλήσεις πίεσης πραγματοποιούνται με ταυτόχρονη θέρμανση της θέσης συγκόλλησης των δύο κομματιών σε θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης τους και με εφαρμογή ισχυρής πίεσης στη θέση της συγκόλλησης. Οι συγκολλήσεις πίεσης διακρίνονται σε:

- Ψυχρές συγκολλήσεις
- Συγκολλήσεις τριβής
- Καμινοσυγκολλήσεις
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης

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

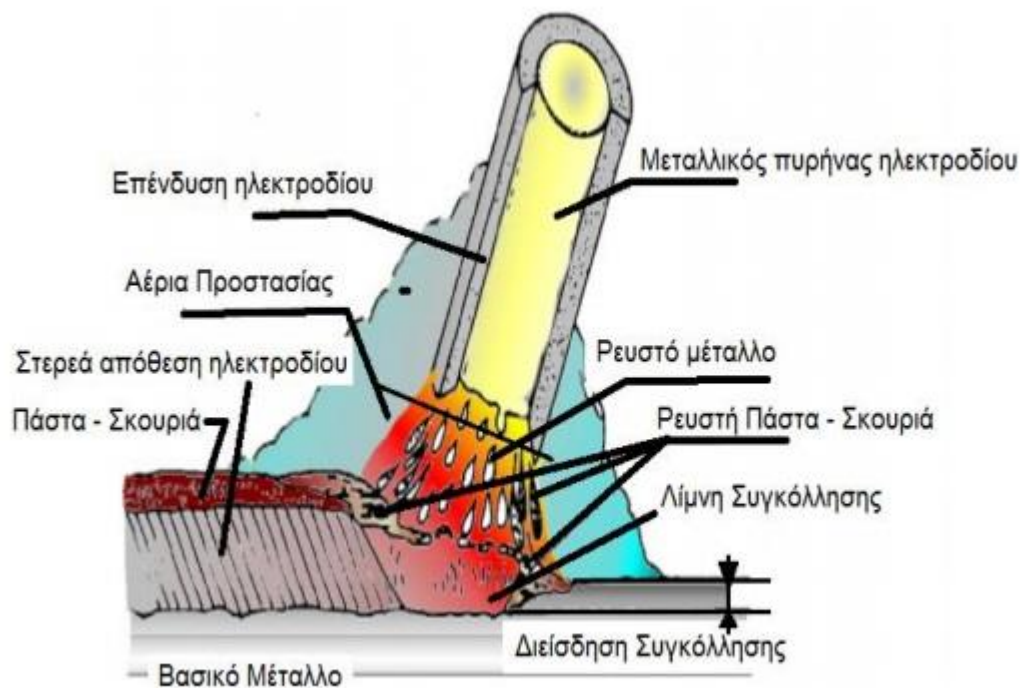
- Τις αυτογενείς κολλήσεις
- Τις ετερογενείς κολλήσεις

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

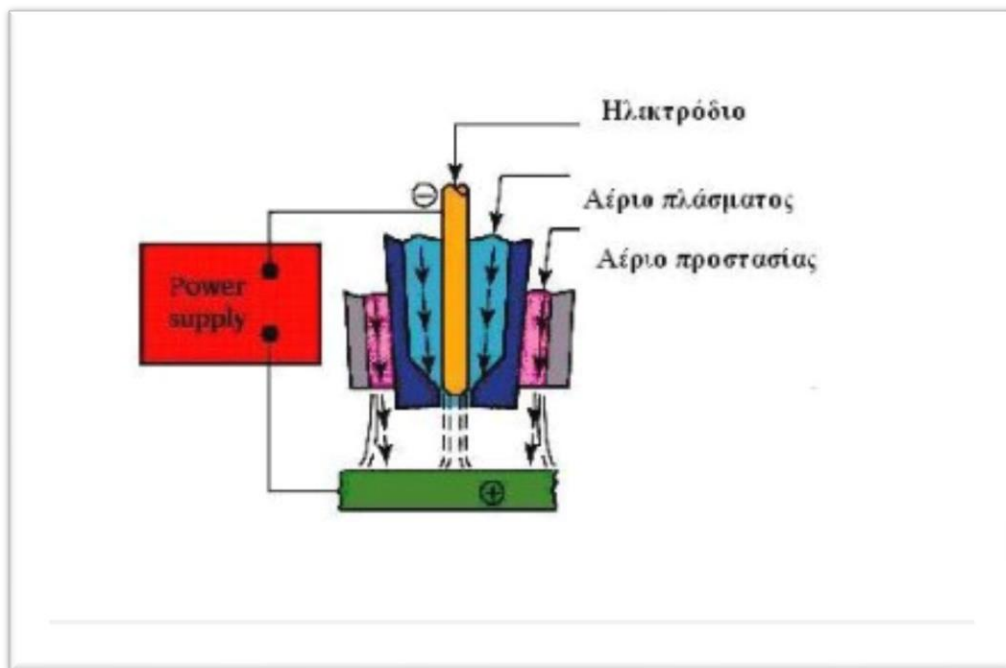
Οι γνωστότερες μέθοδοι συγκολλήσεως τήξεως είναι η ηλεκτροσυγκόλληση και η αυτογενής συγκόλληση (κοινώς οξυγονοκόλληση) .

3.1.ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση η θερμότητα , που χρειάζεται για την τήξη του υλικού , παράγεται με τη δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος και τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου στη θέση τήξεως της ραφής από ένα ηλεκτρόδιο προς τα δύο εξαρτήματα , που συγκολλούνται .



Σχημά 7 : Χαρακτηριστικά περιοχής συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια



Σχήμα 8 : Σχηματική παραστασή ηλεκτρικού τόξου

Αν το υλικό του ηλεκτροδίου χρησιμοποιείται συγχρόνως και για πρόσθετο υλικό της ραφής , τότε πρέπει να είναι ίδιο ή παρόμοιο με αυτό των δύο εξαρτημάτων .

Κατά τη διάρκεια της τήξεως , το υλικό στην περιοχή της ραφής κινδυνεύει να οξειδωθεί , αν έρθει σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας . Μεταξύ του υλικού της ραφής και της ατμόσφαιρας πρέπει επομένως κατά τη διάρκεια της συγκολλήσεως να παρεμβληθεί ένα χημικά ουδέτερο υλικό .

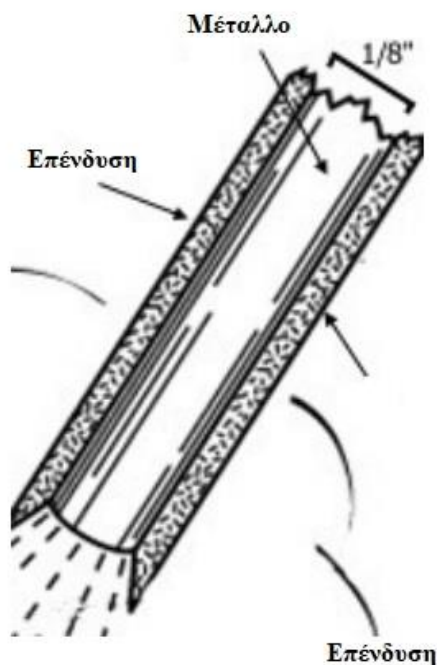
Στη πιο διαδεδομένη μέθοδο χειροποίητης ηλεκτροσυγκολλήσεως , κατά τη οποία το υλικό του ηλεκτροδίου λιώνεται και χρησιμοποιείται σαν πρόσθετο υλικό , το ηλεκτρόδιο αποτελείται από ένα μεταλλικό πυρήνα και ένα περίβλημα από οξείδιο τιτανίου , σιδήρου , μαγγανίου ή από βάσεις ασβεστίου κ.α. παρόμοια ουδέτερα υλικά . Το υλικό του περιβλήματος αυτού λειώνει κατά τη συγκόλληση συγχρόνως με τον μεταλλικό πυρήνα.

Έχοντας όμως μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό μέταλλο επιπλέει και έτσι δημιουργεί το απαραίτητο ουδέτερο στρώμα μεταξύ της ραφής και της ατμόσφαιρας .

Το περίβλημα ορισμένων ηλεκτροδίων περιέχει μάλιστα και οργανικές ουσίες , οι οποίες κατά τη συγκόλληση καίγονται και δημιουργούν πάνω από τα επιπλέοντα υγρά οξείδια ένα στρώμα ουδέτερων αερίων (καπνού) , το οποίο απωθεί τον ατμοσφαιρικό αέρα και έτσι προς φέρει μια πρόσθετη προστασία στο ευαίσθητο σε οξείδωση υγρό υλικό της ραφής .

Στις μηχανοποιημένες μεθόδους αυτόματης συγκολλήσεως χρησιμοποιούνται γυμνά μεταλλικά ηλεκτρόδια χωρίς περίβλημα . Η προστασία του υλικού της ραφής κατά τη συγκόλληση γίνεται είτε καλύπτοντας τη θέση της τήξεως με άμμο από τα οξείδια , που αναφέρθηκαν προηγουμένως , είτε εκτοξεύοντας προς τη θέση της τήξεως ένα ουδέτερο αέριο έτσι , ώστε να απωθείται ο ατμοσφαιρικός αέρας από όλη την περιοχή , στην οποία μπορεί να οξειδωθεί το υλικό της ραφής.

3.2.ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ



Σχήμα 9 : Ηλεκτρόδιο

Είναι αναλώσιμο-λιώνει κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

Αποτελείται από δυο μέρη :

- Πυρήνα (μεταλλικός)
 - ✓ Άγει το ρεύμα συγκόλλησης
 - ✓ Γίνεται μέρος της κόλλησης
- Επένδυση
 - ✓ Παράγει το προστατευτικό αέριο
 - ✓ Μπορεί να έχει πρόσθετα μεταλλικά στοιχεία
 - ✓ Σχηματίζει σκουριά

3.2.1. Ιδιότητες ηλεκτροδίων

1. Ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου EWP :

Περιέχουν βολφράμιο καθαρότητας 99,5 % . Είναι φθηνότερα από τα άλλα και χρησιμοποιούνται σε λιγότερο κρίσιμες περιπτώσεις . Για την ίδια διάμετρο ηλεκτροδίου με τα άλλα είδη περνάει λιγότερο ρεύμα. Μειονέκτημα τους το ότι εύκολα προσκολλάται στην άκρη τους βασικό μέταλλο . Χρησιμοποιούνται κυρίως με εναλλασσόμενο ρεύμα .

2. Ηλεκτρόδιο βολφραμίου με 1 ή 2 % θόριο EWTH-2 , EWTH-1 :

Υπερέχουν σε αρκετά σημεία από τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου . Έχουν ευκολότερο άναμμα τόξου . Το τόξο διατηρείται σταθερό κατά τη συγκόλληση . Περισσότερο ρεύμα μπορεί να περάσει για την ίδια διάμετρο . Τέλος έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και το βασικό μέταλλο δεν προσκολλάται εύκολα στην άκρη τους . Χρησιμοποιούνται κυρίως με συνεχές ρεύμα .

3. Ηλεκτρόδια βολφραμίου με 0,3 – 0,5 % ζirkόνιο EWZR :

Έχουν ενδιάμεσες ιδιότητες μεταξύ των ηλεκτροδίων . Χρησιμοποιούνται κυρίως με εναλλασσόμενο ρεύμα . Ηλεκτρόδια από καθαρό βολφράμιο με ψυχή από κραματωμένο βολφράμιο με 2 % θόριο EWTH – 3 .

Τα ηλεκτρόδια αυτά συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ηλεκτροδίων καθαρού βολφραμίου και των κραματωμένων με θόριο. Χρησιμοποιούνται και για τα δύο είδη ρευμάτων.

Τα πρόσθετα κραματικά στοιχεία αυξάνουν την ικανότητα εκπομπής ηλεκτρονίων και εμφανίζεται χαμηλότερη θερμοκρασία στην άκρη τους .

Αυτός είναι και ο λόγος που τα κραματωμένα ηλεκτρόδια ανέχουν σε λίγο περισσότερο ρεύμα από τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου .

Ο κύριος λόγος της χρήσης τους όμως , είναι το καλό άναμμα του τόξου και η δύσκολη προσκόλληση του βασικού μετάλλου στα άκρα τους .

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα σχηματίζεται στην άκρη του ηλεκτροδίου από καθαρό βολφράμιο ένα ημισφαίριο από λειωμένο μέταλλο που διατηρείται στο ίδιο μέγεθος από το ελάχιστο ως το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα . Αν το ρεύμα αυξηθεί ακόμα περισσότερο , το λειωμένο μέταλλο στην άκρη του ηλεκτροδίου εμδιώκεται γιατί δημιουργεί ιδανικές συνθήκες συγκόλλησης .

Τα θοριασμένα ηλεκτρόδια δεν παρουσιάζουν αυτό το φαινόμενο για αυτό όταν χρησιμοποιούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα , τροχίζονται κωνικά στο άκρο τους . Τα ηλεκτρόδια με ψυχή , επειδή έχουν περίβλημα από καθαρό βολφράμιο και ψυχή από θοριασμένο παρουσιάζουν το φαινόμενο του ημισφαιρίου αλλά έχουν και πλεονεκτήματα των θοριασμένων ηλεκτροδίων .

3.2.2. Η υγρασία των ηλεκτροδίων

Αν πάρουμε μια ποσότητα ηλεκτροδίων π.χ. (100 χλγρ.) και τα αφήσουμε εκτεθειμένα στον ατμοσφαιρικό αέρα , θα δούμε ότι μετά από 1-2 ημέρες το βάρος τους θα έχει αυξηθεί αρκετά δηλαδή αναλόγως της υγρασίας του αέρα , τα 100 χλγρ. Θα έχουν γίνει 101-101 , ή και περισσότερα . Η διαφορά του βάρους , δηλαδή τα 1-2 χλγρ. Δεν είναι τίποτε άλλο από υγρασία την οποία απορρόφησε η πάστα των ηλεκτροδίων. Αυτό οφείλεται στο ότι η πάστα όλων ανεξαιρέτως των ηλεκτροδίων περιέχει υγροσκοπικές ουσίες , δηλαδή ουσίες που απορροφούν εύκολα υγρασία . Ένα παράδειγμα μιας υγροσκοπικής ουσίας είναι το μαγειρικό αλάτι το οποίο αν αφήσουμε σε ανοικτό κουτί , μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα , γίνεται υγρό .

Αν τώρα τα υγρά ηλεκτρόδια παραμείνουν περισσότερο χρόνο εκτεθειμένα στον αέρα, π.χ. μερικές εβδομάδες, παρατηρούμε ότι η επιφάνεια τους σκεπάζεται από μια άσπρη σκόνη σαν μούχλα . Η σκόνη αυτή δεν είναι τίποτε από τη γνωστή σε όλους σόδα , και σχηματίζεται από την ένωση του διοξειδίου του άνθρακος του αέρος με ορισμένα συστατικά της πάστας.

Ενώ η σόδα δεν έχει καμία σοβαρή επίδραση πολύ σπουδαίο ρόλο . Αν κολλήσουμε π.χ. με ένα υγρό ηλεκτρόδιο θα δούμε ότι έχει την ιδιότητα να πιτσιλάει (να “ σκορπάει “ , όπως λέμε) . Επίσης , η κρούστα που δεν θα αποχωρίζεται εύκολα ιδίως όταν κολλάμε δύο ελάσματα υπό γωνία . Τέλος , το σπουδαιότερο απ’όλα είναι ότι η κόλληση δεν θα έχει μεγάλη αντοχή και τούτο οφείλεται στο ότι η υγρασία δημιουργεί μικρούς πόρους και ρωγμές μέσα στην κόλληση .

Εκεί όμως που η υγρασία ακόμα και σε ίχνη παίζει τεράστιο ρόλο , είναι τα βασικά ηλεκτρόδια , δηλαδή τα ηλεκτρόδια με τα οποία κολλάμε τα ατσάλια . Ένας τέτοιος τύπος π.χ. της Orlikon είναι το Univers . Για να κολλήσουμε με ένα βασικό ηλεκτρόδιο , πρέπει να είμαστε βέβαιοι , ότι είναι απολύτως ξηρό , αλλιώς υπάρχει μεγάλος φόβος να μας σπάσει , ή να κολλήσει .

Για τους παραπάνω λόγους , τα ηλεκτρόδια πρέπει να αποθηκεύονται σε ξηρό μέρος , που να αερίζεται καλώς και αν είναι δυνατό σχετικά θερμό .

Όταν τελειώσουμε την εργασία μας και μας έχουν περισσέψει ηλεκτρόδια από το κουτί, πρέπει να τα τοποθετήσουμε μέσα, να κλείσουμε το κουτί και καλό είναι να τοποθετήσουμε και το πλαστικό κάλυμα του. Ένας πρακτικός τρόπος για να διαπιστώσουμε αν τα ηλεκτρόδια μας έχουν πάρει υγρασία, είναι να τα βραχυκυκλώσουμε λίγη ώρα στο σώμα. Με το ρεύμα που περνάει το ηλεκτρόδιο ζεσταίνεται και η υγρασία της πάστας εξατμίζεται. Έτσι, αν δούμε πολλούς υδρατμούς συμπεραίνουμε πως το ηλεκτρόδιο μας είναι υγρό, ενώ ένα ξηρό ηλεκτρόδιο ελάχιστους μόνο υδρατμούς βγάζει.

Αν διαπιστώσουμε, ότι τα ηλεκτρόδια μας είναι υγρά, μπορούμε να τα ξαναψησουμε θερμαίνοντας τα περίπου 1 ώρα στους 150°C. Ακόμη κι αν τα ηλεκτρόδια μας έχουν μείνει πολύ καιρό στην υγρασία κι έχουν σκεπαστεί με την άσπρη σκόνη (σόδα), μπορούμε να τα δουλέψουμε, αρκεί να τα θερμάνουμε στην παραπάνω θερμοκρασία. Τότε, η υγρασία φεύγει, η δε σόδα παραμένει, είπαμε όμως ότι αυτή δεν έχει καμιά επίδραση στο κόλλημα.

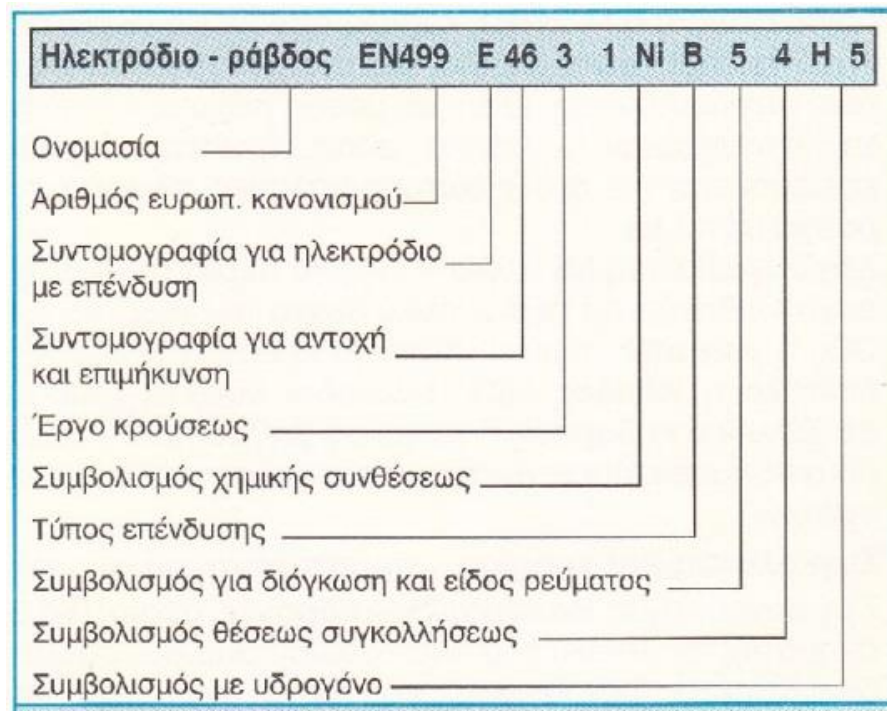
3.2.3.Κωδικοποίηση Ηλεκτροδίων

Τα επενδυμένα ηλεκτρόδια υπάρχουν σε μήκη 350-450mm και στις διαμέτρους που φαίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί. Η διάμετρος ενός ηλεκτροδίου μετριέται χωρίς την επένδυση, δηλαδή είναι η διάμετρος του μεταλλικού πυρήνα του ηλεκτροδίου.

| | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| mm | 1,6 | 2 | 2,5 | 3,2 | 4 | 5 | 6,4 | 7 | 8 |
| Ίντσες (") | 1/16 | 5/64 | 3/32 | 1/8 | 5/32 | 3/16 | 1/4 | 9/32 | 5/16 |

Σχήμα 10 : Διάμετροι επενδεδυμένων ηλεκτροδίων.

3.2.4. Τυποποίηση των χαρακτηριστικών των ηλεκτροδίων



Σχήμα 11 : Παράδειγμα ονομασίας για ηλεκτρόδιο-ράβδο.

Επιλογή ηλεκτροδίων και έντασης ρεύματος

| Πάχος ελάσματος mm | ∅ ηλεκτροδίου mm | Ένταση ρεύματος A |
|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 2 | 2 | 50...70 |
| 3 | 3,25 | 100...150 |
| 4 | 3,25 | 100...150 |
| 5 | 4,0 | 150...200 |
| 6 | 4,0 | 150...200 |
| 8 | 4,0 | 150...200 |
| 10 | 4,0 | 150...200 |
| 12 | 4...5 | 150...250 |

Σχήμα 12 : Συνιστώμενες τιμές για επιλογή ηλεκτροδίων και ένταση ρεύματος.

3.3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ MIG – MAG



Σχήμα 13 : Εφαρμογή μεθόδου συγκόλλησης MIG/MAG

Η συγκόλληση MIG (**Metal Inert Gas**) – MAG(**Metal Active Gas**) και ο εξοπλισμός της.

Η προμήθεια του εξοπλισμού συγκόλλησης με σύρμα, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη από τον ενδιαφερόμενο να τον χρησιμοποιήσει, για δύο βασικούς λόγους.

Πρώτο, γιατί ο εξοπλισμός αυτός έχει ένα κόστος σημαντικό που συχνά ξεπερνά το διπλάσιο της αξίας μιας απλής μηχανής συγκόλλησης. Η απόσβεση του επομένως, είναι δυνατή μόνο αν η χρησιμοποίησή του εντατική και απρόσκοπτη.

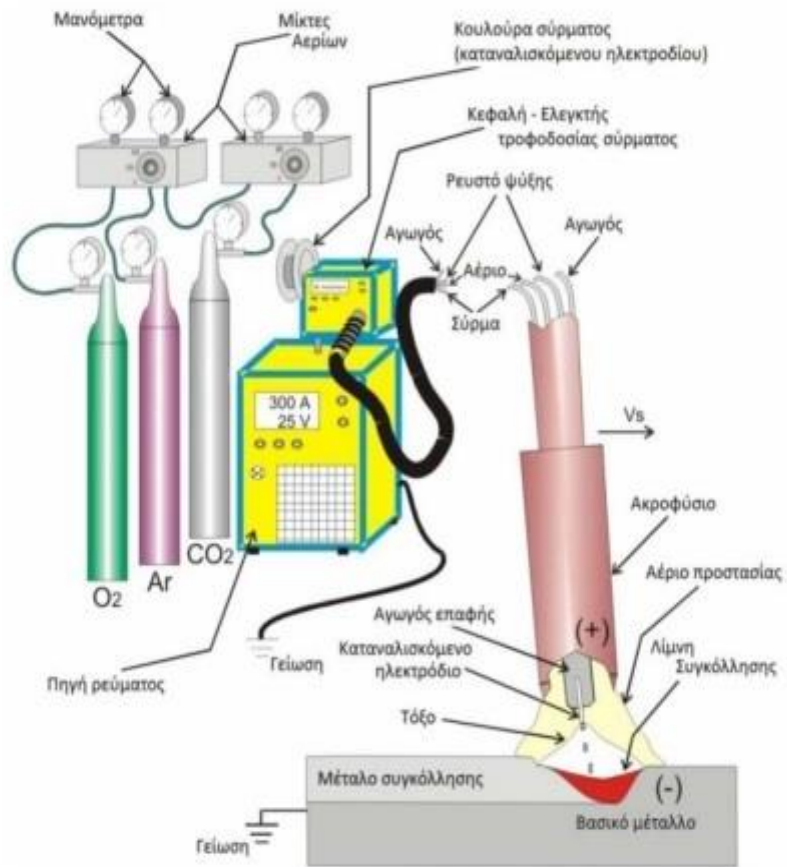
Δεύτερον , η καλή λειτουργία μιας μηχανής συγκόλλησης σύρματος είναι αναγκαστικά δεμένη με την καλή λειτουργία όχι μόνο της πηγής ρεύματος , αλλά και σειράς άλλων μηχανισμών όπως του τροφοδότη σύρματος , της λαβίδας συγκόλλησης , των διαφόρων βαλβίδων αερίου , των διακόπτων αυτοματισμού κ.λ.π. Μια βλάβη σε έναν από τους μηχανισμούς αυτούς συνεπάγεται την κινητοποίηση του συνόλου του εξοπλισμού .

Θεωρήσαμε σκόπιμο , επομένως με το παρακάτω άρθρο να δώσουμε μερικά στοιχεία χρήσιμα , κατά τη γνώση μας , για τη διευκόλυνση εκείνων που έχουν την πρόθεση να χρησιμοποιήσουν τη συγκόλληση με σύρμα και προστατευτικό αέριο .

3.3.1.Βασικά χαρακτηριστικά των συγκολλήσεων MIG – MAG

Η αρχή της συγκολλήσεως τόξου ‘MIG’ και ‘MAG’ δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το ηλεκτρόδιο είναι γυμνό σύρμα διαμέτρου 0,6 – 0,2 mm που προωθείται με σταθερή ταχύτητα μέσα από ένα ακροφύσιο χαλκού , το ακροφύσιο επαφής , από όπου έρχεται το ρεύμα. Το τόξο σχηματίζεται ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο – σύρμα και στο τεμάχιο που κολλάμε . Το σύρμα τήκεται με σταθερή ταχύτητα , ίση με την ταχύτητα με την οποία προωθείται . Η προστασία από την οξείδωση εξασφαλίζεται μέσω μιας ατμόσφαιρας αερίου που δημιουργείται στην περιοχή του τόξου και της ζώνης τήξης της συγκόλλησης . Το αέριο διοχετεύεται μέσα από ένα δεύτερο ακροφύσιο αερίου , συγκεντρωτικό με το ακροφύσιο επαφής της λαβίδας .

Στη συγκόλληση με αδρανές αέριο MIG (Metal Inert Gas) χρησιμοποιείται στις ευρωπαϊκές χώρες το αργό (A) ή μίγματα αργού με ήλιο (A – He) . Στη συγκόλληση με δραστικό αέριο MAG (Metal Active Gas) το προστατευτικό αέριο είναι είτε διοξείδιου του άνθρακα CO₂ , είτε μίγμα αργού – οξυγόνου , αργού – διοξειδίου του άνθρακα ή αργού – διοξειδίου του άνθρακα με λίγο οξυγόνο .



Σχήμα 14 : Η συγκόλληση MIG – MAG

Η ιδιομορφία των συγκολλήσεων MIG και MAG βρίσκεται στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους το μέταλλο του ηλεκτροδίου – σύρματος μεταφέρεται στη συγκόλληση .

Η τάση του τόξου , η πυκνότητα του ρεύματος , το είδος του μετάλλου , η διάμετρος και η ταχύτητα προωθήσεως του σύρματος είναι παράγοντες που καθορίζουν , όλοι σε συνδυασμό , τον τύπο μεταφοράς του μετάλλου και τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης .

Έτσι :

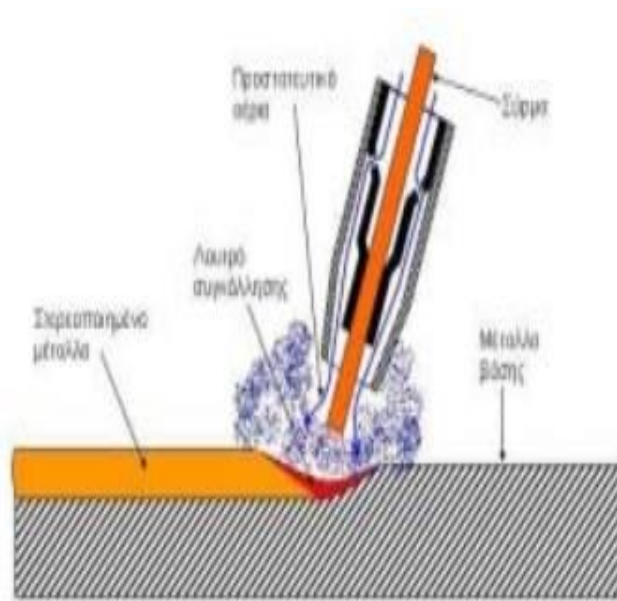
- Στη μεταφορά ‘λεπτής βροχής’ (spray arc) το λειωμένο μέταλλο του άκρου του σύρματος μεταφέρεται στο λουτρό της συγκόλλησης υπό μορφή πολύ λεπτών σταγονιδίων που ακολουθούν , στην πτώση τους , τον άξονα του τόξου . Η μεταφορά αυτή έχει ήπιο χαρακτήρα και δεν προκαλεί εκτινάξεις . Παρατηρείται όμως μόνο αργό ή σε μίγματα πλούσια σε αργό και με την προϋπόθεση ότι η πυκνότητα ρεύματος είναι αρκετά υψηλή .
- Στη μεταφορά ‘ με σταγόνες ’ (globular transfer) το λειωμένο μέταλλο σχηματίζει σταγόνες που μεγαλώνουν αρκετά στο άκρο του ηλεκτροδίου και κάθε τόσο αποσπώνται και πέφτουν μέσα στο λουτρό με τη βοήθεια της βαρύτητας όχι πάντοτε αξονικά .

3.3.2. Αρχή της συγκόλλησης MIG – MAG

Ο τύπος αυτός της μεταφοράς παρατηρείται σε όλα τα συνηθισμένα αέρια μίγματα προστασίας του τόξου , αλλά με κάποιες διαφορές .

Στην περίπτωση του αργού και των μιγμάτων του οι σταγόνες έχουν περίπου τη διάμετρο του σύρματος και εκτινάσσονται αξονικά προς το λουτρό του μετάλλου , προκαλώντας πάντως λίγες εκτινάξεις .

Στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα οι σταγόνες αποκτούν διάμετρο μέχρι και τρεις φορές τη διάμετρο του σύρματος και δεν πέφτουν πάντοτε αξονικά , αλλά αποκλίνουν και δημιουργούν περισσότερες εκτινάξεις . Οι σταγόνες βραχυκυκλώνουν , συχνά το τόξο .



Σχήμα 15 : Αρχή της συγκόλλησης MIG – MAG

Η αύξηση της έντασης του ρεύματος οδηγεί σε λεπτότερες σταγόνες για όλα τα αέρια μίγματα και περιορίζει τις εκτινάξεις . Ο τύπος του τόξου στην περίπτωση αυτή είναι το “μακρύ τόξο” . Κάθε φορά που μια χοντρή σταγόνα προκαλεί βραχυκύκλωμα , η ένταση του ρεύματος αποκτά στιγμιαία μεγάλες τιμές , ενώ η τάση πέφτει απότομα . Τούτο είναι βασικά ένα μειονέκτημα της μεταφοράς με σταγόνες σε σύγκριση με τη μεταφορά με βροχή .

Όταν ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες , όπως ταχύτητα προώθησης του σύρματος και χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της πηγής ρεύματος , συγκεκριμένα όταν περιορίσουμε το μήκος του τόξου , μειώνοντας και την τάση , τότε οι βραχυκυκλώσεις αυξάνονται σε αριθμό (50 – 150 το δευτερόλεπτο) , ενώ ο τρόπος μεταφοράς με , ένα σταγονίδιο ανά βραχυκύκλωμα σταθεροποιείται . Έχουμε , τότε την τεχνική του “κοντού “ ή “ βραχυκυκλωμένου τόξου “ , που εφαρμόζεται πάντα σε μίγματα που περιέχουν τουλάχιστον 5% CO₂ (dip transfer short circuit) . Η τεχνική του μακρού τόξου και της λεπτής βροχής χρησιμοποιούν μεγάλες εντάσεις σε ηλεκτρόδια μικρής διαμέτρου .

Επιτυγχάνουν επομένως μεγάλες αποδόσεις τήξης αλλά έλκουν μεγάλα ποσά θερμότητας , ώστε προκαλούν σημαντική “ αραίωση “ του μετάλλου της συγκόλλησης και σχετικά αργή απόψυξη . Οι τεχνικές αυτές , ιδανικές στις αυτοματοποιημένες συγκολλήσεις , εφαρμόζονται μόνο σε οριζόντια θέση και για μεγάλα πάχη . Η τεχνική βραχυκυκλωμένου τόξου εξασφαλίζει σε περίπτωση προστατευτικού αερίου από μίγμα αργού μεγάλες αποδόσεις με χαμηλές εντάσεις ρεύματος , δηλαδή με λιγότερη αραίωση και υπερθέρμανση . Αυτό επιτρέπει τη συγκόλληση πολύ λεπτών ελασμάτων μέχρι 0,5 mm και την εκτέλεση πασών στο βάθος λοξοτομής . Ακόμη , η ταχεία πήξη του μετάλλου , επιτρέπει τη συγκόλληση σε οποιοδήποτε θέση κατακόρυφη ή ανεστραμμένη .

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται προστατευτική ατμόσφαιρα , από CO₂ ή μεταφορά του μετάλλου από το ηλεκτρόδιο στη συγκόλληση γίνεται είτε με βραχυκυκλωμένο τόξο είτε με χονδρές σταγόνες .

Για να έχουμε μεταφορά με πολύ λεπτές σταγόνες σε ατμόσφαιρα CO₂ , πρέπει να χρησιμοποιήσουμε πολύ μεγάλες εντάσεις . Έτσι για ηλεκτρόδιο διαμέτρου 1,6 mm μπορούν να χρησιμοποιηθούν εντάσεις 700 – 800 A με εξαιρετικά υψηλές αποδόσεις τήξεως .

Οι υψηλές αποδόσεις τήξης συνδυάζονται πάντα με την αυτόματη πλήρως μηχανοποιημένη συγκόλληση . Στην ημιαυτόματη συγκόλληση ο χειριστής δεν προλαβαίνει να ελέγξει τόσο γρήγορες προχωρήσεις (απόθεση 8 – 12 kg/g) , για αυτό και οι εντάσεις ρεύματος που χρησιμοποιούνται είναι μέχρι 500 A το πολύ .

Μια σημαντική πρόοδος στη χειρονακτική συγκόλληση με ατμόσφαιρα CO₂ είναι τα “ γεμισμένα ηλεκτρόδια “ , δηλαδή ηλεκτρόδια με πυρήνα συλλιπάσματος , που περιορίζουν στο ελάχιστο τις εκτινάξεις , διευκολύνοντας την εργασία του συγκολλητού και βελτιώνοντας την ποιότητα της συγκόλλησης .

Ιδιαίτερα πλεονεκτήματα παρουσιάζουν τέτοια ηλεκτρόδια με ολόσωμα κλειστό περίβλημα , που χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για τη συγκόλληση χαλύβων που έχουν υποστεί

βελτίωση με βαφή και επαναφορά ή για τη συγκόλληση λεπτόκοκκων χαλύβων με υψηλό όριο ελαστικότητας (80 – 90 kg/mm²) . Το κλειστό περίβλημα προστατεύει τον πυρήνα του βασικού συλλιπάσματος από την υγρασία κι εξασφαλίζει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα υδρογόνου αποτρέποντας τον κίνδυνο ψυχρής ρωγματώσεως .

Χαρακτηριστικό της συγκόλλησης MAG είναι η δράση του προστατευτικού αερίου CO₂ πάνω στο τηγμένο μέταλλο . Στους ανοξειδωτους χάλυβες προκαλείται ενανθράκωση σε περιεκτικότητα μέχρι 0,1 % C κι αυτό είναι συνήθως ανεπιθύμητο γιατί ευαισθητοποιεί το χάλυβα , στη διάβρωση . Στην περίπτωση όμως συγκόλλησης ανθρακούχων χαλύβων το CO₂ έχει οξειδωτική δράση γιατί διασπάται παρέχοντας οξυγόνο . Το οξυγόνο μπορεί να αντιδράσει με τον άνθρακα του μπάνιου της συγκόλλησης και να σχηματίζει αέρια και ενδεχομένως πόρους . Για αυτό το σύρμα περιέχει συνήθως οξειδωτικά στοιχεία (0,9 – 1,1 % Si και 1,5 – 1,7 % Mn) που δεσμεύουν το οξυγόνο . Έτσι αποφεύγεται το πορώδες , η συγκόλληση είναι πιο ήρεμη και το μέταλλο διατηρεί μια ικανοποιητική στάθμη άνθρακα γύρω στο 0,1 % .

3.3.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

Το βασικό **πλεονέκτημα** της μεθόδου είναι ο υψηλός ρυθμός εναπόθεσης (deposition rate) του υλικού πλήρωσης, λόγω της αντίστοιχα μεγάλης ταχύτητας τήξης του σύρματος, σε σχέση με τη μέθοδο συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια ή τη μέθοδο συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο βολφραμίου σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου (TIG). Το ηλεκτρόδιο – σύρμα τροφοδοτείται αδιάκοπα, γεγονός που επίσης συμβάλει στην επίτευξη υψηλού ρυθμού εναπόθεσης. Στην αυξημένη παραγωγικότητα της μεθόδου συμβάλει και η απουσία σκουριάς που θα σχηματίζονταν σε κάθε κορδόνι και θα απαιτούσε καθαρισμό, όπως, για παράδειγμα, στη περίπτωση της συγκόλλησης βυθισμένου τόξου. Η απουσία σκουριάς απαλλάσσει τη μέθοδο και από τον κίνδυνο εμφάνισης ενός πολύ συχνού σε άλλες μεθόδους σφάλματος συγκόλλησης, των εγκλεισμάτων σκουριάς (slag inclusion).

Επιπλέον, ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλή και εύκολη ρύθμιση του τρόπου μεταφοράς του τηγμένου ηλεκτροδίου μέσω του τόξου στο

λουτρό τήξης. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις θέσεις συγκόλλησης, με τη σωστή ρύθμιση παραμέτρων, κάτι που δεν ισχύει για τη μέθοδο συγκόλλησης βυθισμένου τόξου για παράδειγμα. Ακόμα, οι υψηλές τιμές πυκνότητας ρεύματος που επιτυγχάνονται, οδηγούν στην επίτευξη μεγαλύτερης διείσδυσης σε σχέση με τη συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια. Τέλος, η μέθοδος MIG/MAG παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών.

Στα **μειονεκτήματα** που αναφέρονται για τη μέθοδο, συγκαταλέγονται η ευαισθησία της στα εξωτερικά περιβάλλοντα και σε έκθεση σε ρεύματα αέρα, καθώς η προστατευτική ατμόσφαιρα αποτελείται μόνο από το παρεχόμενο αέριο.

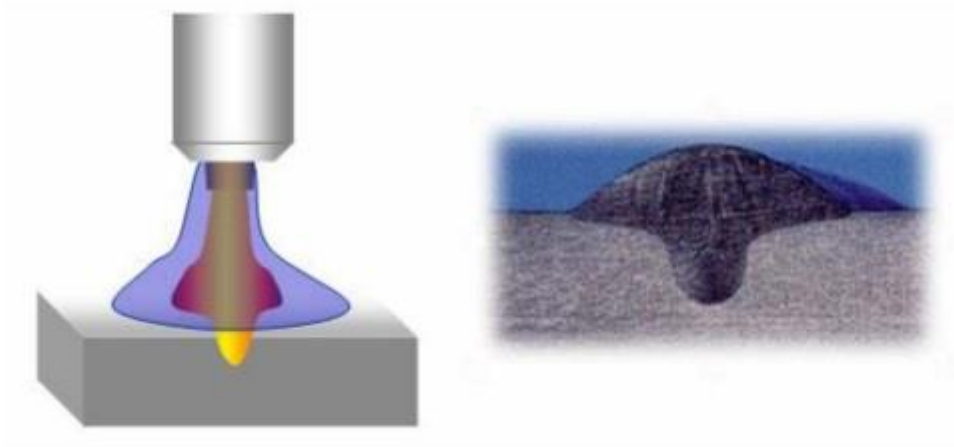
Επιπλέον, η έλλειψη σκουριάς οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς απόψυξης της περιοχής της συγκόλλησης, μετά τη στερεοποίηση του λουτρού τήξης, ή/και σε υποβιβασμό των μεταλλουργικών και μηχανικών ιδιοτήτων της συγκόλλησης και της θερμικά επηρεασμένης ζώνης. Ακόμα, η έλλειψη σκουριάς αφήνει το τόξο εκτεθειμένο, με αποτέλεσμα να χρειάζεται πλήρης εφαρμογή όλων των μέτρων ατομικής προστασίας ενάντια σε δερματικές βλάβες ή και βλάβες της οράσεως.

Επίσης, μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί και η ευαισθησία της στο κρίσιμο σφάλμα της ατελούς τήξης. Η συχνή εμφάνιση ατελούς τήξης (lack of fusion) στις συγκεκριμένες συγκολλήσεις οφείλεται στην αυξημένη ταχύτητα προώθησης της συγκόλλησης, στην κατανομή θερμότητας μεταξύ βασικού μετάλλου και ηλεκτροδίου (μεγαλύτερο ποσοστό της θερμικής ενέργειας καταλήγει στο ηλεκτρόδιο από ότι στο βασικό μέταλλο), και στη συχνά εμφανιζόμενη δυσκολία χειρισμού του όπλου συγκόλλησης (και κατά συνέπεια και του αντίστοιχου τόξου) σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές συγκόλλησης.

Γενικότερα, η προσβασιμότητα στη περιοχή συγκόλλησης, μπορεί να περιορίζεται, λόγω του σχήματος και του μεγέθους του όπλου, σε συνδυασμό με τα διάφορα καλώδια τροφοδοσίας που καταλήγουν σ' αυτό. Τέλος, σε σύγκριση με τη μέθοδο συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, η μέθοδος MIG/MAG, απαιτεί εξοπλισμό υψηλότερου κόστους, πιο πολύπλοκο, και λιγότερο ευέλικτο.

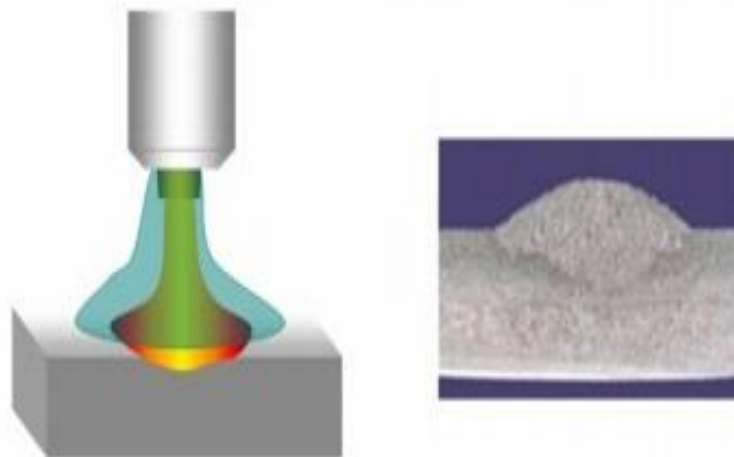
3.3.4. Ειδικά χαρακτηριστικά των αερίων συγκόλλησης

Αργό: (Ar)Πρόκειται για αέριο που ιονίζεται σχετικά εύκολα, γεγονός που συμβάλει στη σταθερότητα του τόξου και στην εύκολη έναυση και (επανέναυση) του. Αποτελεί τη βάση για τα αέρια που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις. Το τόξο που παράγει είναι “ήπιο” και αρκετά σταθερό. Έχει σχετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, κι έτσι δημιουργεί ένα θερμό πυρήνα στο πλάσμα του τόξου, που οδηγεί σε ισχυρή διείσδυση, ιδιαίτερης όμως μορφής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα . Προκύπτει επίσης χαμηλή τιμή διάλυσης, μέγεθος που εκφράζει το ποσοστό ανάμειξης τηγμένου βασικού μετάλλου στη περιοχή της συγκόλλησης .



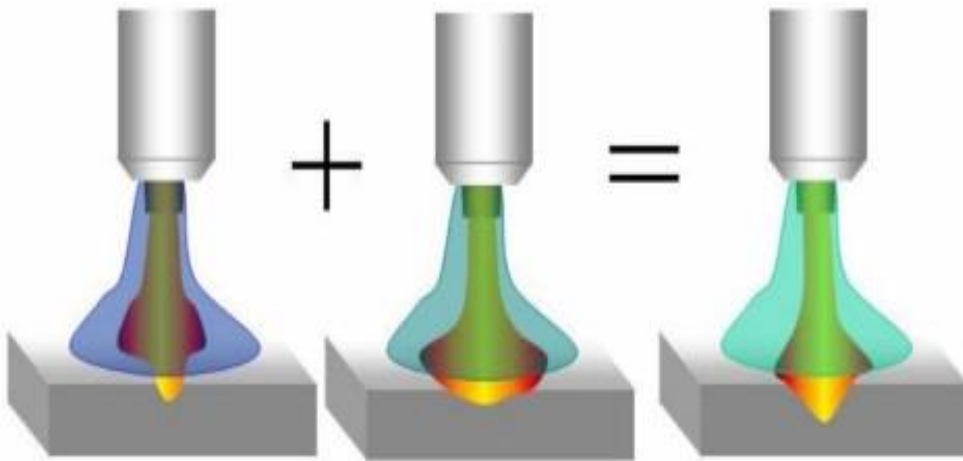
Σχήμα 16 : Συγκόλληση με αέριο προστασίας Αργό.

Ήλιο: (He)Σε σύγκριση με το αργό έχει καλύτερη θερμική αγωγιμότητα κι έτσι η μεταφορά θερμότητας μέσω του τόξου του είναι πιο ομαλή. Το δυναμικό ιονισμού του είναι μεγαλύτερο, κάτι που συνεπάγεται τη χρήση υψηλότερων τιμών τάσης από τη πηγή. Το λουτρό τήξης είναι έτσι πλατύτερο (Σχήμα), θερμότερο και ρευστότερο, επιτρέποντας καλύτερη απομάκρυνση των όποιων ποσοτήτων αερίου έχουν διαλυθεί μέσα του. Ακόμα, το τόξο είναι πιο ασταθές και δύσκολο στο χειρισμό του. Με βάση τα παραπάνω το ήλιο προτείνεται (καθαρό ή ως πρόσμιξη στο αργό) για τη συγκόλληση υλικών με μεγάλη θερμική διαχυσιμότητα όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός. Επίσης, επιφέρει αύξηση της ταχύτητας συγκόλλησης. Λόγω της χαμηλής πυκνότητας του, η κατανάλωση του είναι μεγαλύτερη κάτι που πρέπει να υπολογίζεται όπως και η ανάγκη διαφορετικών ρυθμίσεων στη παροχή του.



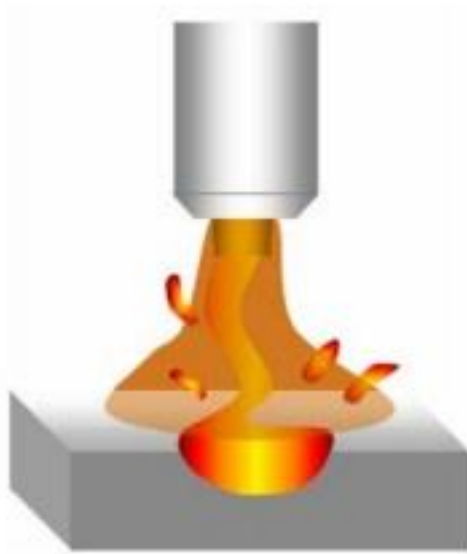
Σχήμα 17 : Συγκόλληση με αέριο προστασίας Ήλιο.

Προσθέτοντας ήλιο στο αργό συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα και των δύο και το αποτέλεσμα είναι συγκολλήσεις τόξου μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας, ομαλής θερμοκρασιακής κατανομής, αυξημένης παραγωγικότητας, καλής διεύθυνσης αλλά και πλάτους λουτρού (μειωμένη πιθανότητα σφαλμάτων). Στο Σχήμα , εμφανίζονται σχηματικά τα παραπάνω.



Σχήμα 18 :Συνδυασμός χαρακτηριστικών αργού και ηλίου.

Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂) : πρόκειται για έντονα ενεργό αέριο. Συμμετέχοντας στη συγκόλληση, αναπόφευκτα, προκαλεί οξείδωση του βασικού μετάλλου και του ηλεκτροδίου. Παρόλα αυτά προστίθεται σε μείγμα με το αργό συνήθως, με σκοπό να βελτιώσει τη διεύθυνση και να σταθεροποιήσει το τόξο. Έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα λόγω και του γεγονότος ότι αρχικά διασπάται και στη συνέχεια επανασυντίθεται. Όταν χρησιμοποιείται μόνο του, το τόξο δεν είναι σταθερό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.9, και προκύπτει μεγάλος αριθμός πιτσιλισμάτων. Συμβάλει στη δημιουργία μικρών σταγόνων τηγμένου μετάλλου και ευνοεί τη συγκόλληση με κοντό τόξο.

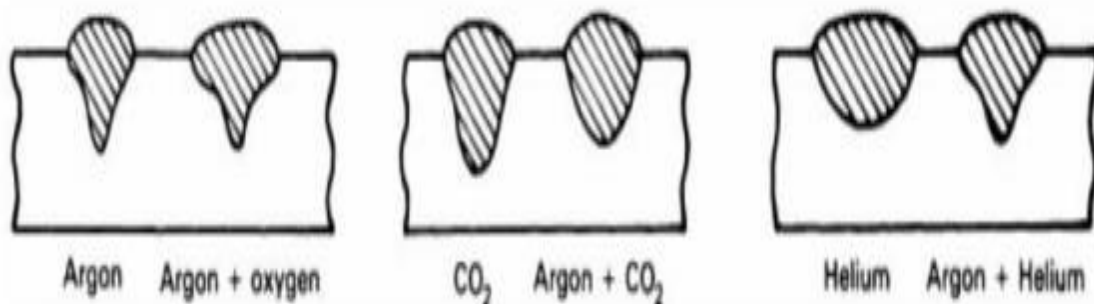


Σχήμα 19 : Συγκόλληση με αέριο προστασίας Διοξείδιο του άνθρακα .

Οξυγόνο: (O_2) Προστίθεται σε μικρές περιεκτικότητες (έως 10 %) σε μείγματα αργού για να βελτιώσει τη σταθερότητα του τόξου και να αυξήσει τη ρευστότητα του λουτρού τήξης. Σε ελεύθερη μορφή είτε χημικά συνδεδεμένο στο διοξείδιο του άνθρακα, μειώνει την επιφανειακή τάση των σταγόνων του τήγατος και ευνοεί το σχηματισμό λεπτότερων σταγόνων.

Άζωτο: (N_2) Το άζωτο, παρουσιάζει ενεργή συμπεριφορά σε χαμηλό βαθμό. Συνήθως δε χρησιμοποιείται στο τόξο αλλά για προστασία της ρίζας (συχνά με προσθήκη υδρογόνου). Είναι στοιχείο που ευνοεί το σχηματισμό και τη σταθεροποίηση της ωστενητικής φάσης, και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πριν τη χρήση του. Έχει ευρεία εφαρμογή στις κοπές με πλάσμα. Στη συγκόλληση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως συγκόλληση χαλκού και του αλουμινίου.

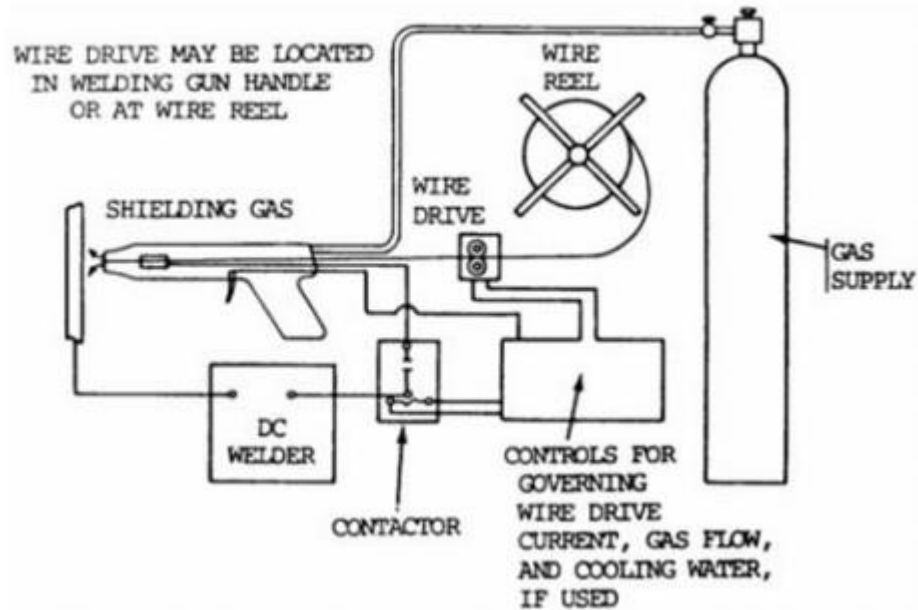
Υδρογόνο: (H_2) Παρουσιάζει και αυτό υψηλή θερμική αγωγιμότητα, κι έτσι ευνοεί τη διείδυση και την αύξηση της ταχύτητας της συγκόλλησης παρόμοια με το ήλιο. Διασπάται και ιονίζεται στο τόξο, και στη συνέχεια επανασυντίθεται στο ψυχρότερο λουτρό τήξης αποδίδοντας επιπρόσθετη θερμότητα. Δε χρησιμοποιείται στη συγκόλληση αλουμινίου λόγω μεγάλης τάσης για σχηματισμό πόρων, που αποτελεί το κύριο πρόβλημα στις συγκεκριμένες συγκολλήσεις. Επίσης δε χρησιμοποιείται στη συγκόλληση κοινών ή ελαφρά κραματωμένων χαλύβων λόγω του ότι ευνοεί την ευθραυστοποίηση υδρογόνου. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί στη συγκόλληση υψηλά κραματωμένων χαλύβων που δε παρουσιάζουν ευαισθησία. Μπορεί τέλος να συμμετέχει και στο μείγμα προστασίας της ρίζας, με τους παραπάνω περιορισμούς.



Σχήμα 20 :Επίδραση προστατευτικού αερίου στη μορφή συγκόλλησης.

3.3.5. Εξοπλισμός συγκολλήσεων MIG/MAG

Ο βασικός, απαραίτητος για τη λειτουργία της μεθόδου εξοπλισμός, εμφανίζεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα :



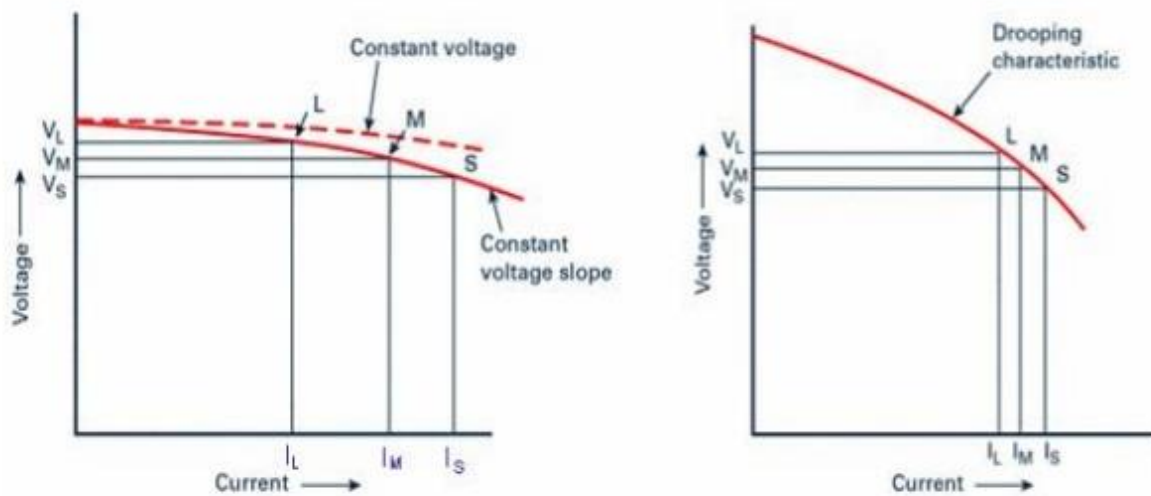
Σχήμα 21 : Βασικός εξοπλισμός μεθόδου συγκόλλησης MIG/MAG

Τα κύρια μέρη που αποτελούν τον εξοπλισμό για την εφαρμογή της μεθόδου είναι :

- Το όπλο της συγκόλλησης,
- Η πηγή ρεύματος,
- Το κύκλωμα παροχής προστατευτικού αερίου,
- Το κύκλωμα παροχής ψυκτικού υγρού (όταν χρησιμοποιείται),
- Το σύστημα τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου – σύρματος.

3.3.6. Πηγές ρεύματος

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο συγκόλλησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο τύποι πηγών: Τόσο οι πηγές σταθερής τάσης (constant voltage), όσο και οι πηγές σταθερής έντασης (constant current – drooping characteristic), Εικόνα 25. Ωστόσο, στη μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών χρησιμοποιούνται οι πηγές σταθερής τάσης. Στις πηγές σταθερής τάσης, η τάση της συγκόλλησης, και κατά συνέπεια το μήκος του τόξου, διατηρούνται σχεδόν σταθερά, ανεξάρτητα από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Πριν το ξεκίνημα της συγκόλλησης ορίζονται στη μηχανή, οι παράμετροι συγκόλλησης. Κατά τη διεξαγωγή της συγκόλλησης, αν για οποιονδήποτε λόγο το μήκος του τόξου μεταβληθεί, και κατά συνέπεια η αντίσταση του τόξου, το ρεύμα θα προσαρμοστεί ανάλογα, με τέτοιο τρόπο που αυξάνοντας ή μειώνοντας το ρυθμό τήξης του σύρματος, με σταθερή πάντα τη ταχύτητα τροφοδοσίας του σύρματος, το μήκος του τόξου θα επανέρθει στη προηγούμενη τιμή του, αυτόματα.



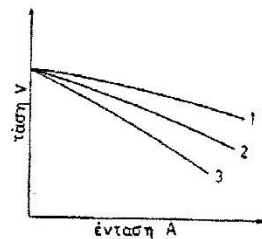
Σχήμα 22: Χαρακτηριστικές καμπύλες πηγών για τις συγκολλήσεις MIG/MAG

Στη περίπτωση που χρησιμοποιηθούν πηγές σταθερής έντασης, θα πρέπει να υπάρχει μηχανισμός ελέγχου του ρυθμού τροφοδοσίας του σύρματος. Σε αυτή τη περίπτωση, οποιαδήποτε μεταβολή του μήκους του τόξου θα οδηγήσει σε ανάλογη μεταβολή της τάσης της συγκόλλησης. Η πληροφορία αυτή περνάει στο πίνακα ελέγχου της μηχανής, ο οποίος στη

συνέχεια επεμβαίνει στο μηχανισμό τροφοδοσίας του σύρματος, που με τη σειρά του ρυθμίζει ανάλογα το ρυθμού τροφοδοσίας, ώστε το μήκος τόξου να επιστρέψει στην αρχική του τιμή. Οι πηγές αυτού του τύπου δε συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις MIG/MAG. Κυρίως χρησιμοποιούνται στις χειρωνακτικές μεθόδους συγκόλλησης (TIG και με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια), και σε μεθόδους συγκόλλησης με μηχανική τροφοδοσία σύρματος, μόνο σε πλήρως αυτοματοποιημένες παραλλαγές, όπου επιπλέον, χρησιμοποιούνται μεγάλες διαμέτροι σύρματος (κυρίως κάποιες εφαρμογές της μεθόδου συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο).

3.3.7. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στις συγκολλήσεις MIG/MAG που χρησιμοποιούνται γεννήτριες ρεύματος ‘σταθερής τάσης’ Δηλαδή με χαρακτηριστική καμπύλη τάσης – έντασης που πέφτει με αργό ρυθμό , όπως στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα

1. Χαρακτηριστική της πηγής
2. Τάση τόξου με ηλεκτρόδιο από κοινό κάλυβα
3. Τάση τόξου με ηλεκτρόδιο από ανοξείδωτο κάλυβα

Σχήμα 23 : Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης – έντασης

Σε αυτές, μια αύξηση στην ταχύτητα προώθησεως του σύρματος τείνει να μειώσει το μήκος του τόξου , προκαλώντας ασήμαντη πτώση τάσης και μεγάλη αύξηση της έντασης δηλαδή τελικά αύξηση της ταχύτητας τήξης . Έτσι , σε μια τέτοια πηγή σταθερής τάσης , δεν έχουμε παρά να ρυθμίσουμε την ταχύτητα προώθησης του σύρματος και μόνο ,για να ρυθμιστεί αυτόματα η ένταση και το μήκος του τόξου , και μαζί με αυτά ο ρυθμός τήξης του ηλεκτροδίου .

3.3.8. Τύπος ρεύματος και πολικότητα

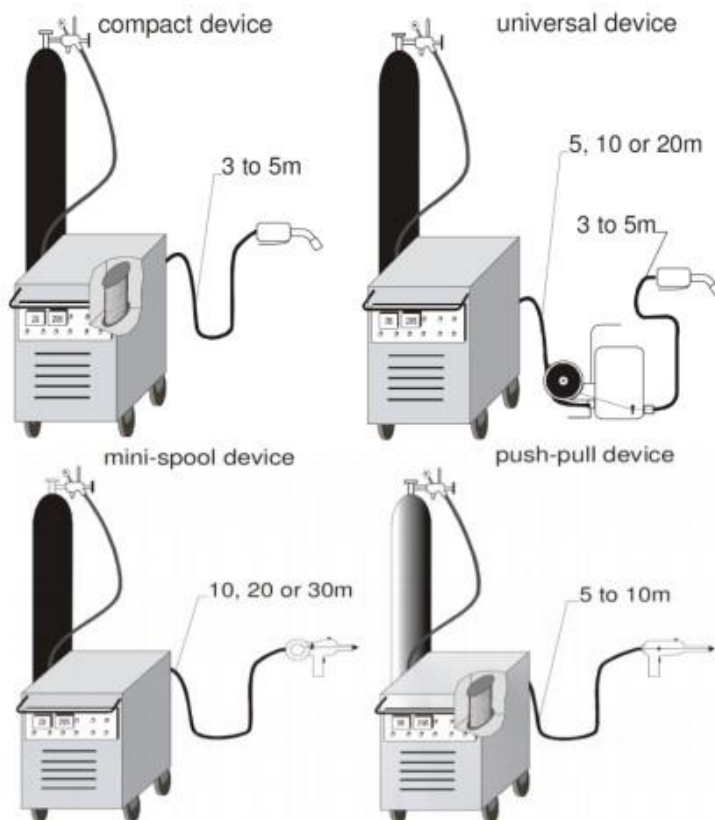
Στη συντριπτική πλειοψηφία των εργασιών συγκόλλησης που εκτελούνται με τη μέθοδο MIG/MAG, το ρεύμα που χρησιμοποιείται είναι συνεχές, θετικής πολικότητας (DCRP – Direct Current Reverse Polarity), δηλαδή ο θετικός πόλος είναι το ηλεκτρόδιο. Με αυτό το τύπο ρεύματος, εξασφαλίζεται ένα σταθερό και ομαλό τόξο, με ομαλή μεταφορά του τηγμένου ηλεκτροδίου στο λουτρό τήξης, σχετικά περιορισμένη εμφάνιση πιτσιλισμάτων και απώλειες υλικού και κραματικών στοιχείων, και καλή εξωτερική εμφάνιση εξωτερικής επιφάνειας συγκόλλησης, για όλο το εφαρμοζόμενο εύρος τιμών έντασης ρεύματος. Η αντίθετη πολικότητα χρησιμοποιείται σπάνια, καθώς το παραγόμενο τόξο γίνεται ασταθές και “άγριο”. Επίσης, η διείσδυση που επιτυγχάνεται είναι πιο ρηχή σε αυτή τη περίπτωση. Ρεύμα εναλλασσόμενης κυματομορφής δε χρησιμοποιείται, καθώς δεν έχει εμπορική εφαρμογή, για δύο κυρίως λόγους. Η επανέναυση του τόξου είναι δυσχερής καθώς η κάθοδος ψύχεται σχετικά γρήγορα, λόγω και της υψηλής ταχύτητας προώθησης της συγκόλλησης, και η λειτουργία του τόξου στο ποσοστό της περιόδου που ισχύει η αρνητική πολικότητα είναι ασταθής όπως είδαμε και παραπάνω.

3.3.8. Πυρσός (όπλο) συγκόλλησης

Η μέθοδος συγκόλλησης MIG/MAG χρησιμοποιείται τόσο στη χειρονακτική όσο και στην αυτοματοποιημένη εκδοχή της. Έτσι, αντίστοιχα, υπάρχουν και ειδικά όπλα συγκόλλησης για την κάθε περίπτωση.

Αερόψυκτα όπλα συγκόλλησης

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το θερμικό φορτίο το επιτρέπει, καθώς και σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει εύκολη διαθεσιμότητα νερού για να χρησιμοποιηθεί στο κύκλωμα ψύξης. Θεωρητικά, αντέχουν ρεύμα έως 600 A (διακεκομμένου κύκλου λειτουργίας), με προστατευτικό αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Στη πράξη, δε συνηθίζεται η χρήση τους με περισσότερα από 200 A (ειδικά όταν προστατευτικό αέριο είναι το αργό ή το ήλιο). Συνήθως, η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των υδρόψυκτων δαυλών. Διακρίνονται, γενικά, τρεις τύποι αερόψυκτων όπλων, ανάλογα με το μηχανισμό τροφοδοσίας του σύρματος συγκόλλησης.



Σχήμα 24: Τύποι όπλου σε σχέση με το μηχανισμό τροφοδοσίας σύρματος

- Στον πρώτο, το σύρμα τροφοδοτείται στο δαυλό, μέσω εύκαμπτου αγωγού, από μηχανισμό τροφοδοσίας (απομακρυσμένο από το δαυλό) που σπρώχνει το σύρμα σε αυτόν. Γενικά, το μήκος του αγωγού τροφοδοσίας είναι μήκους περίπου 3.7 m καθώς η συγκεκριμένη διάταξη θέτει περιορισμούς ως προς την ομαλή τροφοδοσία του σύρματος. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας με το ρολό του σύρματος μπορεί να βρίσκεται είτε πάνω στη μηχανή συγκόλλησης, είτε απομακρυσμένα από αυτή.
- Στο δεύτερο, ο δαυλός έχει ενσωματωμένο μηχανισμό τροφοδοσίας και μικρό ρολό σύρματος. Τα συγκεκριμένα ρολά είναι συνήθως διαμέτρου 102 mm και βάρους 0.45 ως 1.1 kg. Η συγκεκριμένη διάταξη κάνει χρήση μηχανισμού τροφοδοσίας που τραβάει το σύρμα, και δεν εμφανίζει τον παραπάνω περιορισμό ως προς το μήκος του εύκαμπτου αγωγού τροφοδοσίας.
- Στο τρίτο τύπο, το όπλο έχει ενσωματωμένο μηχανισμό τροφοδοσίας που τραβάει το σύρμα από ρολό που βρίσκεται απομακρυσμένο από αυτό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με μηχανισμό τροφοδοσίας που σπρώχνει το σύρμα (διάταξη “push-pull”), ευρισκόμενο στη περιοχή του ρολού του σύρματος. Εδώ το μήκος του εύκαμπτου αγωγού τροφοδοσίας μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο (για παράδειγμα 15 ή και παραπάνω μέτρα).

3.3.9. Υγρόψυκτα όπλα συγκόλλησης

Είναι παρόμοια με τα αερόψυκτα . Η μόνη διαφορά τους είναι ότι περιέχουν αγωγούς για τη κυκλοφορία του υγρού ψύξης. Το υγρό ψύξης κυκλοφορεί μέσω των αγωγών και ψύχει κυρίως την ηλεκτρική επαφή και το ακροφύσιο του αερίου. Η υγρόψυξη επιτρέπει τη συνεχόμενη χρήση του όπλου συγκόλλησης, με αυξημένη ικανότητα χρήσης ρεύματος και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Συνήθως, τα υγρόψυκτα όπλα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου το ρεύμα κυμαίνεται από 200 έως 750 A. Οι αγωγοί κυκλοφορίας του υγρού ψύξης, προσθέτουν βάρος και υποβιβάζουν την ευκολία χρήσης του όπλου.



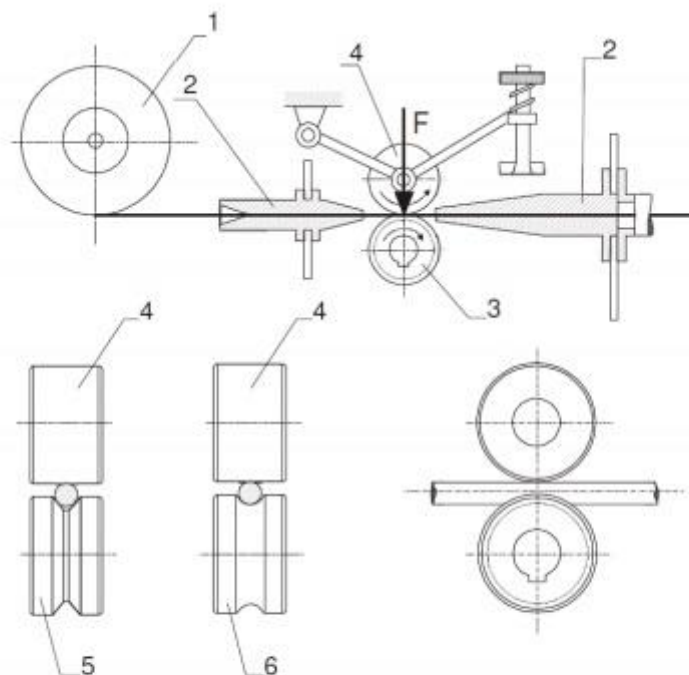
Σχήμα 25: Υγρόψυκτα όπλα συγκόλλησης MIG/MAG

Η επιλογή του τύπου δαυλού συγκόλλησης που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή, και κυρίως αν θα είναι αερόψυκτος ή υγρόψυκτος, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι κυριότεροι από τους οποίους είναι: Ο τύπος του προστατευτικού αερίου, το εύρος τιμών έντασης ρεύματος που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκόλληση, ο τύπος των βασικών υλικών, η προετοιμασία ακμών της συγκολλητής σύνδεσης, ο τύπος και η διάσταση του υλικού πλήρωσης, η προσβασιμότητα της προς συγκόλληση περιοχής, και η διαθέσιμη

τεχνογνωσία του συνεργείου που θα εκτελέσει τη συγκεκριμένη εργασία συγκόλλησης. Το βάρος και η ευχρηστία του κάθε υποψήφιου όπλου συγκόλλησης, προφανώς, πρέπει να συνυπολογίζονται.

3.3.10. Σύστημα τροφοδοσίας σύρματος

Είναι, όπως αναφέρθηκε, το σύστημα που ευθύνεται για την ομαλή και απρόσκοπτη τροφοδοσία του ηλεκτροδίου – σύρματος στο όπλο συγκόλλησης. Αποτελείται από ράουλα που κινούνται μηχανικά, και σε συνεργασία με άλλα ράουλα που απλά περιστρέφονται και πιέζουν το σύρμα συγκόλλησης, τραβούν ή σπρώχνουν το σύρμα και εξασφαλίζουν την ευθύτητα του και τη σωστή τροφοδοσία του. Στην Εικόνα 68 παρουσιάζει τυπικές διατάξεις τέτοιων μηχανισμών. Παρατηρούμε ότι τα ράουλα για το αλουμίνιο, για παράδειγμα, πρέπει να είναι διαφορετικά από αυτά του χάλυβα. Γενικά τα ράουλα και όλος ο μηχανισμός, πρέπει να είναι σωστά επιλεγμένα, ανάλογα το τύπο και τη διάμετρο του σύρματος συγκόλλησης, και σωστά συντηρημένα.



- | | |
|---|-------------------------|
| 1 wire reel | 3 wire transport roll |
| 2 wire guide tube | 4 counter pressure roll |
| 5 wire feed roll with a V-groove for steel electrodes | |
| 6 wire feed roll with a rounded groove for aluminium | |

3.3.11. Υλικά πλήρωσης

Στις περισσότερες κοινές εφαρμογές, τα αναλίσκόμενα ηλεκτρόδια επιλέγονται με τρόπο ώστε η χημική τους σύσταση να πλησιάζει, όσο το δυνατό, τη χημική σύσταση των βασικών μετάλλων. Πολλές όμως φορές, για να προκύψει επιτυχής συγκόλληση, και οι ιδιότητες της συγκολλητής σύνδεσης να είναι οι προδιαγραφόμενες, επιλέγονται υλικά πλήρωσης διαφορετικής χημικής σύστασης. Γενικά, οι διάμετροι των συρμάτων που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις MIG/MAG είναι μάλλον μικρές συγκρινόμενες με αυτές που χρησιμοποιούνται σε άλλες μεθόδους συγκόλλησης. Οι πιο συχνά εμφανιζόμενες είναι από 1.0 έως 1.6 mm, αν και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και διάμετροι ως 3.2 mm προς τα πάνω και ως 0.5 mm προς τα κάτω.

Οι υψηλές τιμές ρεύματος που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο, σε συνδυασμό με τις μικρές διαμέτρους σύρματος, έχουν σαν αποτέλεσμα την επίτευξη πολύ υψηλών ρυθμών τήξης του υλικού πλήρωσης, οι οποίοι κυμαίνονται από 40 έως 340 mm/sec περίπου. Έτσι τα σύρματα συγκόλλησης πρέπει να παρέχονται σε ειδικά ρολά, που να εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη προώθηση αρκετών μέτρων σύρματος, μέσα από τον εξοπλισμό της συγκόλλησης, χωρίς προβλήματα. Τα χαλύβδινα υλικά πλήρωσης προμηθεύονται, συνήθως με χάλκινη επικάλυψη, που βοηθάει στην αντιδιαβρωτική συμπεριφορά του σύρματος, και βελτιώνει την ηλεκτρική επαφή και αγωγιμότητα του. Τα κυριότερα ευρωπαϊκά πρότυπα σύμφωνα με τα οποία ταξινομούνται τα υλικά πλήρωσης που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο MIG/MAG, είναι το EN 440, που προδιαγράφει τα ηλεκτρόδια – σύρματα για τη συγκόλληση ανθρακούχων χαλύβων, και το EN 12072 για τους ανοξείδωτους και πυρίμαχους χάλυβες.

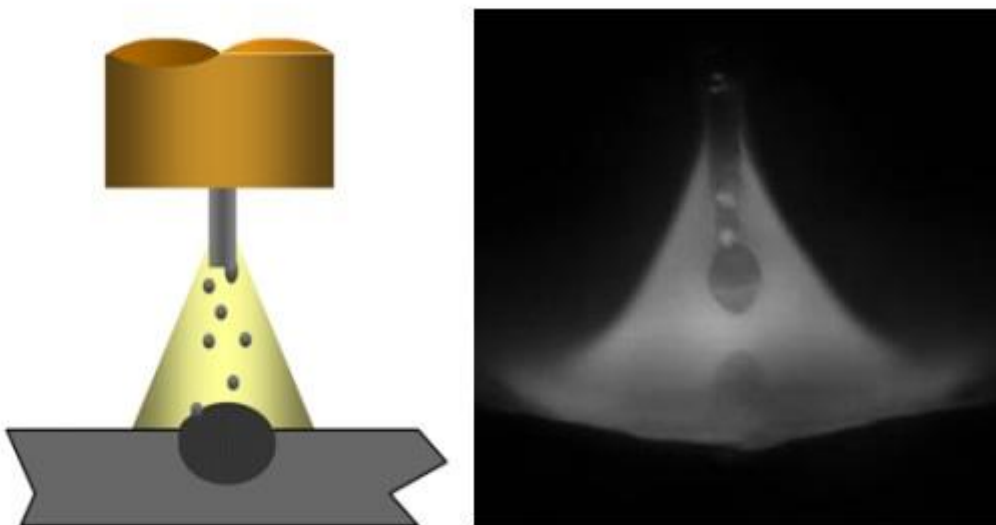
3.3.12. Τρόποι μεταφοράς τηγμένου υλικού πλήρωσης (transfer modes)

Το υλικό πλήρωσης, το τηγμένο σύρμα – ηλεκτρόδιο δηλαδή μπορεί να μεταφέρεται από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό τήξης με δύο, κυρίως τρόπους:

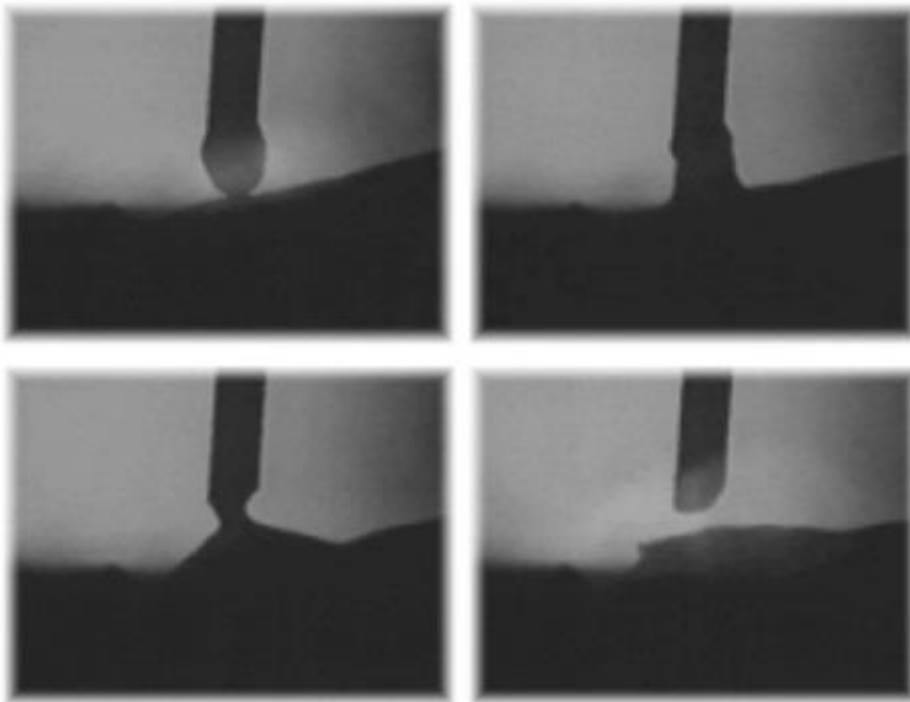
- Όταν το ηλεκτρόδιο έρχεται σε επαφή με το λουτρό τήξης, προκαλώντας έτσι βραχυκύκλωση του ρεύματος συγκόλλησης, επιτελείται μεταφορά που αποκαλείται μεταφορά με τόξο βραχυκύκλωσης
- Όταν η μεταφορά επιτελείται μέσω διακριτών σταγόνων, που κινούνται κατά μήκος του τόξου συγκόλλησης, κάτω από την επίδραση βαρυτικών ή ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων.

Τότε, διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

- ✓ τη μεταφορά με σταγόνες και
- ✓ τη μεταφορά με τόξο ψεκασμού.



Σχήμα 27: Μεταφορά σταγόνων με τόξο ψεκασμού



Σχήμα 28: Μεταφορά σταγόνων με τόξο βραχυκύκλωσης.

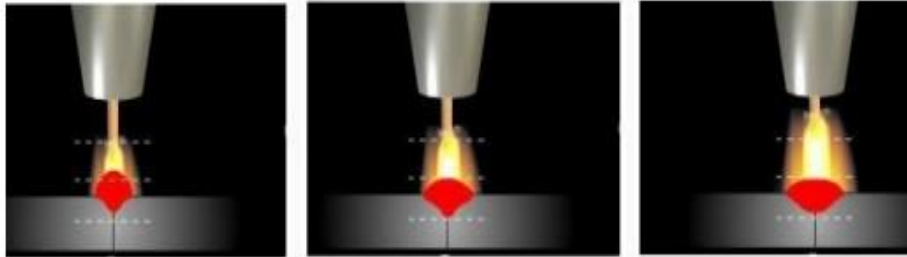
3.3.13. Μίγματα προστατευτικών αερίων για τις συγκολλήσεις MIG/MAG

| Τύπος βασικού μετάλλου | Προστατευτικό αέριο | Χαρακτηριστικά |
|---|--|---|
| Ανθρακούχοι και ελαφρά κράματα χάλυβες | CO ₂ Ar + 15-20% CO ₂ Ar + 5% CO ₂ Ar + 5% O ₂ Ar + 5% CO ₂ + 2% O ₂ | Μεταφορά με τόξο βραχυκύκλισης. Στο τόξο ψεκασμού εμφανίζονται προβλήματα πισλισμάτων. Επιβάλλεται χρήση αποξειδωμένων υλικών πλήρωσης. Μεταφορά με τόξο βραχυκύκλισης ή ψεκασμού. Ελαχιστοποίηση πισλισμάτων. Μεταφορά με τόξο βραχυκύκλισης ή ψεκασμού. Μεταφορά με τόξο ψεκασμού. Υψηλές μηχανικές ιδιότητες. Μεταφορά με παλμικό τόξο. Συγκόλληση λεπτών ελασμάτων. |
| Ανοξείδωτοι χάλυβες | Ar + 1-2% O ₂ 75% He + 23.5% Ar + 1.5% CO ₂ 75% He + 24% Ar + 1% O ₂ | Μεταφορά με τόξο ψεκασμού. Μεταφορά υψηλής ποιότητας με τόξο βραχυκύκλισης. Συγκόλληση λεπτών ελασμάτων και σε θέση εκτός PA. Καλή εμφάνιση συγκόλλησης. |
| Αλουμίνιο και κράματα του | Ar He 75% He + 25% Ar | Σταθερό τόξο. Λίγα πισλισματα. Θερμότερο τόξο. Χαμηλότερη προθέρμανση. Περισσότερα πισλισματα. Σταθερό τόξο. Υψηλή θερμική παροχή. Καλή διείσδυση. Για πάχη μεγαλύτερα από 16 mm. |
| Μαγνήσιο και κράματα του | Ar 75% He + 25% Ar | Σταθερό τόξο. Θερμότερο τόξο. Χαμηλό πορώδες. |
| Χαλκός και κράματα του | Ar He 75% He + 25% Ar | Για πάχη έως 9.5 mm. Για μεσαία και μεγάλα πάχη. Υψηλή θερμική παροχή. Για μεσαία και μεγάλα πάχη. Υψηλή θερμική παροχή. Σταθερότερο τόξο. |
| Νικέλιο και κράματα του | Ar 70% Ar + 30% He 75% He + 25% Ar | Για πάχη έως 9.5 mm. Παλμικό τόξο. Υψηλή θερμική παροχή. Λιγότερες ρωγμές σε παχύτερα ελάσματα. Υψηλότερη θερμική παροχή. |
| Κράματα Χαλκού - Νικελίου / Τιτάνιο / Ζιρκόνιο και κράματα τους | Ar 70% Ar + 30% He Ar (υψηλής καθαρότητας) | Σταθερό τόξο. Σταθερό τόξο. Λιγότερες ρωγμές. Πολύ αντιδραστικά κράματα. |

Σχήμα 29: Πίνακας μιγμάτων προστατευτικών αερίων για τις συγκολλήσεις MIG/MAG

3.3.14. Παράμετροι λειτουργίας

- ✓ Τάση του τόξου



Σχήμα 30: Επίδραση της τάσης στη μορφή της συγκόλλησης.

- ✓ Μήκος του τόξου



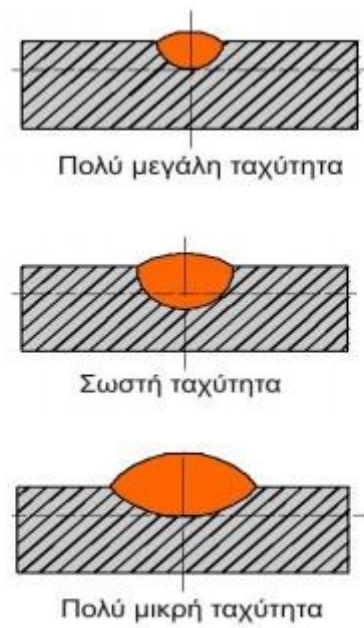
Σχήμα 31: Επίδραση του μήκους του τόξου στη μορφή της συγκόλλησης.

- ✓ Ένταση ρεύματος



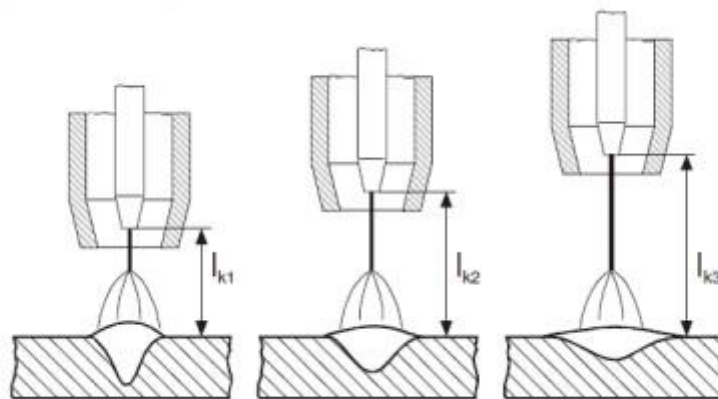
Σχήμα 32: Επίδραση της ταχύτητας προώθησης στη μορφή της συγκόλλησης

✓ Ταχύτητα προώθησης συγκόλλησης



Σχήμα 33: Επίδραση της ταχύτητας προώθησης στη μορφή της συγκόλλησης.

✓ Ελεύθερο μήκος ηλεκτροδίου

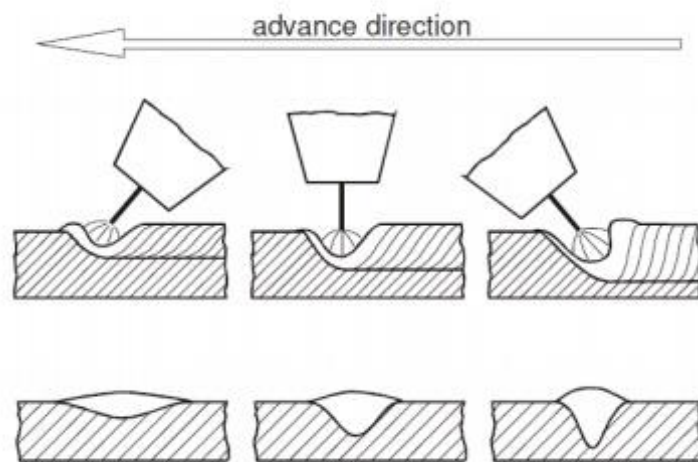


Σχήμα 34: Επίδραση του ελεύθερου μήκους του ηλεκτροδίου στη μορφή της συγκόλλησης.

✓ Διάμετρος ηλεκτροδίου

Η χρήση σύρματος διαμέτρου 1.0 mm θα οδηγήσει σε συγκόλληση μεγαλύτερης διείσδυσης σε σχέση με σύρμα 1.5 mm διαμέτρου, στη περίπτωση, πάντα, που και για τα δύο σύρματα η εφαρμοζόμενη τιμή έντασης ρεύματος είναι η ίδια. Ωστόσο, το μέτωπο της διατομής της συγκόλλησης, θα εμφανίζει μεγαλύτερο πλάτος κορδονιού στη περίπτωση χρήσης της μεγαλύτερης διαμέτρου. Τα σύρματα μικρότερων διαμέτρων, είναι οικονομικότερα βάσει του βάρους τους, κι έτσι, για κάθε εφαρμογή, επιλέγεται η διάμετρος σύρματος που θα οδηγήσει στη διεξαγωγή των συγκολλήσεων με το μικρότερο κόστος, σχετικά με τη συγκεκριμένη παράμετρο .

✓ Θέση του δαυλού συγκόλλησης



Σχήμα 35: Επίδραση της θέσης του όπλου συγκόλλησης στη μορφή της συγκόλλησης

4. Σχεδιασμός και μεταλλουργία των συγκολλήσεων

▪ Σχεδιασμός Συγκολλήσεων

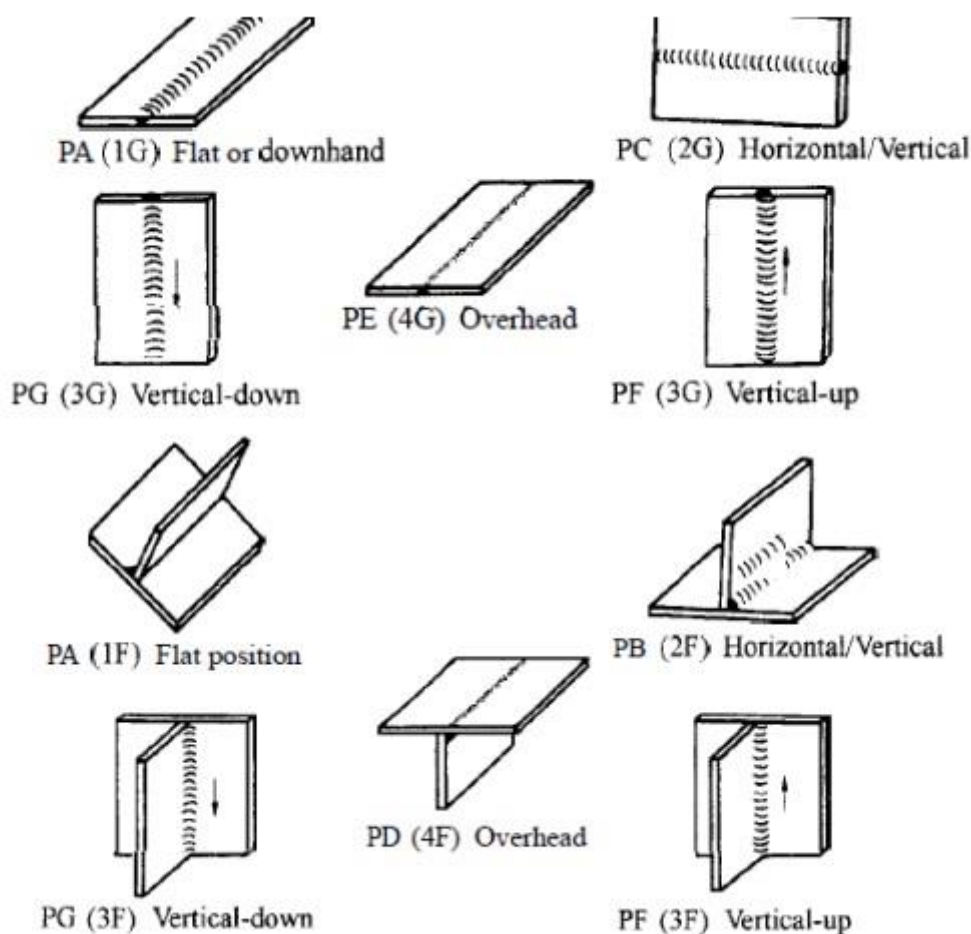
Προετοιμασία των άκρων συγκόλλησης

Γενικά για την προετοιμασία των άκρων που θα συγκολληθούν:

Πριν αρχίσουμε οποιαδήποτε εργασία συγκόλλησης μεταλλικών τεμαχίων, θα πρέπει πρώτα να κάνουμε αναγνώριση του είδους του μετάλλου, από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα μεταλλικά τεμάχια (χάλυβας, μπρούντζος, αλουμίνιο κτλ.), σύμφωνα, βέβαια, με όσα έχουν αναφερθεί. Κατόπιν, μετρούμε με ένα παχύμετρο το πάχος των τεμαχίων που θα συγκολληθούν, για να αποφασίσουμε το είδος της συναρμογής (ραφής) και την απαραίτητη προετοιμασία των άκρων τους. Τέλος, αποφασίζουμε για τη μέθοδο και το είδος της συγκόλλησης που θα εφαρμόσουμε (οξυγονοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση). Αφού γίνουν τα παραπάνω, θα πρέπει να προετοιμαστούν τα άκρα των μεταλλικών τεμαχίων που θα συγκολληθούν. Βέβαια, όπως θα δούμε στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου, υπάρχουν και περιπτώσεις συναρμογών (ραφών), που δεν απαιτούν κανένα είδος προετοιμασίας. Οι συναρμογές άκρων μεταλλικών τεμαχίων, που συνήθως συναντούμε στις μεταλλικές εφαρμογές, χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Στις εσωραφές ή βυθισμένες ραφές
- Στις εξωραφές ή γωνιακές ραφές
- Στις μετωπικές ή παράλληλες
- Στις συναρμογές μορφής
- Στις συναρμογές με επάλληλη ένωση των άκρων (με επικάλυψη)
- Στις ραφές ειδικών περιπτώσεων (σχισμών κτλ.).
- Καθεμία από τις παραπάνω ραφές έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και τη δική της τεχνική. Ανάλογα με τη θέση των άκρων των τεμαχίων που θα συγκολληθούν και τον άξονα ραφής τους, οι συγκολλήσεις διακρίνονται σε:
 - Συγκολλήσεις σε οριζόντιο επίπεδο και οριζόντιο άξονα
 - Συγκολλήσεις υπεράνω κεφαλής (οροφής ή «ουρανού»)
 - Συγκολλήσεις σε κατακόρυφο επίπεδο και οριζόντιο άξονα
 - Συγκολλήσεις σε κατακόρυφο επίπεδο και κατακόρυφο άξονα

Από τις παραπάνω συγκολλήσεις η ευκολότερη και, επομένως, η μικρότερου κόστους είναι η συγκόλληση οριζόντιου επιπέδου. Γι' αυτό, όταν το είδος της κατασκευής μας το επιτρέπει, πραγματοποιούμε τις συγκολλήσεις σε οριζόντιο επίπεδο. Οι συγκολλήσεις που γίνονται υπεράνω κεφαλής απαιτούν μεγάλη εμπειρία και ηλεκτρόδια κατάλληλα για εργασίες αυτού του είδους. Το ηλεκτρόδιο πρέπει να κολλά εύκολα και γρήγορα στα προς συγκόλληση τεμάχια, ώστε να υπερνικάται η δύναμη της βαρύτητας, που τείνει να απομακρύνει την κόλληση από τη θέση της. Φυσικά υπάρχουν επιπλέον, η συγκόλληση σε κατακόρυφο επίπεδο και οριζόντιο άξονα ραφής, και η συγκόλληση σε κατακόρυφο επίπεδο και κατακόρυφο άξονα ραφής (ανεβατή ή κατεβατή συγκόλληση). Βέβαια, σε ειδικές περιπτώσεις αναγκαζόμαστε να συγκολλήσουμε άκρα και σε διαφορετικές θέσεις από αυτές που αναφέρονται πιο πάνω (ραφές υπό γωνία ως προς το επίπεδο των μεταλλικών τεμαχίων).



Σχήμα 36 : Ονοματολογία θέσεων συγκόλλησης.

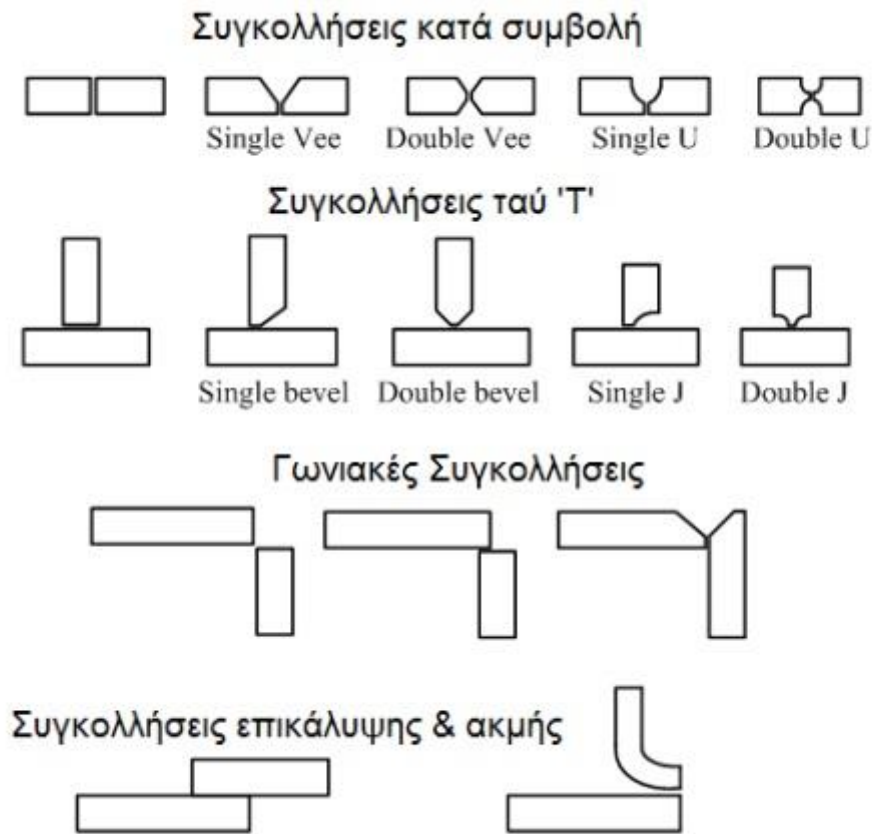
4.1. Οι εσωραφές ή βυθισμένες ραφές

Οι εσωραφές μεταλλικών τεμαχίων λέγονται και βυθισμένες ραφές, γιατί το συγκολλητικό υλικό εισχωρεί (βυθίζεται) στα ειδικά διαμορφωμένα άκρα των τεμαχίων, για να πραγματοποιηθεί η συγκόλλησή τους. Επίσης, αναφέρονται και ως συναρμογές κατ' άκρα, επειδή η συγκόλληση πραγματοποιείται στα άκρα δύο μεταλλικών τεμαχίων, ώστε να δημιουργηθεί μια επέκταση της μεταλλοκατασκευής.

Η συναρμογή τεμαχίων με εσωραφή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με οξυγονοκόλληση, είτε με ηλεκτροσυγκόλληση. Η επιλογή της μεθόδου θα γίνει από τον μηχανικό συγκολλήσεων, αφού εκτιμηθούν όλα τα στοιχεία (τεχνικά, οικονομικά κτλ.) κάθε περίπτωσης συναρμογής. Ανάλογα με τη μορφή που δίνεται στα άκρα των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν, οι εσωραφές διακρίνονται σε:

- Ραφές με αναδίπλωση των άκρων ή ραχωτές ραφές
- Ραφές τύπου I
- Ραφές τύπου V
- Ραφές τύπου X
- Ραφές τύπου K
- Ραφές τύπου U

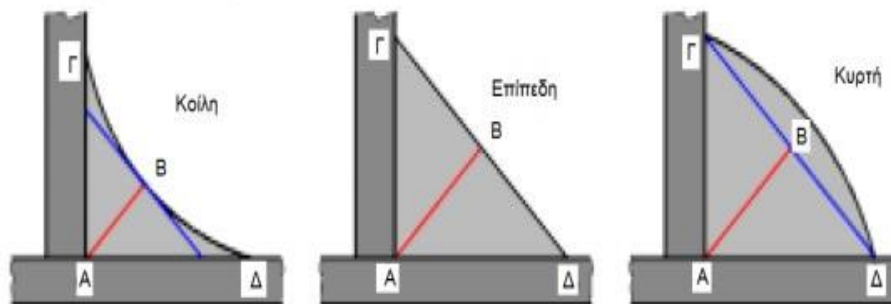
Η επιλογή του είδους της εσωραφής εξαρτάται βασικά από το πάχος των τεμαχίων που θα συγκολληθούν. Έτσι, όταν έχουμε ελάσματα πάχους μέχρι 1,5 mm, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ραφή με αναδίπλωση των άκρων των ελασμάτων. Το είδος αυτό της συναρμογής απαιτεί προσεχτική και ίσου ύψους αναδίπλωση των δύο άκρων που θα συγκολληθούν. Η αναδίπλωση των άκρων γίνεται σε καμπτική μηχανή (στράντζα) και τοποθετούνται έτσι, ώστε τα άκρα να εφάπτονται καθ' όλο το μήκος τους. Στερεώνονται καλά σ' αυτή τη θέση με σφικτήρες και αρχίζει η συγκόλλησή τους μόνο από τη μια πλευρά.



Σχήμα 37 : Τύποι ραφών

4.1.1. Οι εξωραφές ή γωνιακές ραφές

Οι εξωραφές λέγονται και γωνιακές ραφές, γιατί εφαρμόζονται βασικά σε συναρμογές μεταλλικών τεμαχίων υπό γωνία. Στις εξωραφές το συγκολλητικό υλικό, που χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση των δύο τεμαχίων, δεν εισχωρεί στο εσωτερικό των άκρων της συναρμογής των μεταλλικών τεμαχίων, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των εσωραφών, αλλά δημιουργεί μια ραφή κατά μήκος της γωνίας που σχηματίζουν τα προς συγκόλληση μεταλλικά κομμάτια. Στην Εικόνα 98, φαίνονται τα στοιχεία μιας εξωραφής σε μεταλλικά κομμάτια υπό γωνία 90° .

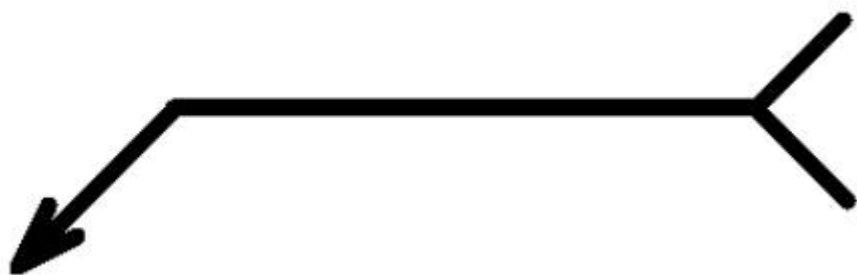


Σχήμα 38 : Εξωραφή τύπου (T) υπό γωνία 90ο στην οποία διακρίνονται όλα τα στοιχεία της: A = Ρίζα, ΑΓ = Ύψος, ΑΔ = Πλάτος, ΑΒ = Θεωρητικό ύψος

Οι εξωραφές δεν απαιτούν συνήθως ιδιαίτερη προετοιμασία των σημείων συγκόλλησής τους, εκτός ειδικών περιπτώσεων, αρκεί τα προς συγκόλληση άκρα των μεταλλικών τεμαχίων να έχουν κοπεί ευθύγραμμο και οι επιφάνειες συγκόλλησης να έχουν καθαριστεί από σκουριές, λάδια, χρώματα κτλ. που θα μπορούσαν να επιδράσουν αρνητικά στην ποιότητα και στην αντοχή της συγκόλλησης. Τέλος, η προσεκτική στερέωση των τεμαχίων στη θέση που θα συγκολληθούν, αποτελεί προϋπόθεση για μια επιτυχημένη εργασία συγκόλλησης. Η μονόπλευρη εξωραφή τύπου 'T' είναι κατάλληλη για γρήγορες και φθηνές ραφές, όταν η καταπόνηση στα σημεία συγκόλλησης δεν είναι ιδιαίτερα έντονη. Αντίθετα, όταν οι απαιτήσεις σε αντοχή είναι μεγάλες, προτιμάται η δίπλευρη εξωραφή, της οποίας όμως το κόστος είναι σχεδόν διπλάσιο. Το ίδιο ισχύει και για εξωραφές που γίνονται μόνο σε εξωτερική γωνία δύο μεταλλικών τεμαχίων ή στην εξωτερική και εσωτερική γωνία (δίπλευρη). Το πάχος της συγκόλλησης (α), όπως και η διάμετρος της κόλλησης ή του ηλεκτροδίου εξαρτώνται από το πάχος των ελασμάτων που πρόκειται να συγκολληθούν. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος των υπό συγκόλληση τεμαχίων, τόσο πιο μεγάλο πρέπει να είναι και το πάχος της ραφής (συγκόλλησης). Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το πάχος (α) μιας εξωραφής βρίσκεται, αν πολλαπλασιάσουμε το πάχος των ελασμάτων (s) με ένα συντελεστή που κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,7, δηλαδή $\alpha = (0,5 \dots \dots 0,7) \times s$. Έτσι, αν το πάχος κάθε τεμαχίου είναι 12 mm, το πάχος (α) της ραφής είναι: $\alpha = 0,6 \times 12 = 7,2$ mm (πήραμε ένα μέσο συντελεστή 0,6).

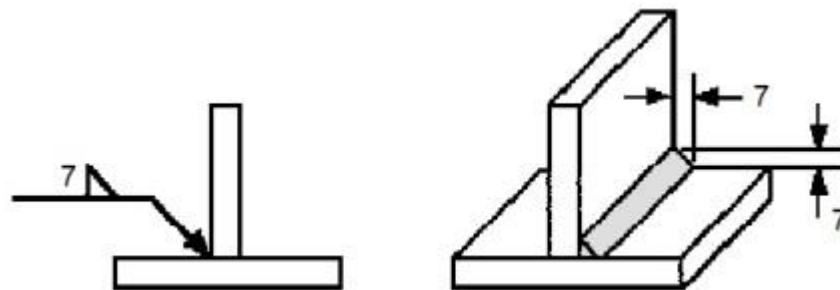
4.1.2. Ο συμβολισμός των συγκολλήσεων

Όπως σε κάθε τεχνική εργασία κατασκευής προδιαγράφονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πάνω στο σχέδιο κατασκευής, ώστε να προκύψουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, έτσι και στις συγκολλήσεις. Για να έχει μια συγκόλληση την απαιτούμενη αντοχή σε συγκεκριμένες μηχανικές καταπονήσεις, θα πρέπει να γίνει με τη μέθοδο, την τεχνική και τα υλικά εκείνα που απαιτεί η κάθε περίπτωση συγκόλλησης. Αν αφήσουμε τον τεχνίτη να επιλέξει το είδος της συγκόλλησης μιας συναρμογής ή δεν του παρασχεθούν οι απαιτούμενες πληροφορίες (οδηγίες) για την πραγματοποίησή της, το αποτέλεσμα μπορεί να μην έχει τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά ασφάλειας ή κόστους. Για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης σε κάθε περίπτωση συγκόλλησης, έχουν θεσπιστεί τα διάφορα σύμβολα των συγκολλήσεων, τα οποία τοποθετούνται πάνω στο κατασκευαστικό σχέδιο κάθε συναρμογής. Το σύμβολο της συγκόλλησης αποτελείται από το βέλος κατεύθυνσης, τη γραμμή αναφοράς και την ουρά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 39.



Σχήμα 39: Το βασικό σύμβολο συγκόλλησης

Το βέλος δείχνει την ακριβή θέση της συγκόλλησης. Στη γραμμή αναφοράς αναγράφονται συμβολικά η μορφή των άκρων της συγκόλλησης (V, I, X κτλ.), η πλευρά που θα γίνει η συγκόλληση, η τελική διαμόρφωση της κόλλησης (επίπεδη, κοίλη ή κυρτή), ο τρόπος τελικής διαμόρφωσης (με τροχό), διάφορες χρήσιμες διαστάσεις κτλ. Οι πληροφορίες που γράφονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς αναφέρονται στη συγκόλληση της πλευράς που δείχνει το τόξο, ενώ οι πληροφορίες που γράφονται πάνω από τη γραμμή αναφέρονται στην άλλη πλευρά. Στην «ουρά» του συμβόλου αναγράφονται τυποποιημένες πληροφορίες σχετικές με το είδος της συγκόλλησης (ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με προστατευτικό αέριο ή φλόγα αερίου). Μεταξύ των στοιχείων που περιλαμβάνονται στην ουρά του βέλους μπορεί να είναι και ο άξονας εργασίας (η θέση συγκόλλησης). Δηλαδή, αν ο άξονας εκτέλεσης της συγκόλλησης είναι οριζόντιος, κατακόρυφος, υπεράνω κεφαλής κτλ.



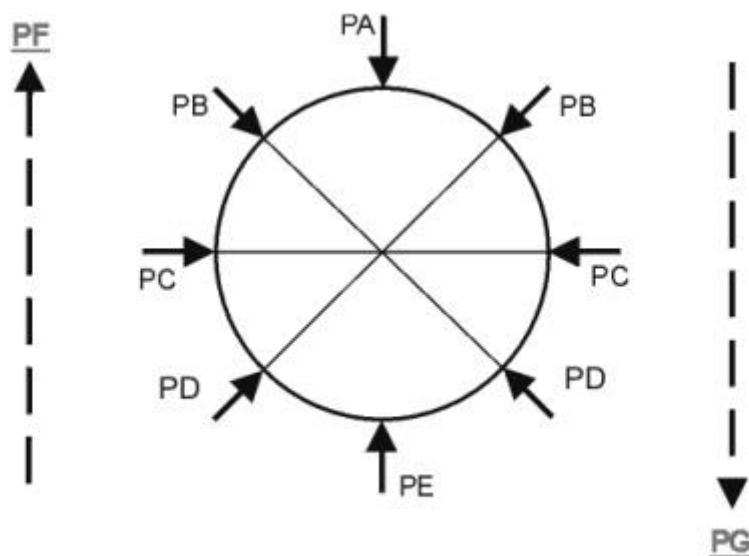
Σχήμα 40 : Παράδειγμα συμβόλου συγκόλλησης

4.1.3. Οι θέσεις ηλεκτροσυγκόλλησης

Οι βασικές θέσεις συγκόλλησης είναι τέσσερις: επίπεδη θέση, οριζόντια θέση, θέση ουρανό και κατακόρυφη θέση (ανεβατό ή κατεβατό). Κάθε θέση ηλεκτροσυγκόλλησης έχει ένα συμβολισμό με δύο γράμματα. Το πρώτο γράμμα είναι το **P** και μετά ακολουθεί ένα από τα A, B, C, D, E, F, G. Ισχύουν οι εξής συμβολισμοί:

- PA: Επίπεδη
- PC: Οριζόντια
- PE: Ουρανό
- PF: Κατακόρυφη ανεβατή
- PG: Κατακόρυφη κατεβατή

Η θέση ανάμεσα στο PA και PC χαρακτηρίζεται ως PB (γωνιακή επίπεδη), ενώ μεταξύ του PE και του PF ως PD (γωνιακή ουρανό). Υπενθυμίζουμε, επίσης, ότι οι γωνιακές ραφές ονομάζονται και εξωραφές, ενώ οι άλλες ονομάζονται εσωραφές.



Σχήμα 41 : Θέσεις συγκόλλησης

5. Μεταλλουργία συγκολλήσεων

5.1. Συγκολλήσεις Ανοξειδωτων χαλύβων

➤ Ανοξειδωτοι χάλυβες

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος βιομηχανικών εφαρμογών και προϊόντων, λόγω της μεγάλης τους αντοχής σε διάβρωση σε συνδυασμό με μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και καλή ολκιμότητα, αντοχή σε κρούση κλπ. Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι μη μαγνητικοί. Κύριο κραματικό στοιχείο είναι το Cr σε άλλες περιπτώσεις και το Ni αλλά και το Mo.

Υπάρχουν πέντε κύριες κατηγορίες ανοξειδωτων χαλύβων:

- Οι **φερριτικοί** οι οποίοι περιέχουν 13-30% Cr και λιγότερο από 0.1%C. Η δομή αυτών των χαλύβων είναι φερριτική σε όλες τις θερμοκρασίες και το κυριότερο πρόβλημα στις συγκολλήσεις αυτών είναι η αύξηση του μεγέθους των κόκκων σε υψηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται σε εξαγωγές καυσαερίων, σε εργαλεία κοπής κλπ.
- Οι **μαρτενσιτικοί** ανοξειδωτοι χάλυβες περιλαμβάνουν 11.5-18%Cr και 0.03-0.30%C. Έχουν μέση αντοχή σε διάβρωση και υψηλή αντοχή έως τους 400°C. Είναι πολύ ευαίσθητοι στην ψυχρή ρωγμάτωση.
- Οι **ωστενιτικοί** ανοξειδωτοι χάλυβες οι οποίοι περιέχουν Cr αλλά και Ni. Έχουν ωστενιτική δομή, πολύ καλές αντιδιαβρωτικές αλλά και μηχανικές ιδιότητες
- Οι **διφασικοί (duplex)** ανοξειδωτοι χάλυβες. Διφασικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες ονομάζεται η οικογένεια των χαλύβων με ωστενιτοφερριτική δομή, τα συστατικά της οποίας, ο ωστενίτης και ο φερρίτης είναι ανοξειδωτα διαθέτοντας πάνω από 13% χρώμιο. Εκτός από το Cr περιέχουν Ni, Mo αλλά και N. Έχουν εξαιρετικές μηχανικές αλλά και αντιδιαβρωτικές ιδιότητες.
- Οι **χάλυβες κατακρήμνισης** είναι είτε **ωστενιτικοί**, είτε **μαρτενσιτικοί** είτε **ημί ωστενιτικοί**. Έχουν καλή αντοχή στη διάβρωση και στην οξείδωση, με υψηλή αντοχή και σκληρότητα σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά έως τους 310°C. Έχουν μικρότερη ολκιμότητα και αντοχή σε κρούση από τους ωστενιτικούς και μερικοί από αυτούς δεν θεωρούνται συγκολλήσιμοι.

5.1.1. Επίδραση των κραματικών στοιχείων

Πολλές από τις ιδιότητες των ανοξειδώτων χαλύβων εξαρτώνται από την αναλογία ωστενίτη/φερρίτη και τα διάφορα κραματικά στοιχεία τα οποία ενισχύουν την μία ή την άλλη φάση. Τα κυριότερα εξ αυτών είναι:

Χρώμιο (Cr, 16 □ 25%)

Παρέχει προστασία έναντι της διάβρωσης ειδικά στις υψηλές θερμοκρασίες. Είναι στοιχείο που επιφέρει φερριτική δομή.

Νικέλιο (Ni, 8 □ 20%)

Συμβάλει στο σχηματισμό ωστενιτικής δομής, βελτιώνει την ολκιμότητα και τη σκληρότητα, αυξάνει τη προστασία έναντι οξείδωσης σε όξινο περιβάλλον.

Μολυβδένιο (Mb, 0 □ 4%)

Παρέχουν προστασία έναντι τοπικής βελονοειδούς διάβρωσης (pitting) και διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση (stress corrosion). Βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες. Είναι στοιχείο που επιφέρει φερριτική δομή.

Ανθρακας (C, 0.02 □ 0.08%)

Συμβάλει στην ευστάθεια της ωστενιτικής δομής και αυξάνει την αντοχή σε εφελκυσμό σε υψηλές θερμοκρασίες.

Μαγνήσιο (Mg, □ 2 %)

Βελτιώνει την κατεργασιμότητα εν θερμώ. Σε υψηλές θερμοκρασίες σταθεροποιεί τη φερριτική δομή ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες σταθεροποιεί την ωστενιτική δομή.

Νιόβιο (Nb) και Τιτάνιο (Ti)

Προστίθενται για τις προστατευτικές τους ιδιότητες έναντι περικρυσταλλικής διάβρωσης. Επιπλέον βελτιώνουν τις μηχανικές αντοχές σε υψηλές θερμοκρασίες.

Άζωτο (N)

Σταθεροποιεί έντονα την ωστενιτική δομή. Βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες και τη σκληρότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σε συνδυασμό με το Μολυβδένιο (Mo) βελτιώνουν τη προστασία έναντι τοπικής βελονοειδούς διάβρωσης (pitting). Προκαλεί πόρους κατά τη συγκόλληση.

5.1.2. Ωστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες

Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία. Περιέχουν 18 -27% Cr, 8 - 22% Ni και λιγότερο από 0.1% C. Η δομή τους είναι καθαρά ωστενιτική και δεν εμφανίζουν ρηγματώση υδρογόνου. Ωστόσο, λόγω του ότι το θείο δεν διαλύεται στον ωστενίτη, έχουν το κίνδυνο της θερμής ρηγματώσης. Για τον λόγο, αυτό τα αναλώσιμα συγκόλλησης προμοτάρουν τον σχηματισμό μικρού ποσοστού φερρίτη στη ζώνη τήξης. Οι κυριότεροι τύποι ωστενιτικών ανοξειδωτών χαλύβων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

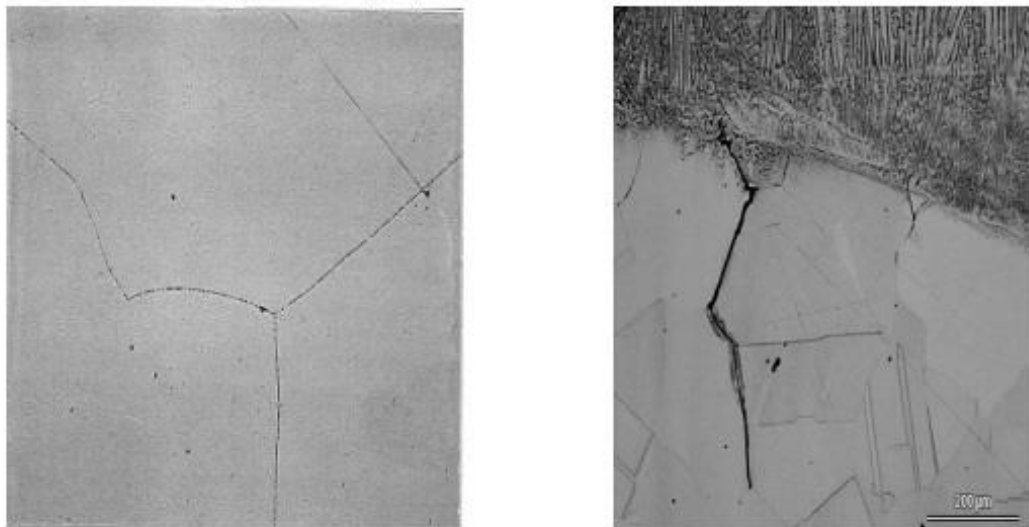
| Χάλυβας κατά AISI | C | Mn | Cr | Ni | Άλλο |
|-------------------|---------|----|-------|-------|--------------------|
| 301 | 0.15max | 2 | 16-18 | 6-8 | - |
| 304 | 0.08max | 2 | 18-20 | 8-12 | - |
| 304L | 0.03max | 2 | 18-20 | 8-12 | - |
| 309 | 0.2max | 2 | 22-24 | 12-15 | - |
| 310 | 0.25max | 2 | 24-26 | 19-22 | - |
| 316 | 0.08max | 2 | 16-18 | 10-14 | 2-3% Mo |
| 316L | 0.03max | 2 | 16-18 | 10-14 | 2-3% Mo |
| 321 | 0.08max | 2 | 17-19 | 9-12 | (5 x %C) Ti min |
| 347 | 0.08max | 2 | 17-19 | 9-13 | (10 x %C)Nb-Ta min |

Σχήμα 48 : Τυπικές χημικές συστάσεις ωστενιτικών ανοξειδωτών χαλύβων (% κ.β)

Συνέπειες έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες των ωστενιτικών ανοξειδωτών χαλύβων

Η Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη των ωστενιτικών χαλύβων είναι επιρρεπής σε **περικρυσταλλική διάβρωση** (intergranular corrosion). Στο Σχήμα 9.1 φαίνεται περικρυσταλλική διάβρωση και επακόλουθη περικρυσταλλική ρηγματώση στη Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη συγκόλλησης χάλυβα 304. Η περικρυσταλλική διάβρωση οφείλεται στην καθίζηση καρβιδίων χρωμίου, του τύπου $M_{23}C_6$, στα σύνορα των κόκκων. Έτσι η περιοχή των συνόρων γίνεται φτωχότερη σε Cr και η αντίσταση στη διάβρωση μειώνεται δραστικά σε σχέση με το εσωτερικό των κόκκων. Για τον λόγο αυτό προκαλείται επιλεκτική διάβρωση στα σύνορα των κόκκων. Η καθίζηση των καρβιδίων στα σύνορα των κόκκων ονομάζεται **ευαισθητοποίηση** (sensitization).

- Ο περιεχόμενος άνθρακας παραμένει χαμηλός έτσι ώστε να αποφευχθεί η κατακρήμιση καρβιδίων Χρωμίου (Cr_{23}C_6) στα όρια των κόκκων του υλικού (sensitisation) το οποίο αποτελεί και το πρώτο βήμα για την περικρυσταλλική διάβρωση .
- Κατά τη παράγωγη του χάλυβα πραγματοποιείται διαλυτοποίηση του υλικού σε θερμοκρασία $T_{\text{max}} = 1100^\circ\text{C}$ με ακόλουθη ψύξη στο νερό.
- Στοιχεία όπως το Τιτάνιο (Ti) και Nb προστίθενται για τη σταθεροποίηση των ποιοτήτων (321, 347). Αυτά τα στοιχεία συμβάλλουν στη κατακρήμιση καρβιδίων Ti και Nb αντί καρβιδίων Χρωμίου.



Σχήμα 49: Κατακρήμιση καρβιδίων στα όρια των κόκκων, έχει σαν συνέπεια την περικρυσταλλική διάβρωση.

Για το περιορισμό της κατακρήμισης καρβιδίων Χρωμίου κατά τη συγκόλληση (Cr carbide precipitation) στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη τα ακόλουθα αντίμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Χρήση χάλυβων χαμηλού άνθρακα $L C < 0.03 \%$. Όσο μικρότερο είναι το ποσοστό του άνθρακα, τόσο μικρότερος χρόνος απαιτείται για την κατακρήμιση των καρβιδίων
- Χρήση σταθεροποιημένων ποιοτήτων χάλυβα
- Ολική διαλυτοποίηση (Solution annealing) μετά την συγκόλληση

- Ολική διαλυτοποίηση (Solution annealing) πριν την συγκόλληση βαμμένων (σκληρυσμένων) χαλύβων. □ Σε συγκόλληση AISI 321 (AISI 347) σχηματίζονται ευτηκτοειδή καρβίδια Ti (Nb) - Fe στη ΘΕΖ. Αυτές οι ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν φαινόμενα διάβρωσης σε θερμό όξινο νιτρικό περιβάλλον (knife-line corrosion)

5.1.3. Συγκολλησιμότητα των ωστενιτικών ανοξειδώτων χαλύβων

Όλες οι γνωστές μέθοδοι συγκόλλησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση των ωστενιτικών ανοξειδώτων χαλύβων. Προθέρμανση και θερμική κατεργασία μετά τη συγκόλληση δεν απαιτείται. Όμως είναι πολύ σημαντική η προστασία του λουτρού συγκόλλησης από την οξείδωση, όπως επίσης και η προστασία της ρίζας. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η κάλυψη της ρίζας με αέριο προστασίας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Δεδομένου ότι δεν είναι ευαίσθητοι σε ψυχρή ρωγμάτωση (ρωγμάτωση υδρογόνου), μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ηλεκτρόδια ρουτιλίου. Οι θερμορωγμές μπορούν να εμφανισθούν και επηρεάζονται θετικά από:

- Μεγάλο μέγεθος κόκκων
- Υψηλές εναπομένουσες τάσεις λόγω υψηλού συντελεστού θερμικής διαστολής.
- Ρωγμές αναθέρμανσης (liquation) στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη και στο υλικό συγκόλλησης (σε πολύπασες συγκολλήσεις)
- Η παρουσία δ φερρίτη είναι ευεργετική (FN 5□15) λόγω :
 - Καλύτερη διαλυτότητα ευτηκτικών ενώσεων οι οποίες θα οδηγούσαν σε θερμορωγμές (ενώσεις θείου και φωσφόρου)
 - Λουτρό συγκόλλησης με υψηλό γ φερρίτη έχει μικρότερο εύρος θερμοκρασίας στερεοποίησης.
 - Ο δ φερρίτης έχει μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από τον ωστενίτη και είναι περισσότερο όλκιμος σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό συντελεί στην μείωση των εσωτερικών τάσεων.
 - Ο δ φερρίτης περιορίζει τον σχηματισμό συνεχούς φιλμ ακαθαρσιών στα όρια των κόκκων και συνεπώς τον κίνδυνο διαφορισμού (segregation).
 - Η διπλή φασική δομή περιορίζει την εξάπλωση ρηγματώσεων και διαμορφώνει το μέγεθος των κόκκων.

- Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης απαιτείται χαμηλή θερμική παροχή και χαμηλή θερμοκρασία μεταξύ των πάσσων (interpass temperature < 150°C).
- Δεν απαιτείται προθέρμανση.
- Η καθαριότητα είναι παράμετρος συγκόλλησης
- Κατά τη συγκόλληση από τη μία μόνο πλευρά με χρήση backing strip, θα πρέπει να υπάρχει αρκετό άνοιγμα για να υπάρχει καλή τήξη και η προετοιμασία των άκρων να γίνεται με όσο το δυνατόν μικρότερη γωνία, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές παραμορφώσεις.
- Μητρικά υλικά και υλικά συγκόλλησης με χαμηλό ποσοστό ακαθαρσιών
- Χρήση βασικών ηλεκτροδίων και συλλιπασμάτων
- προσθήκη Mn έως 6% και N₂ έως 0.15%.
- Έξυπνο σχεδιασμό των συνδέσεων.
- Κυρτά πάσσα συγκόλλησης μειώνουν το κίνδυνο θερμορωγμών.

5.1.4. Επιλογή υλικών συγκόλλησης

Γενικά σε θερμοκρασίες από -80°□+400°C όμοια υλικά συγκόλλησης χρησιμοποιούνται:

– AISI 310 - AISI 310

– AISI 304 - AISI 308

– AISI 321 - AISI 347 (οξειδωση Ti σε υψηλή θερμοκρασία)

– AISI 316 - AISI 316

Για εφαρμογές σε ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον, συνιστώνται υλικά συγκόλλησης με μικρότερη περιεκτικότητα φερριτή ή περισσότερο κραματωμένα υλικά (316L για συγκόλληση 304L). Σε εφαρμογές με θερμοκρασία $T > 400^{\circ}\text{C}$, για την αποφυγή φαινομένων ερπυσμού υλικά συγκόλλησης με υψηλό άνθρακα (H grade) συνιστώνται. Εάν ο τύπος του υλικού δεν διατίθεται σε ποιότητα H (π.χ. 309), τότε κατά την επιλογή η περιεκτικότητα σε άνθρακα πρέπει να είναι η χαμηλότερη δυνατή (0.02 □ 0.08%). Η παρουσία Mo σε υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι πάντα ευεργετική καθώς ψαθυρές ενδομεταλλικές δομές μπορεί να παρουσιαστούν. Για «κρυογενικές» εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά συγκόλλησης υψηλού Ni (π.χ 316L) ακόμα και σε συγκολλήσεις υλικών τύπου 304, με έλεγχο της περιεκτικότητας σε δ φερριτή ο οποίος μειώνει την αντοχή σε κρούση του υλικού σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σε εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών, χρησιμοποιούνται υλικά τύπου 316LN ή 316LNMn, με υψηλότερες μηχανικές αντοχές και

λιγότερο ευαίσθητα σε παρουσίαση θερμορωγμών σε σχέση τα πλήρως ωστενιτικά. Η χαμηλή πιθανότητα παρουσίασης θερμορωγμών οφείλεται σε μικρές ποσότητες δ φερρίτη. Η μέθοδος GMAW συμβάλει στη καλύτερη αντοχή του υλικού, λόγω χαμηλότερης πιθανότητας αέριων εγκλεισμάτων και οξυγόνου στο λουτρό συγκόλλησης.

5.1.5. Φερριτικοί Ανοξειδωτοί Χάλυβες

Έχουν φερριτική μικροδομή. Παρουσιάζουν ΘΕΖ με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων και χαμηλή αντοχή.

- Μέση θερμοκρασία προθέρμανσης (100°C -200°C) και ελεγχόμενη θερμοκρασία μεταξύ πάσων προς αποφυγή της θερμοκρασιακά ψαθυρής περιοχής.
- Παρουσιάζουν φαινόμενα περικρυσταλλικής κατακρήμνισης καρβιδίων χρωμίου σε θερμοκρασίες 425°C-700°C,
- Είναι απαραίτητη η θερμικές κατεργασία μετά τη συγκόλληση στους 700-925°C για την αναπλήρωση των περιοχών μειωμένου χρωμίου.
- Υλικά ευαίσθητα στις ρηγματώσεις υδρογόνου στη ΘΕΖ
- Σπάνια χρησιμοποιούνται σε στατικές κατασκευές ($s < 3$ mm), κυρίως χρησιμοποιούνται ως ανοξειδωτες επικαλύψεις.
- Αύξηση του μεγέθους των κόκκων στη ΘΕΖ που επηρεάζει αρνητικά την αντοχή της. Στοιχεία που δημιουργούν καρβίδια ή νιτρίδια όπως Ti και Al (AISI 405, 409) μπορούν να εμποδίσουν το φαινόμενο.
- Συγκολλούνται με χαμηλή θερμική παροχή και χαμηλή θερμοκρασία μεταξύ των πάσων (100°C -200° C).
- Θερμορωγμές στο μέταλλο συγκόλλησης και στη ΘΕΖ φερριτικών ανοξειδωτων χάλυβων δεν είναι συχνό φαινόμενο σε αντίθεση με τους ωστενιτικούς χάλυβες λόγω του χαμηλότερου συντελεστή θερμικής διαστολής και της ικανότητας του φερρίτη να διαλύει τις προσμίξεις. Βέβαια σε φερριτικούς χάλυβες με Nb και Ti (π.χ AISI 444) μπορούν να εμφανιστούν θερμορωγμές.

5.1.6. Διφασικοί (duplex) ανοξείδωτοι χάλυβες

Διφασικοί Ανοξείδωτοι Χάλυβες ονομάζεται η οικογένεια των χαλύβων με ωστενιτοφερριτική δομή, τα συστατικά της οποίας, ο ωστενίτης και ο φερρίτης είναι ανοξείδωτα διαθέτοντας πάνω από 13% χρώμιο.

- Καλύτερη συμπεριφορά σε διάβρωση σε περιβάλλον χλωρίου σε σχέση με τους ωστενιτικούς χάλυβες.
- Περισσότερο κραματωμένοι «Duplex» χάλυβες (super-duplex) συμπεριφέρονται καλύτερα σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση χλωρίου.
- Πιθανόν επιρρεπείς σε δυναμοδιάβρωση (SCC) σε περιβάλλον H₂S/Cl⁻ (για υψηλή συγκέντρωση και σε θερμοκρασιακό εύρος 60° έως 100°C)

Οι διφασικοί χάλυβες στερεοποιούνται στη φερριτική περιοχή και κατά τη διάρκεια της ψύξης του στερεοποιημένου κράματος ένα μέρος του φερρίτη μετασχηματίζεται σε ωστενίτη. Αυτός ο μετασχηματισμός είναι αντιστρεπτός. Το άζωτο μεγαλώνει την περιοχή του διαγράμματος στην οποία ο ωστενίτης είναι θερμοδυναμικά σταθερός. Κύριες εφαρμογές των διφασικών ανοξείδωτων χαλύβων:

- Εναλλάκτες Θερμότητας
- Χημική βιομηχανία
- Πετρελαϊκή Βιομηχανία
- Σε όξινα περιβάλλοντα
- Κατεργασίες θαλασσινού νερού
- Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης

5.1.7. Μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Κράματα κυρίως σιδήρου-χρωμίου-άνθρακα με περιεκτικότητα χρωμίου από 11.5% έως 18%.

Μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες με χαμηλή και μέση περιεκτικότητα σε άνθρακα χρησιμοποιούνται κυρίως σε τουρμπίνες ατμού, σε κινητήρες αεροσκαφών, σε τουρμπίνες αερίων και σε χημικές ή πετροχημικές εφαρμογές. Εφαρμογές υλικών υψηλού περιεχόμενου άνθρακα είναι τα χειρουργικά εργαλεία, τα γρανάζια κιβωτίων ταχυτήτων κ.α.

Υψηλές τιμές σκληρότητας στη Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη κάνουν το υλικό επιρρεπές στη ρηγματώση. Η επιλογές σωστής θερμοκρασίας προθέρμανσης και διαδικασίας συγκόλλησης είναι κρίσιμες για την επιτυχία της συγκόλλησης. Οι μαρτενσιτικοί ανοξ. χάλυβες έχουν μικρή ή καθόλου τάση για θερμορωγμές Ρωγμές Υδρογόνου – Ψυχρορωγμές, εξαιτίας της:

- Ευαίσθητη μικροδομή
- Αυξημένες εναπομένουσες εφελκυστικές τάσεις
- Υδρογόνο στη συγκόλληση

Η αποφυγή ρωγμών Υδρογόνου – Ψυχρορωγμών βασίζεται στην εξασφάλιση χαμηλών επιπέδων υδρογόνου:

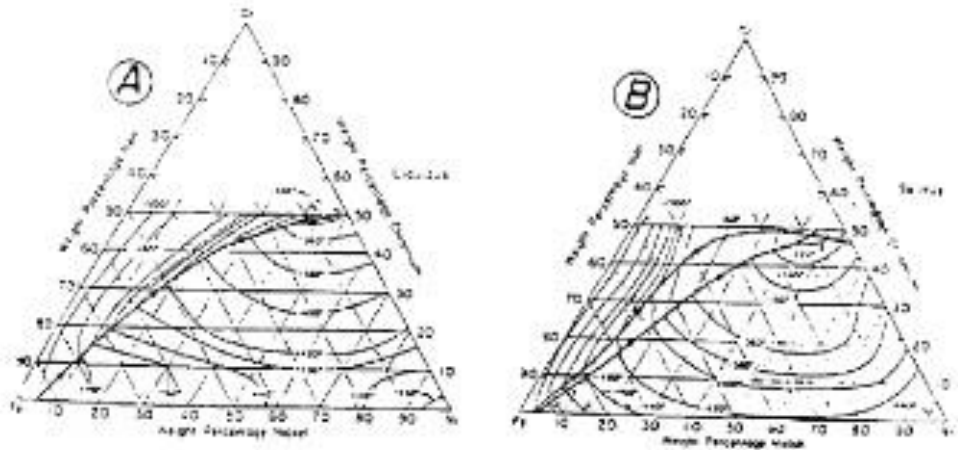
- Καθαρότητα επιφανειών συγκόλλησης.
- Βασικά, ορθός ξηραμένα ηλεκτρόδια.
- Αδρανές αέριο με χαμηλό σημείο δρόσου
- Μέθοδοι συγκόλλησης χαμηλού υδρογόνου (GTAW, GMAW).

5.2 Διαγράμμα φάσεων

5.2.1. Το τριμερές σύστημα σιδήρου – νικελίου – χρωμίου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται η liquidus και solidus επιφάνεια σε ένα τριμερές σύστημα Fe-Ni-Cr . Τόσο η liquidus όσο και η solidus επιφάνεια αντιπροσωπεύονται από μια σειρά ισόθερμων καμπυλών . Τα κράματα των οποίων οι συστάσεις βρίσκονται στην εμπλουτισμένη σε χρώμιο πλευρά της γραμμής της liquidus επιφάνειας στερεοποιούνται αρχικά σαν BCC-φερρίτης . Αντίθετα , αυτά που βρίσκονται στην εμπλουτισμένη σε νικέλιο πλευρά στερεοποιούνται σαν FCC-ωστενίτης.

Πληροφορίες για τον προσδιορισμό των δομών στους ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες όπως προκύπτουν κυρίως από τα ψευδοδιμερή διαγράμματα Ni-Cr για σταθερή περιεκτικότητα σε σίδηρο , αναφέρονται παρακάτω .



Σχήμα 50 : Τριμερές σύστημα Fe-Ni-Cr

5.2.2. Το ψευδοδιμερές διάγραμμα σιδήρου-νικελίου-χρωμίου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το ψευδοδιμερές διάγραμμα σιδήρου για ποσοστό σιδήρου 68 % . Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούνται οι εξής περιοχές :

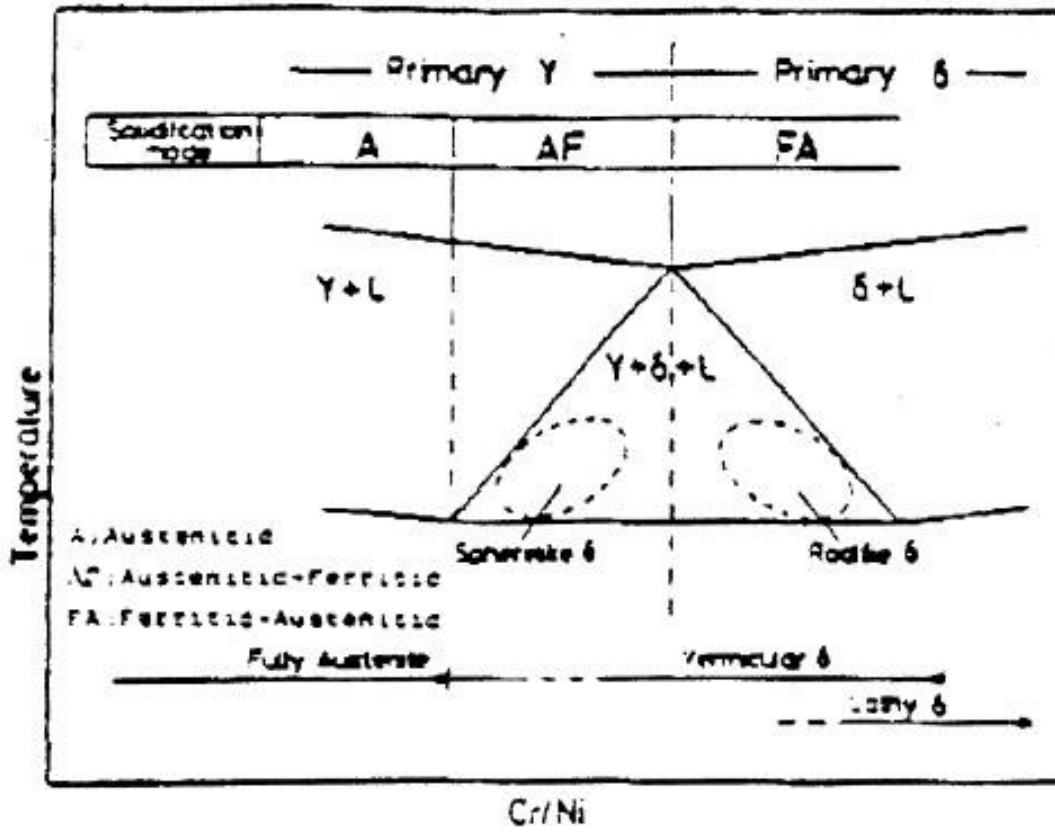
- Μια διφασική περιοχή υγρού – δ-φερρίτη .
- Μια διφασική περιοχή υγρού – ωστενίτη .
- Ανάμεσα στις παραπάνω δύο περιοχές υπάρχει μια τριφασική ευτηκτική περιοχή , το επονομαζόμενο ευτηκτικό τρίγωνο , όπου υπάρχουν σε κατάσταση ισορροπίας υγρό – δ φερρίτης – ωστενίτης .
- Κάτω από αυτή την περιοχή υπάρχει μια διφασική περιοχή φερρίτη – ωστενίτη. Η περιοχή αυτή μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η περιεκτικότητα σε σίδηρο

Αυτό το βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα .

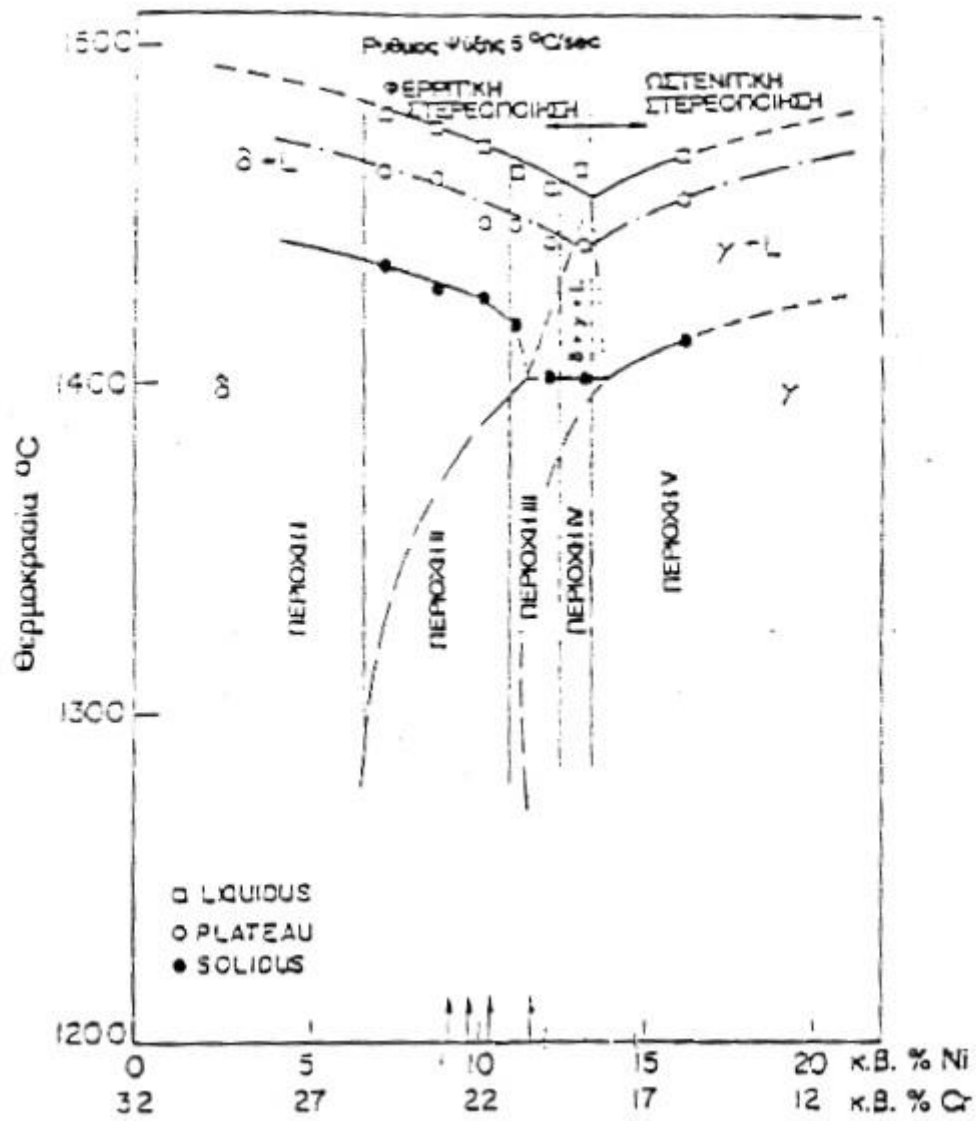
Σε θερμοκρασίες από 400°C έως 900°C (1200 – 1700 F) σχηματίζεται η σ φάση , η οποία είναι σκληρή και ψαθυρή από τη μετατροπή του φερρίτη .

Η αρχική φάση της στερεοποίησης εξαρτάται μόνο από την ονομαστική σύσταση του τηγμένου μετάλλου στη θερμοκρασία liquidus. Επειδή όμως , παρατηρείται διαφορισμός των κραματικών στοιχείων κατά τη θερμοκρασία στερεοποίησης , μεταβάλλεται η σύσταση του υγρού που υπολείπεται και έτσι αλλάζει το τελικό προϊόν της στερεοποίησης . Οποτε δημιουργείται μια σύνθετη στερεοποίηση .

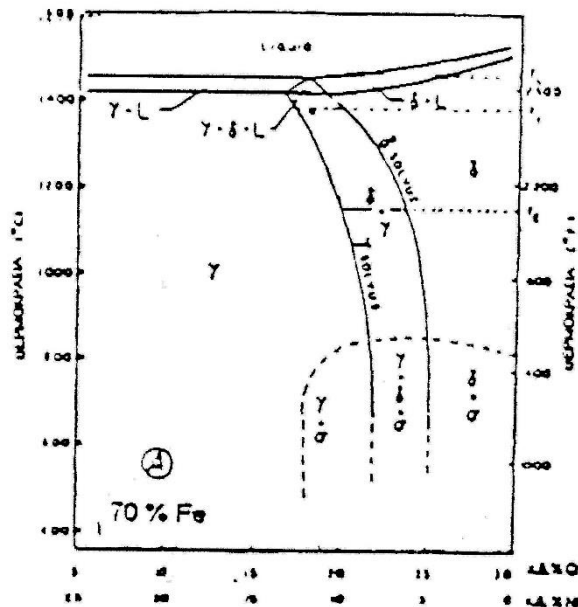
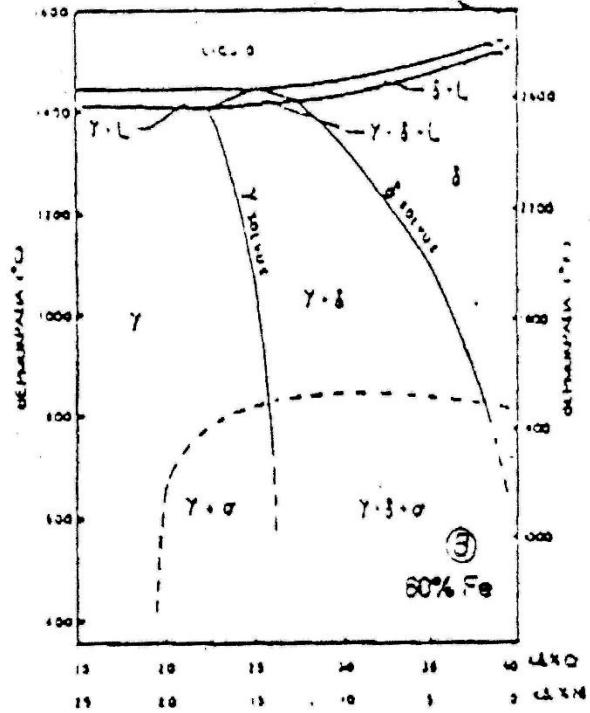
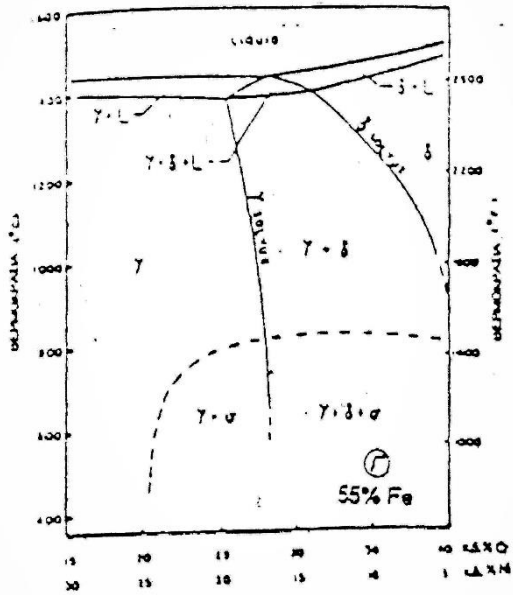
Από τα κύρια κραματικά στοιχεία το χρώμιο ευνοεί το σχηματισμό φερρίτη , ενώ το νικέλιο ευνοεί το σχηματισμό ωστενίτη . Επίσης το μαγγάνιο σε υψηλές θερμοκρασίες ευνοεί το σχηματισμό φερρίτη , όπως επίσης και το πυρίτιο .



Σχήμα 51 : Ψευδοδιμερες διάγραμμα Fe – Cr – Ni , όπου φαίνεται σχηματικά ο τύπος στερεοποίησης και μορφολογίας του δ-φερρίτη .



Σχήμα 52 : Διμερές διάγραμμα Cr – Ni για 68% Fe



Σχήμα 53 :Ψευδοδιμερή διαγράμματα Cr – Ni για διάφορα ποσοστά Fe .

Η στερεοποίηση των οστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων, μπορεί να γίνει με κάποιον από τους ακόλουθους τύπους στερεοποίησης.

Μικροδομή τύπου A : Η δομή αυτή είναι είτε πλήρως οστενιτική είτε οστενιτική που περιέχει ένα ελάχιστο ποσοστό φερρίτη . Τα παραπάνω φαίνονται στο παραπάνω σχήμα με τους τύπους A και AF . Στην περιοχή του τύπου AF η πρωτογενής φάση είναι ο οστενίτης και δ – φερρίτης και σχηματίζεται διαμέσω της ευτηκτικής αντίδρασης . Η μορφολογία του είναι σκελετοειδής φερρίτης , ο οποίος βρίσκεται σε διαδενδριτικές περιοχές .

Μικροδομή τύπου B : Η πρωτογενής φάση είναι ο δ – φερρίτης και από εκεί και πέρα στο τελικό στάδιο στερεοποίησης υπάρχει μια πιθανότητα σχηματισμού ευτηκτικού οστενίτη (τύπος FA) . Σε αυτό τον τύπο η επικρατούσα μορφολογία του δ – φερρίτη είναι σκελετώδης , η οποία στερεοποιείται στον πυρήνα του δενδρίτη . Παρ’όλα αυτά με αύξηση του λόγου Cr/Ni η μορφολογία αλλάζει σε φυλλωτό δ – φερρίτη .

Μικροδομή τύπου C : Η μορφολογία του δ – φερρίτη είναι τυπικά φυλλωτή και το ποσοστό του είναι περισσότερο από ότι στις δομές A και B . Δηλαδή το ποσοστό του φερρίτη αυξάνει καθώς προχωρούμε από τον τύπο B στον τύπο C.

Επιπλέον , έχει ανακαλυφθεί ότι η μορφολογία του σκελετώδους δ – φερρίτη , ο οποίος σχηματίζεται στο περιτηκτικό ευτηκτικό σημείο , μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τύπους :

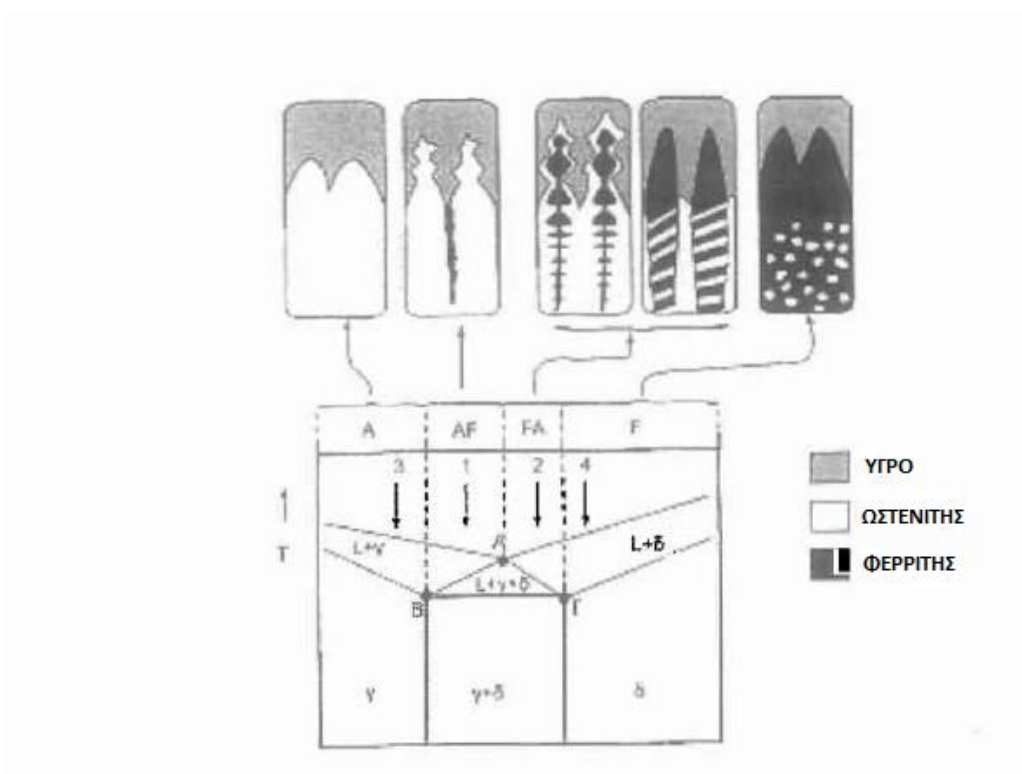
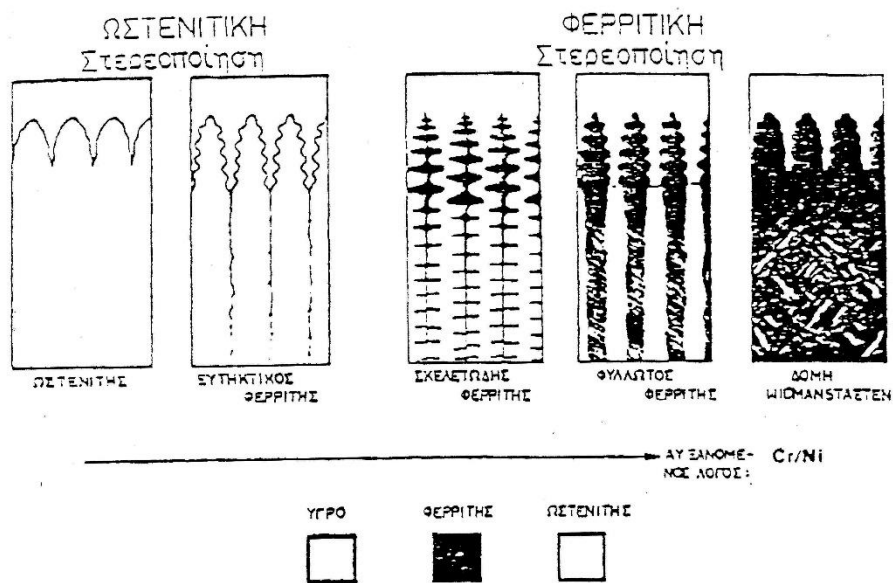
α) sphere – like και

β) rod – like .

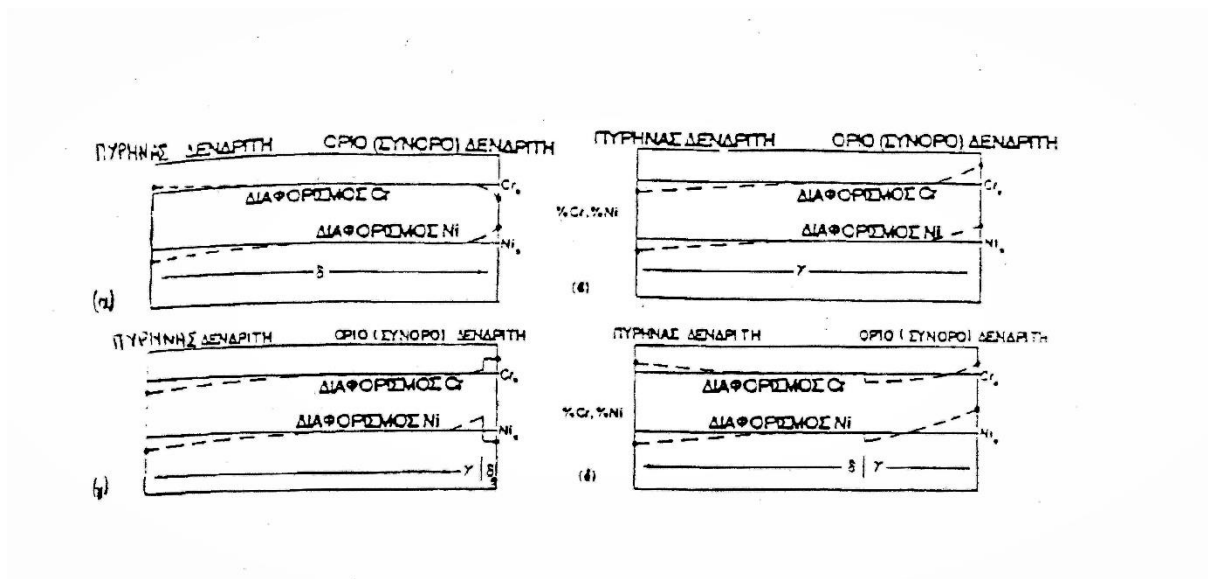
Ο πρώτος τύπος σχηματίζεται στην πλευρά του ευτηκτικού τριγώνου που είναι πλούσια σε νικέλιο στο ψευδοδιμερές διάγραμμα Fe – Cr – Ni , ενώ ο δεύτερος στην πλευρά του ευτηκτικού τριγώνου που είναι πλούσια σε χρώμιο .

Τα αποτελέσματα που περιγράφηκαν φαίνονται στο παρακάτω σχήμα . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μορφολογία του δ – φερρίτη για κάθε τύπο στερεοποίησης. Η κατανομή των στοιχείων Cr και Ni για κάθε τύπο στερεοποίησης φαίνονται στα διαγράμματα σηηματικής κατανομής χρωμίου και νικελίου . Οι διακεκομμένες γραμμές αναφέρονται στην κατανομή των στοιχείων στην θερμοκρασία solidus , ενώ οι συνεχείς οριζόντιες γραμμές αναφέρονται στην ονομαστική σύσταση του αναξειδωτου οστενιτικού χάλυβα για τα στοιχεία αυτά .

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΦΕΡΡΙΤΗ ΣΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ



Σχήμα 54 : Σχηματική παράσταση της στερεοποίησης και της συμπεριφοράς κατά τον μετασχηματισμό που καταλήγουν σε διάφορες μορφολογίες Φερρίτη .



Σχήμα 55: Σχηματική κατανομή Cr και Ni

- α. Πλήρως φερριτική στερεοποίηση .
- β. Πλήρως ωστενική στερεοποίηση .
- γ. Ωστενική στερεοποίηση με σχηματισμό ευτηκτικού φερρίτη .
- δ. Φερριτική στερεοποίηση που καταλήγει σε ωστενίτη .

Στο διάγραμμα α (φερριτική στερεοποίηση) , οι άξονες των δενδριτών είναι εμπλουτισμένοι σε χρώμιο και απογυμνωμένοι από νικέλιο σε σχέση με τη σύσταση του υγρού . Η κατανομή είναι αντίθετη στις διαδενδριτικές περιοχές .

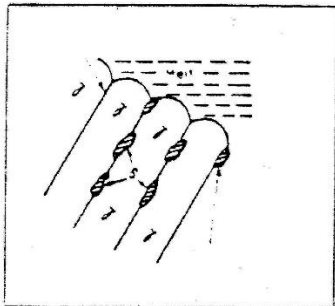
Στο διάγραμμα β (ωστενική στερεοποίηση) , οι άξονες των δενδριτών είναι απογυμνωμένοι από χρώμιο και νικέλιο , ενώ καθώς προχωράμε στα όρια των δενδριτών υπάρχει εμπλουτισμός στα στοιχεία αυτά .

Στο διάγραμμα γ (στερεοποίηση αρχικά σε ωστενίτη) , η μορφή των , διακεκομμένων γραμμών είναι όπως αυτή του διαγράμματος β . Λόγω όμως του σχηματισμού ευτηκτικού φερρίτη στις διαδενδριτικές περιοχές , απογυμνώνεται το νικέλιο και εμπλουτίζεται σε χρώμιο .

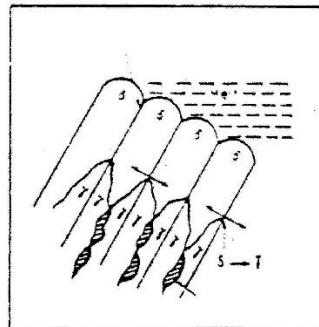
Τέλος , στο διάγραμμα δ (αρχικά στερεοποιείται ο φερρίτης) , παρατηρείται ότι στους άξονες των δενδριτών υπάρχει εμπλουτισμός σε χρώμιο και αντίθετα από το διάγραμμα απογύμνωση σε νικέλιο . Όσο προχωρούμε προς το όριο , λόγω της στερεοποίησης σε ωστενίτη που γίνεται εξαιτίας του διαφορισμού των στοιχείων , οι διακεκομμένες καμπύλες παίρνουν την ίδια μορφή όπως και στο διάγραμμα β .

Σε πολλούς ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες , μετά την στερεοποίηση και σε θερμοκρασία δωματίου , εμφανίζεται μια διπλή ωστενική – φερριτική δομή . Η τελική αυτή δομή δεν εξαρτάται μόνο από τη διαδικασία στερεοποίησης αλλά κυρίως από την μετατροπή σε στερεή κατάσταση του φερρίτη σε ωστενίτη . Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε μια διαδικασία διάχυσης στην οποία το νικέλιο που βρίσκεται στα εμπλουτισμένα σε κραματικά στοιχεία όρια του φερριτικού πλέγματος , διαχέεται στο εσωτερικό του φερρίτη .

Τα παραπάνω φαίνονται στα επόμενα σχήματα .



Σχήμα 56 A



Σχήμα 57 B

Σχήμα A : Ευτηκτικός φερρίτης που σχηματίζεται στα όρια των κύκλων μετά την ωστενιτική στερεοποίηση .

Σχήμα B : Φερριτική στερεοποίησης από το τήγμα , η οποία ακολουθείται από μετατροπή στερεάς κατάστασης .

Η παρουσία δευτέρων φάσεων σημαίνει διαφορισμό των κραματικών στοιχείων . Η πιο πιθανή δεύτερη φάση στους ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες είναι ο δ – φερρίτης . Ο οποίος περιέχει περισσότερο χρώμιο και μολυβδαίνιο (αν υπάρχει στο κράμα) και λιγότερο νικέλιο σε σύγκριση με τον ωστενίτη και συνεπώς διαφορετικά χαρακτηριστικά αντίστασης σε διαβρώση .

Με μελέτη των ιδεατών καμπυλών πόλωσης και συγκεκριμένα δεδομένα μπορεί να δεχτεί κανείς ότι σε ορισμένες συνθήκες ο φερρίτης , μπορεί να διαβρωθεί με το πιο γρήγορο ρυθμό από τον ωστενίτη ενώ σε άλλες συνθήκες μπορεί να συμβεί το αντίθετο .

Και στις δυο φάσεις έχουμε καλή αντίσταση στη διάβρωση και σε πολλά περιβάλλοντα δε συμβαίνει καμία προσβολή σε καμιά από τις δυο φάσεις . Ο δ – φερρίτης σπανίως παρουσιάζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες από ίχνη στους τυποποιημενους ανοξειδωτους ωστενιτικούς χάλυβες, αλλά όπως είδαμε σκοπίμως υπάρχει σε δομές συγκόλλησης ή χύτευσης .Όταν το ποσοστό του φερρίτη και η κατανομή του είναι τέτοια ώστε να παρέχει ένα συνεχές δίκτυο, η επιλεκτική προσβολή του μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο σε κάποια δραστικά μέσα .

6. Ελαττώματα συγκολλήσεων και ποιοτικός έλεγχος αυτών

Τα τεχνικά προβλήματα κατά την ηλεκτροσυγκόλληση Τα κυριότερα από αυτά τα προβλήματα σημειώνονται στο Σχήμα 58.

| A/A | Ονομασία | Περιγραφή - Συνέπειες | Παράγραφος |
|-----|--|--|------------|
| 1 | Αλλαγή της κρυσταλλικής δομής | Το μέγεθος των κόκκων στη ΖΕΘ αλλάζει με συνέπεια τη μείωση της αντοχής, ιδίως όταν $\pi(C) > 0,2\%$. | 1-5 |
| 2 | Ρηγματώσεις από ακαθαρσίες (κυρίως S και P) | Οι ακαθαρσίες στο μέταλλο σχηματίζουν εύθραυστες ενώσεις στα όρια των κόκκων που γίνονται αιτία ρηγματώσεων. | 1-10 |
| 3 | Δημιουργία φυσαλίδων | Παράγονται αέρια, κυρίως CO ₂ και άζωτο που σχηματίζουν φυσαλίδες που αποτελούν σημεία έναρξης της θραύσης. | 1-12 |
| 4 | Γήρανση | Ο χάλυβας γίνεται εύθραυστος. Οφείλεται κυρίως στο άζωτο και επηρεάζει τους χάλυβες με $\pi(C) < 0,15\%$. | 1-13 |
| 5 | Σε χρωμιούχους χάλυβες: κατακρήμνιση καρβιδίων | Σχηματίζονται καρβίδια του χρωμίου που συγκεντρώνονται στα όρια των κόκκων και κάνουν το μέταλλο εύθραυστο. | 1-15 |

Σχήμα 58 : Πίνακας κύριων ελαττωμάτων συγκολλήσεων

Στην ηλεκτροσυγκόλληση αντιμετωπίζουμε και άλλα τεχνικά προβλήματα, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά στο Σχήμα 54 . Εδώ, σε αντίθεση με τα προβλήματα που οφείλονται στην υφή των μετάλλων, ο ηλεκτροσυγκολλητής μπορεί να τα αντιμετωπίσει.

| A/A | Ονομασία | Περιγραφή – Συνέπειες | Αντιμετώπιση |
|-----|--|---|--|
| 1 | Το φύσημα του τόξου (μαγνητικό ή θερμικό φύσημα) | Το τόξο, ξεφεύγει από την πορεία του, με αποτέλεσμα την κακή ποιότητα συγκόλλησης. | Με αλλαγή του σημείου γείωσης, με την κατάλληλη κλίση του ηλεκτροδίου ή με ρεύμα AC. |
| 2 | Θερμικές παραμορφώσεις | Από τη θερμότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης παραμορφώνονται τα εξαρτήματα και ιδίως οι λαμαρίνες μικρού πάχους. | Με την εκτέλεση της ραφής με μικρού μήκους κορδόνια κατά αποστάσεις. |
| 3 | Ρηγματώσεις εξ αιτίας του υδρογόνου (προέρχεται κυρίως από την υγρασία της ατμόσφαιρας) | Το υδρογόνο έχει μεγάλη διαλυτότητα στον εσθενίτη αλλά μικρή στο φερρίτη. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία φυσαλίδων κατά την ψύξη. | Με την εφαρμογή προστατευτικής ατμόσφαιρας γύρω από τη συγκόλληση ή με τη χρήση βασικών ηλεκτροδίων. |
| 4 | Ρηγματώση από άλλες αιτίες (εκτός του υδρογόνου) | Η χημική σύσταση, οι ακαθαρσίες, η ταχεία ψύξη, τυχόν κοίλη μορφή της ραφής και η πολύ βαθιά διείσδυση, είναι οι συνήθεις αιτίες. | Σωστή επιλογή μετάλλου και ηλεκτροδίου, εφαρμογή προθέρμανσης, ελεγχόμενος βαθμός ψύξης, καλός σχεδιασμός της ραφής. |

Σχήμα 59: Προβλήματα ηλεκτροσυγκόλλησης τα οποία πρέπει να αντιμετωπίσει ο ηλεκτροσυγκολλητής

6.1. Παραμορφώσεις

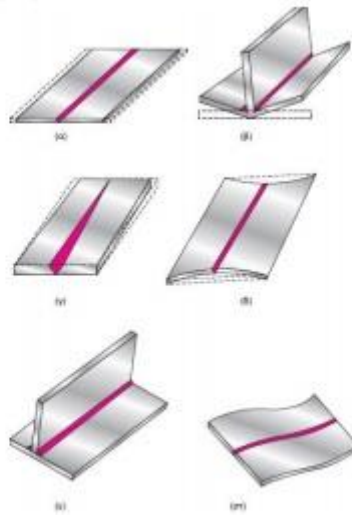
Η αντιμετώπιση των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα:

1. τον σχεδιασμό της συγκόλλησης έτσι ώστε να προκύψουν οι ελάχιστες δυνατές παραμορφώσεις. Στον σχεδιασμό περιλαμβάνονται διάφοροι παράγοντες όπως η γεωμετρία της σύνδεσης, η μέθοδος και οι συνθήκες συγκόλλησης, η συγκράτηση των ελασμάτων κ.α.
2. την ανάπτυξη προδιαγραφών για ανοχές παραμορφώσεων, δηλαδή την θέσπιση ορίων για επιτρεπτές παραμορφώσεις στις συγκολλητές κατασκευές. Ήδη αρκετοί κώδικες κατασκευών περιλαμβάνουν τέτοιου είδους προδιαγραφές.
3. την εφαρμογή μεθόδων για την διόρθωση των παραμορφώσεων μετά το πέρας της συγκόλλησης. Εδώ περιλαμβάνονται τεχνικές όπως η εύθυνση με θέρμανση, η σφυρηλάτηση κ.λ.π.

Οι παραμορφώσεις στις συγκολλήσεις μπορεί να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Η εγκάρσια συστολή (transverse shrinkage), που αφορά συστολή σε μία διεύθυνση κάθετη στον άξονα συγκόλλησης (Σχ.Β.1α)
- Η επίπεδη περιστροφή (rotational distortion), που σχετίζεται με την εγκάρσια συστολή και αφορά περιστροφή στο επίπεδο του ελάσματος (Σχ.Β.1β)
- Η γωνιακή μεταβολή (angular change) αφορά περιστροφή γύρω από τον άξονα συγκόλλησης και προκαλείται από την ανομοιόμορφη θερμοκρασιακή κατανομή κατά το πάχος του ελάσματος (Σχ.Β.1γ)
- Η διαμήκης συστολή (longitudinal shrinkage), που αφορά συστολή κατά μήκος του άξονα συγκόλλησης (Σχ.Β.1δ)
- Η διαμήκης καμπτική παραμόρφωση (longitudinal bending distortion), που αφορά κάμψη σε ένα επίπεδο κάθετο στο έλασμα και διέρχεται από τον άξονα συγκόλλησης. Προκαλείται από την ανομοιόμορφη κατανομή της διαμήκους συστολής κατά τον άξονα συγκόλλησης (Σχ.Β.1ε)
- Ο λυγισμός (buckling distortion) που προκαλείται από τις θλιπτικές παραμένουσες τάσεις, ιδιαίτερα στα λεπτά ελάσματα (Σχ.Β.1στ)

Οι πραγματικές παραμορφώσεις των συγκολλητών κατασκευών είναι πιο σύνθετες. Τις περισσότερες όμως φορές είναι δυνατόν να αναλυθούν σε επί μέρους συνιστώσες που αντιστοιχούν στις βασικές παραμορφώσεις.



Σχήμα 60: Παραμορφώσεις λόγω συγκόλλησης

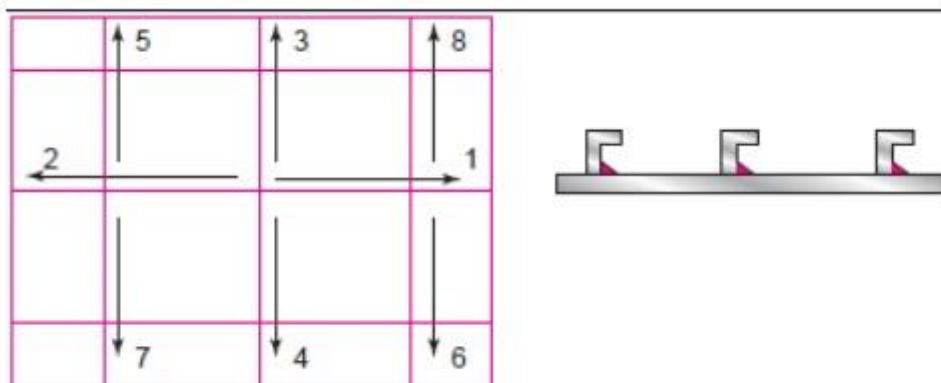
6.1.1. Περιορισμός των παραμορφώσεων

Διαμόρφωση ακμών: Η διαμόρφωση των ακμών επηρεάζει τις παραμορφώσεις των συγκολλήσεων αφού επηρεάζει την ποσότητα του μετάλλου που εναποτίθεται κατά τη συγκόλληση. Εδώ, ο γενικός κανόνας είναι ότι πρέπει να επιλέγεται μία διαμόρφωση (φρέζα) που να ελαχιστοποιεί κατά το δυνατόν το μέταλλο που εναποτίθεται.

Συνθήκες συγκόλλησης: Έχουμε δει ότι η εγκάρσια συστολή αυξάνεται με την ποσότητα του μετάλλου που εναποτίθεται σε μία συγκόλληση. Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνει το συνολικό ποσό θερμότητας που εισάγεται στη συγκόλληση. Ο ρυθμός εισαγωγής θερμότητας (ΡΕΘ) επηρεάζει πολλούς τύπους παραμορφώσεων, όπως για παράδειγμα η γωνιακή μεταβολή και οι παραμορφώσεις λυγισμού. Ένας γενικός κανόνας είναι λοιπόν να πραγματοποιούνται οι συγκολλήσεις με τον μικρότερο δυνατό Ρυθμό Εισερχόμενης Θερμότητας για την μείωση των παραμορφώσεων. Ο κανόνας αυτός περιλαμβάνει και την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου οι παραμορφώσεις αποτελούν κύριο κριτήριο σχεδιασμού μπορεί να είναι αναγκαίο να προτιμηθεί μία πιο προηγμένη μέθοδος συγκόλλησης (π.χ. συγκόλληση με ηλεκτρονική

δέσμη ή laser) η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο Ρυθμό Εισερχόμενης Θερμότητας σε σχέση με τις συμβατικές συγκολλήσεις. Οι παραμορφώσεις των συγκολλήσεων μπορεί να μειωθούν με την κατάλληλη συγκράτηση των ελασμάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις η μέθοδος αυτή επιφέρει αντίστοιχη αύξηση των παραμενουσών τάσεων.

Ακολουθία συγκόλλησης: Η ακολουθία συγκόλλησης επηρεάζει τον τρόπο ανάπτυξης των θερμοκρασιακών πεδίων και επομένως επιδρά στις παραμορφώσεις των συγκολλήσεων. Επίσης η ακολουθία συγκόλλησης επιβάλλει μηχανικούς περιορισμούς διότι οι συγκολλήσεις που προηγούνται αυξάνουν την στιβαρότητα της κατασκευής σε παραμορφώσεις που προκαλούνται από τις συγκολλήσεις που έπονται. Ένας γενικός κανόνας που αφορά στην ακολουθία συγκόλλησης είναι οι συγκολλήσεις να ξεκινούν από το κέντρο της κατασκευής και να προχωρούν προς τα άκρα, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα κατά την συγκόλληση ενισχυτικών στοιχείων σε επίπεδο έλασμα.

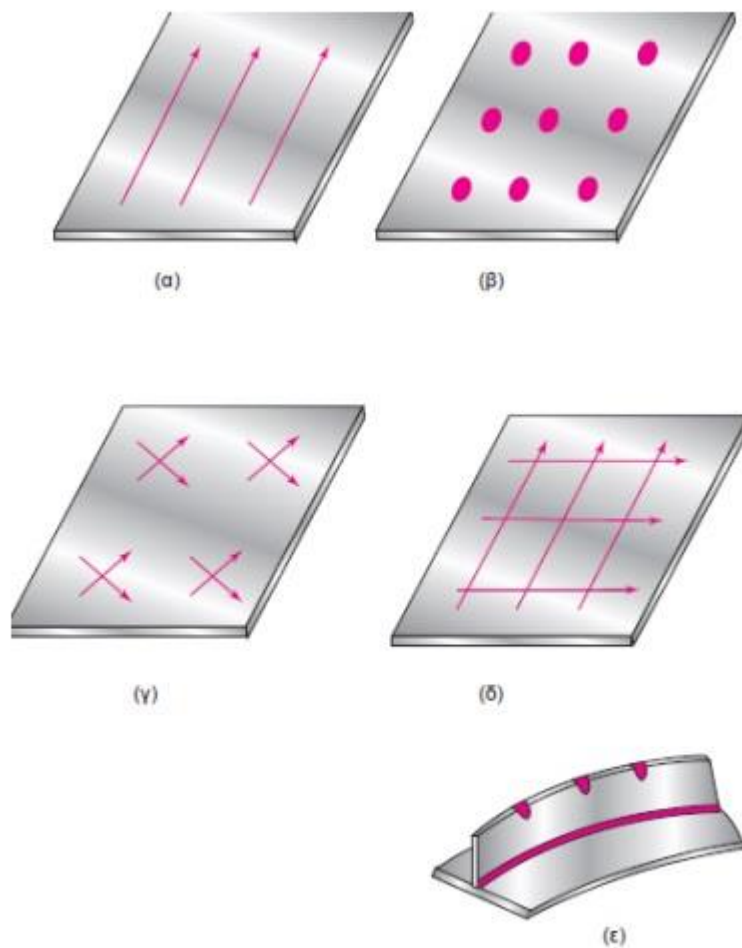


Σχήμα 61: Κατάλληλη επιλογή σειράς συγκόλλησης

Προένταση και προθέρμανση: Κατάλληλη προένταση ή προθέρμανση μπορεί να μειωθεί η γωνιακή μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις. Εδώ ο γενικός κανόνας είναι ότι η προένταση μπορεί να οδηγεί σε μείωση των παραμορφώσεων, οδηγεί όμως σε στις περισσότερες περιπτώσεις σε αύξηση των παραμενουσών τάσεων. Για τους λόγους αυτούς πρέπει να γίνεται μόνον μετά από κατάλληλο σχεδιασμό .

Μείωση των παραμορφώσεων μετά την συγκόλληση: Οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την μείωση των παραμορφώσεων μετά την συγκόλληση περιλαμβάνουν κυρίως την εύθυνση με θέρμανση (flame heating) η οποία μπορεί να πάρει διάφορες μορφές:

- Γραμμική θέρμανση: Χρησιμοποιείται κυρίως για την μείωση της γωνιακής μεταβολής σε αυχενικές συγκολλήσεις
- Σημειακή θέρμανση: Χρησιμοποιείται για μείωση των παραμορφώσεων σε λεπτά ελάσματα
- Θέρμανση “χιαστί”: Εξαιτίας της θέρμανσης σε δύο κατευθύνσεις επιφέρει μια πιο ομοιόμορφη μείωση των παραμορφώσεων.
- Θέρμανση “καρέ”: Χρησιμοποιείται για την μείωση μεγάλων παραμορφώσεων
- Τριγωνική θέρμανση: Χρησιμοποιείται για την μείωση της διαμήκουσ καμπτικής παραμόρφωσης σε συγκολλητές δοκούς.



Σχήμα 62: Περιπτώσεις εύθυνσης με θέρμανση

6.2. Ρηγματώσεις

Οι ρηγματώσεις αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους της ηλεκτροσυγκόλλησης και συχνά ανιχνεύονται δύσκολα. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

(α) Διαμήκης ρηγμάτωση πάνω στη συγκόλληση

Προκαλείται από διάφορες αιτίες και συγκεκριμένα:

1. Από τις ακαθαρσίες που υπάρχουν στο μέταλλο βάσης και στο εναποτιθέμενο μέταλλο. Ο λόγος που η ρηγμάτωση παρουσιάζεται στο κέντρο της ραφής είναι επειδή αυτή η περιοχή στερεοποιείται τελευταία, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται εκεί όλες οι ακαθαρσίες του μετάλλου.
2. Από μεγάλη διείδυση του προστιθέμενου μετάλλου, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο ύψος ραφής. Το ύψος της ραφής δεν πρέπει να υπερβαίνει το πλάτος.
3. Από την ταχεία ψύξη της ραφής, όταν η επιφάνειά της είναι κοίλη.
4. Από συνδυασμό όλων των παραπάνω.

(β) Κάθετη ρηγμάτωση πάνω στην ηλεκτροσυγκόλληση

Προκαλείται από ασυμφωνία μετάλλου βάσης και ηλεκτροδίου. Συγκεκριμένα, όταν το εναποτιθέμενο μέταλλο παρουσιάζει πολύ διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες από το μέταλλο βάσης, καθώς συστέλλεται, δημιουργούνται τάσεις που μπορεί να το ρηγματώσουν. Καμιά φορά, μπορεί στο φαινόμενο αυτό να συμβάλει και η παρουσία υδρογόνου.

(γ) Διαμήκης ρηγμάτωση δίπλα στη συγκόλληση

Αυτή είναι η πλέον συνηθισμένη περίπτωση ρηγμάτωσης και φαίνεται στην περίπτωση (E) του σχήματος. Προκαλείται από την παρουσία υδρογόνου που είναι και η μοναδική αιτία της. Η θραύση επέρχεται, συνήθως, μετά από πολλές ώρες και γι' αυτό μόνο μετά 48 ώρες από τη συγκόλληση μπορούμε να είμαστε σίγουροι.

6.2.1. Η αντιμετώπιση ρηγματώσεων που δεν οφείλονται στο υδρογόνο

Η διαμήκης ρηγμάτωση στο μέσο της ραφής, θα αντιμετωπιζόταν εύκολα, αν ξέραμε ποια ή ποιες από τις τρεις αιτίες την προκάλεσε.

- Η περίπτωση από τις ακαθαρσίες του μετάλλου, είναι σχεδόν ανύπαρκτη στους χάλυβες με $\pi(C) \leq 0,15\%$. Όταν $\pi(C) > 0,15\%$, πρέπει να γίνεται επιλογή κατάλληλου μετάλλου βάσης με μικρή περιεκτικότητα θείου (S) και φωσφόρου (P) ($<0,04\%$). Το S δεσμεύεται από το Μαγγάνιο (Mn), και γι' αυτό όλα τα ηλεκτρόδια περιέχουν Mn. Δυστυχώς όμως, δεν υπάρχει τρόπος για τη δέσμευση του P.
- Στην περίπτωση Από μεγάλη διείσδυση μειώνεται η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, για να μειωθεί η διείσδυση, ή αλλάζει ο τρόπος διαμόρφωσης των προς συγκόλληση άκρων, ώστε να εξασφαλιστεί ότι το πλάτος εναπόθεσης του μετάλλου θα είναι τουλάχιστον όσο το ύψος.
- Στην περίπτωση Από κυρτή μορφή της ραφής σε συνδυασμό με την ταχεία ψύξη, εκτελείται άλλο ένα κορδόνι, για να πάρει η συγκόλληση κυρτή ή επίπεδη μορφή, ή αλλάζουμε τύπο ηλεκτροδίου. Για να συμβεί αυτή η ρηγμάτωση, πρέπει να υπάρχουν ακαθαρσίες στο μέταλλο βάσης (S ή P) σε μεγάλη περιεκτικότητα

Παρατήρηση: Υπάρχουν ηλεκτρόδια που δημιουργούν μόνο κοίλη μορφή. Να μη δημιουργηθεί η εντύπωση ότι αυτά τα ηλεκτρόδια δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Απλά η ρηγμάτωση διευκολύνεται στην κοίλη μορφή, επειδή έχει μικρότερη αντοχή από την κυρτή.

- Η κάθετη ρηγμάτωση της περίπτωσης από κακή επιλογή ηλεκτροδίου, είναι σχετικά σπάνια, επειδή οφείλεται σε εσφαλμένη επιλογή του ηλεκτροδίου και, συγκεκριμένα, στη χρήση ηλεκτροδίου με μικρότερη ελαστικότητα από το μέταλλο βάσης, που πάντα, όμως, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή. Αν συμβεί, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρόδια με μικρότερη αντοχή.

6.2.2. Ο ρόλος του υδρογόνου στις ρηγματώσεις

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος ρηγμάτωσης προέρχεται από το υδρογόνο. Αυτό διεισδύει στο υγρό μέταλλο και από εκεί στον ωστενίτη ο οποίος μπορεί να διαλύσει μεγάλη ποσότητα υδρογόνου. Όταν ο ωστενίτης αρχίζει να μετατρέπεται σε φερρίτη, που δεν έχει την ίδια ικανότητα διάλυσης υδρογόνου, τότε απελευθερώνεται το υδρογόνο και προκαλεί εσωτερικές τάσεις. Αυτές, αν το υδρογόνο είναι σε μεγάλη ποσότητα, οδηγούν στη ρηγμάτωση. Τα πράγματα είναι ακόμη χειρότερα, αν, κατά το μετασχηματισμό του ωστενίτη, έχουμε και δημιουργία μαρτενσίτη, επειδή αυτός δεν έχει καμία δυνατότητα διάλυσης του υδρογόνου. Η αποφυγή της δημιουργίας μαρτενσίτη γίνεται με την εφαρμογή αργού ρυθμού ψύξης. Το υδρογόνο προέρχεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, όπου υπάρχει υπό μορφή υγρασίας (διασπάται σε υδρογόνο και οξυγόνο από τη θερμοκρασία του τόξου). Τυχόν υδρογονάνθρακες πάνω στο μέταλλο (λάδια κτλ.) που δεν έχουν καθαριστεί, αποτελούν σοβαρή πηγή υδρογόνου. Άλλες πηγές είναι το ίδιο το ηλεκτρόδιο που περιέχει υδρογόνο καθώς και η πάστα του.

6.2.3. Η πρόληψη των ρηγματώσεων εξαιτίας του υδρογόνου

Το φαινόμενο ρηγμάτωσης εξαιτίας του υδρογόνου αντιμετωπίζεται από τον ηλεκτροσυγκολλητή με τους εξής τρόπους:

- Με τη χρήση ηλεκτροδίων χαμηλού υδρογόνου. Τα επενδυμένα ηλεκτρόδια χαμηλού υδρογόνου ονομάζονται βασικά ηλεκτρόδια. Πρέπει όμως να χρησιμοποιούνται μόνο, όταν, πράγματι, είναι απαραίτητα, επειδή έχουν αρκετές δυσκολίες στη χρήση τους.
- Με τη συγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα χωρίς υδρογόνο.
- Με την προθέρμανση, επειδή μετά από αυτή η ψύξη του μετάλλου διαρκεί περισσότερο. Αυτό δίνει χρόνο στο υδρογόνο να απομακρυνθεί, επειδή ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε φερρίτη γίνεται πιο αργά και συγχρόνως δε σχηματίζεται μαρτενσίτης.

Το ερώτημα είναι πότε θα χρειαστεί να καταφύγουμε σε συγκόλληση χαμηλού υδρογόνου. Η απάντηση βρίσκεται στην κρισιμότητα της αντοχής της συγκόλλησης. Αν π.χ. **πρόκειται να συγκολληθεί το φτερό ενός αυτοκινήτου**, δεν υπάρχει θέμα ισχυρής συγκόλλησης. Αν όμως πρόκειται για το **σασί ενός βαρέως οχήματος**, τότε καλό είναι να σκεφτούμε να εκτελέσουμε συγκόλληση χαμηλού υδρογόνου, για να είμαστε σίγουροι. Ο κανόνας είναι: **Όταν πρόκειται για εξάρτημα που θα υποβληθεί σε ισχυρές καταπονήσεις, πρέπει να**

γίνεται συγκόλληση χαμηλού υδρογόνου. Οι χάλυβες ωστενιτικής δομής δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα ρηγματώσης εξαιτίας του υδρογόνου. Έχουν όμως πρόβλημα ρηγματώσης από άλλες αιτίες. Π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν το πρόβλημα της κατακρήμνισης των καρβιδίων του χρωμίου.

6.2.4. Η παρουσία πόρων και λοιπών ελαττωμάτων

Η παρουσία πόρων στη ραφή μίας ηλεκτροσυγκόλλησης είναι σχεδόν αναπόφευκτη. Ευτυχώς όμως που οι πόροι σε αραιές αποστάσεις και σε μικρό αριθμό δε δημιουργούν προβλήματα. Αν είναι πυκνοί, μπορεί να αποτελέσουν θραύση κατά τη λειτουργία. Υπάρχουν δύο ποιότητες ραφής. Αυτές είναι οι GRADE I για υψηλές απαιτήσεις και η GRADE II για συνήθεις απαιτήσεις, βλέπουμε τι προβλέπεται για τις δύο αυτές ποιότητες. Η πλήρης ανίχνευση των πόρων γίνεται μόνο με ακτινογραφία ή με υπέρηχους. Με οπτικό έλεγχο είναι ορατοί μόνο οι επιφανειακοί πόροι. Αν αυτοί είναι πολλοί, είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι και στο εσωτερικό της συγκόλλησης θα είναι πολύ περισσότεροι.

| Ποιότητα | Διάμετρος πόρων (mm) | Μέγιστος αριθμός πόρων ανά 150 mm | Ποιότητα | Διάμετρος πόρων (mm) | Μέγιστος αριθμός πόρων ανά 150 mm |
|----------|----------------------|--|----------|----------------------|--|
| GRADE I | 1,2 – 1,6 | 8 | GRADE II | 1,6 – 2,0 | 14 |
| | 0,8 – 1,2 | 15 | | 1,2 – 1,6 | 22 |
| | 0,4 – 0,8 | 22 | | 0,4 – 1,2 | 44 |
| | 0,4 – 1,6 | Συνολικά 18 ως εξής: 1,2 – 1,6 : 3 0,8 – 1,2 : 5 0,4 – 0,8 : 10 | | 0,4 – 2,0 | Συνολικά 27 ως εξής: 1,6 – 2,0 : 3 1,2 – 1,6 : 8 0,4 – 1,2 : 16 |

Σχήμα 63: Πίνακας με δύο ποιότητες ραφής

Μία πολύ σοβαρή ανωμαλία είναι να μην υπάρχει επαρκής διείσδυση μέχρι τη ρίζα. Στην περίπτωση αυτή η ρίζα τροχίζεται και γεμίζεται, κατά προτίμηση με TIG ή με βασικά ηλεκτρόδια. Σε συγκολλήσεις υψηλών απαιτήσεων το τρόχισμα και το γέμισμα της ρίζας μπορεί να είναι η προβλεπόμενη παραγωγική διαδικασία. Άλλες ανωμαλίες είναι:

- Τα καψίματα: Υποδηλώνουν κακή έναυση του τόξου και ότι η συγκόλληση σ' αυτά τα σημεία μάλλον δεν είναι καλή.
- Τα πιτσιλίσματα: Δεν επηρεάζουν την αντοχή, αλλά δημιουργούν κακή εμφάνιση που ενδέχεται να έχει σημασία.

- Τα κοιλώματα και οι προεξοχές: Αυτές μπορούν να αποτελέσουν σημείο αρχής μιας θραύσης. Εντοπίζονται με οπτικό έλεγχο και επισκευάζονται εύκολα (τα κοιλώματα γεμίζονται και οι προεξοχές τροχίζονται)

6.2.5. Η προθέρμανση

Η προθέρμανση απαιτείται για τη συγκόλληση ορισμένων ειδών χαλύβων αλλά και άλλων μετάλλων. Περιορίζει πολύ τον κίνδυνο ρηγμάτωσης.

Το ερώτημα «πότε χρειάζεται να εφαρμοστεί η προθέρμανση;»

Είναι δύσκολο να απαντηθεί. Απλές απαντήσεις θα μπορούσαν να είναι: «στα υλικά που συγκολλούνται δύσκολα» ή «όταν επιδιώκουμε συγκόλληση υψηλής αντοχής». Αν π.χ. πρόκειται για το σασί ενός οχήματος, καλό είναι να εφαρμοστεί η προθέρμανση. Η προθέρμανση, συνήθως, εφαρμόζεται με φλόγα οξυγόνου-ασετιλίνης, εκατέρωθεν της προς συγκόλληση περιοχής και σε πλάτος τουλάχιστον 75 mm. Η θερμοκρασία της προθέρμανσης σε ανθρακούχους χάλυβες με πάχη μικρότερα των 20 mm δεν είναι κρίσιμη, αρκεί να είναι στην περιοχή 110-200°C. Στις άλλες όμως ποιότητες χαλύβων θα πρέπει να δοθούν οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή της απαιτούμενης προθέρμανσης. Η θερμοκρασία της προθέρμανσης μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με ένα θερμόμετρο επαφής ή με τη βοήθεια ειδικών μαρκαδόρων που το σημάδι τους επηρεάζεται από την αλλαγή της θερμοκρασίας. Ένας πρακτικός όμως τρόπος είναι το χρώμα του μετάλλου, σύμφωνα με τον Πίνακα. Για να φανούν οι αλλαγές του χρώματος, πρέπει να καθαριστεί καλά με τροχό, ένα τμήμα τουλάχιστον της επιφάνειας από τις σκουριές.

| Χρώμα | Θερμοκρασία (°C) | Χρώμα | Θερμοκρασία (°C) |
|-------------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Σχεδόν καμία αλλαγή στο χρώμα | < 210 | Μεταξύ καφέ και ποφυρού | 265 |
| Απαλό κίτρινο | 220 | Ποφυρό | 275 |
| Κίτρινο | 230 | Σκούρο μπλε | 290 |
| Χρυσάφι | 245 | Φωτεινό μπλε | 300 |
| Καφέ | 255 | Ανοιχτό μπλε | 320 |

Σχήμα 64: Πίνακας με δύο ποιότητες ραφής

7. Ο ποιοτικός έλεγχος της ηλεκτροσυγκόλλησης

Ο έλεγχος των ηλεκτροσυγκολλήσεων ολοκληρώνεται μετά από 48 ώρες τουλάχιστον από την εκτέλεσή τους, επειδή η διαπίστωση τυχόν ρηγμάτωσης, λόγω του υδρογόνου, απαιτεί, όπως αναφέρθηκε, να παρέλθει διάστημα 48 ωρών. Η πρώτη φάση του ποιοτικού ελέγχου είναι η οπτική επιθεώρηση. Μπορεί, μετά την απομάκρυνση της σκουριάς της πάστας, να εκτελεστεί πολύ εύκολα, ακόμη και από τον ίδιο τον ηλεκτροσυγκολλητή. Το επόμενο στάδιο είναι οι δοκιμές. Για να εκτελεστούν απαιτείται ο κατάλληλος εξοπλισμός. Οι δοκιμές δε χρειάζονται πάντοτε. Αυτές εκτελούνται μόνον, όταν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αντοχής και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τις μη καταστρεπτικές δοκιμές
- Τις καταστρεπτικές δοκιμές

Η μεγαλύτερη όμως εγγύηση για την ποιότητα των ηλεκτροσυγκολλήσεων είναι ο τεχνίτης. Γι' αυτό, συχνά, αντί για ποιοτικό έλεγχο, προηγείται των εργασιών η πιστοποίηση των ηλεκτροσυγκολλητών, η οποία γίνεται με αυστηρά προδιαγεγραμμένη διαδικασία.

Η αποδοχή της ηλεκτροσυγκόλλησης μετά από τον έλεγχο

Το να μην παρουσιάζει μία ραφή ηλεκτροσυγκόλλησης κάποια σφάλματα είναι δύσκολο, ακόμη και όταν πρόκειται για άριστους ηλεκτροσυγκολλητές. Το ερώτημα που τίθεται είναι αν, τελικά, γίνεται αποδεκτή ή όχι. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι:

Το πιο εύκολο για κάποιον που εκτελεί ποιοτικό έλεγχο είναι να απορρίπτει τα πάντα για να είναι σίγουρος.

Δυστυχώς υπάρχουν ελεγκτές που εκτελούν ποιοτικό έλεγχο με στόχο την απόρριψη. Τίποτε γι' αυτούς δε μοιάζει να είναι σωστό. Και φυσικά, η επιχείρηση που έχει τέτοιους ελεγκτές, μάλλον δεν έχει και πολύ μέλλον. Ο ελεγκτής θα πρέπει να εξετάζει τα πράγματα πάντοτε σε σχέση με τη λειτουργία που θα εκτελέσει το αντικείμενο και έχοντας υπόψη του την καταπόνηση στην οποία θα υποβληθεί η ηλεκτροσυγκόλληση. Επίσης, σε περίπτωση

απόρριψης, θα πρέπει να εξετάσει μήπως το τεμάχιο είναι επισκευάσιμο. Όταν όμως ο ελεγκτής αμφιβάλλει για την ποιότητα μίας ραφής, αυτή πρέπει να απορρίπτεται. Η αποδοχή μιας ελαττωματικής συγκόλλησης μπορεί να έχει ολέθριες συνέπειες. Αν π.χ. πρόκειται για το σασί ενός οχήματος, μπορεί να χαθούν ανθρώπινες ζωές.

7.1. Η οπτική επιθεώρηση

Ο ηλεκτροσυγκολλητής εξετάζει κατά διαστήματα τη ραφή που εκτελεί και προβαίνει σε διορθωτικές κινήσεις. Τέτοιες είναι:

- Η αλλαγή της έντασης ή της τάσης του ρεύματος
- Το μήκος του τόξου
- Η ταχύτητα με την οποία μετακινεί το ηλεκτρόδιο
- Η αλλαγή του ηλεκτροδίου (ποιότητας ή διαμέτρου)

Μετά την ολοκλήρωση της ηλεκτροσυγκόλλησης, το τεμάχιο ελέγχεται και για τυχόν άλλες ατέλειες οι οποίες δεν είναι εύκολα ορατές κατά τη φάση της ηλεκτροσυγκόλλησης. Προηγείται καθαρισμός με συρματόβουρτσα και από τις δύο πλευρές της ραφής και σε πλάτος τουλάχιστον 10 mm. Στη συνέχεια γίνεται οπτική επιθεώρηση, για να διαπιστωθεί αν τυχόν υπάρχουν οι παρακάτω ατέλειες:

- Αν τα κορδόνια της συγκόλλησης έχουν τις σωστές διαστάσεις και τη σωστή μορφή.
- Αν παρουσιάζονται επιφανειακοί πόροι. Αποτελούν ένδειξη για πολύ περισσότερους πόρους στο εσωτερικό.
- Αν υπάρχουν κρατήρες ή προεξοχές.
- Αν έχει γίνει διείσδυση ως τη ρίζα.
- Μήπως κάπου δεν υπάρχει επαρκής συγκόλληση.
- Αν παρουσιάζονται καψίματα.
- Αν υπάρχουν παραμορφώσεις στα τεμάχια.
- Αν τα τεμάχια έχουν τις σωστές διαστάσεις.
- Αν υπάρχουν ρωγμές (με τη χρήση ενός μεγεθυντικού φακού).

7.2. Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές

Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές ανιχνεύουν ελαττώματα, αλλά δεν εγγυώνται τίποτε για την αντοχή και, γενικά, για τις μηχανικές ιδιότητες της ηλεκτροσυγκόλλησης. Αυτές είναι οι εξής:

(α) Ο έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια διεισδυτικών υγρών.

Τα διεισδυτικά υγρά διεισδύουν μέσα στην τυχόν υπάρχουσα ρωγμή και τη χρωματίζουν, κάνοντάς την ορατή. Η επιφάνεια πρώτα καθαρίζεται με ένα κατάλληλο διαλυτικό και μετά εφαρμόζεται το διεισδυτικό υγρό (συνήθως σε σπρέι). Ο χρόνος που απαιτείται για τη διείσδυση προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή και μπορεί να είναι από λίγα λεπτά μέχρι και μία ώρα. Μετά, το τεμάχιο πλένεται για να αφαιρεθεί το πλεονάζον διεισδυτικό υγρό. Για άλλα υγρά αρκεί ο ψεκασμός με νερό, ενώ για άλλα απαιτείται ειδικό διαλυτικό. Αν τυχόν υπάρχουν ρωγμές, εμφανίζονται χρωματισμένες.



Σχήμα 65 : Έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια διεισδυτικών υγρών

(β) Ο έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη.

Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνεται μόνο σε υλικά με ισχυρές μαγνητικές ιδιότητες. Όταν εφαρμόζεται ένας μαγνήτης πάνω σε μία μεταλλική επιφάνεια, οι μαγνητικές γραμμές οδεύουν κανονικά. Όταν όμως υπάρχει μία ατέλεια, οι μαγνητικές γραμμές διακόπτονται και εμφανίζονται Βόρειος και Νότιος πόλος, οι οποίοι έλκουν τα ρινίσματα σιδήρου που έχουμε σκορπίσει στην επιφάνεια που ελέγχουμε.

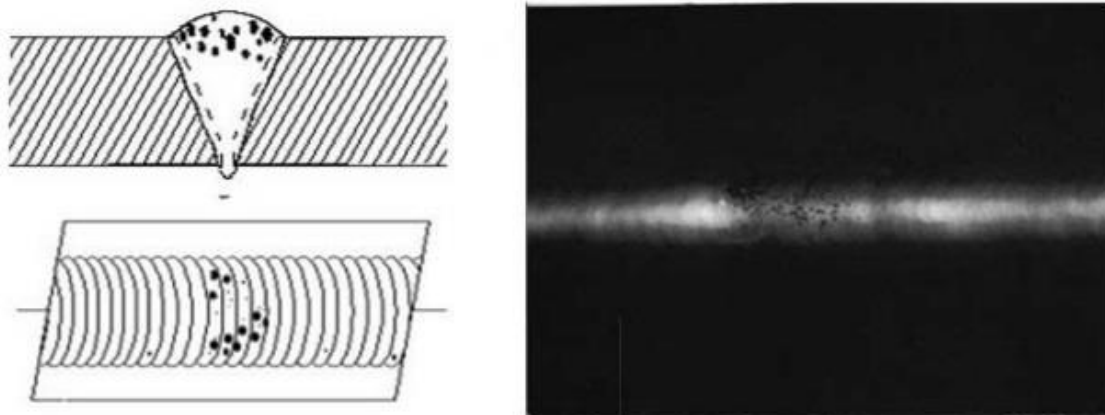
Ο ηλεκτρομαγνήτης, επειδή δεν είναι μόνιμα μαγνητισμένος, διευκολύνει τον έλεγχο. Συγκεκριμένα, μόλις εφαρμόσουμε το ρεύμα, αν η συγκόλληση είναι καλή, δε θα συμβεί κάτι παράξενο. Αν όμως υπάρχουν ρωγμές, τα ρινίσματα θα μετακινηθούν απότομα (πάνω στη ρωγμή).



Σχήμα 66: Έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη

(γ) Ο έλεγχος με ακτινογραφικές μεθόδους

Με την ακτινογραφία ανιχνεύονται όλες σχεδόν οι βλάβες που μπορεί να έχει μία ηλεκτροσυγκόλληση και ιδίως οι πόροι. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και ειδικός εξοπλισμός τον οποίο διαθέτουν μόνο οι πολύ καλά οργανωμένες εταιρείες που εκτελούν συγκολλήσεις υψηλών απαιτήσεων. Στο σχήμα 62, φαίνεται παράδειγμα ακτινογραφίας συγκόλλησης με σφάλμα πόρων.



Σχήμα 67: Έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη

(δ) Ο έλεγχος με υπερήχους

Η αρχή λειτουργίας είναι ότι ο υπέρηχος αντανακλάται πάνω στο σημείο που παρουσιάζεται ελάττωμα. Έτσι καθίσταται δυνατή η ανίχνευση, ακόμη και πολύ μικρών ελαττωμάτων τα οποία φαίνονται σε μία οθόνη και αποτυπώνονται σε ένα γραφικό διάγραμμα. Ο χειρισμός του μηχανήματος, καθώς και η ανάγνωση του διαγράμματος, απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.

7.3 Οι καταστρεπτικές δοκιμές

Σ' αυτές καταστρέφονται κάποια τεμάχια, προκειμένου να διαπιστωθεί η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Βρίσκουν εφαρμογή σε βιομηχανική παραγωγή συγκολλητών τεμαχίων. Έτσι, π.χ. για κάθε 100 όμοια τεμάχια λαμβάνουμε το ένα και το καταστρέφουμε, για να ελέγξουμε τις μηχανικές ιδιότητες των ηλεκτροσυγκολλήσεων. Οι ιδιότητες που μας ενδιαφέρουν είναι κυρίως: □ η σκληρότητα, □ η αντοχή σε εφελκυσμό και □ η αντοχή σε κρούση. Για την εκτέλεσή τους απαιτείται ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός. Με τις καταστρεπτικές δοκιμές αισθανόμαστε πολύ πιο σίγουροι για το αποτέλεσμα, αλλά δεν μπορούμε να τις εφαρμόσουμε οποτεδήποτε.

Σ' αυτές καταστρέφονται κάποια τεμάχια, προκειμένου να διαπιστωθεί η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Βρίσκουν εφαρμογή σε βιομηχανική παραγωγή συγκολλητών τεμαχίων. Έτσι, π.χ. για κάθε 100 όμοια τεμάχια λαμβάνουμε το ένα και το καταστρέφουμε, για να ελέγξουμε τις μηχανικές ιδιότητες των ηλεκτροσυγκολλήσεων.

Οι ιδιότητες που μας ενδιαφέρουν είναι κυρίως:

- η σκληρότητα,
- η αντοχή σε εφελκυσμό και
- η αντοχή σε κρούση.

Για την εκτέλεσή τους απαιτείται ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός. Με τις καταστρεπτικές δοκιμές αισθανόμαστε πολύ πιο σίγουροι για το αποτέλεσμα, αλλά δεν μπορούμε να τις εφαρμόζουμε οποτεδήποτε.

8. Θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης

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

(α) Η προστασία της όρασης και του προσώπου

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

(β) Οι αναθυμιάσεις

Οι αναθυμιάσεις και ο καπνός είναι μικροσκοπικά αιωρούμενα σωματίδια. Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση του σιδήρου, αποτελούνται κυρίως από οξειδία του σιδήρου, αλλά ενδέχεται να υπάρχουν και οξειδία άλλων μετάλλων. Η ποσότητα των αναθυμιάσεων κατά την ηλεκτροσυγκόλληση δεν είναι μεγάλη και ισχύει ο κανόνας:

Όταν οι ηλεκτροσυγκολλήσεις γίνονται σε ανοικτό χώρο, δεν είναι απαραίτητο να γίνεται η απομάκρυνση του καπνού.

Σε κλειστούς, όμως, χώρους, η προστασία από τον καπνό δεν πρέπει να αγνοείται και πρέπει να χρησιμοποιείται ειδικός απορροφητήρας. Υπάρχουν διαφόρων ειδών απορροφητήρες. Ιδιαίτερα αποτελεσματικοί είναι αυτοί που συνδέονται με ειδικές τσιμπίδες που αναρροφούν τις αναθυμιάσεις απευθείας από το σημείο παραγωγής τους.

(γ) Ηλεκτροπληξία

Εκτός από την τάση της ΔΕΗ, δεν πρέπει να υποτιμάται και η δευτερεύουσα τάση, επειδή υπερβαίνει τα 50 V και, ως εκ τούτου, είναι επικίνδυνη. Ο κίνδυνος από αυτήν συχνά αγνοείται επειδή, για να κλείσει το ηλεκτρικό κύκλωμα, πρέπει να έρθει ο ηλεκτροσυγκολλητής σε επαφή, συγχρόνως με το ηλεκτρόδιο και με το μέταλλο βάσης. Αυτό φαίνεται δύσκολο, αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι. Ως εκ τούτου, πριν από την έναρξη της εργασίας, ο ηλεκτροσυγκολλητής οφείλει να ελέγχει την κατάσταση του εξοπλισμού του και, κυρίως, τα εξής:

- ✓ Τη μόνωση της τσιμπίδας του
- ✓ Τη μόνωση των καλωδίων
- ✓ Τα καπάκια της μηχανής να είναι κλειστά.
- ✓ Οι ταχυσύνδεσμοι και οι ακροδέκτες να είναι σε καλή κατάσταση.
- ✓ Να υπάρχει γείωση στην πρίζα.

Η ένταση του ρεύματος ηλεκτροσυγκόλλησης να μην υπερβαίνει την αντοχή των καλωδίων, που δίνεται στον πίνακα. Επίσης, ο ηλεκτροσυγκολλητής πρέπει να είναι ηλεκτρικά μονωμένος. Δηλαδή πρέπει τα υποδήματά του να έχουν συνθετικές σόλες, να μην πατάει σε νερά, τα ρούχα να είναι στεγνά και να φοράει τα ειδικά γάντια.

(δ) Τα εγκαύματα από σπινθήρες

Οι σπινθήρες μπορούν να προκαλέσουν εγκαύματα. Γι' αυτό ο ηλεκτροσυγκολλητής είναι αυτός που κινδυνεύει περισσότερο. Δεν πρέπει να βάζει στα μαλλιά του εύφλεκτα υλικά, όπως π.χ. το ζελέ μαλλιών, ούτε να έχει στις τσέπες του αναπτήρα. Αν διατηρεί μακριά μαλλιά, πρέπει να τα μαζεύει πίσω ή μέσα σε καπέλο. Η προστασία από τους σπινθήρες επιτυγχάνεται

με τη χρήση εξοπλισμού από δέρμα, δηλαδή με δερμάτινα γάντια, ποδιά ή πουκάμισο, μανίκια κτλ.

(ε) Τα εγκαύματα από την ακτινοβολία

Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση δεν πρέπει να υπάρχουν γυμνά σημεία του σώματος εκτεθειμένα στην ακτινοβολία. Το πρόσωπο προστατεύεται από τη μάσκα και τα χέρια από τα γάντια, αλλά μέρος του υπόλοιπου σώματος, συχνά, μένει εκτεθειμένο, ιδίως το καλοκαίρι. Το ηλεκτρικό τόξο εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία (UV), η οποία προκαλεί εγκαύματα, ανάλογα με αυτά που προκαλεί η μακρά παραμονή σε ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία. Αυτά δεν εμφανίζονται αμέσως αλλά μετά πολλές ώρες ή την άλλη μέρα και μπορεί να είναι πολύ ισχυρά.

(στ) Κίνδυνοι πυρκαγιάς ή έκρηξης

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

(ζ) Άλλοι κίνδυνοι

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

8.1 Η προστασία της όρασης και του προσώπου με τη μάσκα

Το πλέον πολύτιμο πράγμα στον άνθρωπο είναι η όραση και η μεγαλύτερη αναπηρία είναι η απώλειά της. Γι' αυτό, για τα μάτια πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ειδικές μάσκες. Η βλάβη προκαλείται σταδιακά και, όταν γίνουν αντιληπτά τα πρώτα δείγματά της, είναι πλέον αργά. Υπάρχει η εντύπωση ότι όσο πιο σκούρο είναι το γυαλί μιας μάσκας, τόσο μεγαλύτερη προστασία προσφέρει. Αυτό είναι μεγάλο λάθος. Η βασική προστασία που προσφέρει τόσο το γυαλί όσο και η ίδια η μάσκα, είναι ότι αποκόπτουν πλήρως τις επικίνδυνες ακτινοβολίες που είναι οι υπεριώδεις (UV) και οι υπέρυθρες (IR), προστατεύοντας τόσο την όραση, όσο και το πρόσωπο από εγκαύματα. Και όλες οι μάσκες καλής ποιότητας έχουν αυτή τη δυνατότητα,

ακόμη και όταν το γυαλί τους είναι εντελώς διαφανές, όπως συμβαίνει στις μάσκες που το γυαλί σκουραίνει απότομα, μόλις αρχίσει η έναυση του τόξου.

| Α/Α | Περιγραφή του κινδύνου | Προστατευτικά μέσα | Στόχοι της προστασίας |
|-----|--|---|--|
| 1 | Βλάβη της όρασης (από την ακτινοβολία) | Μάσκα (χειρός ή κεφαλής) | Αποκοπή των υπέρυθρων και υπεριώδων ακτίνων. Περιορισμός της λάμψης τόσο όσο χρειάζεται για καλή ορατότητα. |
| 2 | Αναθυμιάσεις (μόνο για κλειστό χώρο) | Αναρροφητήρας αναθυμιάσεων | Αποφυγή βλάβης στο αναπνευστικό σύστημα, όταν γίνονται εργασίες σε κλειστούς χώρους. |
| 3 | Ηλεκτροπληξία | Δερμάτινα γάντια, στεγνά ρούχα, μονωτικές σόλες | Ηλεκτρική απομόνωση του ηλεκτροσυγκολλητή από το περιβάλλον του, για τον περιορισμό του κινδύνου ηλεκτροπληξίας. |
| 4 | Εγκαύματα (από σπινθήρες ή από την ακτινοβολία) | Δερμάτινα γάντια, ποδιά, άκαυστο καπέλο, όχι ζελέ μαλλιών | Περιορισμός της έκθεσης των γυμνών σημείων του σώματος στην ακτινοβολία και στους σπινθήρες. |
| 5 | Βλάβη της ακοής (από το θόρυβο) | Ωτοασπίδες | Περιορισμός του κινδύνου βλάβης της ακοής, όταν ο θόρυβος της μηχανής υπερβαίνει τα 80 db(A). |
| 6 | Πρόκληση πυρκαγιάς ή έκρηξης | Απομάκρυνση εύφλεκτων υλών | Αποφυγή πυρκαγιάς από τους σπινθήρες που είναι δυνατόν να εκτινάσσονται μέχρι και 10 μέτρα. |
| 7 | Εργασίες σε πολύ κλειστό χώρο | Παροχή αέρα, αναρροφητήρας αναθυμιάσεων | Αποφυγή εξάντλησης του οξυγόνου και του κινδύνου δηλητηρίασης από αέρια (ιδίως από CO). |
| 8 | Έκρηξη φιάλης αερίου | Κύλινδροι όρθιοι, καλά στερεωμένοι και μακριά από το ηλεκτρόδιο | Αποφυγή του κινδύνου να προκληθεί έκρηξη από πτώση της φιάλης ή από τυχαία επαφή της φιάλης με το ηλεκτρόδιο. |
| 9 | Χρήση ηλεκτρογεννήτριας (όταν δεν υπάρχει παροχή από ΔΕΗ) | Αποφυγή επαφής με τη γεννήτρια και τοποθέτησή της σε ανοικτό χώρο | Τα κινούμενα μέρη της γεννήτριας μπορούν να προκαλέσουν ακρατηριασμούς. Η γεννήτρια καταναλώνει το οξυγόνο ενός κλειστού χώρου και μπορεί να προκαλέσει ασφυξία ή δηλητηρίαση. |
| 10 | Πρόκληση βλαβών σε άλλους (π.χ. εργαζόμενους στον ίδιο χώρο) | Κουρτίνες απομόνωσης ή απόσταση από τις άλλες θέσεις εργασίας | Οι άλλοι εργαζόμενοι στον ίδιο χώρο δεν διαθέτουν τα μέσα προστασίας που διαθέτει ο ηλεκτροσυγκολλητής, αλλά είναι εκτεθειμένοι στους ίδιους σχεδόν κινδύνους. |
| 11 | Γενικότεροι κίνδυνοι (κίνδυνοι του κάθε εργασιακού χώρου) | Καλή οργάνωση, υποδήματα με σίδερο μπροστά, αυξημένη προσοχή. | Ο ηλεκτροσυγκολλητής δεν κινδυνεύει μόνο από την ειδικότητά του αλλά και γενικότερα, από τους κινδύνους που παραμονεύουν στον κάθε εργασιακό χώρο και στο κάθε εργοτάξιο. |

Σχήμα 68 : Κίνδυνοι και μέσα προστασίας του ηλεκτροσυγκολλητή

Όσον αφορά την περιοχή του ορατού φωτός, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι ακίνδυνη για την υγεία, αρκεί να μην είναι πολύ ισχυρή. Το γυαλί πρέπει να είναι σκούρο, για τον ίδιο λόγο που χρειάζονται τα γυαλιά ηλίου στην ισχυρή ηλιοφάνεια.

Το ερώτημα που τίθεται είναι «**πόσο σκούρο;**» και η απάντηση είναι «**τόσο σκούρο όσο χρειάζεται ο ηλεκτροσυγκολλητής, για να βλέπει πολύ καθαρά**». Αν είναι περισσότερο σκούρο, θα δυσκολεύεται να δει και θα κουράζονται τα μάτια του, ενώ παράλληλα θα είναι και κακή η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Αν είναι λιγότερο σκούρο, επίσης, θα κουράζει τα μάτια του και θα θαμπώνεται.

Προσοχή: Τα γυαλιά οξυγονοκόλλησης δεν προσφέρουν καμία απολύτως προστασία, όταν χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροσυγκόλληση, επειδή δεν αποκόπτουν τις ακτίνες UV και IR.

Υπάρχουν οι απλές μάσκες που προστατεύουν κυρίως το πρόσωπο. Μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο όταν το ένα χέρι είναι διαθέσιμο (MMA, MIG/MAG), οπότε μπορεί να το χρησιμοποιεί ο ηλεκτροσυγκολλητής, προκειμένου να κρατάει τη μάσκα του. Επίσης, υπάρχουν και οι μάσκες που στηρίζονται στο κεφάλι, που είναι κατάλληλες, όταν κατά την ηλεκτροσυγκόλληση χρειάζεται να χρησιμοποιούνται και τα δύο χέρια, όπως συμβαίνει στην TIG. Οι μάσκες κεφαλής προστατεύουν επαρκώς και το πάνω τμήμα της κεφαλής, οπότε ο ηλεκτροσυγκολλητής δεν είναι υποχρεωμένος να φοράει καπέλο. Όταν η χρήση κράνους είναι αναγκαία, μπορεί η μάσκα να έχει τη δυνατότητα προσαρμογής πάνω σε κράνος. Καλό είναι κατά τη διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης, ο τεχνίτης να μη διαθέτει ελεύθερο χέρι, για να μην υπάρχει κίνδυνος να ακουμπήσει πάνω στο πυρακτωμένο μέταλλο. Έτσι, το να χρησιμοποιεί κάπου το δεύτερο χέρι, όπως το να κρατάει τη μάσκα, μειώνει τις πιθανότητες ενός ατυχήματος. Μία καλή συνήθεια του ηλεκτροσυγκολλητή, όταν φοράει μάσκα κεφαλής και εκτελεί συγκόλληση MMA ή MIG/MAG, είναι να κρατάει την τσιμπίδα και με τα δύο χέρια. Εκτός από τις απλές μάσκες, υπάρχουν και μάσκες αυτόματης ρύθμισης του βαθμού προστασίας (της σκίασης). Σ' αυτές ρυθμίζεται αυτόματα το πόσο σκούρο θα είναι το τζάμι. Στην αρχή της ηλεκτροσυγκόλλησης το τζάμι είναι διαφανές. Μόλις αρχίσει η ηλεκτροσυγκόλληση, σκουραίνει απότομα και, μάλιστα, σκουραίνει τόσο όσο ακριβώς χρειάζεται, για να υπάρχει ικανοποιητική ορατότητα. Αυτό επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να δει προς στιγμή πιο καθαρά και να αποφύγει τυχόν επικίνδυνη ενέργεια.

Ο ηλεκτροσυγκολλητής, πριν να χρησιμοποιήσει κάποια μάσκα ή πριν προσαρμόσει σ' αυτήν ένα γυαλί προστασίας, πρέπει να ελέγξει τα εξής:

(α) Όταν πρόκειται για μάσκα αυτόματης ρύθμισης της σκίασης

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

(β) Όταν χρησιμοποιεί απλή μάσκα με γυαλί σταθερής σκίασης

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

Να σημειωθεί ότι τα μάτια του κάθε ανθρώπου έχουν το δικό τους τρόπο συμπεριφοράς και δεν αισθάνονται όλοι άνετα με το ίδιο γυαλί στην ίδια μάσκα. Επίσης, ο κάθε τύπος ηλεκτροδίου παρουσιάζει τη δική του συμπεριφορά. Για τους λόγους αυτούς, ο Πίνακας 16, θα πρέπει να χρησιμοποιείται συμβουλευτικά.

Οι μάσκες πρέπει να είναι καλής ποιότητας και είναι προτιμότερο να είναι επώνυμες. Πριν αγοραστεί μία ακριβή μάσκα, πρέπει να εξεταστεί αν υπάρχει υποστήριξη και ανταλλακτικά. Αν είναι κεφαλής, πρέπει να ελεγχθεί το σύστημα στήριξης και οι ρυθμίσεις που προσφέρει.

| A/A | Είδος ηλεκτροσυγκόλλησης | Ένταση τόξου (σε Α) | Βαθμός προστασίας |
|-----|---|---------------------|-------------------|
| 1 | MMA Για όλες τις εφαρμογές | < 40 | 9 |
| | | 40 - 80 | 10 |
| | | 80 - 175 | 11 |
| | | 175 - 300 | 12 |
| | | 300 - 500 | 13 |
| | | > 500 | 14 |
| 2 | MIG • Συγκόλληση ανθρακούχων και ελαφρών κραματούχων χαλύβων • Συγκόλληση αλουμινίου | < 100 | 10 |
| | | 100 - 175 | 11 |
| | | 175 - 250 | 12 |
| | | 250 - 350 | 13 |
| | | 350 - 500 | 14 |
| | | > 500 | 15 |
| 3 | MIG • Συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων • Συγκόλληση κραμάτων χαλκού | < 100 | 10 |
| | | 100 - 175 | 11 |
| | | 175 - 300 | 12 |
| | | 300 - 500 | 13 |
| | | > 500 | 14 |
| 4 | MAG FCAU Για όλες τις εφαρμογές | < 80 | 10 |
| | | 80 - 125 | 11 |
| | | 125 - 175 | 12 |
| | | 175 - 300 | 13 |
| | | 300 - 450 | 14 |
| | | > 450 | 15 |
| 5 | TIG Για όλες τις εφαρμογές | < 20 | 9 |
| | | 20 - 100 | 10 |
| | | 40 - 100 | 11 |
| | | 100 - 175 | 12 |
| | | 175 - 250 | 13 |
| | | > 250 | 14 |
| 6 | Συγκόλληση με πλάσμα Για όλες τις εφαρμογές | 15 - 30 | 10 |
| | | 30 - 60 | 11 |
| | | 60 - 125 | 12 |
| | | 125 - 225 | 13 |
| | | 225 - 450 | 14 |
| | | > 450 | 15 |
| 7 | Κοπή με πλάσμα | < 150 | 11 |
| | | 150 - 250 | 12 |
| | | > 250 | 13 |
| 8 | Κοπή με ηλεκτρόδιο άνθρακα | - | 14 |

Σχήμα 69: Βαθμός προστασίας (σκίασης) - Επιλογή κατάλληλης μάσκας

9.Βιβλιογραφία

1. Κ. Κονοφάγου, Μεταλλογνωσία, Τόμοι Ι-ΙΙΙ.
2. Π. Γ. Πετρόπουλου, Μεταλλουργία, Εκδ. Ευγενιδείου Ιδρύματος.
3. Γ.Γ.Αντωνοπουλου, Μέταλλα και αλλά υλικά ,Εκδόσεις :University Studio Press
4. Γ. Πενταζόπουλου Τεχνολογία Υλικών, Σημειώσεις για το ΙΕΚ Αθηνών, Αθήνα 1994.
5. Στ.Σκολιανος, Σημειώσεις : Χύτευση – Συγκολλήσεις , Εκδόσεις : Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ
6. Γ. Δ. Χρυσουλάκη, Δ. Ι. Παντελή, Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996.
7. Δ. Παπαδάκης – Π. Γρηγορίου ,Διπλωματική εργασία :Πειραματικός προσδιορισμός του ποσοστού δ-φερριτη συγκόλλησης ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα ,Θεσσαλονίκη 1998
8. Α. Ασημακόπουλος Κ. Διακουμάκος, Συγκολλήσεις, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια Β΄ Τάξη 1ου Κύκλου Ειδικότητα: Αμαξωμάτων, Ο.Ε.Δ.Β. 2004
9. R. A. Higgins Engineering Metallurgy - Applied Physical Metallurgy, 6th ed., ed. Edward Arnold, London 1993

10.Ηλεκτρονικές πηγές

1. https://www.oximaton.drwx.eu/files/texn_sygk_mathima_4_matzinos.pdf
2. <https://docplayer.gr/11595405-Analysi-tis-sygkollisis-toy-halkoy-kai-ton-kramaton-toy-me-ti-methodo-mig-mag.html>
3. <http://mixano-logiki.gr/index.php/arthra/texnika-arthra/49-ilektrosygkollisi>
4. <http://digilib.teiimt.gr/jspui/bitstream/123456789/4796/1/STEF351994.pdf>
5. http://triblab.teipir.gr/files/Welding/Lab/Ch4_2_SMAW_doc.pdf
6. http://www.pischools.gr/download/lessons/tee/mechanical/Book_Weldings/kef_6.pdf
7. <http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/CNC/SHMEIWSEIS/5-WELD.pdf>
8. <https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK211/.pdf>
9. <http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/CNC/SHMEIWSEIS/5-WELD.pdf>
10. <http://elektroden.gr/>

11. <https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP140/%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CE%A3%CF%85%CE%B3%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%AE%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD.pdf>
12. <http://nautiko2013.pbworks.com/w/file/fetch/89877848/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%9A%CE%A4%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%9A%CE%9F%CE%9B%CE%9B%CE%97%CE%A3%CE%97%CE%A3.pdf>
13. http://triblab.teipir.gr/files/Welding/Lab/Ch4_4_GMAW_doc.pdf