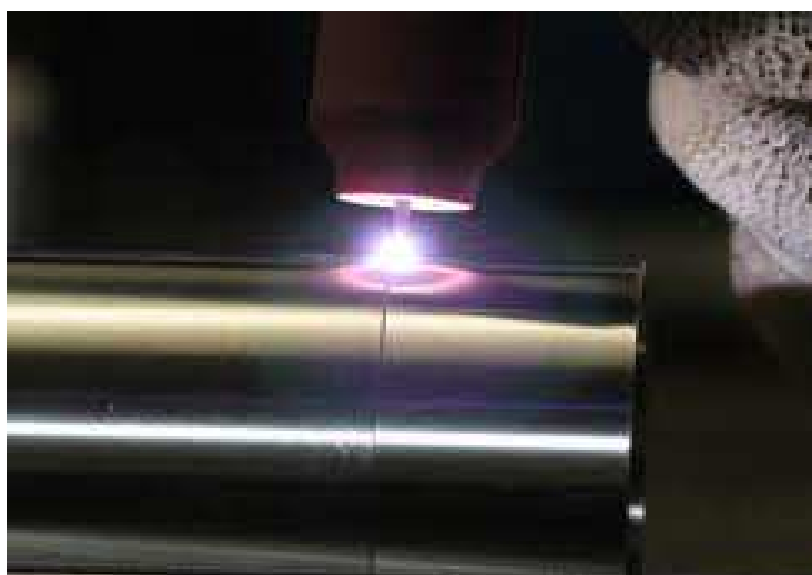


Τ.Ε.Ι. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΜΕ ΤΗΝ
ΜΕΘΟΔΟ TIG (WIG-GTAW)**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κος ΑΕΡΑΚΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΡΥΣΤΙΝΟΣ ΑΝΕΣΤΗΣ Α.Μ. 4834

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο μηχανολογικό εργαστήριο 1 της σχολής μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε.Ι. Κρήτης κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014 υπό την επίβλεψη του καθηγητή κύριου Ζ. Αεράκη. Με την ολοκλήρωσή της θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κύριο Αεράκη για την ανάθεση και την βοήθειά του καθώς επίσης και στην κυρία Mirela Suchea για την πολύτιμη συνεισφορά της στην διεξαγωγή των πειραμάτων χωρίς την οποία δύσκολα θα ερχόταν σε πέρας η προσπάθεια αυτή.

Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος για εκπόνηση πτυχιακής, οφείλεται κυρίως σε ασχολία μου με τις συγκολλήσεις στο παρελθόν ερασιτεχνικά καθώς υφίσταται οικογενειακή επιχείρηση, αλλά και στο γεγονός ότι θα επιθυμούσα να ασχοληθώ και στο μέλλον με το εν λόγω αντικείμενο.

Η μέθοδος TIG, αν και εδώ παρουσιάζεται κυρίως θεωρητικά, είναι μια ευρέως διαδεδομένη διαδικασία που στην πράξη είναι ιδιαίτερη και σημαντική και είναι απαραίτητη σε οποιονδήποτε σχετίζεται στο χώρο της Μηχανολογίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία μελετώ την συγκόλληση ελασμάτων ανοξείδωτου χάλυβα διαστάσεων 10*60*160mm με χρήση της μεθόδου Tungsten Inert Gas (Welding Inert Gas –Gas Tungsten Arc Welding). Η προετοιμασία των ελασμάτων έγινε σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του μηχανολογικού εργαστηρίου 1 με την μηχανή συγκόλλησης Tig_Miller. Ακολούθως, τα εν λόγω ελάσματα κατεργάστηκαν στην συμβατική φρέζα του εργαστηρίου εις τρόπον ώστε να δημιουργηθούν λείες επιφάνειες ικανοποιητικού βαθμού τραχύτητας σε όλες τις πλευρές τους. Αποκόψαμε με κατάλληλα κοπτικά συνοδευόμενα από ειδικό αντάπτορα, τεμάχια Φ30mm από διαφορετικές θέσεις της μεγάλης επιφάνειας του κομματιού μας.

Τα τεμάχια αυτά υπέστησαν κατάλληλη προεργασία ώστε με περαιτέρω λείανσή τους και ειδικό αντιδραστήριο να εξεταστούν μικροσκοπικά.

Στην εργασία αυτή επίσης γίνεται μία γενικότερη αναφορά στη δομή των μεταλλικών υλικών και των κραμάτων τους, πράγμα σημαντικό για την ειδικότητά μας. Αναφέρομαι στην συγκολλητότητά τους, στην κατάταξη γενικά των συγκολλήσεων, στους ισχύοντες κανονισμούς μετάλλων-κραμάτων καθώς και διατάξεων των μηχανών, στην συγκρότηση της μηχανής μεθόδου Tig-Miller, στις ενσωματωμένες διατάξεις της μηχανής αυτής, μελετούμε τους μηχανισμούς του υλικού εναπόθεσης, την δράση των καταλληλότερων για την περίπτωσή μας αδρανών αερίων, και επίσης μελετώ την Θ.Ε.Ζ. του υλικού, εξετάζοντας παράλληλα τις δυνατότητες αυτοματοποίησης της μεθόδου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγικές έννοιες ανοξειδωτων χαλύβων

1.1 Ορισμός χαλύβων-ανοξειδωτων χαλύβων.....	8
1.2 Ιστορικά στοιχεία.....	16
1.3 Παραγωγή.....	16
1.4 Διάβρωση ανοξειδωτων χαλύβων.....	17
1.5 Αντίσταση σε διάβρωση συγκολλητών στοιχείων από ανοξειδωτο χάλυβα.....	17
1.6 Τύποι και εφαρμογές ανοξειδωτων χαλύβων.....	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Συγκολλητότητα του υλικού βάσης και των κραμάτων του

2.1 Μεταλλογραφική δομή.....	20
2.2 Κατακρημνίσματα.....	23
2.3 Μηχανικές ιδιότητες των συγκολλήσεων.....	25
2.4 Συγκολλητότητα υλικών.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τυποποιημένα κράματα του ανοξειδωτου χάλυβα.....	28
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μέθοδοι συγκόλλησης του ανοξείδωτου χάλυβα

4.1 Συγκόλληση τήξης	
4.1.1 Συγκόλληση φλόγας.....	31
4.1.2 Συγκόλληση κοινού ηλεκτροδίου.....	33
4.1.3 Συγκόλληση αδρανούς ατμόσφαιρας (TIG – MIG/MAG –Plasma).....	38
4.2 Συγκόλληση αντίστασης.....	43
4.2.1 Ηλεκτρόποντα.....	43
4.2.2 Ηλεκτροραφή.....	44
4.3 Συγκόλληση ακτινοβολίας.....	45
4.3.1 Laser.....	45
4.3.2 Δέσμης ηλεκτρονίων.....	46
4.3.2.1 Συγκόλληση τριβής.....	46
4.3.2.2 Συγκόλληση υπερήχων.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η μέθοδος Tungsten Inert Gas (Gas Tungsten Arc Welding)

5.1 Επιλογή μεθόδων συγκόλλησης.....	48
5.2 Ταξινόμηση μηχανών συγκόλλησης τόξου.....	50
5.3 Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου.....	51
5.4 Ρεύμα συγκόλλησης.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Βιομηχανικά αέρια προστασίας του ανοξείδωτου χάλυβα με τη μέθοδο TIG

6.1 Τα προστατευτικά αέρια.....	63
6.2 Η επίδραση του CO ₂ και του οξυγόνου.....	64
6.3 Ο συμβολισμός και οι εφαρμογές των προστατευτικών αερίων.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Υλικά εναπόθεσης της μεθόδου TIG

7.1 Τα μη αναλώσιμα υλικά της TIG.....	67
7.2 Η τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων και των ράβδων κατά AWS.....	72
7.3 Η τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων και των ράβδων κατά ISO-EN.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη υλικού βάσης(ευτηκτοειδές διάγραμμα)

8.1 Ο θερμικός κύκλος στην συγκόλληση.....	77
8.2 Το διμερές διάγραμμα φάσεων Fe-C.....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Δυνατότητες αυτοματοποίησης της μεθόδου.....	84
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Σφάλματα ραφών.....	87
---------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

Προστασία από τις συγκολλήσεις.....	91
-------------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

Βιβλιογραφικές αναφορές.....	94
------------------------------	----

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

Προετοιμασία της συγκόλλησης

13.1 Προετοιμασία δοκιμίων.....	95
13.2 Εκτέλεση της συγκόλλησης.....	96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

Μεταλλογραφική διερεύνηση των δοκιμίων (Μικροσκόπηση)

14.1 Προετοιμασία δοκιμίων.....	98
14.2 Λείανση.....	98
14.3 Στίλβωση.....	98
14.4 Χημική προσβολή.....	99
14.5 Οπτικό μικροσκόπιο.....	100
14.6 Μελέτη μικροδομής μετάλλου βάσης.....	102
14.7 Μελέτη μικροδομής μετάλλου εναπόθεσης.....	105
14.8 Παρατήρηση αλλαγών στην μικροδομή του υλικού.....	107

ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	108
---------------	-----

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Χάλυβες ονομάζονται τα σιδηρούχα **κράματα** με περιεκτικότητα έως 2% άνθρακα και αποτελούν πάνω από το 80% των βιομηχανικών κραμάτων. Αυτό οφείλεται τόσο στο χαμηλό τους κόστος όσο και στη σχετική ευκολία παραγωγής χαλύβων σε μεγάλες ποσότητες με ακριβείς προδιαγραφές.

Οι ακόλουθοι τρεις παράγοντες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ευρεία χρήση του χάλυβα:

(α) Τα μεγάλα παγκόσμια αποθέματα **μεταλλεύματος** (ο φλοιός της γης περιέχει περίπου 4% **σίδηρο Fe**) που ανάγονται εύκολα στη **μεταλλική** κατάσταση σε συνδυασμό με τη δυνατότητα ανακυκλώσεως του παλαιοσιδήρου (scrap).

(β) Το σημείο τήξεως του σιδήρου (1539°C) επιτρέπει τη θερμική ενεργοποίηση διεργασιών σε θερμοκρασίες ($T > 400^\circ\text{C}$) που επιτυγχάνονται σχετικά εύκολα και ελέγχονται βιομηχανικά.

(γ) Η αλλοτροπία του σιδήρου και ο μετασχηματισμός **φάσεων** στους χάλυβες (π.χ. ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός) επιτρέπουν τον σχηματισμό μιας μεγάλης ποικιλίας **μικροδομών** που οδηγεί σε ένα αντίστοιχα μεγάλο εύρος **μηχανικών ιδιοτήτων**.

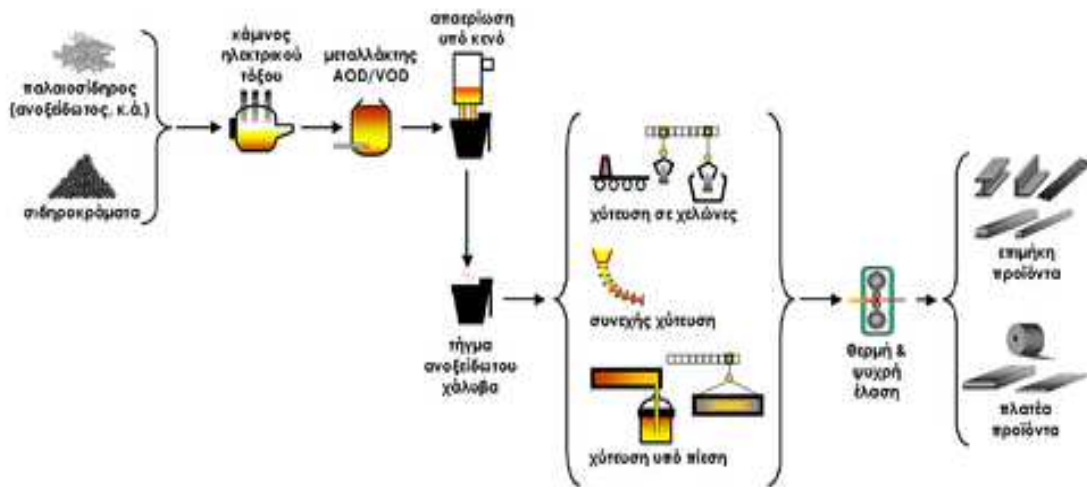
Αλλότροπα **στοιχεία** ονομάζονται αυτά τα οποία εμφανίζονται με περισσότερες της μίας φυσικές μορφές, αφού τα **άτομά** τους συνδυάζονται με ποικίλους τρόπους (π.χ. ο γραφίτης και το διαμάντι είναι αλλότροπα του άνθρακα).

Τα παραπάνω καθιστούν τους χάλυβες το σημαντικότερο και πιο διαδεδομένο υλικό των μηχανολογικών κατασκευών. Κυρίαρχο ρόλο παίζει η αλλοτροπία του σιδήρου. Η διαμόρφωση της δομής και των ιδιοτήτων των χαλύβων πραγματοποιείται με τις **θερμικές κατεργασίες** (κυριότερη των οποίων είναι η **ανόπτηση**). Η μεγαλύτερη ποικιλία μικροδομών στους χάλυβες σχηματίζεται κατά το μετασχηματισμό του ωστενίτη όταν αυτός ψύχεται. Έτσι, βάσει της αλλοτροπίας του σιδήρου, έχουμε τη φάση του α-Fe BCC (κυβικό ενδοκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα) να κυριαρχεί μέχρι τους 910°C, τη φάση γ- Fe FCC (κυβικό πολυεδρικά κεντρωμένο) μεταξύ 910 και 1400°C και τον α-Fe να επανεμφανίζεται μεταξύ 1400°C και σημείου τήξεως.

Το **στερεό διάλυμα** του α-Fe με άνθρακα ονομάζεται **φερρίτης**, ενώ το αντίστοιχο στερεό διάλυμα του γ-Fe με άνθρακα ονομάζεται **ωστενίτης**. Βασική διαφορά των δύο φάσεων αποτελεί η στερεά διαλυτότητα του άνθρακα η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη στον ωστενίτη απ' ό, τι στο φερρίτη. Για παράδειγμα ο ωστενίτης μπορεί να διαλύσει 2% άνθρακα ενώ ο φερρίτης μόλις 0,02% κ.β. .

Αν και το σημαντικότερο κραματικό στοιχείο των χαλύβων είναι ο άνθρακας, τις περισσότερες φορές προστίθενται και άλλα κραματικά στοιχεία για διάφορους λόγους. Έτσι στους περισσότερους χάλυβες θα συναντήσουμε το Mn και το Si ή ακόμα το Cr, το Ni και το Mo. Ο ρόλος ενός κραματικού στοιχείου είναι σύνθετος. Επηρεάζει την στερεά διαλυτότητα των άλλων κραματικών στοιχείων, τη θερμοδυναμική σταθερότητα των φάσεων και εν γένει τη διαμόρφωση της μικροδομής στους χάλυβες καθώς και τις **φυσικές** και **μηχανικές ιδιότητές** τους. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες εξαιτίας της τάσης τους να προωθούν είτε την ωστενιτική είτε τη φερριτική μικροδομή.

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι κυριότερες επιδράσεις των κραματικών στοιχείων.



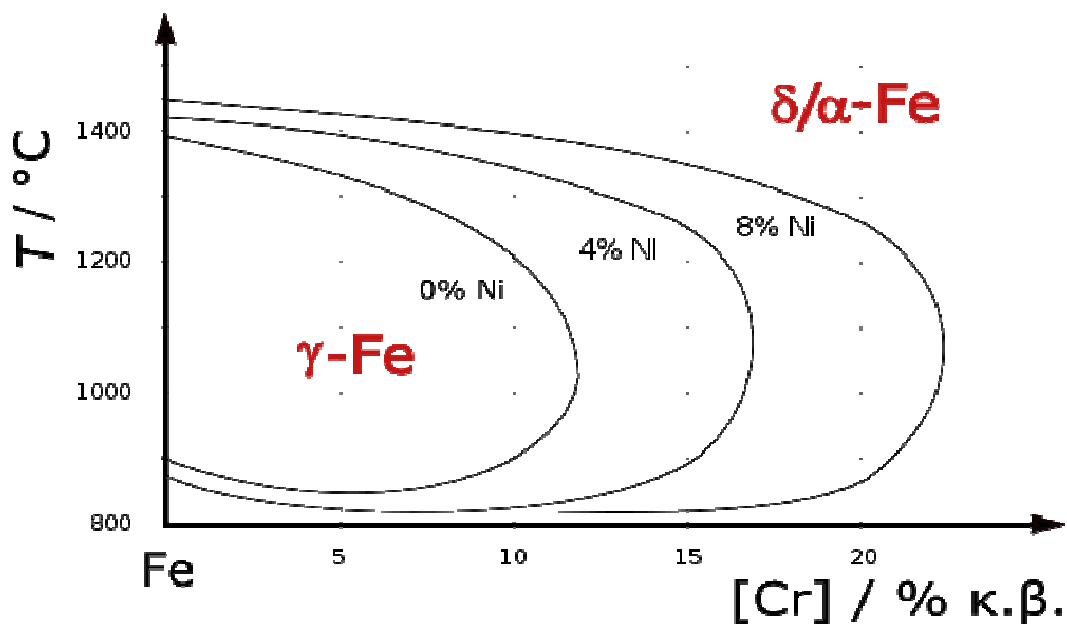
Κραματικά στοιχεία

- **Χρώμιο (Cr)**

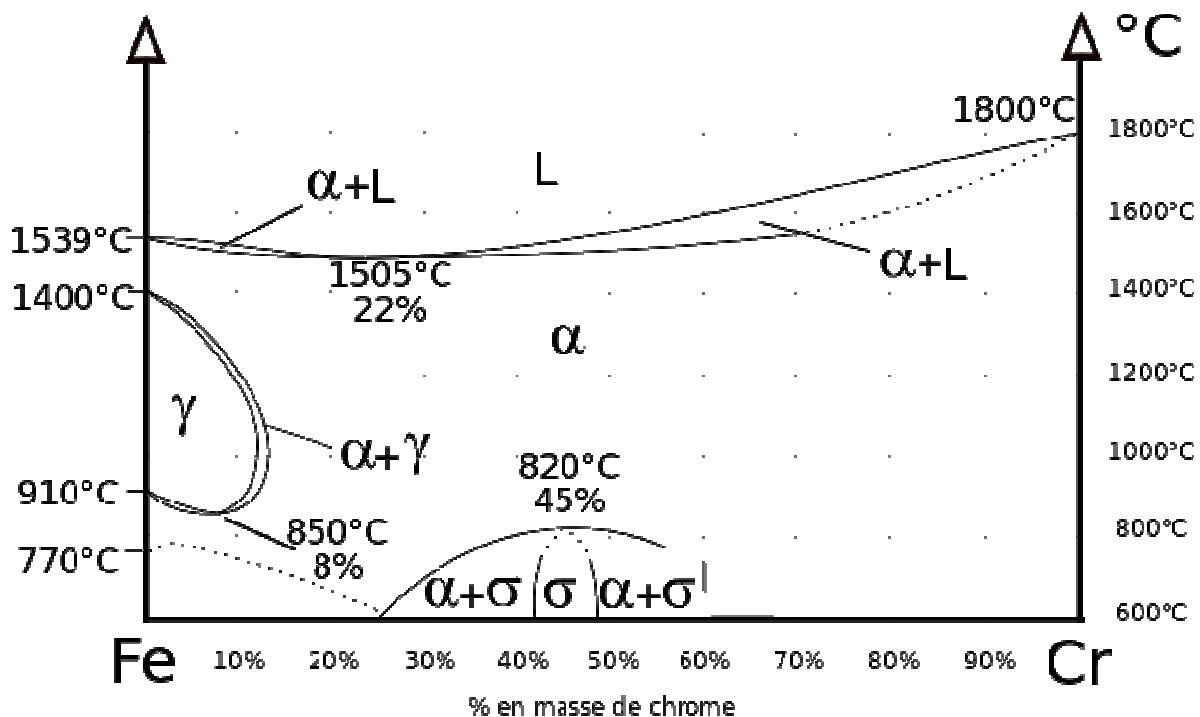
Το Cr προστίθεται κυρίως για να προσδώσει αντοχή σε διάβρωση στον χάλυβα. Είναι πολύ αποτελεσματικό σε οξειδωτικά περιβάλλοντα, όπως π.χ. νιτρικό οξύ. Με την πρόσθεση του Cr σχηματίζεται το οξείδιο του $(FeCr)_2O_3$ στην επιφάνεια του χάλυβα. Η παρουσία του Cr αυξάνει τη σταθερότητα του οξειδίου λόγω της πολύ μεγαλύτερης έλξης που έχει με το οξυγόνο από ότι έχει ο Fe. Όταν το ποσοστό Cr ξεπεράσει το 10.5 - 12% κατά βάρος, ο χάλυβας θεωρείται ανοξείδωτος σε συνθήκες περιβάλλοντος. Υψηλότερες περιεκτικότητες Cr ενδέχεται να απαιτηθούν έτσι ώστε το οξείδιο να είναι πιο σταθερό σε πιο διαβρωτικά περιβάλλοντα. Το Cr προωθεί επίσης το σχηματισμό του φερρίτη. Τα κράματα Fe-Cr που περιέχουν παραπάνω από 12% κατά βάρος Cr είναι πλήρως φερριτικά. Στα κράματα Fe-Cr-Ni-C η αύξηση του Cr θα προκαλέσει τον σχηματισμό περισσότερου φερρίτη και μετασχηματισμό σε μαρτενσιτικά, ωστενιτικά και duplex κράματα. Στα φερριτικά κράματα το Cr είναι το πρωτεύον κραματικό στοιχείο που σταθεροποιεί την φερριτική μικροδομή.

Το Cr, είναι επίσης και ισχυρός παράγοντας σχηματισμού καρβιδίων. Το πιο κοινό χρωμιούχο καρβίδιο είναι το M_23C_6 , όπου το M συμβολίζει κυρίως το Cr αλλά μπορεί να υπάρχει και παρουσία σιδήρου (Fe) ή και μολυβδαινίου (Mo). Αυτό το καρβίδιο βρίσκεται στους περισσότερους ανοξείδωτους χάλυβες. Είναι επίσης δυνατό να σχηματιστεί ένα άλλο πιο σπάνιο καρβίδιο, το Cr_7C_3 . Αλλα σύνθετα καρβίδια και καρβονιτρίδια όπως το $M_23(CN)_6$ είναι επίσης δυνατό να σχηματιστούν. Το Cr συνδυάζεται επίσης με το N και σχηματίζει νιτρίδια. Το πιο κοινό είναι το Cr_2N το οποίο παρατηρείται στους φερριτικούς και στους duplex.

Διάγραμμα φάσης φερρίτη με ποσοστό % χρωμίου-νικελίου Fe-Cr-Ni



Διάγραμμα φάσης φερρίτη - χρωμίου



Το Α είναι επίσης ένα σημαντικό πρόσθετο για τον σχηματισμό μεσομεταλλικών ενώσεων, πολλά από τα οποία προσδίδουν ευθραυστότητα στους ανοξειδωτους χάλυβες. Το πιο κοινό είναι η σ-φάση, η οποία στο σύστημα Fe-Cr είναι ένα μίγμα Fe-Cr που σχηματίζεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 815°C. Η σ-φάση μπορεί να δημιουργηθεί πρακτικά σε οποιονδήποτε ανοξειδωτο χάλυβα, αλλά τείνει να είναι πιο κοινή στους υψηλής περιεκτικότητας σε Cr ωστενιτικούς, φερριτικούς και duplex ανοξειδωτους χάλυβες.

Από άποψη μηχανικής αντοχής το Cr προσδίδει κάποιο βαθμό αντοχής στο κράμα στην στερεά του φάση επειδή επηρεάζει την κρυσταλλική μικροδομή. Υψηλή περιεκτικότητα σε Cr, στα φερριτικά κράματα, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλή ευθραυστότητα και χαμηλή δυνατότητα κατεργασίας, ιδιαίτερα όταν συνυπάρχουν C και N.

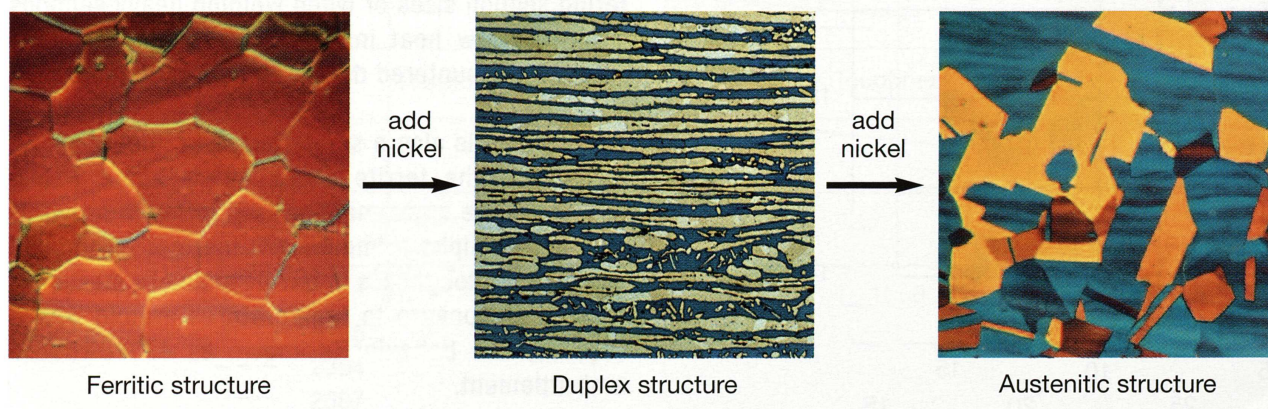
Φερριτικά κράματα με υψηλή περιεκτικότητα Cr πρέπει να κατεργάζονται με ιδιαίτερη προσοχή ή ο C και το N να βρίσκονται σε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες ώστε να υπάρχουν αποδεκτές μηχανικές ιδιότητες στη συγκόλληση.

- **Νικέλιο (Ni)**

Η κύρια λειτουργία του Ni είναι να προωθεί την ωστενιτική φάση ώστε να παραχθούν ωστενιτικοί (A) ή ωστενιτικοί - φερριτικοί (AF) χάλυβες. Προσθέτοντας αρκετή ποσότητα Ni το πεδίο της ωστενιτικής φάσης επεκτείνεται ώστε ο ωστενίτης να είναι σταθερός σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή και ακόμα χαμηλότερη.

Το Ni δεν συμμετέχει στον σχηματισμό καρβιδίων και γενικά δεν προάγει τον σχηματισμό μεσομεταλλικών ενώσεων. Επίσης, υπάρχει ένδειξη ότι η παρουσία του στο κράμα επηρεάζει την κινητικότητα των κατακρημνίσεων, όπως έχουν αναφέρει και ο Peckner P. και Bernstein. Η παρουσία Ni σε φερριτικά κράματα βελτιώνει γενικά την αντίσταση σε διάβρωση, ειδικά σε περιβάλλοντα όπως αυτό του Θεϊκού οξέως. Εντούτοις το Ni σχετίζεται με τη μείωση της αντοχής σε ρωγμάτωση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση.

Το Ni αυξάνει την αντοχή στην στερεά κατάσταση και βελτιώνει την ελαστικότητα τόσο στα μαρτενσιτικά όσο και στα φερριτικά κράματα. Πρόσθεση μέχρι 2% Ni στα υψηλής περιεκτικότητας Cr φερριτικά κράματα μπορεί να μειώσει δραστικά την θερμοκρασία επεξεργασίας του υλικού (χωρίς θραύση).



- **Μαγγάνιο (Mn)**

Το Mn προστίθεται γενικά σε κάθε ανοξείδωτο χάλυβα. Στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες η περιεκτικότητά του κυμαίνεται συνήθως από 1 έως 2% κατά βάρος. Στους φερριτικούς και μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες συνήθως υπάρχει σε λιγότερο από 1% κατά βάρος.

Ιστορικά προστέθηκε για να μην συμβεί ψαθυροποίηση της επιφάνειας κατά την χύτευση. Αυτή δημιουργεί μια μορφή ρωγματώσεων κατά τη στερεοποίηση, που σχετίζεται με τον σχηματισμό εύηκτων στοιχείων χαμηλού σημείου τήξης Fe-S. Επειδή το Mn έλκεται πολύ πιο εύκολα με το S από ότι ο Fe, η πρόσθεση Mn και ο σχηματισμός σταθερών ενώσεων θείου αντιμετωπίζει ικανοποιητικά το πρόβλημα της ψαθυροποίησης.

Το Mn θεωρείται γενικά ότι βοηθάει στον σχηματισμό ωστενιτικών στοιχείων σε συνδυασμό πάντα με την περιεκτικότητα του κράματος σε Ni. Είναι πολύ αποτελεσματικό στη σταθεροποίηση του ωστενίτη σε χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε να μην γίνει μαρτενσιτικός μετασχηματισμός. Η τάση του για διατήρηση του ωστενίτη σε υψηλές θερμοκρασίες εξαρτάται από την πλήρη σύνθεση του κράματος. Στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες όπως τον 304, φαίνεται να έχει μικρή επίδραση στη διατήρηση του ωστενίτη ενάντια στον φερρίτη. Το Mn χρησιμοποιείται σε ειδικά κράματα για να αυξήσει την διαλυτότητα του αζώτου (N) στην ωστενιτική φάση.

- **Πυρίτιο (Si)**

Το Si υπάρχει επίσης σχεδόν σε όλους τους ανοξείδωτους χάλυβες και προστίθεται κυρίως για την ελαχιστοποίηση των οξειδίων κατά την τήξη. Στα περισσότερα κράματα η περιεκτικότητά του κυμαίνεται από 0,3 έως 0,6% κατά βάρος. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλουμίνιο (Al) για τον περιορισμό των οξειδίων αλλά αυτό είναι εξαιρετικά σπάνιο στους ανοξείδωτους χάλυβες. Έχει βρεθεί ότι βελτιώνει την αντοχή σε διάβρωση όταν η περιεκτικότητά του είναι από 4% έως 5% κατά βάρος. Και προστίθεται σε κάποια κράματα αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες από 1% έως 3% κατά βάρος για να μην σχηματιστούν οξειδία λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.

Ο ρόλος του Si στον σχηματισμό φερρίτη ή ωστενίτη δεν είναι ξεκάθαρος. Σε ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες μέχρι 1% κ.β. σε Si φαίνεται να μην έχει επίδραση στην ισορροπία των φάσεων, αλλά υψηλότερες περιεκτικότητες φαίνεται να προωθούν την φερριτική φάση. Στους φερριτικούς και μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες το Si φαίνεται να βοηθάει στον σχηματισμό του φερρίτη.

Το Si σχηματίζει έναν αριθμό ενώσεων με τον Fe ($FeSi$, Fe_2Si , Fe_3Si , Fe_5Si_3) και (Cr_3Si) δι-μεταλλικές ενώσεις που όλες αυξάνουν την ευθραυστότητα του κράματος. Αυξάνουν επίσης την περιοχή σχηματισμού σ-φάσης. Το Si είναι γνωστό ότι διαχωρίζεται κατά τη στερεοποίηση, έχοντας ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό τηκτικών ενώσεων χαμηλού σημείου τήξης, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το Ni. Για αυτούς τους λόγους συνήθως χρησιμοποιείται σε περιεκτικότητα μικρότερη του 1% κατά βάρος. Το Si είναι γνωστό ότι βελτιώνει την ροή του ρευστοποιημένου σιδήρου, για αυτόν τον λόγο μπορεί να προστεθεί σε μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε μέταλλα συγκόλλησης (fillers). Κάποιοι ανοξείδωτοι χάλυβες, ιδιαίτερα τα ωστενιτικά κράματα, τείνουν να είναι πολύ παχύρρευστα στην υγρή φάση και η πρόσθεση Si βελτιώνει σημαντικά την ρευστότητά τους.

- **Μολυβδαίνιο (Mo)**

Το Mo προστίθεται σε κάποιους ανοξείδωτους χάλυβες έχοντας όμως διαφορετικές επιδράσεις ανάλογα με τον τύπο του κάθε κράματος. Για τα φερριτικά, ωστενιτικά και duplex κράματα προστίθεται ποσότητες Mo μέχρι 6% κατά βάρος για να βελτιώσει την αντίσταση σε διάβρωση, ιδιαίτερα στον σχηματισμό διάβρωσης με βελονισμούς και διάβρωσης χαραγής.

Η προσθήκη Mo στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες αυξάνει επίσης την αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Η προσθήκη Mo μπορεί να μην έχει και θετική επίδραση καθώς τα κράματα που περιέχουν Mo είναι πιο δύσκολο να διαμορφωθούν εν θερμώ. Μερικοί από τους μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες περιέχουν Mo για τον σχηματισμό καρβιδίων. Η πρόσθεση μόλις 0,5% κ.β. Mo αυξάνει τα χαρακτηριστικά σκληρύνσεως του χάλυβα, έχοντας ως αποτέλεσμα υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό σε θερμοκρασία δωματίου και βελτιωμένες ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες.

Το Mo προωθεί τον σχηματισμό φερρίτη και η παρουσία του προκαλεί μείωση των παραμενουσών τάσεων. Αυτό όμως, μπορεί να είναι πρόβλημα στα μαρτενσιτικά κράματα όπου η ύπαρξη φερρίτη σε θερμοκρασία δωματίου μπορεί να μειώσει την αντοχή και την ικανότητα μορφοποίησης εν ψυχρώ.

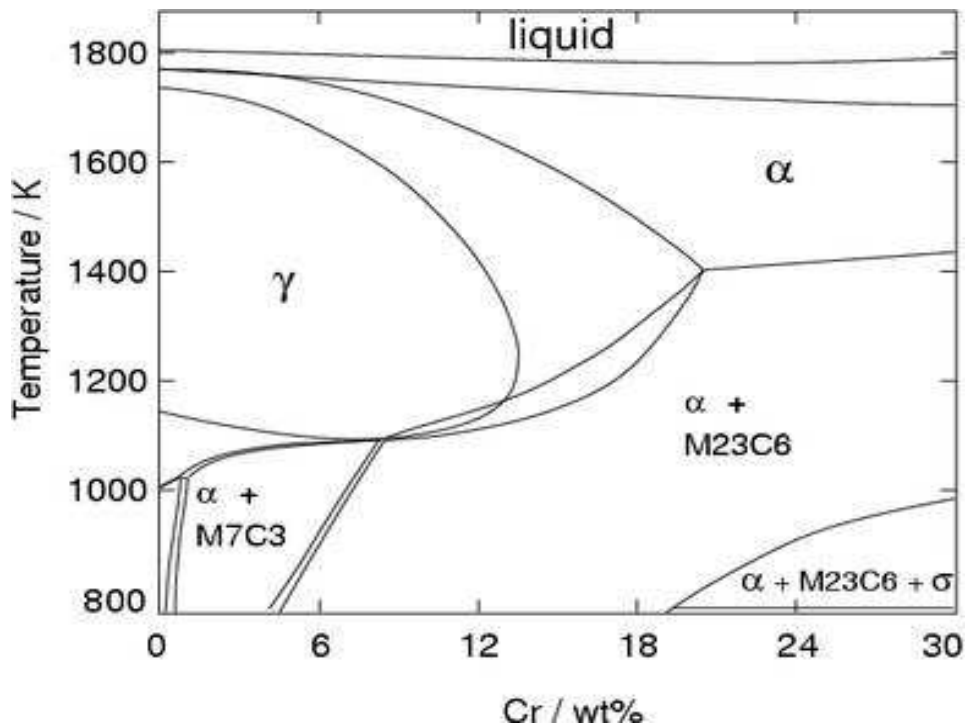
- **Άνθρακας (C) και Άζωτο (N)**

Ο άνθρακας αν και υπάρχει σε όλους τους χάλυβες είναι επιθυμητό στους ανοξείδωτους να μην ξεπερνά το 0,1% κατά βάρος. Εξαιρέση αποτελούν οι μαρτενσιτικοί χάλυβες, στους οποίους ο C είναι κρίσιμος για το μετασχηματισμό της φάσης του μαρτενσίτη. Σε στερεό διάλυμα ο άνθρακας αυξάνει την αντοχή, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Στα περισσότερα κράματα ο C ενώνεται με άλλα στοιχεία για το σχηματισμό καρβιδίων.

Το N βρίσκεται σαν ακαθαρσία σε πολλούς ανοξείδωτους χάλυβες. Προστίθεται όμως και σκοπίμως σε ορισμένους ωστενιτικούς και σχεδόν σε όλους τους διπλούς (Duplex). Μικρές προσθήκες N, για παράδειγμα 0,15% κατά βάρος, μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την αντοχή των ωστενιτικών κραμάτων και ειδικά σε κρυογονικές θερμοκρασίες. Στους διπλούς ανοξείδωτους χάλυβες, το N προστίθεται για τη βελτίωση της αντοχής και κυρίως για τη βελτίωση της αντοχής σε διάβρωση με βελονισμούς και χαραγής. Μερικοί duplex ανοξείδωτοι χάλυβες περιέχουν έως 0,3% κατά βάρος N. Η διαλυτότητα του N στους ανοξείδωτους χάλυβες είναι σχετικά μικρή και ιδιαίτερος στη φερριτική φάση. Η προσθήκη μαγγανίου στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες αυξάνει τη διαλυτότητα του N.

Το N της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης τόξου μπορεί να προκαλέσει αλλαγή της μικροδομής από την επιθυμητή εάν το αέριο προστασίας δεν είναι επαρκές. Στους διπλούς χάλυβες, το N προστίθεται μερικές φορές στο αέριο προστασίας για τη διατήρηση των επιπέδων N στο μέταλλο συγκόλλησης.

Διάγραμμα Fe-Cr με περιεκτικότητα σε C 0.1%



Στοιχεία κατακρήμνισης και σκλήρυνσης

Το αλουμίνιο(Al), το τιτάνιο(Ti), ο χαλκός (Cu) και το μολυβδαίνιο(Mo) προωθούν κατακρήμνισεις οι οποίες σκληραίνουν τους ανοξείδωτους χάλυβες. Τα μαρτενσιτικά κράματα σκληρυνόμενα με κατακρήμνιση (precipitation hardenable-PH) περιέχουν Cu, Al και Mo και μπορούν με θερμική κατεργασία να αποκτούν σε θερμοκρασία δωματίου τάσεις διαρροής της τάξης των 1375 MPa . Οι ωστενιτικοί PH ανοξείδωτοι χάλυβες περιέχουν συνήθως Ti και Al και σχηματίζουν καρβίδια Ni₃Ti και Ni₃Al.

Στοιχεία που ευνοούν το σχηματισμό καρβιδίων

Εκτός από το Cr και το Mo, ένας αριθμός άλλων στοιχείων ευνοεί τον σχηματισμό καρβιδίων. Αυτά τα στοιχεία είναι το: Νιόβιο, το Τιτάνιο, το Βολφράμιο, το Ταντάλιο και το Βανάδιο. Το Νιόβιο και το Τιτάνιο προστίθενται στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες ώστε να προσδώσουν σταθερότητα στον άνθρακα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποφευχθεί η περικρυσταλλική διάβρωση. Και τα δυο αυτά στοιχεία σχηματίζουν ένα καρβίδιο τύπου MC, το οποίο δεν διασπάται κατά την τήξη και τη θερμική κατεργασία, αποτρέποντας έτσι τον πλούσιο σε Cr σχηματισμό M₂₃C₆ το οποίο προκαλεί περικρυσταλλική διάβρωση.

Το Βολφράμιο, το ταντάλιο και το βανάδιο προστίθενται σε κάποιους ειδικούς ανοξείδωτους χάλυβες και σχηματίζουν διεσπαρμένα μικρών καρβίδια, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα να προσδίδουν αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία. Αυτά τα στοιχεία τείνουν να βοηθήσουν τον σχηματισμό φερριτη στη μικροδομή επειδή δεσμεύουν τον άνθρακα και αποτρέπουν αποτελεσματικά τον σχηματισμό ωστενίτη.

Άλλα στοιχεία

Για κάποιες πολύ ειδικές εφαρμογές υπάρχει ένα πλήθος στοιχείων που προστίθενται στους ανοξείδωτους χάλυβες. Για παράδειγμα το θείο, το σελήνιο και ο μόλυβδος επιτρέπουν μεγαλύτερες ταχύτητες μηχανικής κατεργασίας και βελτιώνουν τη διάρκεια ζωής των εργαλείων. Επίσης, αυτές οι προσθήκες μειώνουν την αντοχή σε διάβρωση και καθιστούν το υλικό μη συγκολλησίμο, αν και ο έλεγχος της συμπεριφοράς στερεοποίησης μπορεί να αναιρέσει την επίδραση του θείου.

Το βολφράμιο (W) προστίθεται σε ορισμένους διπλούς για τη βελτίωση της αντοχής σε διάβρωση με βελονισμούς και ευνοεί τον σχηματισμό φερρίτη. Το Al χρησιμοποιείται σε μερικούς φερριτικούς χαμηλής περιεκτικότητας σε χρώμιο για τη βελτίωση της αντοχής σε διάβρωση. Το κοβάλτιο (Co) σε στερεά διάλυση επίσης αυξάνει την αντοχή και προωθεί τον σχηματισμό ωστενίτη.

Ο **ανοξείδωτος χάλυβας** είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα-χρωμίου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο 10,5% κ.β. Το χρώμιο δημιουργεί ένα μικροσκοπικό στρώμα (10–100 nm) τριοξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), το οποίο προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα από την οξείδωση και την διάβρωση. Εκτός από χρώμιο, οι ανοξείδωτοι χάλυβες μπορεί να περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία, όπως νικέλιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, κ.λπ.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παράγονται σε ηλεκτρικές καμίνους με ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ), σιδηροκραμάτων (π.χ. σιδηροχρώμιο, σιδηρονικέλιο, κ.λπ.) και άλλων μεταλλικών προσθηκών. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στην διάβρωση για λόγους οικονομικούς (π.χ. χημική βιομηχανία), για λόγους αισθητικούς (π.χ. αρχιτεκτονική) ή για λόγους υγιεινής (π.χ. μαγειρικά σκεύη).

Σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες, οι ανοξείδωτοι χάλυβες, εκτός από την πολύ υψηλότερη αντοχή στην διάβρωση, παρουσιάζουν επιπλέον και υψηλότερη μηχανική αντοχή. Ωστόσο, είναι πιο σκληροί από τους κοινούς χάλυβες και γι' αυτό είναι πιο δυσκατέργαστοι. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν επίσης χαμηλή θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

Η προσθήκη χρωμίου στους χάλυβες και η προφανής ευεργετική επίδραση του στην αντοχή κατά της διάβρωσης, οφείλεται στον Frenchman Berthier. Το 1821 κατάφερε να δημιουργήσει ένα κράμα περιεκτικότητας 1.5% κ.β. σε χρώμιο, το οποίο συνέστησε για οικιακές εφαρμογές. Τα πρώτα πειράματα όμως απέδειξαν ότι η διαμόρφωση των συγκεκριμένων χάλυβων μειώθηκε δραματικά, και αυτό κυρίως γιατί οι χάλυβες περιείχαν μεγάλο ποσοστό άνθρακα. Συνεπώς το ενδιαφέρον για τους συγκεκριμένους χάλυβες έφθινε μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Οι πρωτοαναφερόμενοι ως «ανοξειδωτοί χάλυβες» οφείλονται στον Άγγλο μεταλλουργό Harry Brearly. Στον Brearly ανήκει η U.S. πατέντα (1915), για οικιακής χρήσης χάλυβα, η οποία κάλυπτε τους χάλυβες με περιεκτικότητα από 9 έως 16% κ.β. σε Cr και C χαμηλότερο από 0.7% κατά αιώνα. Μεταξύ του 1900 και 1915 ένας αριθμός μεταλλουργών ασχολήθηκε με την δημιουργία ανθεκτικών σε διάβρωση κραμάτων, οπότε και το ενδιαφέρον για τους χάλυβες αυτούς επανήλθε. Καταλυτική εξέλιξη ήταν η ανακάλυψη το 1897 από τον Goldschmidt στη Γερμανία μιας τεχνικής παραγωγής κραμάτων χαμηλού C και σημαντικού ποσοστού Cr. Κατόπιν ο Guillet (1904), ο Portevin (1909) και ο Giesen (1909) έκαναν δημοσιεύσεις που περιέγραφαν τη μικροδομή και τις ιδιότητες ανοξειδωτων χάλυβων με 13% κατά βάρος σε Cr μαρτενσιτικών και 17% κατά βάρος σε Cr φερριτικών. Αυτές οι εργαστηριακές έρευνες προκάλεσαν σημαντικό ενδιαφέρον κι έτσι από το 1910 έως το 1915 έγινε σημαντική προσπάθεια για εμπορευματοποίηση των χάλυβων αυτών.

1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ο ανοξειδωτος χάλυβας παράγεται σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου παρόμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοινού χάλυβα από παλαιοσίδηρο και σπογγώδη σίδηρο. Στην περίπτωση του ανοξειδωτου χάλυβα, οι πρώτες ύλες είναι παλαιοσίδηρος και σιδηροκράματα, όπως σιδηροχρώμιο και σιδηρονικέλιο. Η αναλογία των πρώτων υλών εξαρτάται από την επιθυμητή τελική ποιότητα του ανοξειδωτου χάλυβα, αλλά, σε γενικές γραμμές, περίπου το 60% του φορτίου της καμίνου είναι ανακυκλωμένος παλαιοσίδηρος — κυρίως ανοξειδωτος, αλλά και κοινός.

Το υγρό μέταλλο από την ηλεκτρική κάμινο μεταφέρεται σε μεταλλάκτη AOD («Argon Oxygen Decarbonization») για την απομάκρυνση του περιεχόμενου άνθρακα με εμφύσηση οξυγόνου και αργού. Κατά την απανθράκωση, το αέριο μίγμα που εμφυσείται γίνεται όλο και πιο πλούσιο σε αργό, και έτσι η περιεκτικότητα του υγρού μετάλλου μειώνεται από 1,5% σε ποσοστό έως και 0,015% κ.β.. Η απανθράκωση του τήγματος μπορεί να γίνει και σε μεταλλάκτη VOD («Vacuum Oxygen Decarbonization») με εμφύσηση οξυγόνου υπό συνθήκες κενού. Μετά τον μεταλλάκτη AOD/VOD, το υγρό μέταλλο καθαρίζεται υπό κενό για να απομακρυνθούν τα υπολειπόμενα αέρια. Κατόπιν χύνεται σε καλούπια για να παραχθούν πλινθώματα («χελώνες»), ή χύνεται κατά συνεχή τρόπο σε δοκούς («μπιγιέτες»), ή χύνεται σε πλάκες («σλαμπ») υπό πίεση. Η έλαση των πλινθωμάτων και των δοκών γίνεται εν θερμώ ή εν ψυχρώ, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του κοινού χάλυβα, για την παραγωγή πλατεών και επιμηκών προϊόντων.

Τα φύλλα ανοξειδωτου χάλυβα συνήθως υποβάλλονται σε θερμική κατεργασία («ανόπτηση») για να γίνουν πιο μαλακά, και σε καθαρισμό μέσα σε λουτρό οξέος για να καθαριστούν και να δημιουργηθεί πιο γρήγορα το λεπτό στρώμα Cr₂O₃ που προστατεύει τον χάλυβα από την διάβρωση. Η παγκόσμια παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα το 2006 ήταν 28 εκατ. τόνοι και έχει ξεπεράσει τους 30 εκατ. τόνους το 2010.

Να σημειωθεί επίσης ότι χάλυβες με ποσοστό χρωμίου άνω του 12% κατά βάρος όταν εκτεθούν σε συνθήκες περιβάλλοντος θα παρουσιάσουν οξείδωση. Αυτό γιατί το χρώμιο σχηματίζει καρβίδια ή άλλες ενώσεις όπου μειώνουν δραματικά την μήτρα χρωμίου, σε τέτοια επίπεδα που είναι αδύνατο να σχηματιστεί μια συνεχής προστατευτική στρώση οξειδίου.

1.4 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

Υπεύθυνα για την διάβρωση των ανοξειδωτών χαλύβων είναι τα μέσα τα οποία προσβάλλουν και καταστρέφουν το παθητικό στρώμα οξειδίου του χρωμίου.

Οι κύριες μορφές διάβρωσης είναι :

- βελονοειδής (pitting),
- χαραγής (crevice)
- περικρυσταλλική (intergranular)

Αυτές οι μορφές διάβρωσης επηρεάζονται από **το διαβρωτικό περιβάλλον**, την **μεταλλουργική κατάσταση του υλικού** καθώς επίσης και από **τις τοπικές τάσεις στις οποίες υφίσταται το υλικό**.

Το διαβρωτικό περιβάλλον συνίσταται από τις συνηθισμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες και ευνοεί την διάβρωση είτε σε υγρό ή σε ξηρό περιβάλλον. Έντονη διαβρωτική δράση παρατηρείται κοντά στην θάλασσα λόγω της ύπαρξης υγρασίας, καθώς επίσης και μέσα στο ίδιο το θαλάσσιο νερό. Έντονη διάβρωση παρουσιάζεται και όταν εκτεθεί σε οργανικά ή ανόργανα υγρά και λύματα της χημικής βιομηχανίας. Τέλος, η συνύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών σε συνδυασμό με διαβρωτικό περιβάλλον μειώνει σημαντικά την αντίσταση του υλικού σε διάβρωση.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες έχουν καλή αντίσταση στην οξείδωση. Η αντίσταση όμως στην οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε χρώμιο. Χάλυβες με περιεκτικότητα σε χρώμιο 25-30% κατά βάρος παρουσιάζουν αντίσταση στην οξείδωση ακόμα και σε θερμοκρασία 10000C. Επίσης μια άλλη μορφή θερμικής αντοχής είναι η αντοχή στην ενανθράκωση, για την οποία χάλυβες μέτριας περιεκτικότητας σε χρώμιο (16% κ.β.) και υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο (35%κ.β) έχουν αναπτυχθεί.

1.5 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι ανοξειδωτοι χάλυβες επιλέγονται για την αντίσταση τους στην διάβρωση και την θέρμανση. Λόγω της ύπαρξης του πλουσίου σε χρώμιο οξειδίου που δημιουργείται, αυτοί οι χάλυβες παρουσιάζουν αντίσταση στην γενική διάβρωση που προσβάλλει τους χάλυβες C-Mn και τους χάλυβες υψηλής αντοχής και χαμηλής κραμάτωσης (HSLA - High Strength Low Alloy). Οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι ωστόσο επιρρεπείς σε άλλες μορφές διάβρωσης και η επιλογή και εφαρμογή τους πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα, βασιζόμενη στο περιβάλλον που θα χρησιμοποιηθούν. Στην παράγραφο αυτή θα αναπτυχθούν οι μηχανισμοί διάβρωσης που εμφανίζονται στις συγκολλήσεις ανοξειδωτων χαλύβων.

Δύο μορφές τοπικής διάβρωσης που μπορούν να εμφανιστούν είναι:

- η βελονοειδής διάβρωση (pitting corrosion) και
- η διάβρωση χαραγής (crevice corrosion)

Με παρόμοιο μηχανισμό ανάπτυξης αυτές οι δύο μορφές οδηγούν σε υψηλή τοπική διάβρωση.

Η βελονοειδής διάβρωση προκύπτει από την τοπική κατάρρευση του παθητικού στρώματος οξειδίου και έχει άμεση σχέση με κάποια μεταλλουργικά χαρακτηριστικά όπως τα όρια των κόκκων ή οι μεσομεταλλικές φάσεις. Η τοπική κατάρρευση έχει ως αποτέλεσμα την επιθετική διάβρωση και προσβολή του υποκείμενου στρώματος και σχηματίζεται στην επιφάνεια ο βελονισμός. Οι βελονισμοί αυτοί επεκτείνονται με γρήγορο ρυθμό με το πέρασμα του χρόνου και η συνένωση γειτονικών βελονισμών οδηγεί σε πλήρη απουσία του προστατευτικού στρώματος. **Η διάβρωση χαραγής** είναι όμοια όπως προαναφέρθηκε όσον αφορά το μηχανισμό ανάπτυξης, αλλά δεν απαιτεί την παρουσία μεταλλουργικών ιδιομορφιών για να εμφανιστεί. Η διάβρωση χαραγής είναι κοινή σε κατασκευές με κοχλιωτές συνδέσεις, στο διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ της κεφαλής του κοχλία και της συνδεδεμένης επιφάνειας. Όπως η βελονοειδής, έτσι και η διάβρωση χαραγής εμφανίζεται σε περιβάλλον διαλύματος ιόντων χλωρίου. Η συγκόλληση μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό μικροδομών που επιταχύνουν την εξάπλωση των βελονισμών ή δημιουργούν ρωγμές.

Ο σημαντικότερος όμως μηχανισμός διάβρωσης στις συγκολλήσεις ανοξείδωτων χαλύβων, ο οποίος είναι και το αντικείμενο πολλών ερευνών και δημοσιεύσεων, είναι η **περικρυσταλλική διάβρωση** (InterGranular Attack-IGA) και το επακόλουθο φαινόμενο είναι γνωστό ως **ρωγμάτωση περικρυσταλλικής διάβρωσης υπό τάση (IGSCC)**. Αυτή η μορφή προσβολής είναι περισσότερο κοινή στη Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη (ΘΕΖ) των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων και είναι αποτέλεσμα μιας μεταλλουργικής κατάστασης που ονομάζεται **ευαισθητοποίηση**.

Η ρωγμάτωση διακρυσταλλικής διάβρωσης υπό τάση (TGSCC) είναι επίσης ένα σημαντικό πρόβλημα, κυρίως για τους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες όπως οι 304L και 316L. Η ρωγμάτωση εξελίσσεται κατά μήκος συγκεκριμένων επιπέδων ατόμων σε κάθε κόκκο, αλλάζοντας συχνά κατεύθυνση από κόκκο σε κόκκο. Η παρουσία ιόντων χλωρίου μαζί με τις παραμένουσες ή τις εφαρμοζόμενες τάσεις ευνοεί αυτή τη μορφή ρωγμάτωσης.

1.6 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν μεγάλο πλήθος εφαρμογών, όπως στην ναυπηγική, παραγωγή ενέργειας, σε χημικές εφαρμογές και στην επεξεργασία χαρτιού, σε μαγειρικά και διακοσμητικά σκεύη, σε φαρμακευτικές εφαρμογές, στην επεξεργασία τροφίμων και στην κατασκευή βιομηχανικού εξοπλισμού και αυτοκινήτων.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες μαζί με τους απλούς αλλά και τους χάλυβες CMn αποτελούν τους περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενους χάλυβες. Εξαιτίας του γεγονότος ότι μια μεγάλη ποικιλία ανοξείδωτων χαλύβων είναι πλέον σήμερα διαθέσιμη, ένα μεγάλο εύρος επιθυμητών ιδιοτήτων μπορεί να επιτευχθεί και να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές. Αξιοσημείωτη έρευνα έχει γίνει για να προσδιορισθεί η μικροδομή, καθώς και οι ιδιότητές τους.

Σε αντίθεση με άλλα υλικά όπου η ταξινόμηση γίνεται σύμφωνα με την σύστασή τους, οι ανοξείδωτοι χάλυβες κατηγοριοποιούνται με βάση την επικρατέστερη μεταλλουργική τους φάση.

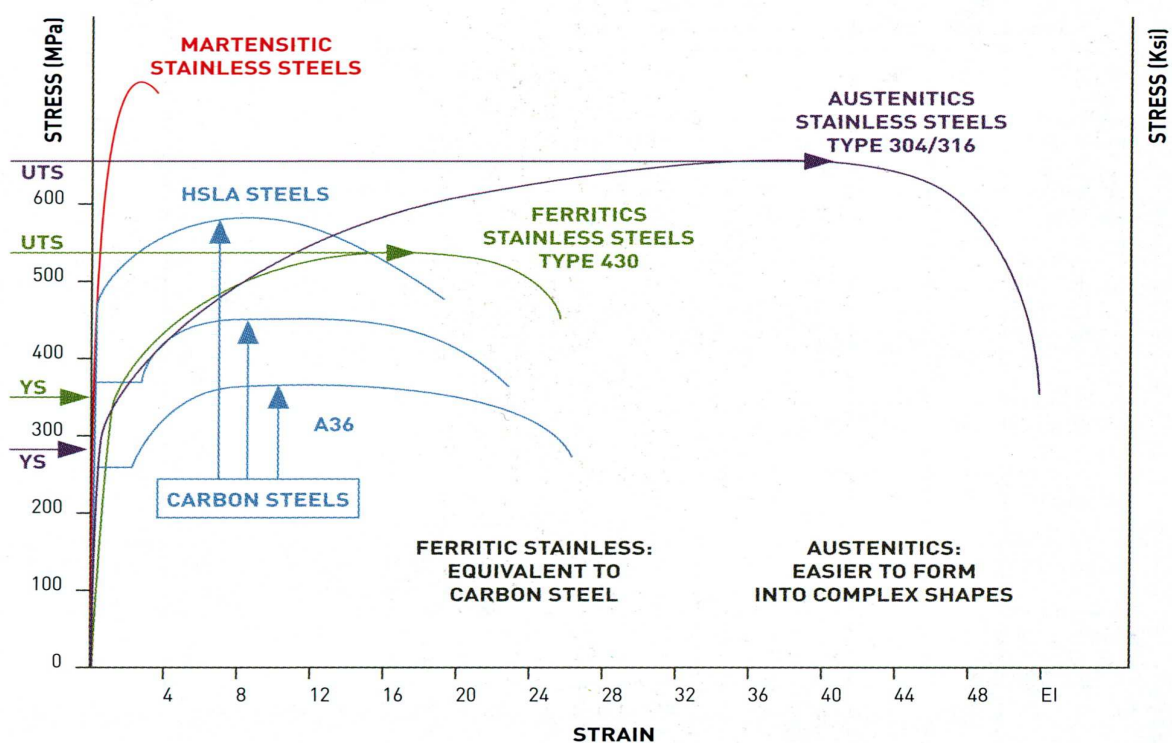
Οι τρεις βασικές φάσεις που συναντούμε στους ανοξείδωτους χάλυβες είναι ο **μαρτενσίτης**, ο **φερρίτης** και ο **ωστενίτης**. Οι διπλοί (DUPLEX) ανοξείδωτοι χάλυβες περιέχουν κατά προσέγγιση 50% ωστενίτη και 50% φερρίτη ,εκμεταλλευόμενοι τις επιθυμητές ιδιότητες της καθεμιάς φάσης ξεχωριστά. Επίσης συναντώνται οι σκληρυνόμενοι με κατακρήμνιση (Precipitation-Hardenable, PH) χάλυβες ,οι οποίοι σχηματίζουν καρβίδια και είναι σκληρυνόμενοι με θερμική κατεργασία γήρανσης.

Οι PH ανοξείδωτοι χάλυβες κατηγοριοποιούνται περαιτέρω από τη φάση της μήτρας στην οποία σχηματίζονται τα καρβίδια:

- μαρτενσιτικοί
- ημι-ωστενιτικοί
- ωστενιτικοί.

Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Σιδήρου και Χάλυβα (American Iron and Steel Institute-AISI), χρησιμοποιεί για την ονομασία των ανοξείδωτων χαλύβων ένα σύστημα από τρεις αριθμούς που ακολουθούνται μερικές φορές ένα γράμμα, για παράδειγμα 304, 304L, 410, 430. Οι μαγνητικές ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση ορισμένων ανοξείδωτων χαλύβων. Οι ωστενιτικοί είναι μη μαγνητικοί. Ένα μικρό ποσοστό εναπομένου φερρίτη ή ψυχρή κατεργασία μπορεί να προκαλέσει μια μικρή φερρομαγνητική κατάσταση, αλλά είναι σημαντικά μικρότερη από ένα μαγνητικό υλικό. Οι φερριτικοί και οι μαρτενσιτικοί είναι φερρομαγνητικοί. Οι διπλοί είναι σχετικά ισχυρά μαγνητικοί, λόγω του υψηλού περιεχόμενου φερρίτη.

Οι φυσικές ιδιότητες, όπως η θερμική αγωγιμότητα, η θερμική διαστολή και οι μηχανικές ιδιότητες διαφέρουν για τις διάφορες κατηγορίες ανοξείδωτων χαλύβων και επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά συγκόλλησης. Για παράδειγμα οι ωστενιτικοί έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και υψηλή θερμική διαστολή, που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραμόρφωση στη συγκόλληση από τις άλλες κατηγορίες χαλύβων.



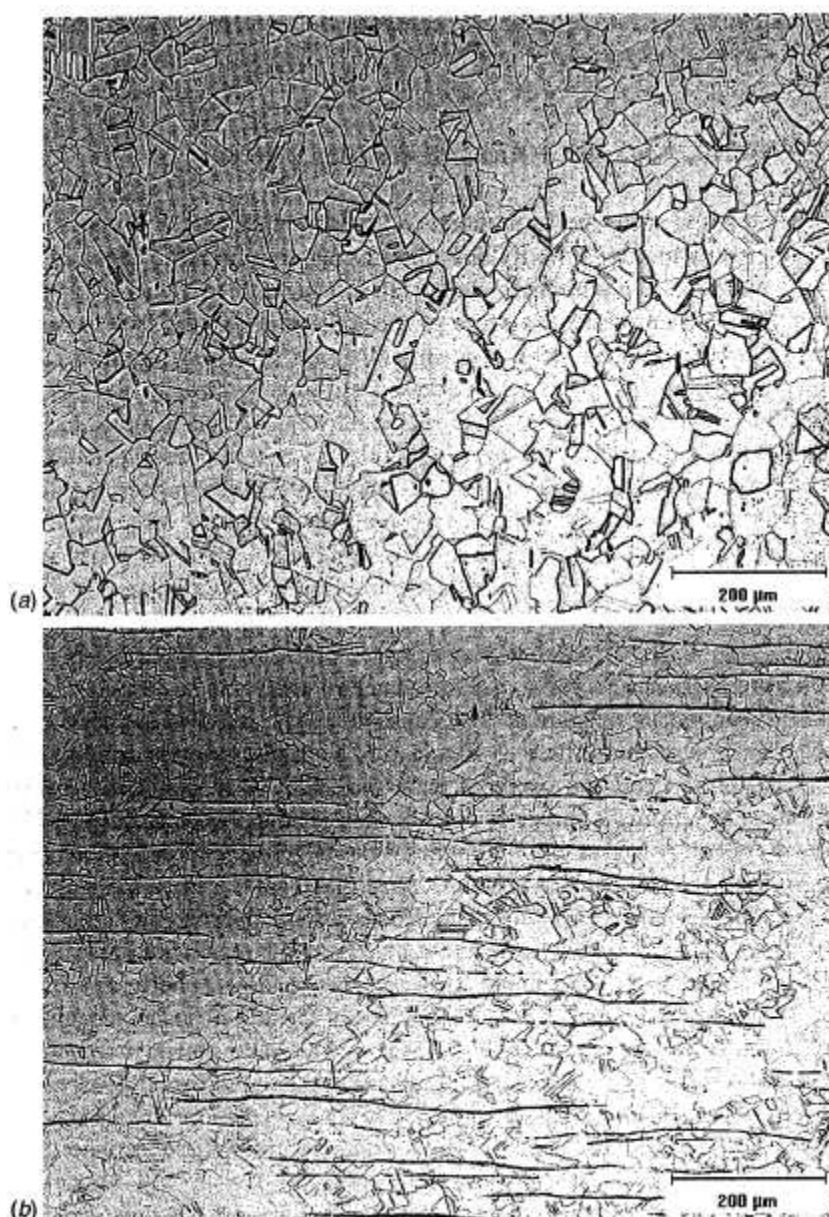
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ

2.1 ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΟΜΗ

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παράγονται και επεξεργάζονται θερμικά ώστε η μικροδομή τους να είναι πρωταρχικά ωστενιτική. Από εκεί και πέρα, ανάλογα με τα α -φερρογόνα ή β -φερρογόνα στοιχεία που περιέχουν, θα έχουμε μια πλήρως ωστενιτική μικροδομή ή ωστενιτική και φερριτική μαζί.

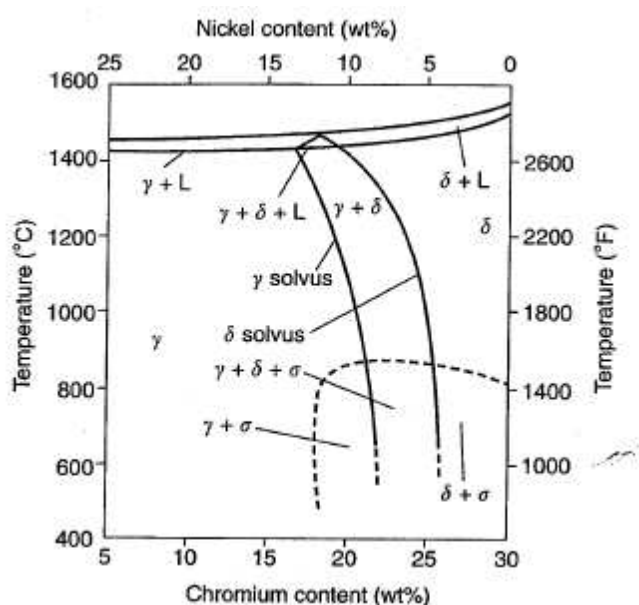
Δύο χαρακτηριστικές φωτογραφίες αυτών είναι του Σχήματος 2.1.



Σχήμα 2.1: Μικροδομή ανοξείδωτου χάλυβα τύπου 304, (α) πλήρως ωστενιτική, (β) ωστενιτική και φερριτική.

Στην μία περίπτωση, (a) η μικροδομή αποτελείται από πλήρως ωστενιτική δομή. Στην άλλη περίπτωση, (b) υπάρχει και φερρίτης που δημιουργείται σε υψηλές θερμοκρασίες (δ-φερρίτης) κατά τη διεύθυνση της έλασης. Αυτά τα στοιχεία προέρχονται κυρίως από το χρώμιο κατά την διαδικασία της στερεοποίησης ή θερμικών κατεργασιών (το ποσοστό του όμως παραμένει μικρότερο από 2-3% κατά βάρος). Αυτή η παρουσία του φερρίτη αν και δεν επηρεάζει πάρα πολύ, είναι αιτία να μειωθεί η ελαστικότητα και η επεξεργασία του ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα. Επίσης, κάτι που μας ενδιαφέρει, είναι η διευκόλυνση που παρέχει η παρουσία φερρίτη στη δημιουργία M23C6 καρβιδίων και σ-φάσης.

Η συμπεριφορά μετασχηματισμού των ανοξείδωτων χαλύβων μπορεί να περιγραφεί με βάση το Σχήμα 2.2, το διάγραμμα Fe-Cr-Ni:



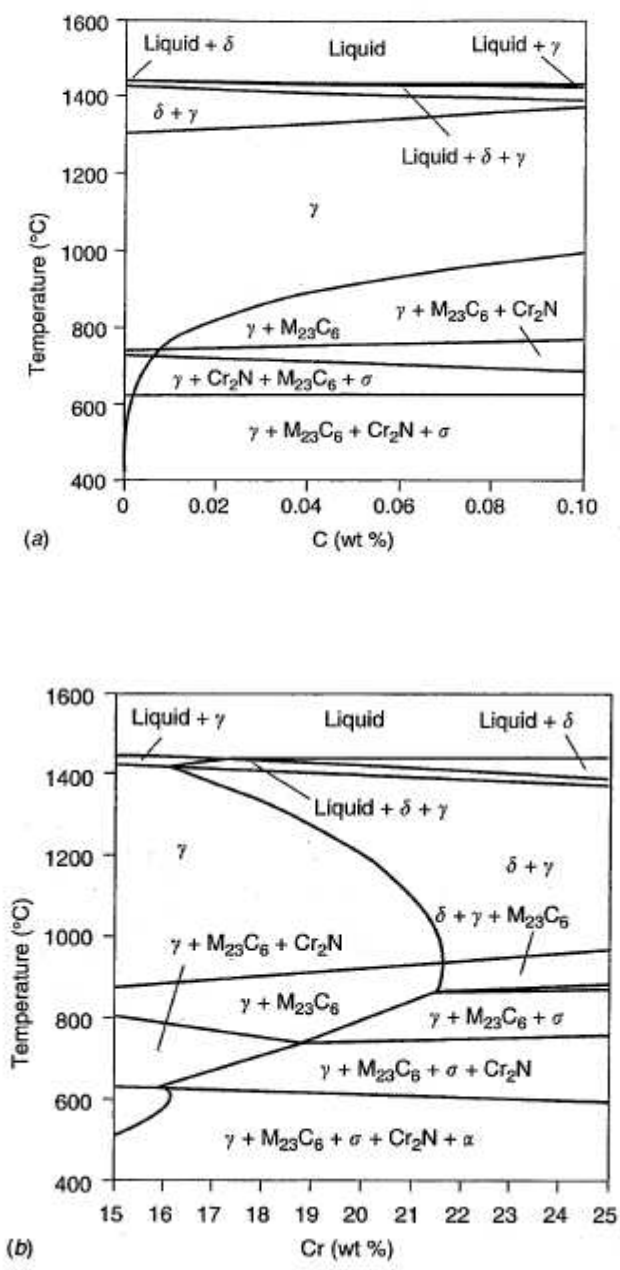
Σχήμα 2.2: Ψευδοδιμερές διάγραμμα Fe-Cr-Ni με 70% Fe. (Από τους Lippold και Savage [9]).

Η αρχική στερεοποίηση των ανοξείδωτων χαλύβων μπορεί να προκύψει είτε ωστενιτική είτε φερριτική. Ο διαχωρισμός μεταξύ των δύο αυτών αρχικών φάσεων στερεοποίησης είναι περίπου στο 18%Cr-12%Ni. Σε μεγαλύτερα ποσοστά Cr – Ni η αρχική στερεοποίηση γίνεται σαν δ-φερρίτης, και σε χαμηλότερες περιεκτικότητες σαν ωστενίτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μια μικρή τριγωνική περιοχή θερμοκρασιών στερεοποίησης, μέσα στην οποία συνυπάρχουν ωστενιτική – φερριτική – υγρή φάση.

Κράματα που στερεοποιούνται ωστενιτικά προς τα αριστερά αυτής της περιοχής είναι σταθερά ως ωστενίτες κατά την απόψυξη σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Εντούτοις, όταν κράματα στερεοποιούνται ως φερρίτες μπορεί να είναι πλήρως φερριτικά ή να αποτελούνται από μείγμα φερρίτη – ωστενίτη στο τέλος της στερεοποίησης. Λόγω της κλίσης των γραμμών “solvus” όλος, ή ο περισσότερος φερρίτης μετασχηματίζεται σε ωστενίτη κάτω από ισορροπημένες συνθήκες ψύξης. Για τις γρήγορες συνθήκες ψύξης που υπάρχουν κατά τη συγκόλληση, αυτός ο μετασχηματισμός μειώνεται και κάποιο ποσοστό φερρίτη θα παραμείνει στη μικροδομή.

Οι επιδράσεις των άλλων στοιχείων του κράματος στις φάσεις των ανοξειδωτων χαλύβων δεν θα αναπτυχθούν σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Θα αναφέρουμε απλώς σε διαγράμματα φάσεων που έχουν υπολογιστεί θερμοδυναμικά (με πρόγραμμα υπολογιστή, π.χ. ThermCalc).

Παράδειγμα αυτού είναι ένα “Fe-18Cr-10Ni-1.5Mn-0.5Si-0.04N” κράμα με μεταβλητή περιεκτικότητα σε άνθρακα και ένα “Fe-10Ni-1.5Mn-0.5Si-0.04C-0.04N” με μεταβλητή περιεκτικότητα χρωμίου που φαίνονται στα διαγράμματα του Σχήματος 2.3.



Σχήμα 2.3: Διαγράμματα φάσεων που έχουν υπολογιστεί θερμοδυναμικά (με πρόγραμμα υπολογιστή, ThermCalc) (α) Fe-18Cr-10Ni-1.5Mn-0.5Si-0.04N, με μεταβλητό C, (β) Fe-10Ni-1.5Mn-0.5Si-0.04C-0.04N, με μεταβλητό Cr.

2.2 ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ

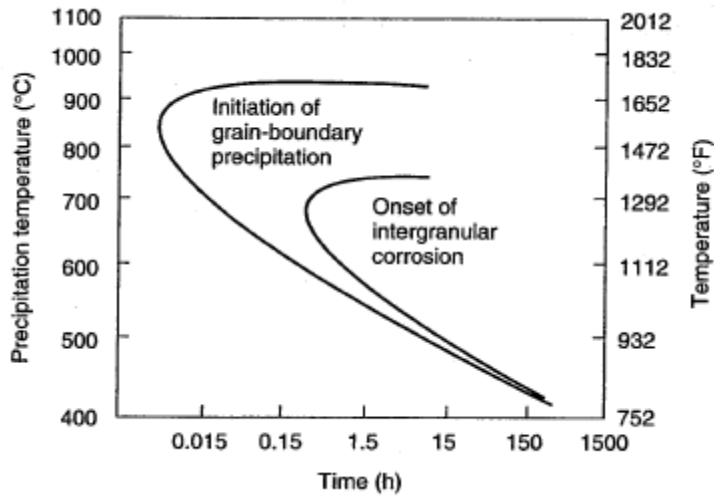
Μία ποικιλία κατακρημνισμάτων μπορεί να υπάρχει στους ανοξειδωτους χάλυβες και εξαρτάται από τη σύσταση και τη θερμική επεξεργασία.

Μία κατάσταση αυτών των κατακρημνισμάτων, της δομής τους και της στοιχειομετρίας τους δίνεται στον Πίνακα 2.3.

Precipitate	Crystal Structure	Lattice Parameters (nm)	Stoichiometry
MC	FCC	$a = 0.424-0.447$	TiC, NbC
M ₆ C	Diamond cubic	$a = 1.062-1.128$	(FeCr) ₃ Mo ₃ C, Fe ₃ Nb ₃ C, Mo ₅ SiC
M ₂₃ C ₆	FCC	$a = 1.057-1.068$	(Cr,Fe) ₂₃ C ₆ , (Cr,Fe,Mo) ₂₃ C ₆
NbN	FCC	$a = 0.440$	NbN
Z phase	Tetragonal	$a = 0.307, c = 0.7391$	CrNbN
Sigma phase	Tetragonal	$a = 0.880, c = 0.454$	Fe-Ni-Cr-Mo
Laves phase (η)	Hexagonal	$a = 0.473, c = 0.772$	Fe ₂ Mo, Fe ₂ Nb
Chi phase (χ)	BCC	$a = 0.8807-0.8878$	Fe ₃₆ Cr ₁₂ Mo ₁₀
G phase	FCC	$a = 1.12$	Ni ₁₆ Nb ₆ Si ₇ , Ni ₁₆ Ti ₆ Si ₇
R	Hexagonal	$a = 1.0903, c = 1.9342$	Mo-Co-Cr
ϵ Nitride (Cr ₂ N)	Rhombohedral	$a = 0.9011 \alpha = 74^\circ 27.5'$	Mo-Co-Cr
Ni ₃ Ti	Hexagonal	$a = 0.480, c = 0.447$	Cr ₂ N
Ni ₃ (Al,Ti)	Hexagonal	$a = 0.9654, c = 1.5683$	Ni ₃ Ti
	FCC	$a = 0.681$	Ni ₃ Al

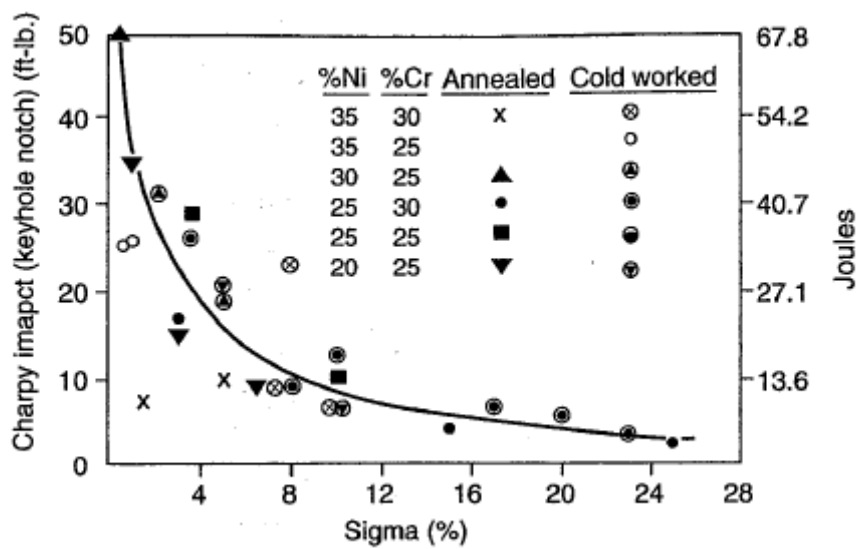
Πίνακας 2.3: Δομή και στοιχειομετρία κατακρημνισμάτων που μπορεί να υπάρξουν στους ανοξειδωτους χάλυβες.

Καρβίδια υπάρχουν στην πραγματικότητα σε κάθε ανοξειδωτο χάλυβα επειδή το χρώμιο είναι ένα ισχυρό καρβιδιογόνο στοιχείο. Υπάρχουν και άλλα καρβιδιογόνα στοιχεία όπως το Mo, N, Ti που προάγουν την δημιουργία καρβιδίων. Η διαδικασία της δημιουργίας των καρβιδίων, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο σχηματισμού τους και τη θερμοκρασιακή περιοχή της δημιουργίας τους είναι αρκετά σύνθετη. Ακαθαρσίες καρβιδίων M₂₃C₆ μελετήθηκαν ιδιαίτερα επειδή επηρεάζουν την αντίσταση σε διάβρωση. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.5, αυτά τα καρβίδια σχηματίζονται πολύ γρήγορα μέσα στην κρυσταλλική δομή σε θερμοκρασίες 700-900°C. Σε ελαφρά μεγαλύτερους χρόνους η παρουσία αυτών στα όρια των κόκκων μπορεί να οδηγήσει σε περικρυσταλλική διάβρωση εάν υπάρχει έκθεση σε ορισμένα περιβάλλοντα. Αυτή η αντίδραση ενισχύεται σε κράματα που έχουν επεξεργασθεί εν ψυχρώ. Φάσεις σ , χ , η , γ και Laves μπορεί επίσης να σχηματιστούν σε ανοξειδωτους χάλυβες και ιδιαίτερα σε αυτούς που περιέχουν επιπρόσθετα Mo, Nb, Ti. Τυπικά αυτές οι φάσεις σχηματίζονται μετά από μακρόχρονη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες και έχουν ως αποτέλεσμα την ευθραυστότητα του χάλυβα.



Σχήμα 2.4: Κατακρήμιση καρβιδίων $M_{23}C_6$ σε ανοξείδωτο χάλυβα τύπου 304 με 0.05%κβ C.

Ένα παράδειγμα της επίδρασης της σ-φάσης στην ευθραυστότητα των Fe-Cr-Ni κραμάτων φαίνεται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Επίδρασης της σ-φάσης στη δυσθραυστότητα των Fe-Cr-Ni κραμάτων.

2.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Στον Πίνακα 2.4 αναφέρονται οι μηχανικές ιδιότητες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος των ανοξείδωτων χαλύβων. Η αντοχή των χαλύβων αυτών βελτιώνεται σημαντικά με ψυχρή κατεργασία. Όμως γενικά δεν μπορούν να αυξήσουν την αντοχή τους με κατακρήμνιση. Ορισμένα ειδικά κράματα που περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά Ni και Ti, αυξάνουν την αντοχή τους με κατακρήμνιση Ni₃(Al, Ti), γεγονός που συναντάται συχνά σε υπερκράματα νικελίου. Επίσης είναι δυνατός ο σχηματισμός μαρτενσίτη σε ορισμένους τύπους ωστενιτικών χαλύβων, που όμως συμβαίνει υπό ειδικές συνθήκες. Ο μαρτενσίτης έχει παρατηρηθεί σε κράματα που έχουν υποστεί ψυχρή κατεργασία ή όταν τα υλικά ψύχονται σε κρυογονικές θερμοκρασίες.

Alloy	Tensile Strength		Yield Strength		Elongation (%)	Reduction in Area (%)
	MPa	ksi	MPa	ksi		
302	515	75	205	30	40	50
304	515	75	205	30	40	50
304L	480	70	170	25	40	50
308	515	75	205	30	40	50
309	515	75	205	30	40	50
310	515	75	205	30	40	50
316	515	75	205	30	40	50
316L	480	70	170	25	40	50
317	515	75	205	30	40	50
321	515	75	205	30	40	50
330	480	70	205	30	30	—
347	515	75	205	30	40	50

Πίνακας 2.4: Μηχανικές ιδιότητες θερμοκρασίας δωματίου σφυρήλατων ανοξείδωτων χαλύβων

2.4 ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΟΤΗΤΑ

Με τον όρο συγκολλητότητα εννοούμε την ικανότητα του μετάλλου να συγκολλάται σε μια κατασκευή, ικανοποιώντας συγχρόνως ορισμένες ιδιότητες και εκπληρώνοντας ορισμένους λειτουργικούς σκοπούς.

Οι μεταβλητές που εκφράζουν την ικανότητα του μετάλλου προς συγκόλληση είναι πολλές, όπως για παράδειγμα η μεταλλουργική δομή του βασικού μετάλλου, οι ακαθαρσίες, η μέθοδος κατεργασίας, η παρουσία αερίων κλπ. Προφανώς η καλή γνώση του διαγράμματος φάσεων και η συμπεριφορά του μετάλλου σε υψηλή θερμοκρασία για μια χρονική περίοδο είναι απαραίτητη.

Οι παράγοντες που έχουν άμεση επίδραση στην συγκολλητότητα ενός υλικού μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής :

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

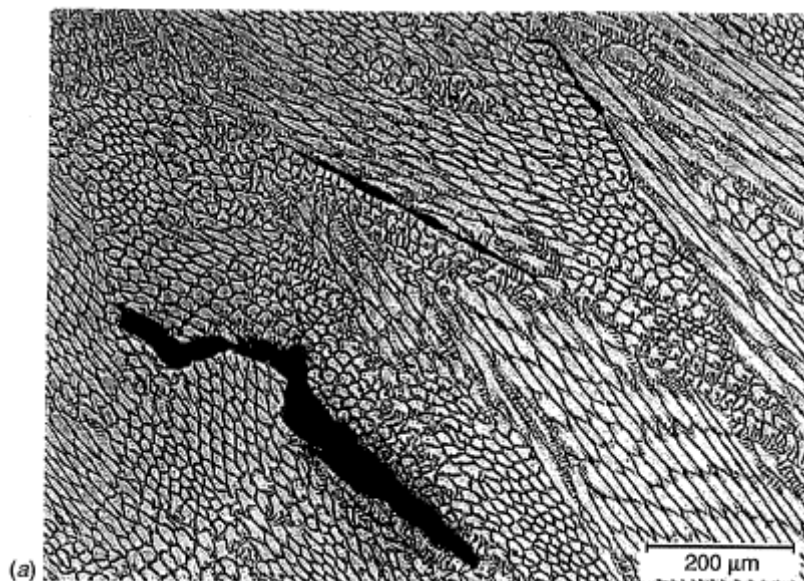
Αν και τα ωστενιτικά κράματα θεωρείται ότι συγκολλούνται εύκολα, εντούτοις εμφανίζονται κάποια προβλήματα εάν δεν ληφθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις. Θερμή ρωγμάτωση στο μέταλλο συγκόλλησης (Weld solidification cracking) αλλά και Ρωγμάτωση υγρής κατάστασης (Liquidation cracking) μπορεί να προκύψουν. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την σύνθεση του βασικού μετάλλου και του μετάλλου συγκόλλησης, καθώς και από το ποσοστό των ακαθαρσιών.

Θερμή ρωγμάτωση στο μέταλλο συγκόλλησης (Weld solidification cracking)

Εδώ μπορεί να υπάρξει ένα σημαντικό πρόβλημα για τους ανοξειδωτους χάλυβες. Η δημιουργία τέτοιων ρωγμών εξαρτάτε κυρίως από την σύνθεση του μετάλλου συγκόλλησης. Μέταλλα συγκόλλησης που έχουν στερεοποιηθεί πλήρως ωστενιτικά (τύπος «Α»), είναι και τα πιο ευπαθή. Σε αντίθεση τα μέταλλα συγκόλλησης που έχουν στερεοποιηθεί κυρίως φερριτικά με μικρό ποσοστό ωστενίτη (τύπος «FA») δεν εμφανίζουν τέτοια προβλήματα.

Επιπρόσθετα, η παρουσία υψηλών ποσοστών ακαθαρσιών (ιδιαίτερος θείου και φωσφόρου) επιδεινώνουν το πρόβλημα των ρωγμών σε μέταλλα συγκόλλησης τύπου Α και ΑF.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων ρωγμών σε μέταλλο συγκόλλησης τύπου Α παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.24.



Σχήμα 2.24: Weld solidification cracks σε πλήρως ωστενιτικό μέταλλο συγκόλλησης(FN 0).

Ρωγμάτωση υγρής κατάστασης (Liquidation Cracking).

Ένα άλλο είδος ρωγμάτωσης είναι η **Ρωγμάτωση υγρής κατάστασης (Liquidation Cracking)**. Αυτές παρατηρούνται στο μέταλλο συγκόλλησης σε συγκολλήσεις πολλών περασμάτων (multipass) κατά μήκος των SGB και MGB . Τα ωστενιτικά μέταλλα συγκόλλησης είναι τα πιο επιρρεπή σε τέτοιου είδους ρωγμές, ενώ τα μέταλλα συγκόλλησης που περιέχουν αρκετό ποσοστό φερρίτη (μεταξύ FN 2 και FN 6) γενικά δεν εμφανίζουν ρωγμάτωση υγρής κατάστασης. Όπως έχει μελετηθεί και από τον Thomas, τέτοιου είδους ρωγμές μπορεί να δημιουργηθούν και στη ΘΕΖ λόγω σχηματισμού υγρής φάσης στα όρια των κόκκων, στην ζώνη μερικής τήξης, που δημιουργείται γύρω από την περιοχή συγκολλήσεως.

Παρά την καλή αντίσταση σε διάβρωση, οι ανοξείδωτοι χάλυβες μπορεί να εμφανίσουν τοπική διάβρωση στα όρια των κόκκων της Θ.Ε.Ζ. ή στις περιοχές συγκέντρωσης φορτίων (μέσα ή γύρω από την περιοχή συγκόλλησης). Επειδή πολλά από τα μέταλλα συγκόλλησης περιέχουν φερρίτη μπορεί να προκύψει και ενδιάμεση θερμοκρασία δυσθραυστότητας λόγω της σ-φάσης και του σχηματισμού καρβιδίων. Όπως και με τα φερριτικά κράματα η αντίδραση σχηματισμού σ-φάσης είναι σχετικά αργή και για αυτό η δυσθραυστότητα από σ-φάση είναι συνήθως ένα πρόβλημα συντήρησης και όχι ένα κατασκευαστικό μειονέκτημα. Εντούτοις μπορεί να προκύψει κατά την συγκόλληση πολλών περασμάτων μεγάλων αντικειμένων ή πλατιάς ραφής, όπου οι ρυθμοί ψύξης είναι εξαιρετικά αργοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΒΑΣΗΣ

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες διακρίνονται με βάση την κύρια φάση στην κρυσταλλική δομή τους σε:

Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Πρόκειται για ανοξειδωτους χάλυβες με κύρια φάση τον ωστενίτη (γ -Fe). Ο ωστενίτης είναι αλλοτροπική μορφή του σιδήρου που κρυσταλλώνεται στο πολυεδρικό κεντρωμένο κυβικό σύστημα. Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες περιέχουν πολύ λίγο άνθρακα (συνήθως $<0,08\%$ C , αλλά μερικοί περιέχουν έως $0,15\%$ C) και τουλάχιστον 16% Cr. Ο ωστενίτης σταθεροποιείται με την προσθήκη Ni ή και Mn, και παραμένει η σταθερή φάση σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος από το σημείο τήξης του κράματος έως πολύ κάτω από το 0°C . Επειδή ο ωστενίτης δεν είναι μαγνητικός, οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες δεν είναι μαγνητικοί.

Οι πιο κοινοί ωστενιτικοί χάλυβες είναι ο 18/8 (18% Cr, 8% Ni) και ο 18/10 (18% Cr, 10% Ni) που ανήκουν στη σειρά 300, σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα AISI-SAE. Οι χάλυβες AISI 316 παρουσιάζουν υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση και χαρακτηρίζονται από την παρουσία μολυβδαινίου (γύρω στο 2%). Οι τύποι 304L και 316L περιέχουν τις μικρότερες ποσότητες άνθρακα ($<0,03\%$) με συνέπεια την καλύτερη συμπεριφορά κατά τη συγκόλληση. Γενικά, οι ποιότητες της σειράς 300 έχουν καλή αντοχή στη διάβρωση, μεγάλη δυνατότητα διαμόρφωσης, χαμηλό **όριο διαρροής**, σχετικά υψηλό **όριο θραύσης** και καλή ικανότητα συγκόλλησης, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Εκτός από τη γνωστή σειρά 300 των ωστενιτικών χάλυβων, υπάρχουν και οι λιγότερο ανθεκτικοί μαγγανιούχοι της σειράς 200. Αυτές οι νέες ποιότητες χρησιμοποιούν διαφορετική χημεία που διακρίνεται από μειωμένο χρώμιο ($<15\%$) και αρκετά χαμηλότερη περιεκτικότητα νικελίου. Η μείωση του νικελίου με προσθήκη μαγγανίου, μειώνει την ποσότητα χρωμίου η οποία μπορεί να προστεθεί, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά την αντοχή στη διάβρωση.

Αναφέραμε νωρίτερα πως η προσθήκη νικελίου είναι ο κατεξοχήν τρόπος προστασίας της ωστενιτικής δομής στον ανοξειδωτο χάλυβα. Όμως η προσθήκη μαγγανίου, σε συνδυασμό με άζωτο, μπορεί να επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα – και με χαμηλότερο κόστος. Οι ποιότητες χρωμίου–μαγγανίου χαρακτηρίζονται από σημαντικά μειωμένη περιεκτικότητα νικελίου και από την προσθήκη μαγγανίου και συχνά αζώτου και χαλκού (τα οποία επίσης έχουν ιδιότητες ωστενιτικής μορφοποίησης). Η προσθήκη αζώτου προκαλεί μεγαλύτερη σταθεροποίηση της ωστενιτικής φάσης, επιτρέποντας την προσθήκη περισσότερου χρωμίου. Το άζωτο ενεργεί επίσης ως σκληρυντικός παράγοντας. Οι ποιότητες της σειράς 200 συχνά αναφέρονται απλά μέσω της περιεκτικότητάς τους σε νικέλιο όπως 4% Ni και 1% Ni . Οι πιο αντιπροσωπευτικές ποιότητες είναι η 201 (1% Ni, min 15% Cr, max $0,1\%$ C) και η 202 (4% Ni, min 16% Cr, max $0,08\%$ C).

Εκτός από το γεγονός ότι οι ανοξειδωτοι χάλυβες χρωμίου – μαγγανίου είναι πιο φτηνοί, προσφέρουν ταυτόχρονα καλές δυνατότητες διαμόρφωσης και αντοχής, ανάλογα με τη χημεία τους. Χαρακτηριστικό πλεονέκτημά τους είναι οι υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες από τις αντίστοιχες κλασικές σειρές 300 (π.χ. 304), κάτι που επιτρέπει τη μείωση του πάχους και επομένως του βάρους. Εντούτοις επισημαίνουμε την προσοχή στο γεγονός πως η σειρά 200 (και ιδιαίτερα κατηγορίες με υψηλό άζωτο) είναι πιο δύσκολες στη διαμόρφωση – γεγονός που ενδέχεται να αυξήσει το κατασκευαστικό κόστος. Η προσθήκη χαλκού είναι μια λύση, αφού επιτρέπει τη μείωση της περιεκτικότητας αζώτου, με την περιεκτικότητα νικελίου και χρωμίου να παραμένει σταθερή.

Η αύξηση της δημοτικότητας της σειράς 200 συσχετίστηκε με την αστάθεια των τιμών του νικελίου (κυρίως τις κατά καιρούς κατακόρυφες αυξήσεις) καθώς και με την πρόοδο της τεχνολογίας παραγωγής χάλυβα. Ταυτόχρονα, συνεχείς πιέσεις για μείωση κόστους, ιδιαίτερα από την αγορά της Ασίας, οδήγησε στην ανάπτυξη ωστενιτικών ποιοτήτων χαμηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο και χρώμιο, οι οποίες συχνά δεν καλύπτονται από διεθνείς προδιαγραφές. Ουσιαστικά, πολλές ποιότητες χρωμίου – μαγγανίου είναι χαρακτηριστικές συγκεκριμένων χαλυβουργιών και προσδιορίζονται απλώς από έναν τίτλο που τους δίνεται από τον εκάστοτε παραγωγό.

Συνεπώς, συνίσταται στους κατασκευαστές που εξετάζουν τη χρήση τους να συμβουλευονται μόνο προμηθευτές με καλή φήμη και σωστή ενημέρωση, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για να τους προμηθεύσουν αποδεκτής ποιότητας υλικά και αξιόπιστης προέλευσης. Επιπρόσθετα, τονίζουμε πως ο κατασκευαστής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει εναλλακτικές λύσεις στις σειρές 400 και 300.

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση της σειράς 200, αναφέρουμε παρακάτω κάποιες εφαρμογές όπου η εμπειρία απέδειξε τη θετική επίδοσή τους (κυρίως για τις ποιότητες με 4% Ni). Τέτοιες εφαρμογές αποτελούν τα μαχαιροπίρουνα και τα μαγειρικά σκεύη, ο οικιακός νεροχύτης, εξωτερικοί χώροι (που δεν είναι όμως παραθαλάσσιοι), ο επαγγελματικός εξοπλισμός, δομικά μέρη φορτηγών, ο κορμός λεωφορείων και κατασκευές στη βιομηχανία ζάχαρης.

Τέλος, υπάρχουν και οι υπερωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες με πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε A (>20%) και Ma (>6%) για υψηλή αντοχή στη διάβρωση από οξέα, χλώριο και χλωριούχα διαλύματα. Γνωστότερος τύπος αυτής της κατηγορίας είναι ο AISI 904L (19-23% A, 23-28% A, 4-5% A).

Φερριτικοί και μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες

Πρόκειται για ανοξείδωτους χάλυβες με κύρια φάση το φερρίτη (α -Fe) ή το μαρτενσίτη (μετασταθής φάση που προκύπτει με απότομη ψύξη του ωστενίτη). Περιέχουν 10,5-27% χρώμιο, αλλά ελάχιστο ή καθόλου νικέλιο (<2%). Περιέχουν ωστόσο μολυβδαίνιο ή και τιτάνιο και νιόβιο. Οι μαρτενσιτικοί χάλυβες περιέχουν 12-17% χρώμιο. Όμως έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και υπόκεινται σε συγκεκριμένη θερμική κατεργασία η οποία τους αυξάνει την σκληρότητα. Χρησιμοποιούνται για έλικες τουρμπίνων, μαχαιροπίρουνα, λεπίδες ξυραφιών κτλ. Οι φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες απολαμβάνουν τα ίδια πλεονεκτήματα (μηχανικές ιδιότητες και αντοχή στη διάβρωση) των ωστενιτικών, υπερτερώντας μάλιστα σε κάποια από αυτά.

Επιγραμματικά αναφέρονται παρακάτω τα ιδιαιτέρως πλεονεκτήματα των φερριτικών.

- Ο μαγνητισμός τους, ο οποίος μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμος σε διάφορες εφαρμογές.
- Οι φερριτικοί χάλυβες έχουν χαμηλότερη θερμική διαστολή, και έτσι παραμορφώνονται λιγότερο από τους ωστενιτικούς όταν θερμαίνονται.
- Ως συνέπεια του χαμηλότερου συντελεστή διαστολής έχουν υψηλότερη αντοχή στην οξείδωση που προκαλείται από υψηλή θερμοκρασία.
- Έχουν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα διαχέοντας έτσι τη θερμότητα αποδοτικότερα (κατάλληλοι για ηλεκτρικά σίδερα, εναλλάκτες, σώματα κτλ).
- Οι σταθεροποιημένοι φερριτικοί χάλυβες παραμορφώνονται λιγότερο σε παρατεταμένη και βαθμιαία επιμήκυνση.
- Έχουν υψηλότερο όριο διαρροής (yield strength – το σημείο όπου η παραμόρφωση παύει να είναι πλαστική).
- Οι φερριτικοί χάλυβες είναι λιγότερο εκτεθειμένοι στο φαινόμενο της διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση (stress corrosion cracking). Παρακάτω γίνεται πληρέστερη αναφορά.

Οι φερριτικοί τύποι διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες – τρεις κοινές και δύο ιδιαίτερες.

Κατηγορία 1 (409/410L) έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα χρωμίου (10-14%) από όλους τους τύπους ανοξείδωτου. Αυτή η κατηγορία είναι ιδανική για εφαρμογές με μικρή πιθανότητα διάβρωσης και όπου είναι αποδεκτή η παρουσία σκουριάς σε μικρή κλίμακα. Τυπικές εφαρμογές αποτελούν οι εξατμίσεις των αυτοκινήτων για το 409 ενώ τα εμπορευματοκιβώτια (containers) και μεγάλα οχήματα, όπως λεωφορεία, για το 410.

Κατηγορία 2 (430) είναι η πιο δημοφιλής ομάδα των φερριτικών χάλυβων. Έχει υψηλότερη περιεκτικότητα χρωμίου (14-18%) και αποδεκτή αντοχή στη διάβρωση που προσεγγίζει αυτήν του 304. Τυπικές εφαρμογές αποτελούν τα δοχεία των πλυντηρίων ρούχων, τα οικιακά και μαγειρικά σκεύη, καθώς και τα πλυντήρια πιάτων. Γενικά τονίζουμε το γεγονός πως το 430 μπορεί επάξια να αντικαταστήσει το 304 σε πολλές εφαρμογές όπου η χρήση του τελευταίου κρίνεται πλεονασματική και ακριβή (π.χ. εξοπλισμός χώρων μαζικής εστίασης).

Κατηγορία 3 (430Ti, 441) συγκρινόμενα με την κατηγορία 2, αυτοί οι τύποι παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά στη συγκόλληση και τη διαμόρφωση. Η γενικότερη συμπεριφορά τους είναι αντάξια του ωστενιτικού 304. Η κατηγορία αυτή έχει περιεκτικότητα χρωμίου από 14 έως 18% και σταθεροποιητικά στοιχεία όπως το τιτάνιο και το νιόβιο. Οι νεροχύτες, οι εναλλάκτες, οι εξατμίσεις (μακροβιότερες αυτών από 409), ο επαγγελματικός εξοπλισμός, αποτελούν κάποιες από τις τυπικές εφαρμογές αυτής της κατηγορίας.

Κατηγορία 4 (434, 436, 444) αυτοί οι τύποι χαρακτηρίζονται από την πρόσθεση μολυβδαίνιου, για υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση. Η παρουσία χρωμίου κυμαίνεται μεταξύ 14 και 20%. Τυπικές εφαρμογές αποτελούν οι δεξαμενές ζεστού νερού, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, τα εξωτερικά πάνελ κτλ. Η ανθεκτικότητα του 444 είναι παρόμοια με αυτήν του 316.

Κατηγορία 5 (446, 445/447) χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά χρωμίου (18-30%) και την ύπαρξη μολυβδαίνιου, επιτυγχάνοντας ιδανική αντοχή στη διάβρωση και την οξειδωση, αποτελεσματικότερη από αυτήν που επιδεικνύει το 316. Είναι τύποι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παράκτιες κατασκευές και γενικότερα σε περιβάλλοντα με συνθήκες ισχυρής διάβρωσης.

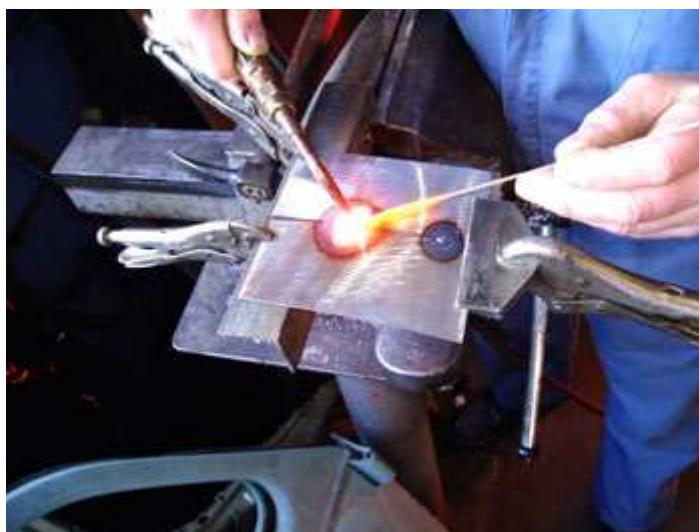
Διφασικοί ανοξείδωτοι χάλυβες (duplex)

Οι διφασικοί ή ωστενοφερριτικοί χάλυβες ή ανοξείδωτοι χάλυβες διπλής φάσης (duplex), περιέχουν ωστενίτη και φερρίτη σε αναλογία που κυμαίνεται από 50:50 έως 40:60. Συνήθως περιέχουν 19-28% Cr, <5% Mo και λίγο Ni (1,5-7% ανάλογα με τον τύπο). Χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα χρωμίου, αζώτου και μολυβδαίνιου παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση, απολαμβάνοντας ταυτόχρονα το πλεονέκτημα των υψηλότερων μηχανικών ιδιοτήτων σε σχέση με τις άλλες οικογένειες. Για παράδειγμα, ο τύπος S32101 έχει μηχανικές ιδιότητες κατά 90% υψηλότερες του 304, επιτρέποντας έτσι να μειωθεί με ασφάλεια κατά μέσο όρο 30% το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται στις κατασκευές. Επιπλέον, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο προσφέρουν σταθερότερη τιμή σε σχέση με τους ωστενιτικούς χάλυβες. Εκτός του S32101 (EN 1.4162), άλλοι δημοφιλείς τύποι της οικογένειας των duplex είναι οι S32304 (EN 1.4362) και ο S32205 (EN 1.4462).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

4.1.1 Συγκόλληση φλόγας



Η απαραίτητη θερμότητα για το λιώσιμο των άκρων των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων παράγεται με τη βοήθεια του οξυγόνου (O_2) και της ασετιλίνης (C_2H_2). Το οξυγόνο που είναι αέριο, άχρωμο, άγευστο, άοσμο και διατηρεί την καύση, καίει την ασετιλίνη, που είναι επίσης αέριο άχρωμο, μη τοξικό με δυσάρεστη οσμή και εύφλεκτο. Και τα δύο αυτά αέρια τοποθετούνται σε φιάλες, οι οποίες είναι σημαδεμένες με χαρακτηριστικά χρώματα για να αναγνωρίζεται το περιεχόμενό τους (μπλε για το οξυγόνο και κίτρινο για την ασετιλίνη). Άλλο στοιχείο χαρακτηριστικό αναγνώρισης του περιεχομένου είναι ο διαφορετικός ήχος που κάνουν οι δύο φιάλες, όταν χτυπηθούν ελαφρά με κάποιο μεταλλικό αντικείμενο. Η φιάλη του οξυγόνου κάνει ένα χαρακτηριστικό ήχο σαν καμπάνα (περιέχει οξυγόνο υπό πίεση), ενώ η φιάλη της ασετιλίνης κάνει υπόκωφο ήχο. Ο ήχος της φιάλης της ασετιλίνης οφείλεται στο πορώδες υλικό που χρησιμοποιείται για να συγκρατεί την ακετόνη, η οποία είναι απαραίτητη για να διαλυθεί σε αυτή η ασετιλίνη (η ασετιλίνη υπό πίεση είναι εκρηκτική και γι' αυτό διαλύεται στις φιάλες μέσα σε υγρή ακετόνη).

Προκειμένου το οξυγόνο και η ασετιλίνη να χρησιμοποιηθούν και επειδή βρίσκονται σε πίεση (15 ατμ. το οξυγόνο και 150 ατμ. η ασετιλίνη), μετά τις φιάλες χρησιμοποιούνται εκτονωτές, δηλαδή όργανα που ρίχνουν την πίεση. Η πίεση που έχει κάθε αέριο στη φιάλη, αλλά και η πίεση της παροχής του, μετά τη μείωση από τον εκτονωτή, φαίνονται σε δύο μανόμετρα που έχει πάνω κάθε φιάλη, το μανόμετρο υψηλής πίεσης (για τη φιάλη) και το μανόμετρο χαμηλής πίεσης (για την παροχή).

Μετά την έξοδό τους από τους μανοεκτονωτές, τα αέρια οδηγούνται προς τη θέση καύσης μέσω εύκαμπτων ελαστικών σωλήνων (μπλε ή γκρι για το Οξυγόνο και κόκκινο για την ασετιλίνη).

Η στεγανοποίηση των συνδέσεων των σωλήνων και των μανοεκτονωτών με τις φιάλες είναι ιδιαίτερα σημαντική και απαιτεί μεγάλη προσοχή.

Οι συνδέσεις πρέπει να ελέγχονται ως εξής :

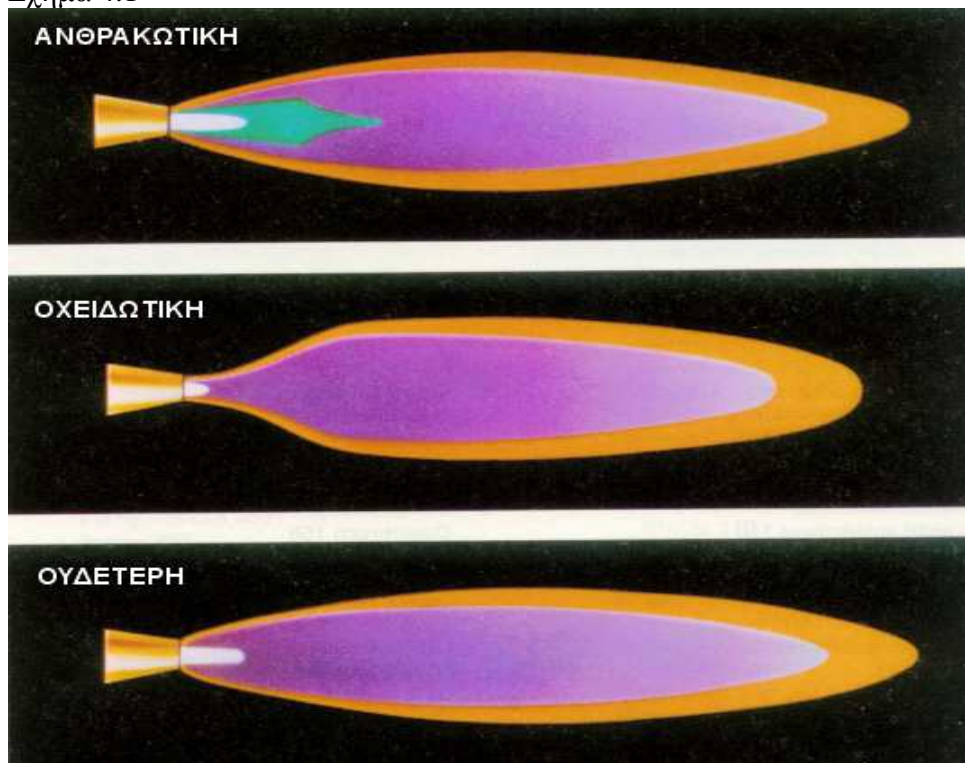
- Η διαρροή Οξυγόνου ακούγεται, μια και το αέριο αυτό είναι αποθηκευμένο υπό πίεση.
- Η διαρροή ασετιλίνης διαπιστώνεται από τη μυρωδιά.
- Και στις δύο περιπτώσεις η διαρροή μπορεί να γίνει αντιληπτή με τη χρήση σαπουνάδας πάνω στις συνδέσεις. Αν δημιουργούνται φυσαλίδες, σημαίνει πως υπάρχει διαρροή κάποιου αερίου.

Το εξάρτημα εκείνο στο οποίο συναντώνται τα δύο αέρια είναι ο καυστήρας, στον οποίο συνδέονται οι δύο ελαστικοί σωλήνες τροφοδοσίας των αερίων. Στο σχήμα φαίνεται σε τομή ένας καυστήρας οξυγονοκόλλησης. Το άκρο του καυστήρα, που είναι το μπεκ, μπορεί να είναι πολλών μεγεθών με διαφορετική διάμετρο οπής. Η Ευρωπαϊκή τυποποίηση για τα μπεκ ορίζει ένα χαρακτηριστικό αριθμό για κάθε μπεκ (πχ. 70), που αντιστοιχεί σε ωριαία παροχή ασετιλίνης 70 κυβικές παλάμες [dm³].



Στον καυστήρα γίνεται η ανάμειξη του οξυγόνου με την ασετιλίνη και παράγεται η φλόγα. Η σωστή αναλογία οξυγόνου και ασετιλίνης ρυθμίζει και την ποιότητα της φλόγας, η οποία δεν πρέπει να έχει περισσότερο οξυγόνο (οξειδωτική φλόγα) ούτε περισσότερο ασετιλίνη (ανθρακωτική). Στο σχήμα 4.1 φαίνονται οι τρεις περιπτώσεις φλόγας, ανθρακωτική, οξειδωτική και ουδέτερη.

Σχήμα 4.1



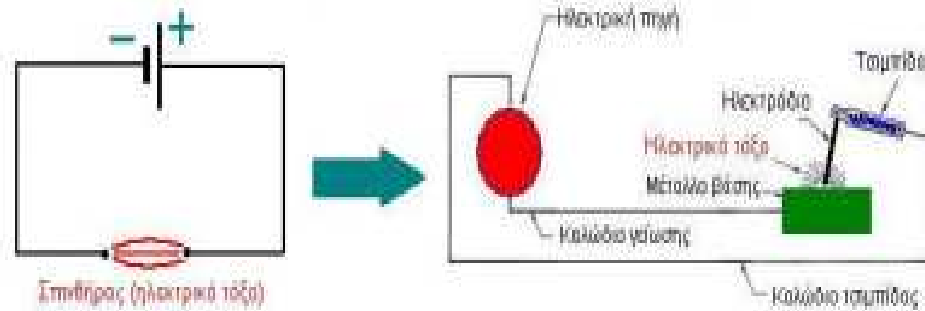
4.1.2 Συγκόλληση τόξου

Για να γίνει συγκόλληση δύο μεταλλικών τεμαχίων, πρέπει να προκληθεί τήξη στα σημεία συγκόλλησης. Στη συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου ή ηλεκτροσυγκόλληση, η θερμοκρασία για την τήξη παράγεται με τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου.

Στο σχήμα 4.2, φαίνεται ο τρόπος που δημιουργείται το ηλεκτρικό τόξο. Έχουμε μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και το ηλεκτρικό τόξο δημιουργείται στο κενό που υπάρχει μεταξύ δύο μεταλλικών τεμαχίων. Το ένα ονομάζεται **ηλεκτρόδιο** και δημιουργεί το σπινθήρα και το άλλο ονομάζεται **μέταλλο βάσης** και αποτελείται από τα δύο προς συγκόλληση τεμάχια.

Το τεμάχιο στο οποίο συνδέεται ο αρνητικός πόλος ονομάζεται **κάθοδος** και συμβολίζεται με το (-) ενώ το τεμάχιο στο οποίο συνδέεται ο θετικός πόλος ονομάζεται **άνοδος** και συμβολίζεται με το (+). Όταν χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε ο ρόλος της καθόδου και της ανόδου αντιστρέφεται συνέχεια.

Σχήμα (4.2): Η αρχή λειτουργίας της ηλεκτροσυγκόλλησης



Στο μικρό διάκενο μεταξύ ηλεκτροδίου και μετάλλου βάσης, δημιουργείται μία ισχυρά ιονισμένη ατμόσφαιρα αερίου. Το αέριο το οποίο βρίσκεται σ' αυτή την κατάσταση ονομάζεται **πλάσμα**. Μέσω της στήλης του πλάσματος διατηρείται το τόξο.

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο σημείο επαφής του ηλεκτρικού τόξου με το μέταλλο βάσης υπερβαίνει τους 2400°C . Εκεί δημιουργείται το **λουτρό συγκόλλησης**, δηλαδή μία περιοχή από τηγάνι, η οποία, όταν στερεοποιηθεί, προκαλεί τη συγκόλληση των δύο τεμαχίων. Μετακινώντας το ηλεκτρόδιο κατά μήκος της γραμμής επαφής των τεμαχίων, επιτυγχάνεται η συγκόλλησή τους.

Το ηλεκτρικό τόξο συντηρείται από μόνο του, αρκεί να μην απομακρυνθεί πολύ το ηλεκτρόδιο από το μέταλλο βάσης. Για την έναρξή του όμως, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές. Οι πλέον διαδεδομένες είναι οι εξής:

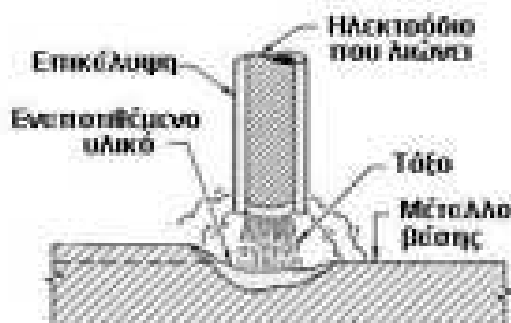
1. Με τη στιγμιαία επαφή και απομάκρυνση του ηλεκτροδίου με το μέταλλο βάσης
2. Με μια στιγμιαία υψηλή τάση μεταξύ ηλεκτροδίου και μετάλλου βάσης

Η προσθήκη υλικού εναπόθεσης στο σημείο συγκόλλησης

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



Ένας από τους τρόπους που γίνεται η προσθήκη μετάλλου στο σημείο συγκόλλησης είναι **χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο που λιώνει**. Το ηλεκτρόδιο σ' αυτή την περίπτωση είναι **αναλώσιμο**. Χρησιμοποιείται υπό τη μορφή ράβδων επικαλυμμένων με ειδική πάστα, ή υπό τη μορφή συρμάτων. Η διαδικασία της συγκόλλησης φαίνεται στο σχήμα 4.3. Λόγω του ηλεκτρικού τόξου, αναπτύσσεται μεγάλη θερμοκρασία στη θέση κόλλησης, γύρω στους 4000 °C. Στη θερμοκρασία αυτή το μέταλλο που συγκολλάται λιώνει, ενώ από πάνω του δημιουργείται ένα στρώμα αερίων, που προέρχονται από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Ταυτόχρονα με τη δημιουργία των αερίων, δημιουργείται πάνω από τη ραφή μία πάστα, επίσης από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Η πάστα αυτή βοηθά στην τήξη του μετάλλου και εμποδίζει τη γρήγορη απόψυξη, που θα είχε συνέπεια να βαφεί η ραφή. Η ραφή συγκόλλησης προκύπτει από το λιωμένο μέταλλο που συγκολλάται και από λιωμένο μέταλλο του πυρήνα του ηλεκτροδίου. Ο συγκολλητής, για να ξεκινήσει τη διαδικασία συγκόλλησης, χτυπά ή τρίβει το ηλεκτρόδιο πάνω στο προς συγκόλληση τεμάχιο και στη συνέχεια το σηκώνει, διατηρώντας από κει και πέρα μία σταθερή απόσταση.



Σχήμα (4.3): Η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο που λιώνει

Συσκευές – όργανα

Οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ή συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα και χαρακτηρίζονται από την ένταση του ρεύματος, που μπορούν να δώσουν και την τάση του ρεύματος για το ξεκίνημα του τόξου (τάση εν κενώ). Η ένταση της συγκόλλησης ρυθμίζεται από ροοστάτες που βρίσκονται πάνω στις μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, ενώ για κάθε ένταση ρεύματος προτείνεται και αντίστοιχο ηλεκτρόδιο. Επισημαίνεται ότι, με τη χρήση του ίδιου ηλεκτροδίου, η ένταση του ρεύματος πρέπει να αυξάνεται, όσο το πάχος των ελασμάτων που θα κολληθούν είναι μεγαλύτερο. Τα συνήθη ηλεκτρόδια έχουν επένδυση που είναι κράμα διαφόρων οργανικών και ορυκτών συστατικών, ενώ ο πυρήνας τους είναι από μαλακό χάλυβα. Υπάρχουν και άλλα ηλεκτρόδια με πυρήνες από χαλυβοκράματα, χυτοσίδηρο κ.λπ., αλλά δε χρησιμοποιούνται συχνά και μόνο για ειδικές περιπτώσεις. Τα ηλεκτρόδια κυκλοφορούν σε πολλά μεγέθη με διαφορετικό μήκος και διάμετρο, όπως και με διαφορετικό πάχος επένδυσης.

Στον Πίνακα 4.2.1 φαίνονται διάφορα μεγέθη ηλεκτροδίων και η ένταση του ρεύματος που πρέπει να χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση.

Διάμετρος ηλεκτροδίου [mm]	Μήκος ηλεκτροδίου [mm]	Ένταση ρεύματος [A]
1,6	250	25
2,0	350	45
2,5	350	65
3,5	450	115
4,0	450	145
5,0	450	215
6,0	450	265
6,3	450	285
7,0	450	320
8,0	450	360

Πίνακας 4.2.1 : Στοιχεία ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια έχουν τυποποιηθεί ως προς τα χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με Ευρωπαϊκά και άλλα διεθνή πρότυπα. Στην ετικέτα του κουτιού, στα οποία είναι συσκευασμένα τα ηλεκτρόδια, γράφονται με τη σειρά σύμβολα που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένες ιδιότητες του ηλεκτροδίου.



Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης CC, προοριζόμενη για MMA .Μικρής ισχύος, φορητή



Τσιμπίδα ηλεκτροσυγκόλλησης MMA



Η μορφή επενδυμένων ηλεκτροδίων. Ο διαφορετικός χρωματισμός οφείλεται στο διαφορετικό είδος της πάστας

Τεχνική της Ηλεκτροσυγκόλλησης

Η ηλεκτροσυγκόλληση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ορισμένα βασικά εξαρτήματα προστασίας. Αυτά είναι η μάσκα, που προστατεύει τα μάτια από τη λάμψη του ηλεκτρικού τόξου (δηλαδή από τις υπέρυθρες και υπεριώδεις ακτίνες που καταστρέφουν τον αμφιβληστροειδή του ματιού), τα γάντια, που προστατεύουν τα χέρια από πιθανά εγκαύματα και την ακτινοβολία, και η ποδιά που προστατεύει αντίστοιχα το υπόλοιπο σώμα. Στο σχήμα 4.6 φαίνονται δύο συγκολλητές να πραγματοποιούν αντίστοιχες συγκολλήσεις, φορώντας τον απαιτούμενο εξοπλισμό.



Σχήμα 4.6 : Εξοπλισμός ηλεκτροσυγκόλλησης

Εκτός από τον παραπάνω βασικό εξοπλισμό, στην ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιούνται περικνημίδες για τα πόδια και μανσέτες για τα χέρια. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο αερισμός που πρέπει να υπάρχει στο χώρο εργασίας, ώστε να μην εισπνέονται από το συγκολλητή τα διάφορα αέρια που προκύπτουν από την συγκόλληση. Κατά τη διάρκεια της ηλεκτροσυγκόλλησης και ανάλογα με το είδος της ραφής που επιθυμούμε, πρέπει να μετακινείται το ηλεκτρόδιο πραγματοποιώντας συγκεκριμένες κινήσεις.

4.1.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα

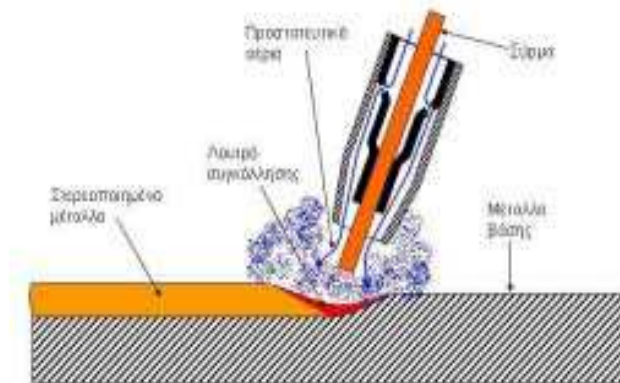
Οι συγκολλήσεις με αδρανή ατμόσφαιρα εξασφαλίζουν τη μόνωση της θέσης συγκόλλησης από τον αέρα, δηλαδή ουσιαστικά από το οξυγόνο και το άζωτο που επηρεάζουν τη συγκόλληση. Για τη μόνωση αυτή χρησιμοποιούνται τα αέρια Αργό (Ar) και Ήλιο (He). Από τα δύο αυτά αέρια χρησιμοποιείται περισσότερο το αργό, γιατί η παραγωγή του έχει μικρότερο κόστος.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου ηλεκτροσυγκόλλησης σε αδρανή ατμόσφαιρα σε σχέση με την απλή ηλεκτροσυγκόλληση είναι :

- Σταθερό ηλεκτρικό τόξο και εύκολη συγκόλληση,
- Ραφές συγκόλλησης με υψηλή μηχανική αντοχή.
- Μικρές παραμορφώσεις λόγω θέρμανσης,
- Απουσία επιβλαβών αναθυμιάσεων.

Η ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα γίνεται με τρεις μεθόδους:

1. τη μέθοδο T.I.G. (δύστηκτο ηλεκτρόδιο και αέριο αργό),
2. τη μέθοδο M.I.G. (καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο και αέριο αργό) και
3. τη μέθοδο M.A.G. (καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο και ανθρακικά αέρια).



Η μέθοδος της συγκόλλησης σύρματος MIG/MAG

MIG/MAG . Συγκόλληση με συμπαγές σύρμα

Αυτή γίνεται με συμπαγές σύρμα κάτω από προστατευτική ατμόσφαιρα κάποιου αερίου. Όταν το αέριο είναι αδρανές (π.χ. Ήλιο, Αργό), τότε η διαδικασία αυτή είναι γνωστή με την ονομασία **MIG**. Όταν το αέριο είναι δραστικό (π.χ. CO₂, άζωτο, μείγμα αργού και οξυγόνου κτλ.), τότε η διαδικασία ονομάζεται **MAG**. Γι' αυτό εφαρμόζεται ο όρος **MIG/MAG** . Στην πράξη όμως, έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται σχεδόν μόνο ο όρος **MIG**.

Κατά τη συγκόλληση MIG/MAG, πρέπει να υπάρχει **σταθερή τάση** του τόξου⁹ ηλεκτροσυγκόλλησης, η οποία συμβολίζεται ως **CV**. Αυτή είναι η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της άκρης του ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης. **Κατά συνέπεια, η μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή τάση τόξου, σε αντίθεση με τη MMA, όπου το ζητούμενο είναι η σταθερή ένταση.** Π.χ. ρυθμίζουμε ότι η ηλεκτροσυγκόλληση θα γίνει με τάση 22 V. Μηχανές CV για MIG/MAG βλέπουμε στο σχήμα (4.3.1). Προσέξτε ότι η βάση τους στο πίσω μέρος έχει υποδοχή για τη φιάλη του αερίου.



Σχήμα (4.3.1): Μηχανές CV προοριζόμενες για ηλεκτροσυγκόλληση MIG/MAG

Η μορφή της τσιμπίδας MIG/MAG φαίνεται στο σχήμα (4.3.2) και ο τρόπος εκτέλεσης των ηλεκτροσυγκολλήσεων στο σχήμα (4.3.3). Η μορφή της ραφής φαίνεται στο σχήμα (4.3.4).

⁸ Χρησιμοποιείται, ακόμη, και ο όρος **GMAW** (Gas Metal Arc Welding)

⁹ **CV** = Constant Voltage



Σχήμα (4.3.2): Τσιμπίδα ηλεκτροσυγκόλλησης MIG/MAG

Τα πλεονεκτήματα της MIG/MAG είναι:

- Η ευκολία με την οποία εκτελείται μία καλή ηλεκτροσυγκόλληση. Ακόμη και ένας νέος τεχνίτης μπορεί να κάνει καλές συγκολλήσεις.
- Η ευκολία συγκόλλησης ελασμάτων πολύ μικρού πάχους, μόλις 0,5-0,6 mm.
- Έχει μεγάλη παραγωγικότητα, ενδεικτικά 4 φορές μεγαλύτερη από τη MMA



Σχήμα (4.3.3): Προσθήκη μετάλλου με σύρμα κατά τη MIG/MAG ή την FCAW

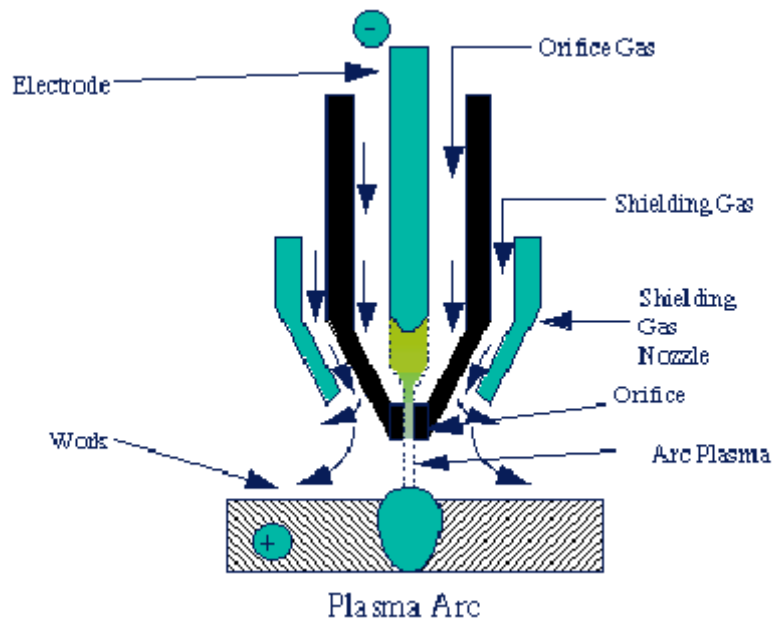
Μειονεκτήματα:

- Ο εξοπλισμός είναι δαπανηρός
- Το κόστος ανά μέτρο ηλεκτροσυγκόλλησης είναι αρκετά μεγαλύτερο από τη MMA.
- Δεν εξασφαλίζει καλή συγκόλληση σε πάχη ελασμάτων μεγαλύτερα των 3,5 mm (παρ. όλων ότι χρησιμοποιείται).
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις MIG/MAG μπορούν να γίνονται μόνο σε κλειστό χώρο, επειδή τα ρεύματα αέρα παρασύρουν το προστατευτικό αέριο.
- Υπάρχει δυσκολία στην αλλαγή της ποιότητας του προς συγκόλληση μετάλλου. Πρέπει να αλλαχτεί το καρούλι με το σύρμα και, ενδεχομένως, και η φιάλη του αερίου. Αν γίνει λάθος και ξετυλιχτεί το σύρμα, δεν τυλίγεται ξανά, το καρούλι είναι άχρηστο.



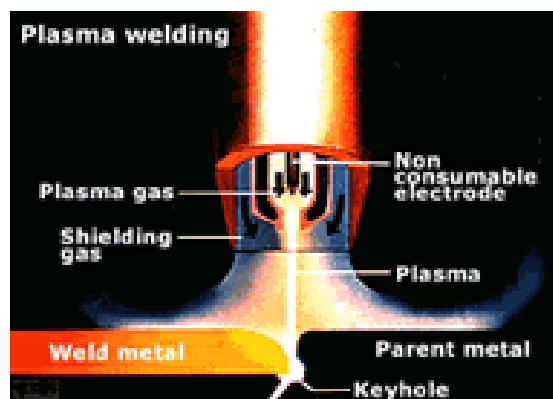
Σχήμα (4.3.4): Η ιδανική μορφή της ραφής σε ηλεκτροσυγκόλληση MIG

Πλάσμα (PAW)

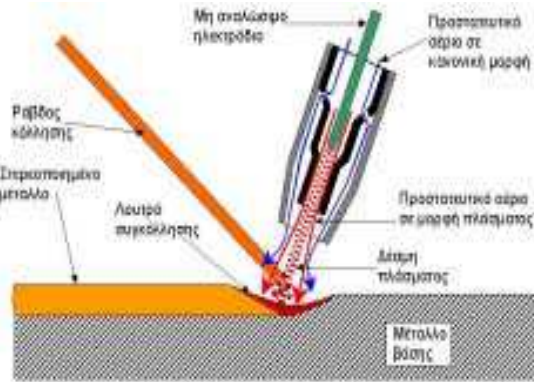


Η συγκόλληση με πλάσμα, που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά γύρω στο 1960, μοιάζει πολύ με την συγκόλληση TIG. Σε αυτού του τύπου τη συγκόλληση σχηματίζεται τόξο πλάσματος, μεταξύ ενός ηλεκτροδίου, το οποίο δεν καταναλίσκεται, και του μετάλλου που θα συγκολληθεί. Η μέθοδος αυτή, επειδή το τόξο πλάσματος αναπτύσσει μεγάλες θερμοκρασίες, δημιουργεί βαθύτερες ραφές από τις αντίστοιχες της συγκόλλησης TIG.

Με τον όρο πλάσμα εννοούμε ιονισμένα αέρια, σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το τόξο ηλεκτροσυγκόλλησης, όπως είδαμε, είναι μία στήλη πλάσματος. Όπως φαίνεται στο σχήμα (4.4.1), στην PAW το πλάσμα του τόξου λαμβάνει τη μορφή μιας πολύ στενής δέσμης (πλάσμα δέσμη). Ενώ το κανονικό τόξο καταλήγει σε περιοχή με διάμετρο 5-10 mm, το τόξο στην PAW καταλήγει σε διάμετρο μόλις 1-2 mm, αναπτύσσοντας πολύ υψηλή θερμοκρασία.



Σχήμα 4.4.1



Σχήμα (4.4.1): Η αρχή λειτουργίας της συγκόλλησης πλάσματος (PAW)

Ένα μέρος του προστατευτικού αερίου είναι σε μορφή πλάσματος και προστατεύει την πλασμική δέσμη. Γύρω από αυτό υπάρχει αέριο στην κανονική μορφή που προστατεύει το λουτρό συγκόλλησης. Το μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο είναι εσωτερικά της τσιμπιδας (δεν προεξέχει).



Σχήμα (4.4.2): Τσιμπίδα ηλεκτροσυγκόλλησης πλάσματος

Η μηχανή PAW ανήκει στην κατηγορία μηχανών CC. Τέτοια μηχανή βλέπουμε στο σχήμα (4.4.3). Συχνά αυτές οι μηχανές είναι κατάλληλες και για συγκολλήσεις TIG ή MMA. Το είδος της συγκόλλησης καθορίζεται μέσω επιλογέα.



Σχήμα (4.4.3): Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης πλάσματος

Η μέθοδος συγκόλλησης μοιάζει με της TIG, αλλά έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η θερμοκρασία του πλάσματος είναι πολύ υψηλή. Αν η δέσμη μείνει ακίνητη, μπορεί να φθάσει ακόμη και τους 30000-35000°C, με αποτέλεσμα την ταχύτερη εναπόθεση του μετάλλου της ράβδου.
- Το στενό και μακρύ τόξο επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να βλέπει πολύ καλύτερα το σημείο της συγκόλλησης.

Μειονεκτήματα σε σχέση με την TIG:

- Ο πολύ ακριβός εξοπλισμός
- Το υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης που πρέπει να έχει ο χειριστής.

4.2 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

4.2.1 Ηλεκτροπόντα

Η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι αυτογενής συγκόλληση, η οποία δε χρησιμοποιεί συγκολλητικό υλικό. Τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν θερμαίνονται συμπιεζόμενα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και συγκολλούνται. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται η διάταξη μίας φορητής μηχανής συγκόλλησης με αντίσταση.



Σχήμα 4.1 : Φορητή συσκευή συγκόλλησης με αντίσταση

Για τη συγκόλληση με αντίσταση σημαντικό ρόλο παίζουν ο χρόνος συγκόλλησης και η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια. Ανάλογα με τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και το πάχος τους, επιλέγονται και οι συνθήκες αυτές της συγκόλλησης.

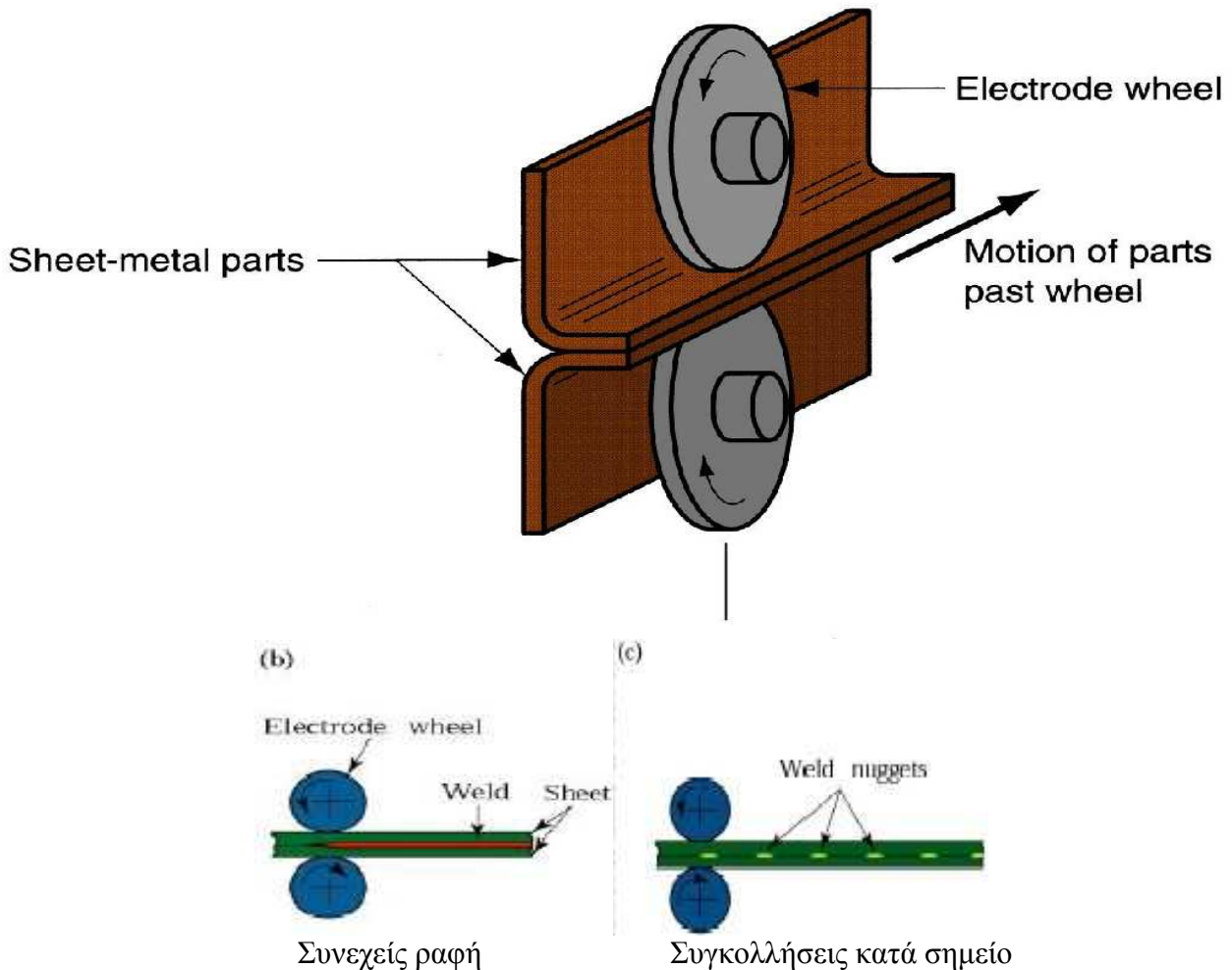
Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μηχανή για ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι η **ηλεκτροπόντα**. Οι ηλεκτροπόντες που κυκλοφορούν είναι συνήθως σταθερές και ποδοκίνητες, ενώ υπάρχουν και φορητές, όπως στο σχήμα 4.2. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται μια σταθερή ποδοκίνητη ηλεκτροπόντα και η διαδικασία συγκόλλησης.



Σχήμα 4.2-4.3 : Συγκόλληση σε ηλεκτροπόντα

4.2.2 Ηλεκτροραφή

Η αρχή λειτουργίας των μηχανών ηλεκτροσυγκόλλησης αντίστασης ραφής (ραουλόποντας) είναι ίδια με εκείνη της μηχανής συγκόλλησης κατά σημεία. Όμως στις μηχανές συγκόλλησης ραφής τα ηλεκτρόδια έχουν τη μορφή δίσκων που περιστρέφονται με σταθερή ταχύτητα. Τα προς συγκόλληση ελάσματα τοποθετούνται με τα άκρα τους σε επικάλυψη (το ένα πάνω στο άλλο) και κινούνται ανάμεσα στους δύο δίσκους-ηλεκτρόδια.



Οι δίσκοι-ηλεκτρόδια, όταν έρθουν σε επαφή με τα ελάσματα, διοχετεύουν ηλεκτρικό ρεύμα στα σημεία ραφής των προς συγκόλληση ελασμάτων και ταυτόχρονα ασκούν δύναμη (πίεση). Η απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, η πίεση, η ταχύτητα ραφής (πρόωση) κτλ. στοιχεία της συγκόλλησης, εξαρτώνται από το πάχος των ελασμάτων που θα συγκολληθούν και από το είδος της ραφής (στεγανή, αντοχής ή συγκράτησης).

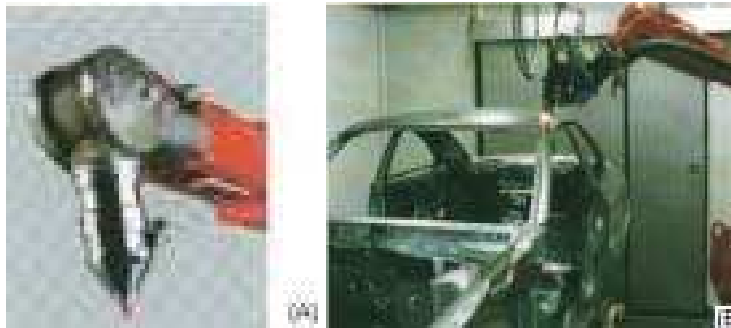
Η ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης ραφής εφαρμόζεται κυρίως στις περιπτώσεις που απαιτείται στεγανότητα στις συνδέσεις ελασμάτων και μεγάλος ρυθμός παραγωγής. Όμως, όταν δεν απαιτείται στεγανότητα στη ραφή, αλλά απλή συγκράτηση των ελασμάτων, η μηχανή συγκόλλησης ραφής μπορεί να ρυθμιστεί έτσι, ώστε να συγκολλάει κατά σημεία. Σ' αυτή την περίπτωση η μηχανή συγκόλλησης ρυθμίζεται έτσι, ώστε να τροφοδοτεί τα ηλεκτρόδια (δίσκους) με ρεύμα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, αφήνοντας τμήματα των προς συγκόλληση ελασμάτων χωρίς ραφή. Μ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο χρόνος της συγκόλλησης των ελασμάτων και περιορίζεται το κόστος. Το είδος αυτό της συγκόλλησης βρίσκει συνήθως εφαρμογή σε κατασκευές που η σύνδεση των ελασμάτων γίνεται με επικάλυψη.

4.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

4.3.1 Laser

Η συγκόλληση με Laser πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 1950. Η συγκόλληση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται, όταν μία δέσμη ακτίνων Laser προσπίπτει πάνω στα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν. Στο σχήμα 4.3.1 φαίνεται η διαδικασία παραγωγής της ακτίνας Laser και η συγκόλληση.

Η **συγκόλληση με ακτίνες Laser** (λέιζερ) είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια βομβαρδίζονται στα σημεία συγκόλλησής τους από ισχυρή **δέσμη ακτίνων φωτός** (γνωστές ως ακτίνες λέιζερ), με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται σ. αυτά τα σημεία υψηλή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή φτάνει μέχρι του **σημείου σύντηξης** των με-τάλλων στα σημεία συγκόλλησης. Έτσι προκύπτει μια ισχυρή συγκόλληση των δύο μεταλλικών τεμαχίων που μοιάζει με τη συγκόλληση της ηλεκτροπόνας.



Σχήμα (4.3.1): (A) Κεφαλή μηχανής laser για συγκόλληση και κοπή (B) Συγκόλληση οροφής αυτοκινήτου με ακτίνες laser

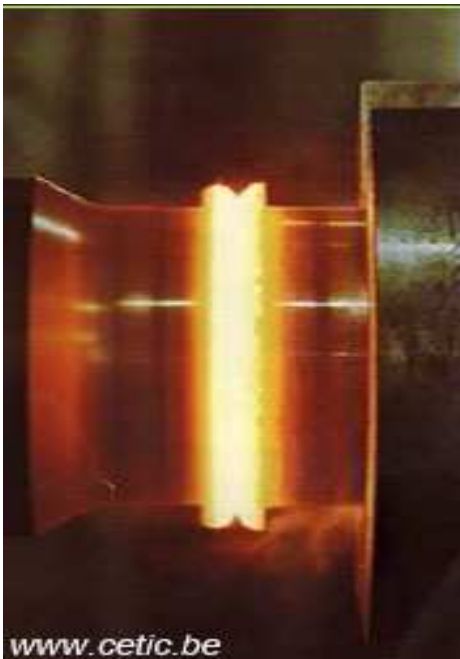
Οι μηχανές συγκόλλησης με laser μπορούν να πραγματοποιήσουν συγκολλήσεις πολύ μικρών διαστάσεων της τάξης των 0,076 mm (διάμετρος). Επίσης, οι ίδιες μηχανές μπορούν να πραγματοποιήσουν και **κοπή μετάλλων** με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Λόγω όμως του μεγάλου κόστους αγοράς των μηχανών συγκόλλησης laser, η χρήση τους περιορίζεται σε μεγάλα και καλά οργανωμένα μηχανουργεία ή μεγάλες βιομηχανίες. Στην **αυτοκινητοβιομηχανία** χρησιμοποιούνται συσκευές laser ισχύος μέχρι 6 kW, ενώ μεγαλύτερες συσκευές της τάξης των 10 kW, κατασκευάζονται μόνο για ερευνητικούς σκοπούς.

Οι συσκευές laser μπορούν να συγκολλήσουν ελάσματα από χάλυβα (κοινό και ανοξείδωτο), αλουμίνιο, τιτάνιο κτλ. Όπως και στις συγκολλήσεις με δέσμη ηλεκτρονίων, έτσι και στην περίπτωση των συγκολλήσεων με ακτίνες laser, η **διείσδυση είναι εξαιρετικά μεγάλη**, ενώ η κυκλική έκταση της συγκόλλησης πολύ μικρή. Επίσης, με συσκευές laser μπορούμε να κά-νουμε και κοπή ελασμάτων με μεγάλη ακρίβεια, με εξαιρετική εμφάνιση κο-πής και με πολύ καλή ταχύτητα.

4.3.2 Με δέσμη ηλεκτρονίων

4.3.2.1 Συγκόλληση τριβής

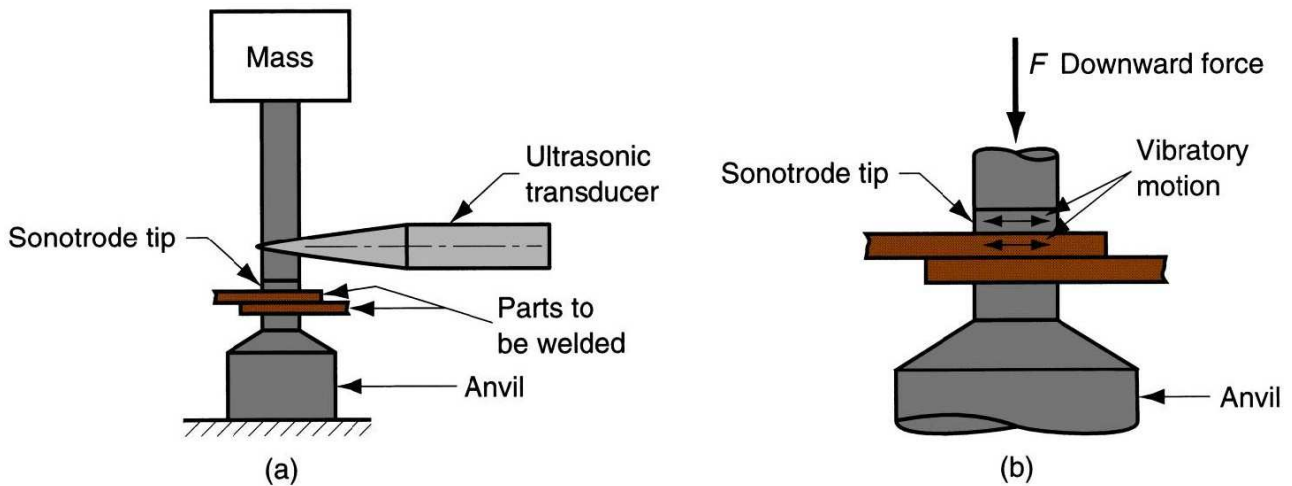
Στη συγκόλληση με τριβή δύο τεμάχια συγκολλώνται με τη βοήθεια της θερμότητας, που παράγεται από την τριβή του ενός πάνω στο άλλο. Στην πράξη, το ένα από τα δύο τεμάχια περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και συμπιέζεται πάνω στο τεμάχιο που θα συγκολληθεί. Οι μεταξύ τους επιφάνειες τρίβονται έντονα, θερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία συγκόλλησης και τότε η περιστροφή σταματά. Με τη συνεχιζόμενη πίεση ανάμεσα στα δύο κομμάτια επιτυγχάνεται η συγκόλληση. Αυτή η μέθοδος έχει βρει εφαρμογές στη συγκόλληση των κοπτικών πλακιδίων σε μανέλες κοπτικών εργαλείων, συγκόλληση ράβδων κ.λπ.. Στο σχήμα 4.3.2 φαίνεται η διαδικασία συγκόλλησης ράβδων με τριβή. Η διαδικασία που φαίνεται στο σχήμα περιλαμβάνει : α) περιστροφή της μίας ράβδου, β) περιστροφή της πρώτης ράβδου και ταυτόχρονη συμπίεση της δεύτερης ράβδου πάνω στην περιστρεφόμενη, γ) επίτευξη της θερμοκρασίας συγκόλλησης και δ) προκύπτει η συγκόλληση των ράβδων.



4.3.2 Μέθοδος συγκόλλησης με τριβή

4.3.2.2 Συγκόλληση υπερήχων

Η συγκόλληση με υπερήχους πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα του 20ου αιώνα. Η συγκόλληση αυτή χρησιμοποιείται για τη σύνδεση μετάλλων, όπως είναι ο χαλκός, το νικέλιο, το αλουμίνιο κ.λπ.. Στη συγκόλληση με υπερήχους τα τεμάχια συνδέονται μεταξύ τους μέσω πίεσης με ταυτόχρονη ταλάντωση υψηλής συχνότητας. Η ταλάντωση αυτή προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας στη θέση συγκόλλησης και η πίεση ανάμεσα στα κομμάτια δημιουργεί την τελική σύνδεση. Στο σχήμα φαίνεται η διαδικασία συγκόλλησης με υπερήχους.



Συγκόλληση με υπερήχους: (α) γενική διάταξη για συγκόλληση επικάλυψης (lap joint)
(β) περιοχή συγκόλλησης

..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΞΑΜΕ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΥΤΗΣ

5.1 Επιλογή μεθόδων συγκόλλησης

Δεν υπάρχει ακόμα σήμερα κάποιο αναλυτικό σύστημα που να βοηθάει το μηχανικό στην επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Έτσι στις περισσότερες περιπτώσεις η επιλογή βασίζεται κυρίως στην εμπειρία. Στη παράγραφο αυτή περιγράφονται συνοπτικά ορισμένοι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης.

Ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζει στοιχεία σύγκρισης των ακόλουθων μεθόδων συγκόλλησης: με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, βαρύτητας, βυθισμένου τόξου, electroslag/electrogas, με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (GMAW) και με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (GTAW). Η σύγκριση γίνεται με βάση την ταχύτητα παραγωγής, το κόστος εγκατάστασης, τη δυσθραυστότητα του μετάλλου συγκόλλησης και τις θέσεις συγκόλλησης. Ο πίνακας παραθέτει ακόμα μερικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αυτών.

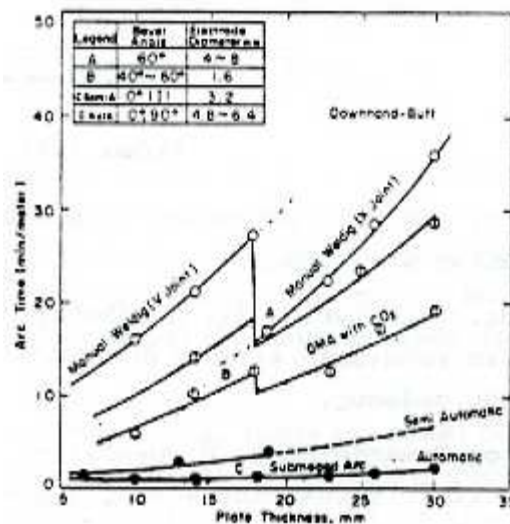
	Με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια	Βαρύτητας	Βυθισμένου τόξου	Electroslag/ Electrogas	GMAW	GTAW
Ταχύτητα παραγωγής	5	3	2	1 (υψηλότερη)	4	6 (χαμηλότερη)
Κόστος Εγκατάστασης	1 (χαμηλότερο)	2	5	6 (υψηλότερο)	4	3
Δυσθραυστότητα Μετάλλου Συγκόλλησης	3 (με ηλεκτρόδια χαμηλού υδρογόνου)	4	5	6 (χειρότερη)	2	1 (καλύτερη)
Θέσεις Συγκόλλησης	όλες	Επίπεδη και επίπεδη μετωπική	Επίπεδη	Κατακόρυφη	όλες	όλες
	Η πιο ευέλικτη μέθοδος	Δεν απαιτεί ικανότητες συγκολλητή	Παρέχει τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα	Δεν απαιτούν ακρίβεια στη διαμόρφωση των ακμών	Παρέχουν μεγάλη ευκολία στο άναμμα του τόξου (σχετικά εύκολη η αυτοματοποίησή τους)	
				Επίδραση του ανέμου στη μέθοδο electrogas	Σημαντική επίδραση του ανέμου	

Πίνακας 5.2: Σύγκριση διαφόρων μεθόδων συγκόλλησης.

Η σύγκριση ως προς την ταχύτητα παραγωγής γίνεται με αριθμητικούς δείκτες: το 1 σημαίνει την υψηλότερη και το 6 τη χαμηλότερη. Από τον πίνακα φαίνεται ότι οι αυτόματες κατακόρυφες μέθοδοι συγκόλλησης (electroslag/electrogas) παρέχουν τη μέγιστη ταχύτητα παραγωγής, είναι επομένως οι πιο αποτελεσματικές για συγκόλληση παχιών ελασμάτων (μόνο στην κατακόρυφη θέση). Όμως και η μέθοδος βυθισμένου τόξου, παρέχει υψηλή ταχύτητα παραγωγής, αλλά αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για συγκόλληση κατά συμβολή στην επίπεδη θέση.

Το Σχήμα 5.8 παριστάνει τη σχέση μεταξύ πάχους ελάσματος και διάρκειας ηλεκτρικού τόξου (arc time), υποθέτοντας ότι το τόξο λειτουργεί συνεχώς. Από το σχήμα φαίνεται ότι η μέθοδος βυθισμένου τόξου είναι πολύ πιο αποδοτική από τις μεθόδους με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (manual welding) και GMA με προστασία CO₂. Αυτό οφείλεται κυρίως στη χρήση υψηλής έντασης ρεύματος, που έχει ως αποτέλεσμα υψηλό ρυθμό απόθεσης μετάλλου συγκόλλησης.

Συγχρόνως, επειδή προκαλείται και μεγάλη διείσδυση, είναι δυνατή η μείωση της επιφάνειας της διατομής της ένωσης (joint sectional area), άρα και της ποσότητας του προστιθέμενου μετάλλου συγκόλλησης.



Σχήμα 5.8: Σχέση πάχους ελάσματος και διάρκειας τόξου για διάφορες μεθόδους συγκόλλησης.

- **Κόστος εγκατάστασης.** Η συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια απαιτεί το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης, ενώ οι μέθοδοι που απαιτούν τη χρήση ημιαυτοποιημένων μηχανών, όπως για παράδειγμα η μέθοδος βυθισμένου τόξου, το μεγαλύτερο.

- **Μηχανικές ιδιότητες.** Θεωρώντας ότι γίνεται χρήση των σωστών συνθηκών συγκόλλησης, όλες οι μέθοδοι συγκόλλησης μπορούν να παράγουν ενώσεις με ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες (τάση διαρροής, όριο εφελκυσμού και επιμήκυνση) εάν εφαρμοστούν σε συνηθισμένα κατασκευαστικά υλικά. Η επίτευξη όμως επαρκούς δυσθραυστότητας δεν είναι πάντοτε δυνατή, ειδικότερα όταν πρόκειται να συγκολληθούν ελάσματα από χάλυβες υψηλής αντοχής που έχουν υψηλά επίπεδα δυσθραυστότητας που τα απέκτησαν με θερμικές κατεργασίες. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός απόθεσης μετάλλου σε μια μέθοδο συγκόλλησης, τόσο χαμηλότερη είναι η δυσθραυστότητα του μετάλλου συγκόλλησης. Έτσι, για παράδειγμα, είναι πιθανή η αναγκαστική χρήση της μεθόδου GTAW σε συγκολλήσεις χαλύβων πολύ υψηλής αντοχής.

• **Ειδικά χαρακτηριστικά.** Η μέθοδος συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια είναι η πιο ευέλικτη, και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Η συγκόλληση βαρύτητας απαιτεί ελάχιστες ικανότητες συγκολλητή. Οι κατακόρυφες μέθοδοι συγκόλλησης δεν απαιτούν ιδιαίτερη ακρίβεια στη διαμόρφωση των ακμών των προς συγκόλληση ελασμάτων. Αυτό αποτελεί και ένα από τους σημαντικότερους λόγους, για τους οποίους οι μέθοδοι αυτοί βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στη συγκόλληση μεταξύ τους, μεγάλων τομέων του σκάφους.

Οι μέθοδοι με προστασία αερίου (GMAW και GTAW) δεν παράγουν σκουριά (slag) και παρέχουν μεγάλη ευκολία στο άναμα του τόξου. Για το λόγο αυτό είναι σχετικά εύκολο να συμπεριληφθούν σε ένα αυτόματο σύστημα παραγωγής. Ένα εγγενές πρόβλημα, όμως σε όλες τις μεθόδους με προστασία αερίου (GMAW, GTAW) είναι η ευπάθεια τους σε άνεμο. Όταν επομένως γίνεται χρήση των μεθόδων αυτών στο ύπαιθρο, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία του ηλεκτρικού τόξου από τον άνεμο.

• **Συνολική ανάλυση κόστους.** Το συνολικό κόστος αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην εκλογή της κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης.

Πρέπει, επομένως να λαμβάνονται πάντα υπόψη τα ακόλουθα:

- α) Το κόστος εγκατάστασης και η αποτίμησή του.
- β) Το κόστος των υλικών
- γ) Η ταχύτητα παραγωγής και το απαιτούμενο εργατικό δυναμικό
- δ) Η πιθανότητα έμμεσης μείωσης του κόστους με απλοποίηση της διαδικασίας παραγωγής (πχ. Χρήση της μονόπλευρης συγκόλλησης με τη μέθοδο βυθισμένου τόξου).

5.2 Ταξινόμηση μηχανών συγκόλλησης τόξου

Οι μηχανές συγκόλλησης μπορούν να ταξινομηθούν είτε σύμφωνα με το είδος ρεύματος που παράγουν είτε σύμφωνα με τη μορφή της στατικής τους χαρακτηριστικής (καμπύλη τάσης-έντασης ρεύματος).

A) Ταξινόμηση σύμφωνα με το είδος ρεύματος

Με βάση το είδος του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγουν και διοχετεύουν στο τόξο, οι μηχανές συγκόλλησης διακρίνονται σε συνεχούς ρεύματος (direct current, DC) και εναλλασσόμενου ρεύματος (alternating current, AC).

Το συνεχές ρεύμα που απαιτείται για συγκόλληση μπορεί να προέρχεται από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που κινείται από κατάλληλη πηγή μηχανικής ενέργειας. Συνήθως η πηγή αυτή είναι ένας κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος συνδεδεμένος στο δίκτυο της πόλης. Ακολουθεί ένας δεύτερος τύπος μηχανής συνεχούς ρεύματος που ανορθώνει το εναλλασσόμενο ρεύμα από ένα μετασχηματιστή και έτσι παράγει συνεχές ρεύμα. Τέλος, ένας τρίτος τύπος συνδυάζει τον ανορθωτή με μια μηχανικά κινούμενη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος για παραγωγή συνεχούς ρεύματος συγκόλλησης.

Οι πιο συνηθισμένες μηχανές συγκόλλησης εναλλασσόμενου ρεύματος είναι απλοί μετασχηματιστές που δέχονται εναλλασσόμενο ρεύμα από το δίκτυο πόλης και το μετασχηματίζουν σε άλλο με τιμές κατάλληλες για συγκόλληση. Τέλος, εναλλασσόμενο ρεύμα συγκόλλησης μπορεί να παραχθεί και από γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

B) Ταξινόμηση σύμφωνα με τη χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-έντασης ρεύματος:

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

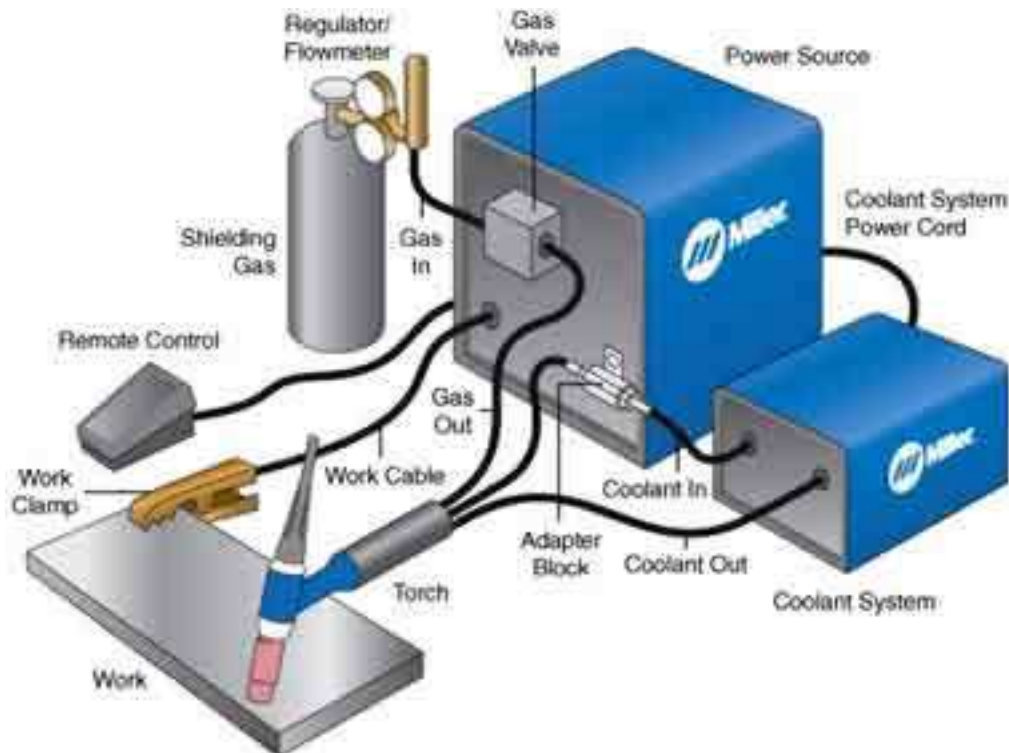
- α) Μηχανές σταθερού ρεύματος ή κατερχόμενου (constant current or drooping).
- β) Μηχανές σταθερής ή ανερχόμενης τάσης (constant voltage or increasing voltage).

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

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

Η μηχανή συγκόλλησης σταθερής τάσης ορίζεται ως εκείνη που παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης της τάσης τόξου και που διαθέτει στατική χαρακτηριστική τάσης-έντασης ρεύματος τέτοια που οδηγεί στην παραγωγή σχετικά σταθερής τάσης. Για δεδομένη τάση, η ένταση ρεύματος εξαρτάται από το ρυθμό τροφοδοσίας του τηκόμενου ηλεκτροδίου. Η μηχανή συγκόλλησης σταθερής τάσης χρησιμοποιείται συνήθως σε μεθόδους συγκόλλησης που παρέχουν συνεχή τροφοδοσία του ηλεκτροδίου (π.χ. GMAW, SAW).

5.3 Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (Gas Tungsten Arc welding, GTAW)



Βασική αρχή

Ο πυρήνας ενός φλόγιστρου συγκόλλησης είναι ένα μη αναλώσιμο ανθεκτικό ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Το τόξο θερμαίνει και λιώνει το υλικό. Όπως απαιτείται, ένα σύρμα πλήρωσης τροφοδοτείται με το χέρι ή με μια μονάδα τροφοδοσίας σύρματος. Σε πολλές περιπτώσεις, ένα στενό διάκενο δεν χρειάζεται πληρωτικό υλικό σε όλα, όταν συγκολλάται. Ανάφλεξη του ηλεκτροδίου γίνεται συνήθως χωρίς το ηλεκτρόδιο βολφραμίου να έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο εργασίας. Αυτό απαιτεί μια πηγή υψηλής τάσης που ενεργοποιείται προσωρινά κατά τη διάρκεια της ανάφλεξης. Για την πλειοψηφία των μετάλλων, η ίδια συγκόλληση πραγματοποιείται με τη χρήση συνεχούς ρεύματος. Το αλουμίνιο, εντούτοις, συγκολλάται χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενο ρεύμα.

Το ακροφύσιο για τη θωράκιση αερίου έχει τοποθετηθεί γύρω από το ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Το αέριο που ρέει έξω προστατεύει το θερμαινόμενο υλικό από χημικές αντιδράσεις με τον περιβάλλοντα αέρα, εξασφαλίζοντας έτσι την απαιτούμενη αντοχή και την αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης. Αδρανή αέρια όπως αργόν, ήλιο ή οι ενώσεις τους χρησιμοποιούνται ως προστατευτικά αέρια. Ακόμη και υδρογόνο χρησιμοποιείται περιστασιακά. Όλα αυτά τα αέρια είναι ανενεργά δηλαδή «αδρανή». Ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία συγκόλλησης βολφραμίου με αδρανές αέριο προστασίας (TIG) και προέρχεται από το είδος του προστατευτικού αερίου και του υλικού του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται.

Η πιο διαδεδομένη θωράκιση του φυσικού αερίου για την συγκόλληση TIG είναι με αργό. Βελτιστοποιεί τις ιδιότητες ανάφλεξης, καθώς και τη σταθερότητα του τόξου, και βοηθά να ληφθεί μία καλύτερη ζώνη καθαρισμού από το ήλιο. Αυτό με τη σειρά του εξασφαλίζει μια ιδιαίτερα ευρεία και βαθιά διείσδυση σύντηξης, χάρη στην θερμική αγωγιμότητά του, που είναι εννέα φορές μεγαλύτερη από εκείνη του αργού. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το αλουμίνιο, όπου ο σχηματισμός πόρων είναι λιγότερο έντονος. Επιπλέον, το υδρογόνο με ποσοστό που συχνά είναι μόνο 2 έως 5%, χρησιμοποιείται για ωστενιτικούς χάλυβες, ενώ το υπόλοιπο αποτελείται από αργόν. Η θερμική αγωγιμότητα του υδρογόνου είναι έντεκα φορές μεγαλύτερη από το αργό, που οδηγεί σε μια πολύ βαθιά διείσδυση σύντηξης.

Όταν στην συγκόλληση τα ανθεκτικά στη διάβρωση υλικά, για παράδειγμα ο ανοξείδωτος χάλυβας, τα θερμαινόμενα άκρα οξειδώνονται λόγω της επαφής με το οξυγόνο του αέρα, η οποία δεν μπορεί πάντα να αποφευχθεί εντελώς. Τα λεγόμενα χρώματα ανόπτησης εμφανίζονται. Αυτά μπορεί να απομακρυνθούν με νέες κατεργασίες, η οποία αποκαθιστά την αντίσταση στη διάβρωση. Είναι προτιμότερο, ωστόσο, να εμποδίσει τα χρώματα ανόπτησης από τη διαμόρφωση στην πρώτη θέση. Αυτό συμβαίνει με τη χρήση των αερίων που σχηματίζονται. Σχηματίζονται αέρια για να κρατήσουν τον αέρα μακριά από τα άκρα της ραφής συγκόλλησης και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και να επηρεάσουν το σχηματισμό της ρίζας της ραφής. Τα αέρια είναι κυρίως ενώσεις από υδρογόνο και άζωτο, χρησιμοποιείται επίσης και αργόν.

Εφαρμογή και πλεονεκτήματα

Η TIG συγκόλληση είναι μία ευέλικτη διαδικασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα συγκολλησίμα υλικά και εφαρμογές. Ο κύριος τομέας εφαρμογής είναι από ανοξείδωτο χάλυβα, αλουμίνιο και κράματα νικελίου. Το συμπυκνωμένο, σταθερό τόξο παρέχει υψηλής ποιότητας μέταλλο συγκόλλησης και μια ακόμη ραφή, χωρίς ψιχάλα ή σκουριές. Για εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις για την ποιότητα, για παράδειγμα, στην κατασκευή αγωγών αντιδραστήρα, η διαδικασία αυτή είναι η πρώτη επιλογή. Επιπλέον, η χρήση του μετάλλου πλήρωσης είναι περιττή. Για πάχη του φύλλου κάτω από 4 mm, μηχανοποιημένη τροφοδοσία σύρματος παράγει οικονομικές ταχύτητες συγκόλλησης.

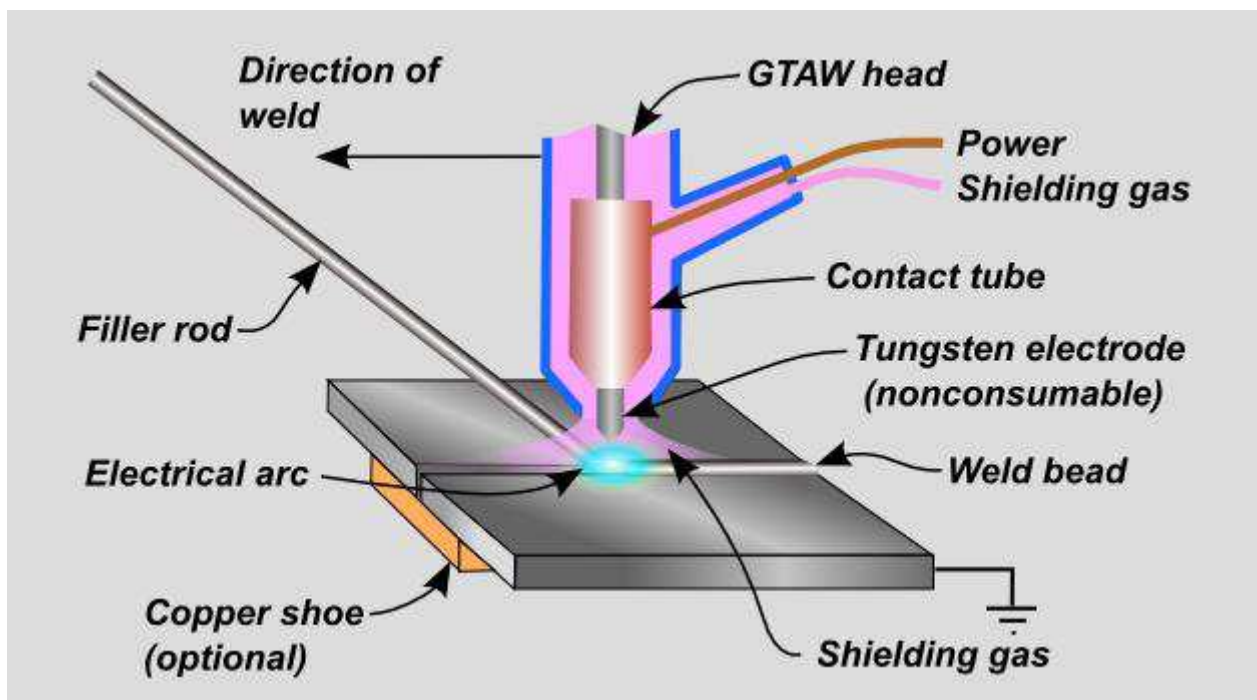
Μόνο η συγκόλληση των πιο παχιών φύλλων σημαίνει περιορισμένη αποτελεσματικότητα του κόστους, σύμφωνα με την οποία μόνο συγκόλληση του πάσου ρίζας συνιστάται. Συγκόλληση με γέμιση τρέχει καλύτερα με ισχυρές διαδικασίες, όπως η MIG / MAG ή βυθισμένο τόξο συγκόλλησης.

Για πολλές εφαρμογές, ένα παλμικό ρεύμα συγκόλλησης είναι χρήσιμο για την πρόληψη υπερβολικά εντατικής τήξης του μετάλλου βάσης. Για φύλλα μικρού πάχους, ιδίως, η συγκόλληση συσσώρευσης είναι ευκολότερο να επιτευχθεί, καθώς το μέταλλο τήκεται μόνο σε τμήματα και στη συνέχεια στερεοποιείται και πάλι.

Τεχνολογία των μηχανών

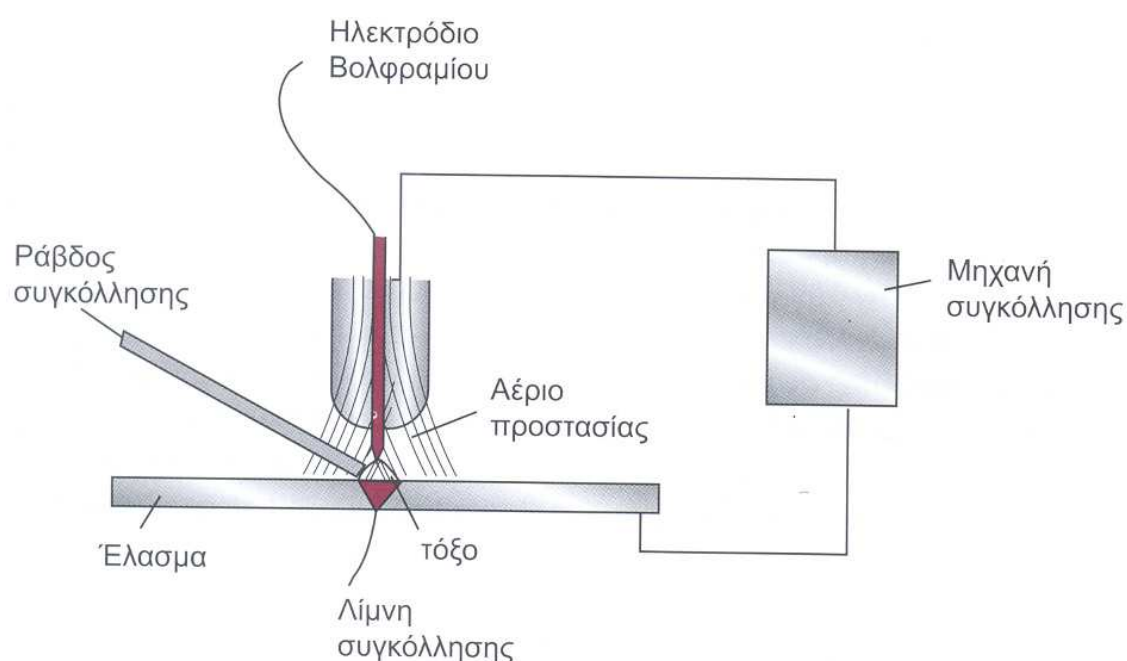
Ανεξάρτητα από το μήκος του τόξου, μια ιδανική πηγή ρεύματος TIG διαθέτει ένα σχεδόν σταθερό ρεύμα εξόδου. Συνεχής ρύθμιση του ρεύματος είναι επίσης απαραίτητη για όλα τα πάχη φύλλων, η οποία είναι ο λόγος για συμβατικές πηγές ενέργειας που διαθέτουν ανορθωτή προς το μετασχηματιστή συγκόλλησης. Ένα μειονέκτημα των μηχανών πηγών ισχύος είναι η χαμηλή απόδοση που οφείλεται σε ένα πολύ μεγάλο, απαραίτητο στραγγαλιστικό πηνίο εξόδου για την εξομάλυνση του ρεύματος συγκόλλησης.

Σύγχρονες πηγές ισχύος του μετατροπέα είναι απαλλαγμένες από αυτά τα μειονεκτήματα, και προσφέρουν το πρόσθετο πλεονέκτημα της ταχύτερης αντίδρασης σε αλλαγές στη διαδικασία συγκόλλησης. Μια παλμική τάση με μια πολύ υψηλότερη συχνότητα, παρά την τάση δικτύου, φτάνει στο μετασχηματιστή. Λόγω της υψηλής συχνότητας, αυτό έχει μια πολύ ελαφρύτερη, συμπαγής και αποτελεσματική σχεδίαση από τις πηγές ενέργειας. Η χαμηλή κυμάτωση ρεύματος του ρεύματος εξόδου του μετασχηματιστή σημαίνει ουσιαστικά πιο συμπαγή σχεδίαση, ή καμία ανάγκη για το στραγγαλιστικό πηνίο. Ο ανορθωτής απλά αποτελείται από την ανεξέλεγκτη δίοδο.



Υπάρχουν διάφοροι τύποι πιστολιών συγκόλλησης, ανάλογα με την επιθυμητή εφαρμογή. Από αυτά άλλα είναι υδρόψυκτα και άλλα αερόψυκτα, ενώ μερικά φέρουν και βαλβίδες για τη ρύθμιση της παροχής του αερίου προστασίας. Η τεχνική GTAW δίνει άριστες συγκολλήσεις. Ενδείκνυται για συγκόλληση σε μικρά και σε μεγάλα πάχη. Μηχανοποιημένη και αυτόματη χρησιμοποιείται για την κατασκευή σωλήνων από ανοξείδωτο χάλυβα με ραφή.

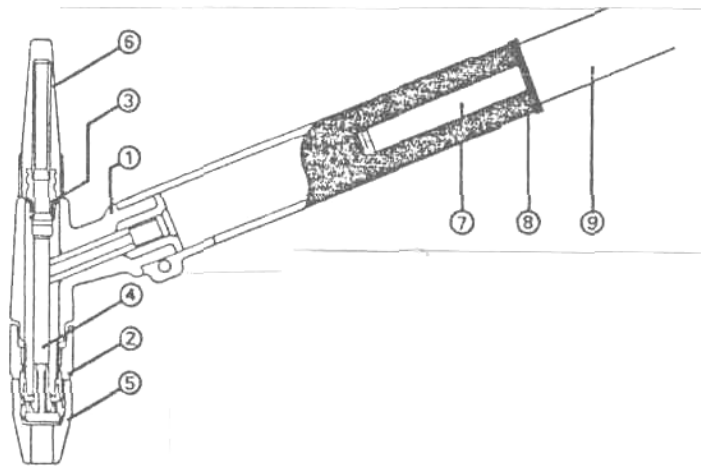
Προκειμένου η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. να είναι επιτυχής, πρέπει τα κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από ακαθαρσίες. Η κόλληση επιλέγεται από ενώσεις των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η συγκόλληση πραγματοποιείται χωρίς κόλληση και μόνο με την τήξη των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν.



Λαβίδες συγκόλλησης TIG

Η λαβίδα συγκρατεί το ηλεκτρόδιο/βολφραμίου με την βοήθεια του οποίου δημιουργείται το ηλεκτρικό τόξο, είναι ανθεκτική στην θερμότητα και φέρει μπουτόν για την έναυση ή παύση του τόξου.

Οι λαβίδες που ψύχονται με αέρα (αερόψυκτες) χρησιμοποιούνται σε πολύ λεπτά ελάσματα έως και 3mm πάχους με ένταση ρεύματος που δεν υπερβαίνει τα 150 A.



Το χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο εδώ έχει διάμετρο 1 έως 2 mm.

Τσιμπίδα TIG ψυχόμενη με αέρα

- 1) Περίβλημα
- 2) Στήριγμα ακροστομίου
- 3) Σύνδεσμος στεγανότητας
- 4) Πένσα που φέρει το ηλεκτρόδιο
- 5) Δυστηκτο ακροστόμιο
- 6) Ουρά
- 7) Λαβή
- 8) Διακόπτης
- 9) Διοχέτευση αργού/ ηλεκτρικού ρεύματος

Οι λαβίδες που ψύχονται με νερό (υδρόψυκτες) έχουν δυνατότητα συγκόλλησης ελασμάτων πάχους πάνω από 3 mm με ένταση ρεύματος 150-500 A και με διάμετρο ηλεκτροδίου έως και 6 mm. Για σωστή συγκόλληση και καλή διατήρηση της συσκευής πρέπει:

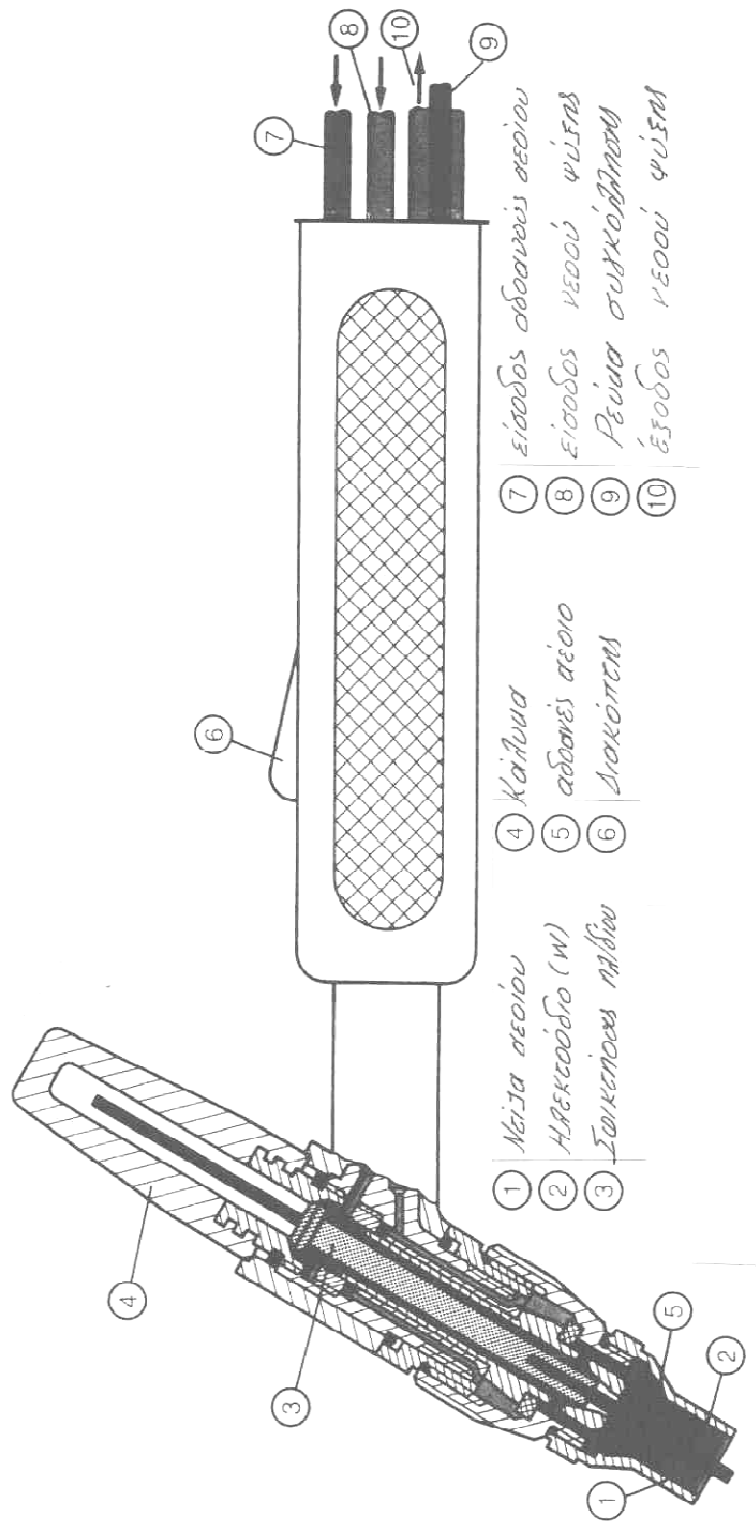
-Να μην συγκολλούμε όταν το ηλεκτρόδιο δεν είναι καλά συγκρατημένο στην λαβίδα.

-Να μην χρησιμοποιούμε ελαττωματικό σφηκτῆρα ηλεκτροδίου.

-Να χρησιμοποιούμε πάντα την κατάλληλη λαβίδα ανάλογα με την ένταση συγκόλλησης

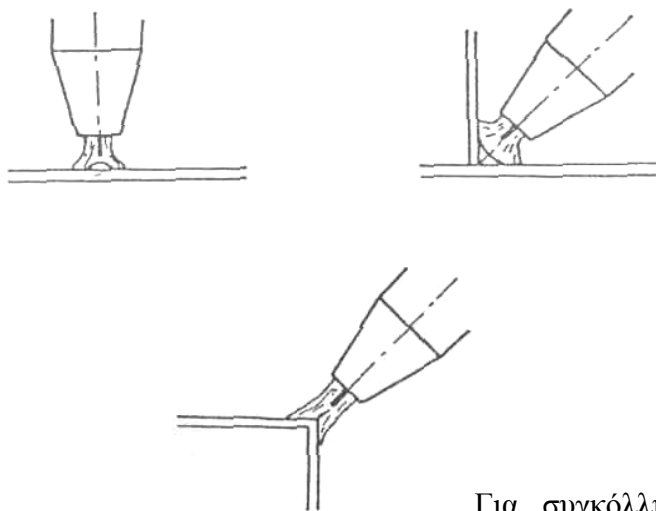
-Να βεβαιωνόμαστε ότι η παροχή του νερού στις υδρόψυκτες λαβίδες είναι κανονική (περίπου 0,5 lt/min)

Μοβίδα ΤΙΓ. (Υδροψυκτική)



Το στόμιο της λαβίδας

Για την παροχή του αερίου προστασίας στο σημείο συγκόλλησης η λαβίδα καταλήγει σ'ενα στόμιο (ακροφύσιο) το οποίο για λόγους αντοχής στην υψηλή θερμοκρασία του τόξου κατασκευάζεται από πυρίμαχο-κεραμικό υλικό. Σε μια σωστή συγκόλληση εκτός των άλλων παραμέτρων (διάμετρος ηλεκτροδίου, ένταση ρεύματος κ.λ.π.) είναι ανάγκη να επιλεγεί σωστά και η διάμετρος του στομίου.



Για συγκόλληση ελασμάτων πάχους έως 2 mm

Διάμετρος στομίου [mm]	Ένταση ρεύματος [A]
6 ή 9	70 και κάτω
9 ή 11	70-150
11 ή 13	150-250
13 ή 15	250-300



ΜΕΤΩΠΙΚΗ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ
Στόμιο μεγαλύτερο/μικρότερο των 11mm	Στόμιο μικρότερο των 9mm	Στόμιο των 9mm

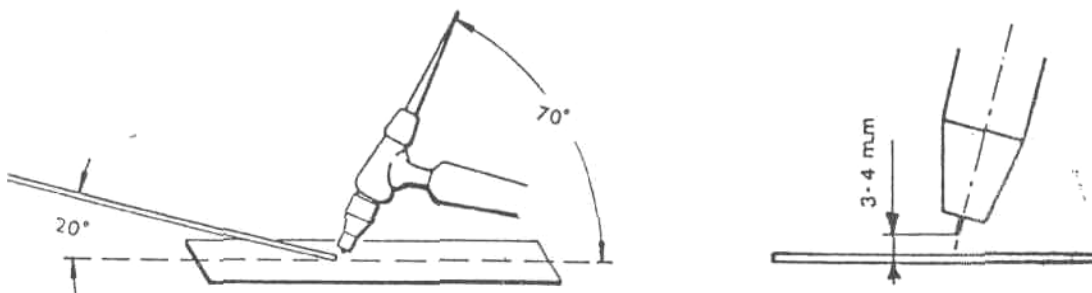
Συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων τυπου 18/8

Η συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων του τύπου 18% Cr -8%Ni με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια δεν παρουσίαζε βέβαια μεγάλη δυσκολία, όταν μάλιστα η επένδυση του ηλεκτροδίου περιείχε ρουτύλιο, τότε οι ραφές ήταν εμφανίσιμες και χωρίς επικαθήσεις (πιτσιλίσματα). Με την μέθοδο TIG η συγκόλληση γίνεται ακόμα πιο εύκολα και η χρήση Αργόν μας προσφέρει ραφή 100% ανοξείδωτη.

Η συγκόλληση TIG εκτελείται συνήθως σε λεπτά πάχη ελασμάτων δηλαδή από 0,6 - 3 mm. Πριν τη ραφή πρέπει να γίνεται σχολαστικός καθαρισμός για τυχόν λάδια ή γράσσα στα προς συγκόλληση κομμάτια. Εδώ χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα D.C. με τον αρνητικό πόλο στην λαβίδα.

Συγκόλληση Μετωπική

Γίνεται αφήνοντας μια απόσταση στα άκρα των κομματιών ίση με το 1/4 του πάχους τους περίπου. Επιτυχή ραφή έχουμε εφ' όσον προστατευθεί και η πίσω πλευρά της ραφής με κατάλληλη ιδιοσυσκευή έτσι ώστε να μην επιτραπεί η διείσδυση του ατμοσφαιρικού αέρα. Η θέση της λαβίδας και του συγκολλητικού υλικού είναι 75° και 15° αντίστοιχα.





Κατά το ξεκίνημα ο συγκολλητής πατάει ένα "μπουτόν" που βρίσκεται στη λαβίδα με αποτέλεσμα την εναύση του τόξου και την παροχή αερίου (καλό είναι να προηγείται το αέριο της εναύσης του τόξου κατά 2 sec περίπου). Η άκρη της βέργας του συγκολλητικού υλικού δεν θα πρέπει να βγαίνει από την ζώνη προστασίας του αερίου. Ακόμη πρέπει το ηλεκτρόδιο βολφραμίου να διατηρεί μια απόσταση 2-4 mm από την επιφάνεια των προς συγκόλληση κομματιών ώστε να μην κολλάει και μαυρίζει την ραφή.

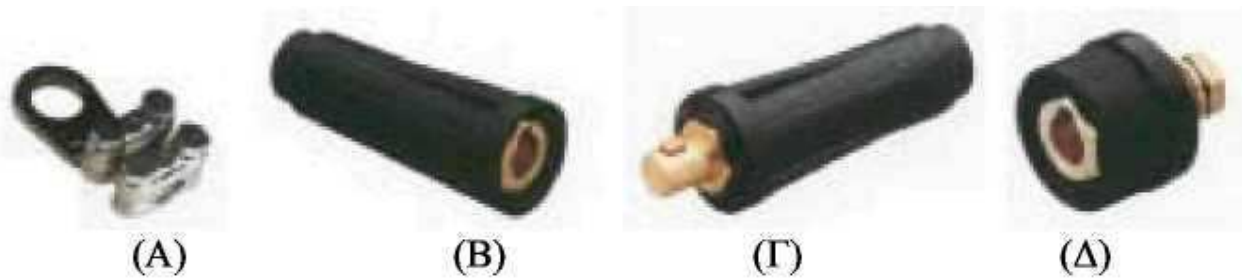
Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται χρήσιμα στοιχεία για μια μετωπική συγκόλληση.

Πάχος ελάσματος [mm]	Διάμετρος ηλεκτ./στομιου [mm]	Ένταση ρεύματος [A]	Διάμετρος βέργας [mm]
0.5	1.6	15-25	1.0
0.8	1.6	25-40	1.0
1.0	1.6	45-65	1.0
1.5	1.6	65-85	1.5
2.0	1.6	80-100	1.5
3.0	2.0	100-125	1.5

Η σύνδεση με τη μηχανή συγκόλλησης

Για να κλείσει το κύκλωμα του ηλεκτρικού ρεύματος, απαιτούνται δύο καλώδια, το ένα είναι το καλώδιο της γείωσης και το άλλο της τσιμπίδας. Από τη μία πλευρά τα καλώδια συνδέονται με τη μηχανή συγκόλλησης και από την άλλη το ένα συνδέεται με την τσιμπίδα και το άλλο με το μέταλλο βάσης.

Τα καλώδια συνδέονται με ταχυσυνδέσμους και με ακροδέκτες. Στο Σχήμα 1. βλέπουμε τέτοια εξαρτήματα. Πάνω στη μηχανή υπάρχουν δύο ταχυσυνδέσμοι, όπως ο (Δ), στους οποίους συνδέονται τα καλώδια με τον ακροδέκτη (Γ). Όταν χρειάζεται μεγαλύτερο μήκος καλωδίου, η ένωση θα πρέπει να γίνεται προσεκτικά και να είναι μονωμένη. Το καλύτερο είναι να γίνεται με αρσενικό-θηλυκό ταχυσυνδέσμους καλωδίων (B & Γ).



Σχήμα 1. Εξαρτήματα σύνδεσης καλωδίων: (Α) ακροδέκτες, (Β) ταχυσύνδεσμος καλωδίων θηλυκός, (Γ) ταχυσύνδεσμος καλωδίων αρσενικός, (Δ) ταχυσύνδεσμος μηχανής.

Η σύνδεση με το μέταλλο βάσης γίνεται με το «σώμα γείωσης». Δεν πρόκειται όμως για πραγματική γείωση, αφού πουθενά δεν υπάρχει απευθείας σύνδεση με τη γη. Πρόκειται απλά για το σημείο σύνδεσης με τον έναν από τους δύο αγωγούς του ηλεκτρικού ρεύματος, που έχει καθιερωθεί να ονομάζεται «γείωση». Η μορφή των σωμάτων γείωσης είναι η ίδια σε όλα τα είδη συγκόλλησης. Υπάρχουν ακόμη και τα σώματα γείωσης πάγκου, με τα οποία γειώνεται μόνιμα ένας μεταλλικός πάγκος εργασίας. Κάθε μεταλλικό αντικείμενο που είναι πάνω στον πάγκο βρίσκεται αυτόματα συνδεδεμένο με τη μηχανή της συγκόλλησης.

5.4 Ρεύμα συγκόλλησης

Οι χρησιμοποιούμενες μορφές του ηλεκτρικού ρεύματος

Σε κάθε μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης υπάρχουν δύο ηλεκτρικές τάσεις:

- Η τάση του δικτύου της ΔΕΗ ή **πρωτεύουσα τάση** και είναι εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα (AC). Σε μονοφασική μηχανή είναι 230 V και σε τριφασική 400 V.
- Η τάση εξόδου από τη μηχανή ή **δευτερεύουσα τάση, με την οποία εκτελείται η ηλε-κτροσυγκόλληση**. Όταν δεν εκτελείται ηλεκτροσυγκόλληση, είναι συνήθως 50-90 V.

Η δευτερεύουσα τάση μπορεί να είναι:

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

Τα ρεύματα DC και AC είναι γνωστά από το μάθημα της ηλεκτρολογίας. Θα περιγράψουμε εδώ μόνο το παλμικό ρεύμα. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στο σχήμα (5.4.1):

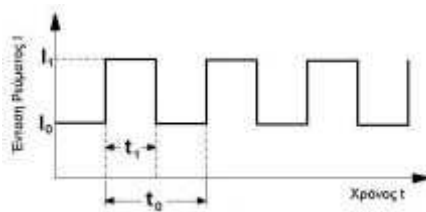
I_1 : Ένταση ρεύματος παλμού (η ρύθμιση του ρεύματος εξόδου της μηχανής)

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

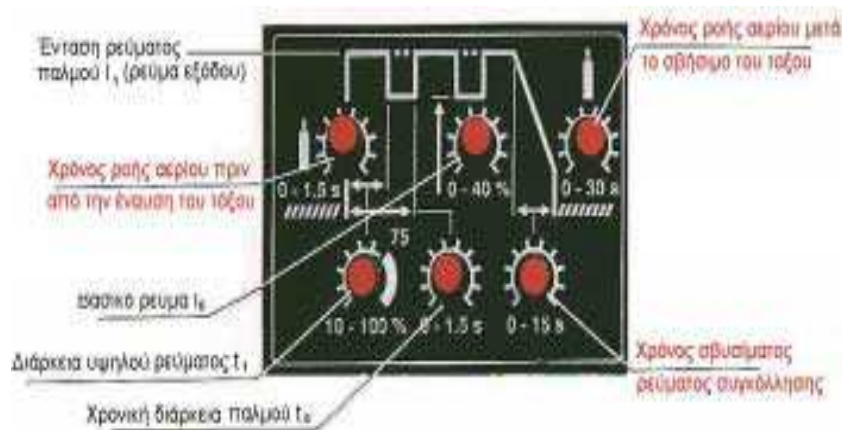
t_0 : Χρονική διάρκεια παλμού

t_1 : Χρονική διάρκεια της υψηλής έντασης του ρεύματος, συνήθως % του t_0

Στο σχήμα (5.4.2) φαίνονται τα παραπάνω στον πίνακα ελέγχου μιας μηχανής TIG.



Σχήμα (5.4.1): Χαρακτηριστικά παλμικού ηλεκτρικού ρεύματος



Σχήμα (5.4.2): Τμήμα από τον πίνακα ελέγχου μηχανής TIG. Διακρίνονται οι παράμετροι ρύθμισης του παλμικού ηλεκτρικού ρεύματος.

Πότε χρησιμοποιείται η κάθε μορφή ηλεκτρικού ρεύματος

Το κάθε είδος ηλεκτροσυγκόλλησης, καθώς και το κάθε ηλεκτρόδιο, απαιτεί το κατάλληλο είδος ηλεκτρικής παροχής. Οι κατασκευαστές αναλωσίμων υλικών ηλεκτροσυγκόλλησης (ηλεκτροδίων, συρμάτων κτλ.) αναφέρουν στη συσκευασία τις μορφές του ρεύματος που μπορούν να εφαρμοστούν. Ενδέχεται όμως ένα ηλεκτρόδιο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με περισσότερα από ένα είδη ηλεκτρικού ρεύματος και ο ηλεκτροσυγκολλητής πρέπει να έχει την απαραίτητη τεχνογνωσία για να κάνει τη σωστή επιλογή.

Σε βασικές γραμμές ισχύουν τα εξής:

(α) Επιλογή της κατάλληλης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος

- Το **συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα** είναι κατάλληλο για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις.
- Το **εναλλασσόμενο ρεύμα** χρησιμοποιείται κατά τη ΜΜΑ, όταν επιδιώκουμε **μεγάλη εναπόθεση μετάλλου** ή όταν η επένδυση των ηλεκτροδίων **περιέχει σιδηρόσκονη**.
- **Εναλλασσόμενο ρεύμα** χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που παρουσιαστεί **μα-γνητικό φύσημα** (θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο).
- **Παλμικό ρεύμα** χρησιμοποιείται στην TIG αλλά το συναντάμε και στη MIG/MAG.

(β) Επιλογή της πολικότητας, όταν έχουμε ρεύμα DC

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

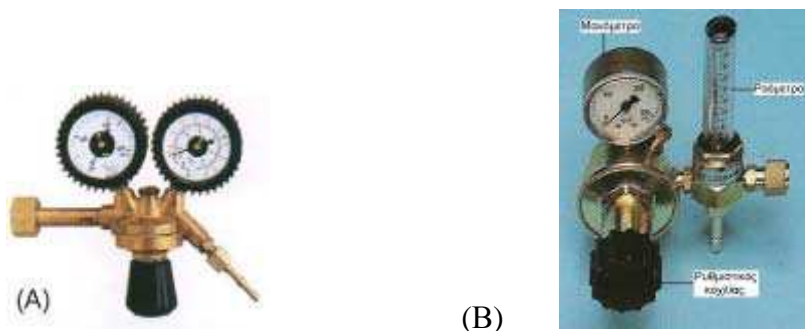
- Αν επιδιώκουμε μεγάλη τήξη στο μέταλλο βάσης με σκοπό την καλή ανάμειξη, τότε έχουμε το (+) στο μέταλλο βάσης και το (-) στο ηλεκτρόδιο. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται **κανονική** ή **άμεση** ή **αρνητική** πολικότητα. Οι περισσότερες συγκολλήσεις ανθρακού-χων χαλύβων ανήκουν σ. αυτή την κατηγορία. Συμβολίζεται ως **DCEN¹⁴** ή **DC-**.
- Αν θέλουμε να **μην** έχουμε έντονη ανάμειξη μετάλλου βάσης και μετάλλου ηλεκτροδίου, έχουμε το (-) στο μέταλλο βάσης και το (+) στο ηλεκτρόδιο. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται **αντίθετη** ή **θετική** πολικότητα. Τέτοια περίπτωση π.χ. είναι η αναγόμωση χαλύβων. Εφαρμόζεται, επίσης, όταν δε θέλουμε να περιοριστεί η ΖΕΘ (π.χ. ειδικοί χάλυβες), ή όταν επιδιώκεται μεγάλη εναπόθεση μετάλλου. Συμβολίζεται ως **DCEP¹⁵** ή **DC+**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Βιομηχανικά αέρια προστασίας συγκολλήσεων

6.1 Τα προστατευτικά αέρια

Ο πρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται για την προστασία με αέριο περιλαμβάνει τη φιάλη με το αέριο και ένα ρυθμιστή ροής της παροχής του αερίου. Τα προστατευτικά αέρια, στη συνέχεια, για συντομία, θα τα αποκαλούμε και με τον όρο «αέρια».



Σχήμα (6.1): Ρυθμιστής ροής αερίων: (Α) Με μανόμετρο υψηλής και χαμηλής πίεσης (Β) Με μανόμετρο υψηλής πίεσης και ροόμετρο

Τα αδρανή αέρια είναι το αργόν (Ar) και το ήλιο (He). Τα ενεργά αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) το οξυγόνο (O₂) και το σπανιότερα το άζωτο. Τα πλέον συνηθισμένα προστατευτικά αέρια είναι το αργόν και το CO₂. Το CO₂ είναι ενεργό, επειδή σε μεγάλες θερμοκρασίες διασπάται σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και σε οξυγόνο¹. Ενεργά αέρια είναι, επίσης, και οι συνδυασμοί αδρανών και ενεργών αερίων. Πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση αερίων με 75%-80% αργόν και 20-25% CO₂.

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

¹ Ελάχιστο είναι το ποσοστό του CO₂ που διασπάται, γι. αυτό το CO είναι σε ασήμαντη, ακίνδυνη περιεκτικότητα.



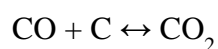
Επίσης, τα αέρια **σταθεροποιούν το τόξο και ρυθμίζουν το βάθος διείσδυσης**. Όπως αναπτύχθηκε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, αν θέλουμε βαθιά διείσδυση, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια κυτταρίνης και, αν θέλουμε πολύ σταθερό (μαλακό) τόξο, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια ρουτιλίου. Δηλαδή, παρόλο που ο μεταλλικός πυρήνας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

Τα αέρια επηρεάζουν τη συγκόλληση ως εξής:

- Το **CO₂** προκαλεί **βαθιά διείσδυση** και επιτρέπει τη **συγκόλληση σκουριασμένων επιφανειών**. Θα πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι έχει πολύ **χαμηλό κόστος**.
- Το **αργόν (Ar)** **περιορίζει στο ελάχιστο τα πιτσιλίσματα** και, έτσι, επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να έχει **μεγαλύτερη παραγωγικότητα**.
- Η **προσθήκη CO₂** στο αργόν **σταθεροποιεί το τόξο**.
- Η προσθήκη **μικρού ποσοστού οξυγόνου** στο αργόν (1-2%), επίσης, **σταθεροποιεί το τόξο και χρησιμοποιείται κυρίως στους ανοξείδωτους χάλυβες**.
- Η προσθήκη **ηλίου** στο αργόν **αυξάνει τη θερμοκρασία του τόξου και βελτιώνει τη διείσδυση**.

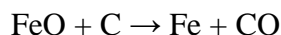
6.2 Η επίδραση του CO₂ και του οξυγόνου

Το CO₂ και το οξυγόνο είναι ενεργά αέρια και προκαλούν χημικές αντιδράσεις. Για να κά-νει ο ηλεκτροσυγκολλητής τη σωστή επιλογή του αερίου, πρέπει να γνωρίζει ποιες είναι αυτές οι αντιδράσεις και ποιες οι συνέπειές τους. Το CO₂, όπως ήδη αναφέρθηκε, διασπάται από το ηλεκτρικό τόξο σε CO και O. Η χημική αντίδραση, που λαμβάνει χώρα μεταξύ του CO και του άνθρακα που περιέχεται στο χάλυβα, είναι η:



Η αντίδραση αυτή, **όταν π(C) > 0,12%**, συμβαίνει από τα αριστερά προς τα δεξιά και **δημιουργεί μικρή απανθράκωση του χάλυβα** στο σημείο της ραφής, πράγμα μάλλον ευπρόσδεκτο, επειδή με αυτόν τον τρόπο η ραφή θα παρουσιάζει μικρότερη ευθραυστότητα.

Όταν όμως ο χάλυβας έχει μικρή περιεκτικότητα άνθρακα, δηλαδή $\pi(C) < 0,12\%$, η αντίδραση συμβαίνει από τα δεξιά προς τα αριστερά και προκαλεί **ενανθράκωση της ραφής**, που είναι **ιδιαίτερα επικίνδυνη στους ανοξειδωτους χάλυβες**, λόγω του σχηματισμού καρβιδίων του χρωμίου. Αυτά συγκεντρώνονται στα όρια των κόκκων και κάνουν τη ραφή εύθραυστη. Το οξυγόνο, που προέρχεται από τη διάσπαση του CO_2 , αντιδρά με το σίδηρο και σχηματίζει οξείδιο του σιδήρου (FeO). Αυτό είναι στερεό και εγκλωβίζεται στη μάζα του μετάλλου. Λίγο αργότερα αντιδρά με τον άνθρακα και έχουμε:



Το CO , που σχηματίζεται με αυτή την αντίδραση, δεν μπορεί να διαφύγει από την ημιστερεοποιημένη μάζα του μετάλλου **και δημιουργεί στη ραφή πόρους και εσωτερικές τάσεις**. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την **προσθήκη αποξειδωτικών** στο σύρμα ηλεκτροσυγκόλλησης, δηλαδή στοιχείων που έχουν μεγαλύτερη χημική συγγένεια με το οξυγόνο από ό,τι ο σίδηρος και ο άνθρακας. Ως αποξειδωτικά, συνήθως, χρησιμοποιούνται το μαγγάνιο (Mn), το πυρίτιο (Si) και, σπανιότερα, το αλουμίνιο (Al). Τα στοιχεία αυτά δημιουργούν σταθερά οξείδια τα οποία δε διασπώνται από τον άνθρακα και, έτσι, δεσμεύουν μόνιμα το οξυγόνο.

Λόγω του προβλήματος της ενανθράκωσης της ραφής, **κατά τη συγκόλληση των ανοξειδωτων χάλυβων, ως σταθεροποιητής του τόξου χρησιμοποιείται το οξυγόνο**, σε πολύ μικρό ποσοστό, συνήθως όχι άνω του 3%, δηλαδή το αέριο είναι $Ar+1-3\%O_2$. Αν στο σύρμα υπάρχουν αποξειδωτικά (Mn , Si , Al), τότε αυτά δεσμεύουν τη μικρή αυτή ποσότητα οξυγόνου και έτσι δε δημιουργείται απανθράκωση στη ραφή. Ορισμένοι κατασκευαστές αναφέρουν ως εναλλακτική λύση και την $Ar+3\%CO_2$

6.3 Ο συμβολισμός και οι εφαρμογές των προστατευτικών αδρανών αερίων

Αν και τα αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη MIG/MAG είναι πολλά, αυτά που έχουν ευρεία χρήση είναι τα εξής τέσσερα: Αργόν (Ar), Ήλιο (He), CO_2 , $Ar + 20-25\% CO_2$ και $Ar + 1-3\% O_2$. Το καθένα από τα μείγματα έχει συγκεκριμένο συμβολισμό, όπως φαίνεται και στον πίνακα (9-2). Το ISO-14175 περιγράφει όλα γενικά τα αέρια των ηλεκτροσυγκολλήσεων και με βάση αυτό, με το .I. συμβολίζονται τα αδρανή αέρια, με το .C. τα μείγματα του CO_2 και με το .M. τα ενεργά μείγματα που βασίζονται στο Ar . Στο ISO-14341, το οποίο αναφέρεται στα σύρματα ηλεκτροσυγκόλλησης, οι συμβολισμοί των C1, M13, M21 απλοποιούνται αντίστοιχα σε C, A, M και με αυτά τα σύμβολα υπεισέρχονται στην περιγραφή των συρμάτων. Τα αέρια Ar , He και $Ar+He$ (δηλαδή τα I1, I2, I3) δε χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση χάλυβων με MIG/MAG.

Πίνακας (6-2): Συμβολισμός των προστατευτικών αερίων

Αέριο	ISO-14175	ISO-14341
Ar	I1	-
He	I2	-
Ar+He	I3	-
CO_2	C1	C
$Ar+1-3\%O_2$	M13	A
$Ar+20-25\% CO_2$	M21	M

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

- Στην **TIG** χρησιμοποιείται **σχεδόν αποκλειστικά το Ar**, ανεξάρτητα από το είδος του μετάλλου βάσης. Σε μερικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μείγμα του Ar με το He.
- Στις **συγκολλήσεις αλουμινίου**, είτε πρόκειται για TIG είτε για MIG, χρησιμοποιείται, επίσης, **σχεδόν αποκλειστικά το Ar** και σε μερικές εφαρμογές το μείγμα Ar με He.
- Στις συγκολλήσεις **ανοξειδωτων χαλύβων χρησιμοποιείται το Ar+1-3% O₂** (συνήθως όμως το O₂ δεν υπερβαίνει το 2%). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί Ar+3%CO₂.
- Στις συγκολλήσεις **MIG/MAG ή FCAW, των ανθρακούχων χαλύβων ή των ελαφρά κραματικών χαλύβων**, όταν επιδιώκουμε να έχουμε **βαθιά διείσδυση, χρησιμοποιείται το CO₂**. Για ομαλή συγκόλληση με πολύ **σταθερό τόξο**, με καλή εμφάνιση και με ελάχιστα πιτσιλίσματα, **προτιμότερο είναι ένα μείγμα του Ar με 20-25% CO₂ ή με 1-3% O₂**. **Δε χρησιμοποιείται καθαρό Ar**, επειδή η συγκόλληση αυτών των χαλύβων απαιτεί την παρουσία και κάποιας ποσότητας ενεργού αερίου.

Παρατήρηση: Η επιλογή του αερίου στους ανθρακούχους και ελαφρά κραματικούς χάλυβες, στην περίπτωση της MIG/MAG θυμίζει την αντίστοιχη επιλογή του είδους των επενδυμένων ηλεκτροδίων (κυτταρίνης ή ρουτιλίου). Όμως, όπως θα δούμε, υπάρχουν και άλλα κριτήρια για τη σωστή επιλογή.

Όσον αφορά τη χρήση κάποιου σύρματος ηλεκτροσυγκόλλησης, με αέριο διαφορετικό από το κανονικά προβλεπόμενο, ως γενικοί κανόνες ισχύουν οι εξής:

- Τα σύρματα για τα οποία προβλέπεται η χρήση τους μόνο με Ar ή μόνο με Ar+1-3% O₂, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κανένα άλλο αέριο.
- Οι περιπτώσεις των συρμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με το CO₂ και δεν επιδέχονται κανένα άλλο αέριο είναι ελάχιστες.
- Τα σύρματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με CO₂ συνήθως λειτουργούν καλά και με μείγμα Ar με 20-25% CO₂ ή με 1-3% O₂. Να αποφεύγεται όμως το καθαρό Ar.
- Τα σύρματα που προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν με Ar+20-25% CO₂, συνήθως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με Ar+1-3% O₂. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν με CO₂, ενώ πρέπει να αποφεύγεται το καθαρό Ar.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Υλικά εναπόθεσης της μεθόδου και τυποποίησή τους

7.1 Τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια της TIG

(α) Η τυποποίηση των ηλεκτροδίων

Τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στην TIG είναι τυποποιημένα σύμφωνα με το ISO-6848 (έκδοση 1984) και με το AWS A5.12. **Αποτελούνται είτε από καθαρό βολφράμιο (W) ή περιέχουν βολφράμιο και κάποια μικρή πρόσμιξη άλλου υλικού.** Στον πίνακα (7.2), βλέπουμε τα περισσότερα χρήσιμα είδη των μη αναλωσίμων ηλεκτροδίων. Τα πλέον διαδεδομένα είναι τα πέντε πρώτα (WP, WT20, EWLa-1.5, WC20, WZ3). Τα ηλεκτρόδια υπάρχουν σε τυποποιημένα μήκη 50, 75, 150 και 175 mm.

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε:

(α) καθαρού βολφραμίου (EWP)

(β) βολφραμίου με 1-2% θόριο (EWTh-1, EWTh-2)

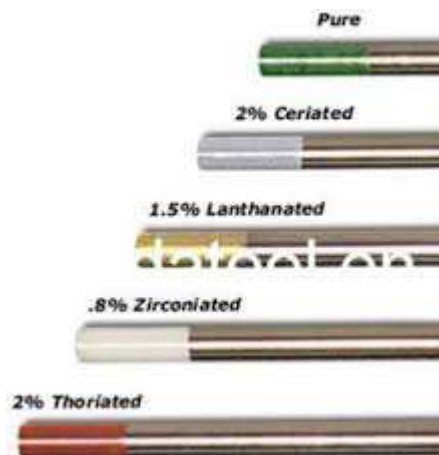
(γ) βολφραμίου με 0,15-0,40% ζirkόνιο (EWZr)

(δ) καθαρού βολφραμίου με εξωτερικό λεπτό κέλυφος από κράμα βολφραμίου και 1-2% θορίου (EWTh-3)

Τα τελευταία παρουσιάζουν μεγαλύτερη εκπομπή ηλεκτρονίων, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη αντίσταση σε απορρόφηση ακαθαρσιών από το περιβάλλον. Ακόμη με τα ηλεκτρόδια αυτά είναι πιο εύκολο το άναμμα του τόξου, ενώ και το ίδιο το τόξο είναι σταθερότερο.

Όλα τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια είναι χρωματισμένα στο άκρο τους και, **ανάλογα με το χρώμα, καταλαβαίνουμε τη χημική τους σύσταση.** Στο σχήμα (7.1), φαίνεται ο τρόπος σήμανσης και η συσκευασία των ηλεκτροδίων. Θεωρούνται ως μη αναλώσιμα, αλλά στην πραγματικότητα έχουν και αυτά μία πολύ μικρή φθορά. Το σωστότερο θα ήταν να τα ονομάζαμε «ελάχιστα αναλώσιμα ηλεκτρόδια».

⁹ Η αγγλική ονομασία του είναι wolfram αλλά παλαιότερα ονομάζονταν tungsten. Η παλιά ονομασία έχει επικρατήσει στα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια της TIG.



Σχήμα (7.1): Ο χρωματικός κώδικας των ηλεκτροδίων βολφραμίου

Tungsten Electrode Selection Chart

Tig Mode	Tungsten Type	Colour
AC	Pure	Green
DC or AC/DC	Ceriated 2%	Grey
DC or AC/DC	Lanthanated 1%	Black
DC or AC/DC	Lanthanated 1.5%	Gold
DC or AC/DC	Lanthanated 2%	Blue
DC	Thoriated 1%	Yellow
DC	Thoriated 2%	Red
AC	Zirconiated 1%	White

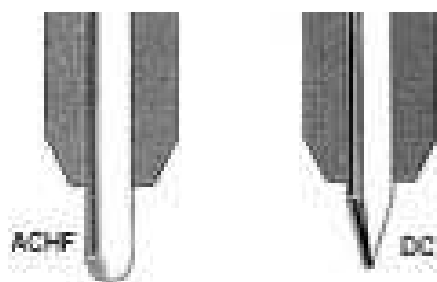
Tungsten Electrode Composition						
Designation	Composition				Color Mark	Standards
	Dioxide	Dioxide In %	Impurities %	Tungsten %		
WP			≤ 0.20	99.8	Green	ISO 6848 AWS A5.12
WC20	CeO ₂	1.80~2.20	≤ 0.20	Remainder	Grey	
WL10	La ₂ O ₃	0.80~1.20	≤ 0.20	Remainder	Black	
WL15	La ₂ O ₃	1.40~1.60	≤ 0.20	Remainder	Gold	
WL20	La ₂ O ₃	1.90~2.10	≤ 0.20	Remainder	Blue	
WZr3	ZrO ₂	0.20~0.40	≤ 0.20	Remainder	Brown	
WZr8	ZrO ₂	0.70~0.90	≤ 0.20	Remainder	White	
WY20	YO ₂	1.80~2.20	≤ 0.20	Remainder	Sky Blue	
WT20	ThO ₂	1.70~2.20	≤ 0.20	Remainder	Red	

Οι συνιστώμενες εντάσεις του ηλεκτρικού ρεύματος φαίνονται στον πίνακα (7.3). Παρατηρούμε ότι τα ηλεκτρόδια με οξείδιο (π.χ. το WT20), τα οποία μάλιστα συμβαίνει να είναι πολύ χαμηλότερου κόστους από τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου (WP), έχουν ικανότητα χειρισμού μεγαλύτερων εντάσεων ρεύματος. Γι. αυτό και η χρήση των ηλεκτροδίων WP είναι πολύ περιορισμένη και χρησιμοποιούνται μόνο στο αλουμίνιο, λόγω άλλων ιδιοτήτων που παρουσιάζουν. Σημασία, ακόμη, έχει και ο τρόπος διαμόρφωσης του άκρου των ηλεκτροδίων που πρέπει να είναι όπως βλέπουμε στο σχήμα (7.4).

Πίνακας (7.3): Οι εντάσεις ρεύματος στα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια (σε Α)

Διάμετρο ς ηλε- κτροδίου (mm)	Ρεύμα DC- (συγκόλληση χαλύβων)		Ρεύμα ACHF (συγκόλληση αλουμινίου)	
	Καθαρό Βολφράμιο	Με οξείδιο	Καθαρό Βολφράμιο	Με οξείδιο
0,5	2-20	2-20	2-15	2-15
1,0	10-75	10-75	15-55	15-70
1,6	40-130	60-150	45-90	60-125
2,0	75-180	100-200	65-125	85-160
2,4	130-230	170-250	80-140	120-210
3,2	160-310	225-330	150-190	150-250

Με το ανάστροφο ρεύμα DC+, η ικανότητα των ηλεκτροδίων περιορίζεται σε πολύ χαμηλές τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος. Π.χ. ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,6 mm, το οποίο για DC- είναι κατάλληλο για ρεύμα 60-150 Α, με DC+ είναι κατάλληλο μόλις 10-20 Α.



Σχήμα (7.4): Η διαμόρφωση του άκρου στα ηλεκτρόδια βολφραμίου

(β) Ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται με ρεύμα DC- (στους χάλυβες)

Το πλέον χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο είναι το WT20, δηλαδή αυτό με την κόκκινη σήμανση (με 2% ThO₂). Όμως το θόριο (Th) είναι ελαφρά ραδιενεργό και η σκόνη του, από το τροχίσμα, δεν πρέπει να αναπνέεται. Εναλλακτική λύση είναι το ηλεκτρόδιο WC20 (με 2% CeO₂) με την γκρι σήμανση (κατά ISO) ή την πορτοκαλί (κατά AWS), επειδή δεν είναι ραδιενεργό, υστερεί όμως σε επιδόσεις έναντι του WT20. Πρόσφατα ανακαλύφθηκε το ηλεκτρόδιο EWLa-1.5 (χρυσή σήμανση, κατά AWS) το οποίο έχει σχεδόν το ίδιο καλές επιδόσεις με το WT20, αλλά χωρίς να περιέχει ραδιενεργό υλικό. Έχει ενσωματωθεί στην τυποποίηση κατά AWS, αλλά δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί στην τυποποίηση κατά ISO. Αν ενσωματωθεί, η ονομασία του αναμένεται ότι θα είναι WL15 (επειδή με 1% LaO₂ συμβολίζεται WL10).

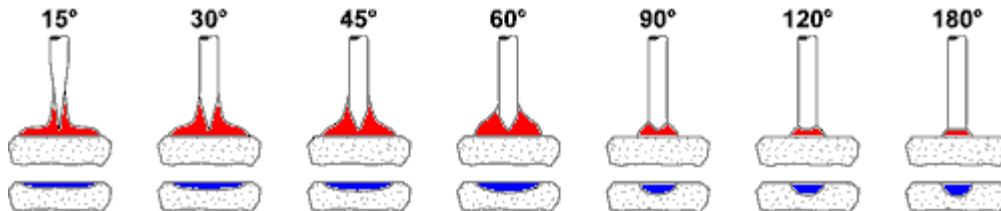
Για τη συγκόλληση με ρεύμα DC το ηλεκτρόδιο πρέπει να διαθέτει τροχισμένο κωνικό άκρο, όπως φαίνεται στο σχήμα (7.4). Το μήκος του κώνου συνήθως είναι 1,25-2 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο και αυτό το μήκος αντιστοιχεί σε γωνία κώνου περίπου 30-45°. Για ρεύματα μέχρι 90 A, μπορούμε να έχουμε πιο αιχμηρά ηλεκτρόδια, με γωνία 20-30°. Χρειάζεται όμως προσοχή στον τρόπο που τα τροχίζουμε, διότι οι γραμμές του τροχού πρέπει να είναι κατά τη διεύθυνση του άξονα και ουδέποτε κάθετα προς αυτόν. Αν είναι κάθετα, δε θα υπάρχει σταθερότητα στη θέση του τόξου (αλλάζει θέσεις κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης). Ο σωστός τρόπος τροχίσματος του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου φαίνεται στο σχήμα (7.5).



Σχήμα (7.5): Ο τρόπος που τροχίζεται το μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο για το σχηματισμό της αιχμής.

Το τρόχισμα πρέπει να γίνεται με σκληρό τροχό (π.χ. με διαμαντοτροχό), επειδή το βολφράμιο είναι πολύ σκληρό. Συχνά χρησιμοποιούνται ειδικά τροχιστικά μηχανήματα, στα οποία ο τροχός είναι κλεισμένος σε διαφανές κάλυμμα. Επίσης, **δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται τροχοί που έχουν τροχίσει οτιδήποτε άλλο εκτός από βολφράμιο**, επειδή, αν μολυνθεί το βολφράμιο με ξένες ουσίες, πέφτει πολύ η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Για τον ίδιο λόγο, **οι τροχοί πρέπει να διατηρούνται σε κλειστό χώρο, απομονωμένοι από το περιβάλλον του συνεργείου**, για να μην επικάθονται σκόνες στην επιφάνειά τους, που μολύνουν τα ηλεκτρόδια κατά το τρόχισμα. Αυτός είναι ένας επιπλέον λόγος για τη χρήση των ειδικών τροχιστικών μηχανημάτων για τα ηλεκτρόδια βολφραμίου.

Η διαμόρφωση των ηλεκτροδίων με ειδικό τροχό έχει το πλεονέκτημα ότι **δεν αφήνει τα μέρια του βολφραμίου να περιφέρονται στην ατμόσφαιρα**. Ακόμη πιο σοβαρό είναι το πρόβλημα, **όταν υπάρχει και θόριο**, επειδή, όπως αναφέραμε, αυτό το υλικό είναι ραδιενεργό. Σε περίπτωση όμως που δε χρησιμοποιούνται ειδικά τροχιστικά μηχανήματα, **το τρόχισμα θα πρέπει να γίνεται φορώντας μάσκα** και, αφού αλλάξουμε τον τροχό και βάλουμε στη θέση του τον ειδικό τροχό που τον διατηρούμε καθαρό μόνο για τα ηλεκτρόδια βολφραμίου. Εναλλακτική λύση είναι να παραγγέλλονται έτοιμα, τροχισμένα ηλεκτρόδια (και από τις δύο μεριές) και τα χρησιμοποιημένα να αποστέλλονται για τρόχισμα.

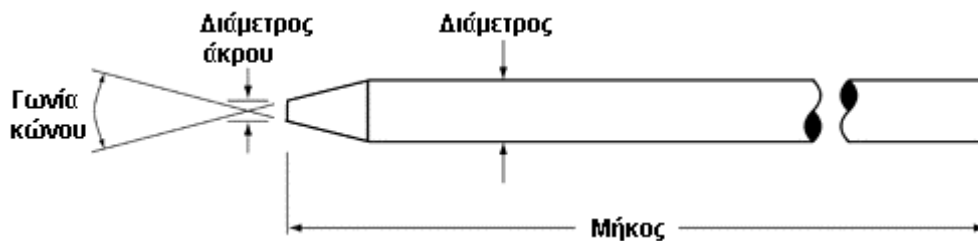


Σχήμα (7.6): Η διείσδυση, η μορφή της ραφής και η μορφή του τόξου ανάλογα με τη γωνία του κώνου του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου

Όπως φαίνεται και στο σχήμα (7.6), ανάλογα με τη διείσδυση που θέλουμε να επιτύχουμε, επιδιώκουμε μεγαλύτερη ή μικρότερη γωνία. **Το άκρο του ηλεκτροδίου του όμως δε θα πρέπει να έχει πάντοτε αιχμή, επειδή το μόνο που αυτή προσφέρει είναι η ευκολία ανάματος του τόξου**. Ο τρόπος προετοιμασίας του άκρου του ηλεκτροδίου έχει μεγάλη σημασία για τις ιδιότητές του και τη μορφή της ραφής, όπως φαίνεται στον πίνακα (7.7).

Πίνακας (7.7): Οδηγίες για τη σωστή διαμόρφωση του άκρου του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου TIG

Σημείο σύγκρισης	Διαμόρφωση του άκρου			Γωνία του κώνου	
	Αιχμηρό	Πλατύ	Μικρή	Μικρή	Μεγάλη
Έναυση		Εύκολη	Δύσκολη	Εύκολη	Δύσκολη
Σταθερότητα του τόξου		Μικρή	Μεγάλη	Μικρή	Μεγάλη
Διείσδυση		Ρηχή	Βαθιά	Ρηχή	Βαθιά
Διάρκεια ζωής		Μικρή	Μεγάλη	Μικρή	Μεγάλη
Κατάλληλο για ένταση ρεύματος		-	-	Μικρή	Μεγάλη
Μορφή του τόξου		-	-	Πλατύ	Στενό
Προτεινόμενη τιμή	αρχική	[Ρεύμα συγκόλλησης σε A] / 200 (mm) Π.χ. για ρεύμα 100 A: Διάμετρος άκρου=100/200=0,5 mm		Οποιαδήποτε μεταξύ 14° και 60° Μέχρι 90 A προτείνεται: 20-30° Για άνω των 90 A: 30-45°	



(γ) Ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται με το ρεύμα ACHF (με αλουμίνιο)

Το ηλεκτρόδιο **καθαρού βολφραμίου** χρησιμοποιείται κυρίως στις συγκολλήσεις αλουμινίου **με ρεύμα ACHF**. Σε ισχυρά μόνο ρεύματα χρησιμοποιείται το ηλεκτρόδιο του ζirkονίου, επειδή, όπως βλέπουμε και από τον πίνακα (7.6), τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου, με ρεύμα ACHF, παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή. Με την εισαγωγή στην τεχνολογία των συγκολλήσεων του ηλεκτροδίου με 1,5% LaO₂, άρχισε να χρησιμοποιείται και το EWLa-1.5, το οποίο φαίνεται να έχει καλή συμπεριφορά και στις ηλεκτροσυγκολλήσεις αλουμινίου. Τα ηλεκτρόδια που προορίζονται για συγκόλληση με ACHF πρέπει να είναι στρογγυλεμένα στην άκρη τους. Δεν υπάρχει θέμα τροχίσματος του ηλεκτροδίου, καθ' όσον αυτή η στρογγυλή μορφή διατηρείται και κατά τη φάση της συγκόλλησης.

(δ) Η συμπεριφορά των μη αναλώσιμων ηλεκτροδίων κατά την ηλεκτροσυγκόλληση

Η μεταφορά βολφραμίου από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό συγκόλλησης είναι επιβλαβής και, αν τυχόν αποσπαστούν μικρά τεμάχια και πέσουν στο λουτρό συγκόλλησης, αυτά θα πρέπει να αφαιρεθούν.

Παρ. όλων που το βολφράμιο είναι το πλέον δύστηκτο υλικό που υπάρχει, με σημείο τήξης 3410°C, η υψηλή θερμοκρασία του τόξου τήκει το άκρο του ηλεκτροδίου και σχηματίζει ένα σφαιρίδιο. Αυτό είναι πολύ μικρότερο από τη διάμετρο του ηλεκτροδίου στο ρεύμα DC- αλλά μεγαλύτερο από τη διάμετρο στο ACHF.

Το λιωμένο σφαιρίδιο στο άκρο του ηλεκτροδίου σταθεροποιεί το τόξο. Το βολφράμιο εξαερώνεται στους 5920°C και οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, κατά την ηλεκτροσυγκόλληση, δεν επαρκούν να το εξαερώσουν. Το αποτέλεσμα είναι το ηλεκτρόδιο να φθείρεται ελάχιστα, ώστε να μπορεί να θεωρείται ως μη αναλώσιμο. Αν οι διαστάσεις του σχηματιζόμενου σφαιριδίου είναι υπερβολικές, σημαίνει ότι η εκτελούμενη ηλεκτροσυγκόλληση απαιτεί μεγαλύτερης διαμέτρου ηλεκτρόδιο.

7.2 Η τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων και των ράβδων κατά AWS

(α) Συμπαγή σύρματα και ράβδοι για ανθρακούχους και ελαφρά κραματικούς χάλυβες

Όπως συμβαίνει και με τα επενδυμένα ηλεκτρόδια, η τυποποίηση στο σύστημα AWS ακολουθεί πολύ απλούς κανόνες. Συγκεκριμένα, με βάση το AWS-A5.18 έχουμε:

- ER70S είναι το σύρμα ηλεκτροσυγκόλλησης με αντοχή 70.000 psi. Η αντοχή αυτή αντιστοιχεί στο SI με 490 MPa, δηλαδή **πολλαπλασιάζουμε το 70 με το 7**. Αντίστοιχα, μπορεί να συναντήσουμε τα ER80S, ER90S κτλ. Το S υποδηλώνει συμπαγές σύρμα (ε-νώ το T, που θα συναντήσουμε αργότερα, σημαίνει σωληνωτό σύρμα).

• Η ίδια ονομασία χρησιμοποιείται, όταν το υλικό είναι σε ράβδους για TIG.

Παρατήρηση: Ο συμβολισμός ER υποδηλώνει υλικό που είναι κατάλληλο για να παραχθεί, τόσο υπό μορφή ηλεκτροδίου (σύρματος) για MIG/MAG όσο και υπό μορφή ράβδου για TIG. Αν το υλικό είναι κα-τάλληλο μόνο για σύρμα, τότε χρησιμοποιείται το E (όπως συμβαίνει με τα σωληνωτά σύρματα που θα δούμε παρακάτω), ενώ, αν είναι κατάλληλο μόνο για ράβδο, χρησιμοποιείται το R¹¹.

Τον παραπάνω συμβολισμό ακολουθεί ένας αριθμός π.χ. ER70S.6. Όταν υπάρχουν και μικρές προσμίξεις άλλων μετάλλων (ελαφρά κραματικοί χάλυβες), ακολουθεί ένα γράμμα με έναν αριθμό, π.χ. ER70S.B2. Οι συμβολισμοί αυτοί έχουν σχέση με τη χημική σύσταση του εναποτιθέμενου μετάλλου και βρίσκεται από τους πίνακες που περιέχονται στο πρότυπο.

Συνήθως, τα σύρματα των ανθρακούχων και των ελαφρά κραματικών χαλύβων έχουν επικάλυψη χαλκού για την προστασία τους από τη σκουριά. Αυτή είναι εξαιρετικά λεπτού πάχους, (ελάχιστα μm) και αποτελεί αμελητέα ποσότητα στη χημική τους σύσταση, η οποία ουδόλως επηρεάζει τις ιδιότητές τους.

¹¹ Ο συμβολισμός ER προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Electrode or Rod (= ηλεκτρόδιο ή ράβδος) και το R προέρχεται από το Rod (=ράβδος).

Στην πράξη τα πλέον συνηθισμένα υλικά είναι:

- Το ER70S-6, σε συμπαγές σύρμα που χρησιμοποιείται σε ανθρακούχους χάλυβες.
- Το ER70S-3, σε ράβδους για ηλεκτροσυγκόλληση των ανθρακούχων χαλύβων με TIG. Απαιτεί καθαρή επιφάνεια χωρίς σκουριές.

Η διαφορά των ER70S-6 και ER70S-3: Το πρώτο έχει $\pi(\text{Mn})=1,5\%$ και $\pi(\text{Si})=1\%$, ενώ το δεύτερο έχει $\pi(\text{Mn})=1\%$ και $\pi(\text{Si})=0,5\%$, δηλαδή μικρότερη περιεκτικότητα σε αποξειδωτικές ουσίες. Υπενθυμίζου-με, επίσης, ότι το Mn δεσμεύει και το S και γι. αυτό υπάρχει πάντα στα ηλεκτρόδια και τις ράβδους.

- Στους ελαφρά κραματικούς χάλυβες χρησιμοποιούνται υλικά όπως τα ER80S-B2, ER70S.A1, ER80S.D2, ER90S-B3. Τα υλικά αυτά διατίθενται τόσο σε σύρμα για τη MIG/MAG όσο και σε ράβδους για την TIG.

Επεξήγηση: Το γράμμα A υπονοεί μικρή $\pi(\text{Mo})$, το B μικρή $\pi(\text{Cr}) + \pi(\text{Mo})$ και το D μικρή $\pi(\text{Mn}) + \pi(\text{Mo})$. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός που ακολουθεί, τόσο αυξάνεται η περιεκτικότητα. Π.χ. το B2 έχει $\pi(\text{Cr})=1,25\%$ και $\pi(\text{Mo})=0,5\%$, ενώ το B3 έχει $\pi(\text{Cr})=2,25\%$ και $\pi(\text{Mo})=1\%$. Το A1 και το D2 έ-χουν και τα δύο $\pi(\text{Mo})=0,5\%$ αλλά το D2 έχει $\pi(\text{Mn})=1,75\%$ αντί του 1% που είναι το σύνηθες.

(β) Ανοξειδωτά σύρματα και ράβδοι

Ακόμη πιο απλό είναι το σύστημα τυποποίησης στους ανοξειδωτους χάλυβες. Ισχύουν οι ίδιες ακριβώς ονομασίες που είδαμε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, με μόνη διαφορά ότι αντί για το γράμμα E, προτάσσονται τα γράμματα ER. Π.χ. το E308L είναι επενδυμένο ηλεκτρόδιο για MMA, ενώ το ER308L είναι γυμνό σύρμα για MIG/MAG ή ράβδος για TIG. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι ανοξειδωτων συρμάτων και ράβδων χρωμιονικελιούχων χαλύβων αναφέρονται στον πίνακα (7.8).

Όπως φαίνεται στον πίνακα (7.8), στα σύρματα ηλεκτροσυγκόλλησης των ανοξειδωτων χαλύβων υπάρχει συχνά και πυρίτιο (Si) ως σταθεροποιητής του τόξου. Αυτή είναι μία ιδιαιτερότητα που συναντάται μόνο στα ανοξειδωτά σύρματα. Η υψηλή περιεκτικότητα Si δε συνηθίζεται στις ράβδους αλλά ούτε και στα επενδυμένα ηλεκτρόδια.

Πίνακας (7.8): Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι ανοξειδωτων συρμάτων και ράβδων

Όνομασία	Μορφή	Χρήση
ER308L	Σύρμα Ράβδοι	Το τυπικό υλικό συγκόλλησης ανοξειδωτων χαλύβων που περιέχουν Cr και Ni. Είναι ακατάλληλο, όταν περιέχονται στο χάλυβα και άλλες προσμίξεις, ιδίως Mo.
ER309L	Σύρμα Ράβδοι	Για τη συγκόλληση των ανοξειδωτων χαλύβων που, εκτός από Cr, Ni, περιέχουν και Mo.
ER316L	Σύρμα Ράβδοι	Μπορεί με αυτό να συγκολληθεί απλός ανθρακούχος χάλυβας με ανοξειδωτους χάλυβες ή διαφορετικά είδη ανοξειδωτων χαλύβων μεταξύ τους.
ER347	Σύρμα Ράβδοι	Για τη συγκόλληση των σταθεροποιημένων ανοξειδωτων χαλύβων. Έχει την ίδια χημική σύσταση με το E308L, με επιπλέον προσθήκη Nb.
ER308L Si	Σύρμα	Όπως τα παραπάνω αλλά με μεγαλύτερη περιεκτικότητα Si, η οποία βελτιώνει τη σταθερότητα του τόξου και τη συγκολλησιμότητα του χάλυβα. Η ονομασία (ER) φανερώνει ότι το υλικό είναι κατάλληλο και για ράβδους, στην πράξη όμως υπάρχει σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή σύρματος.
	ER309L Si	
	ER316L Si	
	ER347 Si	

7.3 Η τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων και των ράβδων κατά ISO και κατά EN

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στο σύστημα τυποποίησης που ισχύει κατά AWS το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην αγορά. **Αλλά το επίσημο σύστημα που ισχύει στη χώρα μας είναι αυτό που θα αναπτύξουμε σ. αυτήν την παράγραφο** (εκτός από την τυποποίηση των αλουμινίων). Πρέπει να φροντίσουμε να το μάθουμε καλά. Αν και είναι λίγο πιο δύσκολο από το σύστημα κατά AWS, η ονομασία ενός σύρματος ή μιας ράβδου σύμφωνα με το ISO ή την EN μας δίνει όλα σχεδόν όσα χρειαζόμαστε να γνωρίζουμε γι. αυτό το υλικό. Ένα ακόμη πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι **ο ΕΛΟΤ διαθέτει όλα τα σχετικά πρότυπα στην Ελληνική με τον ίδιο αριθμό που έχουν τα πρότυπα EN.**

(α) Συμπαγή σύρματα και ράβδοι για ανθρακούχους και ελαφρά κραματικούς χάλυβες

Η τυποποίηση γίνεται με βάση το **ISO-14341** το οποίο αναγνωρίζει δύο τρόπους τυποποίησης, τον «**A**» και το «**B**»¹⁵. Ο «**A**» είναι απόλυτα όμοιος με την τυποποίηση κατά **EN-440** ή **ΕΛΟΤ-440**. Οι ελαφρά κραματικοί χάλυβες που προβλέπονται στο πρότυπο αναφέρονται ως **λεπτόκοκκοι χάλυβες**, επειδή οι προσμίξεις τους είναι τέτοιες που οδηγούν σε μικρό μέγεθος κόκκου, δηλαδή σε μεγάλες αντοχές.

¹⁴ Υπάρχει και το σύστημα τυποποίησης κατά DIN-1732, με το οποίο τα E1100, E4043, E4047 και E5356 αναφέρονται αντίστοιχα ως EL-A199.5, SG-A1Si5, SG-A1Si12 και SG-A1Mg5.

¹⁵ Το σκεπτικό είναι όμοιο με αυτό με το οποίο γίνεται η τυποποίηση των επενδυμένων ηλεκτροδίων με το ISO-2560 που είδαμε στο κεφάλαιο 8. Τα δύο πρότυπα εκδόθηκαν τον 11/2002.

Περιγραφή του τρόπου τυποποίησης ISO-14341-A ή EN-440 ή ΕΛΟΤ-440

Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι η αντοχή περιγράφεται με το όριο **ελαστικότητας** και η δυσθραυστότητα με τη θερμοκρασία στην οποία αυτή έχει τιμή **47 J**.

Παράδειγμα συμβολισμού: **G423M-G3Si1** ή μόνο με το **G3Si1**

Προηγείται το γράμμα G και ακολουθεί ένας αριθμός που, αν πολλαπλασιαστεί με το 10, δίνει το όριο ελαστικότητας σε MPa. Οι μόνες τιμές που επιτρέπονται γι' αυτόν τον αριθμό είναι **35, 38, 42, 46, 50** (στο παράδειγμα είναι 42, άρα 420 MPa). Ο επόμενος αριθμός ο οποίος δείχνει τη θερμοκρασία στην οποία η δυσθραυστότητα είναι 47 J, φαίνεται στον πίνακα (7.9) (στο παράδειγμα είναι 3, δηλαδή -20°C). Μετά ακολουθεί ο συμβολισμός του αερίου που χρησιμοποιείται και μπορεί να είναι C, M, A όπως φαίνεται στον πίνακα (7.2) (στο παράδειγμα είναι M, δηλαδή αέριο Ar+20-25%CO₂).

Πίνακας (7.9): Θερμοκρασία στην οποία η δυσθραυστότητα είναι τουλάχιστο 47 J/cm² κατά ISO-14341-A

3 ^ο ψηφίο	Z	A	2	3	4	5	6	7
Θερμοκρασία	Άγνωστη	20°C	0°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C

Το τελευταίο μέρος του συμβολισμού αναφέρεται στη χημική σύσταση. **Το πρότυπο επιτρέπει η ονομασία του σύρματος να γίνεται και μόνο με τη χημική του σύσταση.** Στο παράδειγμά μας το G3Si1 σημαίνει ότι υπάρχει περίπου $3 \times 0,5 = 1,5\%$ Mn και περίπου 1% Si. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται για τη χημική σύσταση δεν είναι πολλοί και περιλαμβάνονται σ. αυτούς μόνο δύο χημικά στοιχεία. Το πρώτο είναι πάντοτε το Mn. Πάντα ξεκινάει ο συμβολισμός με το G και ακολουθεί ένας αριθμός, ο οποίος πολλαπλασιάζεται με το 0,5 μας δίνει την κατά προσέγγιση περιεκτικότητα σε Mn. Μετά υπάρχει ο συμβολισμός ενός δεύτερου στοιχείου. Αυτό ενδέχεται να ακολουθείται από έναν αριθμό που υποδηλώνει την περιεκτικότητά του ή, όταν η περιεκτικότητα είναι αρκετά κάτω του 1%, να μην ακολουθείται από αριθμό. **Τυποποιημένοι συμβολισμοί είναι μόνο οι: G2Si1, G3Si2, G4Si1, G2Ti, G2Al, G3Ni1, G2Ni2, G2Mo και G4Mo.** Όταν η χημική σύσταση δεν **εμπίπτει σε κάποια τυποποιημένη κα-τηγορία, χρησιμοποιείται ο συμβολισμός G0.**

Περιγραφή του τρόπου τυποποίησης ISO-14341-B

Η αντοχή περιγράφεται με το όριο **θραύσης** και η δυσθραυστότητα με τη θερμοκρασία στην οποία έχει τιμή **27 J**, όπως συμβαίνει και με τα πρότυπα AWS. Πέραν αυτής της ομοιότητας με το AWS, δεν υπάρχει άλλο κοινό στοιχείο μεταξύ των δύο τυποποιήσεων. Οι μόνες τιμές που επιτρέπονται για το όριο θραύσης είναι **43, 49, 53, 57**.

Στον πίνακα (7.9) αντί για το γράμμα A για τους 20°C χρησιμοποιείται το Y.

Οι τυποποιημένοι συνδυασμοί όσον αφορά το συμβολισμό της χημικής σύστασης, είναι διαφορετικοί. Οι μόνες ομοιότητες που υπάρχουν στο συμβολισμό της χημικής σύστασης είναι ότι προηγείται πάντα το G και ότι στην περίπτωση που δεν εμπίπτει το σύρμα σε καμία τυποποιημένη κατηγορία χρησιμοποιείται ο συμβολισμός G0.

Σε όλους τους ανθρακούχους χάλυβες, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, το γράμμα G ακολουθείται από έναν αριθμό που κυμαίνεται από το 2 μέχρι το 17. Ο αριθμός αυτός δεν υποδηλώνει τίποτε άλλο εκτός από το σημείο ενός πίνακα στο οποίο μπορούμε να ανατρέξουμε, αν τυχόν χρειάζεται να βρούμε τη χημική σύσταση του εναποτιθέμενου μετάλλου (ο πίνακας περιέχεται στο πρότυπο).

Στους ελαφρά κραματικούς χάλυβες χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί για τα στοιχεία: N για το νικέλιο, M για το μολυβδαίνιο, C για το χρώμιο και το χαλκό, T για το τιτάνιο. Παραδείγματα τέτοιων συμβολισμών είναι: G3M1 (1,5% Mn, 0,4% Mo), GN5 (5% Νικέλιο), GNCC (περιέχει Ni, Cr και Cu σε ποσοστά κάτω του 1% το καθένα), GN2M4T (2% Νικέλιο, 0,8% Mo και μικρό ποσοστό Τιτανίου).

(β) Η τυποποίηση των ράβδων TIG ανθρακούχων και λεπτόκοκκων χάλυβων

Η τυποποίηση γίνεται με την EN-1668. Ο τρόπος τυποποίησης είναι όμοιος με των συμπαγών συρμάτων, με μόνες διαφορές:

- Αντί του G χρησιμοποιείται το W, τόσο για την ονομασία όσο και για τη χημική σύσταση.
- Δεν υπάρχει σύμβολο του αερίου. Προφανώς αυτό δε χρειάζεται, αφού στην TIG χρησιμοποιείται μόνο το αργόν.

Παράδειγμα συμβολισμού: W422W2Si ή W2Si (περιέχει περίπου 1% Mn και Si σε ποσοστό μικρότερο του 1%).

(γ) Η τυποποίηση των ανοξειδωτων συρμάτων και ράβδων

Η τυποποίηση, όπως προβλέπεται στο ISO-12072, γίνεται με βάση τη χημική σύσταση του κράματος. Όταν πρόκειται για σύρμα, προηγείται το γράμμα G, ενώ για ράβδο το γράμμα W. Συμβολισμός για το αέριο δε χρειάζεται, αφού δεν υπάρχουν πολλές επιλογές. Το αέριο θα είναι Ar για την TIG και Ar+1-3%O₂ για τη MIG/MAG.

Πίνακας (7.10): Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι ανοξειδωτων συρμάτων και ράβδων

Είδος συγκόλλησης		Χημική σύσταση					
MIG/MAG	TIG	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb%	Mn %
E 19 9 L	W 19 9 L	< 0,04	18-21	9-11	-	-	< 2,5
E 23 12 L	W 23 12 L	< 0,04	22-25	12-14	-	-	< 2,5
E 19 12 3 L	W 19 12 3 L	< 0,04	17-20	11-14	2-3%	-	< 2,5
E 19 9 Nb L	W 19 9 Nb L	< 0,08	18-21	9-11	-	0,5-1%	< 2,5

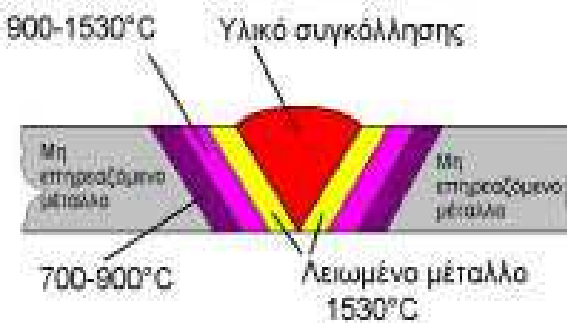
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Θ.Ε.Ζ. Υλικού βάσης (ευτηκτοειδές διάγραμμα)

8.1 Ο θερμικός κύκλος στην συγκόλληση

Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη

Η φύση της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης (Θ.Ε.Ζ.) εξαρτάται από τη σύνθεση και τη μικροδομή του βασικού μετάλλου. Οι ακόλουθες μεταλλουργικές αντιδράσεις μπορεί να προκύψουν στη Θ.Ε.Ζ. των ωστενιτικών κραμάτων.

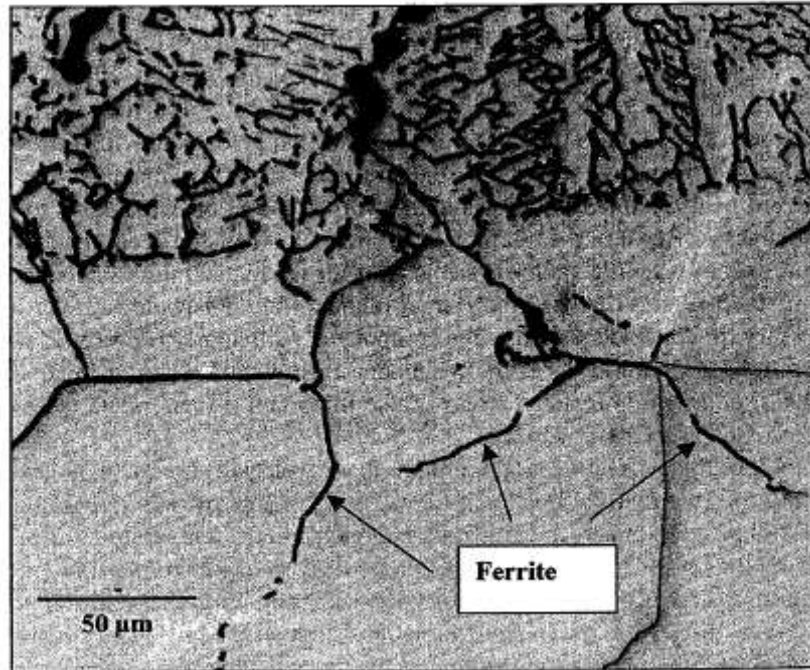


1. ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΚΚΟΥ

Οι περισσότεροι ανοξειδωτοί ωστενιτικοί χάλυβες πριν συγκολληθούν έχουν ανοιπηθεί ή προέρχονται από θερμή έλαση και έτσι η αύξηση του κόκκου είναι συνήθως περιορισμένη. Εξαιρεση αποτελούν οι συγκόλλησης με πολύ υψηλή θερμοκρασία. Κάποια ορισμένη αύξηση των ορίων των κόκκων μπορεί να παρατηρηθεί, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι μεγάλη. Σε βασικά μέταλλα που έχουν σκληρυνθεί με κατεργασία εν ψυχρώ, ανακρυστάλλωση και μεγένθυση του κόκκου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της σκληρότητας του ωστενιτικού ανοξειδωτού χάλυβα.

2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΕΡΡΙΤΗ

Όσο υψηλότερος είναι ο λόγος C_{req}/Ni_{eq} του κράματος, τόσο περισσότερος φερρίτης θα σχηματιστεί. Συνήθως ο φερρίτης σχηματίζεται στα όρια των κόκκων, όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 8.1. Ο σχηματισμός του φερρίτη στα όρια των κόκκων της Θ.Ε.Ζ. εμποδίζει την αύξηση του κόκκου και ελαχιστοποιεί την πιθανότητα δημιουργίας ρωγμών υγροποίησης στη Θ.Ε.Ζ.. Το ποσοστό του σχηματιζόμενου φερρίτη είναι συνήθως μικρό επειδή ο ωστενιτικός – φερρίτικός μετασχηματισμός είναι σχετικά αργός και η Θ.Ε.Ζ. κρύνει αρκετά γρήγορα. Είναι, επίσης δυνατό κάποιος από τον φερρίτη που δημιουργήθηκε όσο υπήρχε υψηλή θερμοκρασία να μετασχηματιστεί ξανά σε ωστενίτη κατά τη ψύξη.



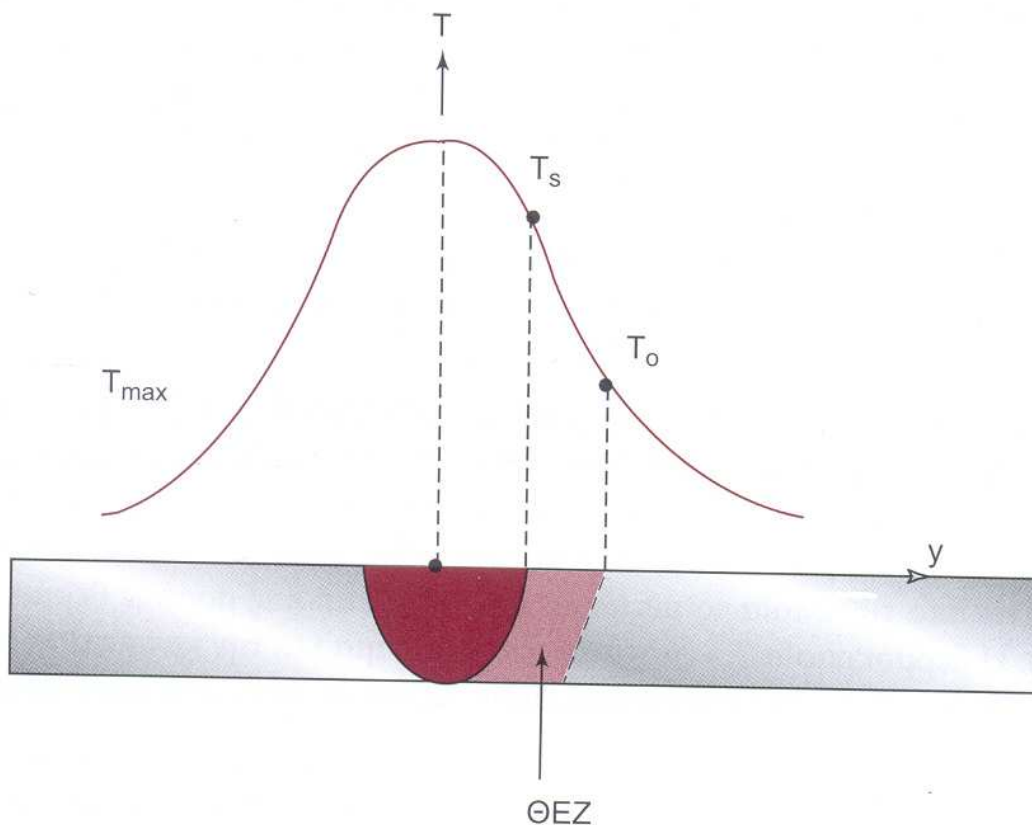
Σχήμα 8.1: Φερρίτης στα όρια των κόκκων στην Θ.Ε.Ζ. του 304L ανοξείδωτου χάλυβα.

3. ΑΚΑΘΑΡΣΙΕΣ

Επειδή η Θ.Ε.Ζ. θερμαίνεται σε θερμοκρασίες που πλησιάζουν την θερμοκρασία τήξης του κράματος, πολλές από τις ακαθαρσίες που υπάρχουν στο βασικό μέταλλο μπορεί να διαλυθούν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στον υπερκορεσμό της ωστενιτική μήτρας κατά την ψύξη, έχοντας ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό διαφόρων ακαθαρσιών. Καρβίδια ή νιτρίδια είναι οι συνηθέστερες ακαθαρσίες που σχηματίζονται στη Θ.Ε.Ζ. στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες. Συνήθως σχηματίζονται στα όρια των κόκκων, ή στις διεπιφάνιες φερρίτη – ωστενίτη (εάν υπάρχει φερρίτης). Στο Σχήμα 3.3 φαίνονται οι θερμοκρασίες στις οποίες τα καρβίδια και τα νιτρίδια είναι σταθερά. Αν και δεν έχει αποδειχθεί μεταλλογραφικά, φαίνεται ότι αυτές οι ακαθαρσίες υπάρχουν στη Θ.Ε.Ζ. των περισσοτέρων ωστενιτικών ανοξείδωτων χάλυβων. Το μέγεθος, η μορφολογία και η διατομή τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του κράματος και τον κύκλο θέρμανσης της Θ.Ε.Ζ. Υπερβολικά πλούσιες σε Cr ακαθαρσίες καρβιδίων μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της αντοχής σε διάβρωση.

4. ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Τοπική υγροποίηση στα όρια των ωστενιτικών κόκκων μπορεί επίσης να πρόκυψει. Αυτό συνήθως συμβαίνει από τις ακαθαρσίες που υπάρχουν στα όρια των κόκκων, που μειώνουν τη θερμοκρασία υγροποίησης. Κράματα που περιέχουν τιτάνιο και νιόβιο και τα οποία σχηματίζουν MC καρβίδια πλούσια σε αυτά τα μέταλλα, μπορεί να προκαλέσουν υγροποίηση γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμή. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με επικαθίσεις φωσφόρου και θείου στα όρια των κόκκων.



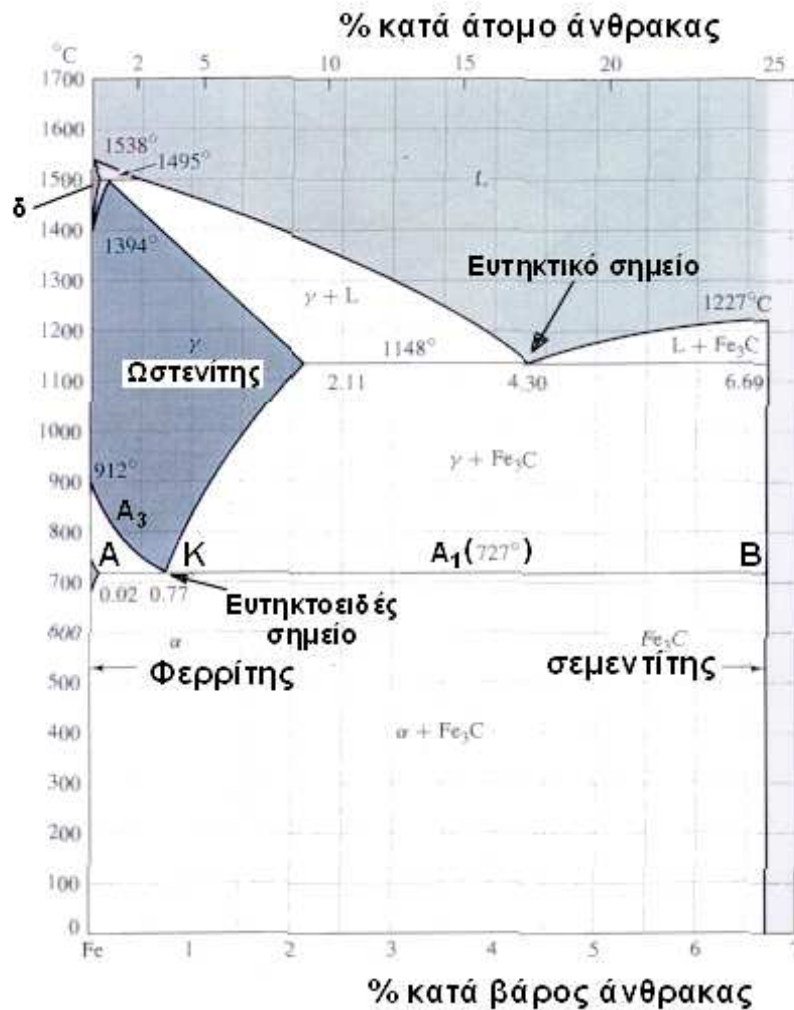
- Σε κοινούς χάλυβες, η T_0 μπορεί να είναι η ευτηκτοειδής θερμοκρασία (723°C)
- Σε μικροκραματωμένους χάλυβες που έχουν υποστεί θερμική κατεργασία σκλήρυνσης, η T_0 μπορεί να είναι η θερμοκρασία επαναφοράς
- Σε κράματα αλουμινίου σκληρυθέντα με κατακρήμνιση, T_0 μπορεί να είναι η θερμοκρασία γήρανσης
- Σε κράματα αλουμινίου σκληρυθέντα με ψυχρηλασία (εργοσκλήρυνση), T_0 μπορεί να είναι η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης
- Σε ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες, T_0 μπορεί να είναι η θερμοκρασία καθίζησης καρβιδίων του χρωμίου στα όρια των κόκκων

8.2 Το διμερές διάγραμμα φάσεων Fe-C.

Το διάγραμμα φάσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 8.2. Πρακτικά, το διάγραμμα αυτό παρουσιάζει τεχνολογικό ενδιαφέρον για περιεκτικότητα σε C μέχρι 6,7%. Η σύσταση αυτή (6,7% C) αντιστοιχεί σε μια μεσομεταλλική (χημική) ένωση που ονομάζεται **σεμεντίτης** (ή καρβίδιο του σιδήρου) και έχει χημικό τύπο: **Fe₃C**. Γι' αυτό και πολλές φορές το εν λόγω διάγραμμα των φάσεων ονομάζεται και διάγραμμα Fe-Fe₃C ή μετασταθές διάγραμμα Fe-C.

Στο διάγραμμα φάσεων του σχήματος φαίνονται τρεις περιοχές τεχνικών κραμάτων Fe-C με μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον :

- **σίδηροι**, με ποσοστό άνθρακα από 0-0,02%
- **χάλυβες**, με ποσοστό άνθρακα από 0,02-2%
- **χυτοσίδηροι**, με ποσοστό άνθρακα από 2-5%



Σχήμα 8.2 : Το διμερές διάγραμμα φάσεων Fe-C.

Από το διάγραμμα φάσεων φαίνονται τέσσερις διαφορετικές στερεές φάσεις : **α-φερρίτης** ή απλώς **φερρίτης**, **ωστενίτης (γ)**, **σεμεντίτης (Fe₃C)** και **δ-φερρίτης**.

Φερρίτης (α) : η φάση αυτή είναι στερεό διάλυμα παρεμβολής του α-Fe και είναι κρυσταλλωμένη στο κυβικό χωροκεντρωμένο σύστημα (κ.χ.), με διαλυμένο άνθρακα σε θέσεις παρεμβολής, σε ποσοστό μέχρι 0,02% στους 727°C. Η διαλυτότητα του C στον α-Fe μειώνεται στο 0,008% στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η σκληρότητά του κυμαίνεται από 70-200 HV.

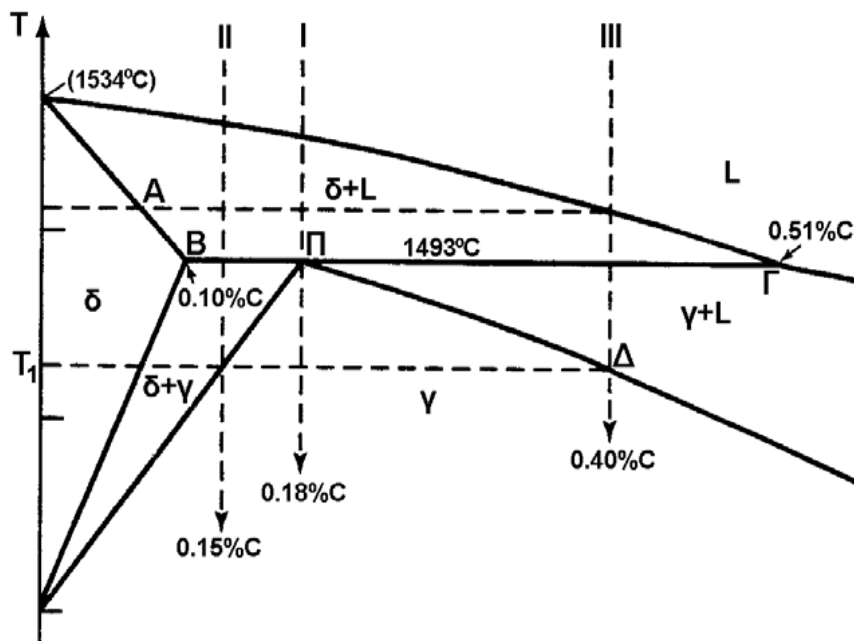
Ωστενίτης (γ) : πρόκειται για στερεό διάλυμα παρεμβολής του γ-Fe, που κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο σύστημα (κ.ε.), με διαλυμένο άνθρακα σε πολύ μεγαλύτερα ποσοστά απ' ότι στο φερρίτη. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε C του ωστενίτη μπορεί να φθάσει έως και 2,1% στους 1148°C.

Σεμεντίτης (Fe₃C) : πρόκειται για μεσομεταλλική ένωση παρεμβολής. Το κρυσταλλικό του πλέγμα είναι ορθορομβικό, βασικεντρωμένο και η σύσταση σε C είναι απόλυτα καθορισμένη σε ποσοστό ίσον προς 6,7% κ.β. (25% κατά άτομο). Όπως οι περισσότερες μεσομεταλλικές ενώσεις, έτσι και το καρβίδιο του σιδήρου (σεμεντίτης) είναι ένωση πολύ σκληρή και εύθραυστη. Η σκληρότητά του κυμαίνεται από 850-1100 HV.

δ-Φερρίτης : πρόκειται για στερεό διάλυμα παρεμβολής του δ-Fe, που κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρωμένο κυβικό σύστημα (κ.χ.), με διαλυμένο C έως περίπου 0,09% στους 1495°C. Η διαλυτότητα του C στο δ-Fe είναι μεγαλύτερη από ότι στον α-Fe, λόγω της διαστολής της μοναδιαίας κυψελίδας που παρουσιάζεται με την άνοδο της θερμοκρασίας.

ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΕΣ ΣΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ Fe-C

A. Περιτηκτική περιοχή



Σχήμα 1: Περιτηκτική περιοχή

Κατά την περιτηκτική αντίδραση ο μηχανισμός διάχυσης κατά τον μετασχηματισμό σε ωστενίτη παρεμποδίζεται από το γεγονός ότι ο αναπτυσσόμενος ωστενίτης (γ-φάση) κρυσταλλώνεται γύρω από τη δ-φάση, παίζοντας το ρόλο “μόνωσης” μεταξύ υγρής φάσης L και στερεάς φάσης δ (φαινόμενο περιτύλιξης).

Η διαδικασία μετασχηματισμού των φάσεων στις διάφορες $\pi(C)$ (ευθείες απόψυξης I, II και III στο Σχ. 1) ακολουθεί τους κανόνες που ισχύουν για τα διμερή κράματα.

B. Ευτηκτοειδής περιοχή

Οι κόκκοι περλίτη πρωτοεμφανίζονται (πυρηνοποιούνται) στα όρια των κόκκων ωστενίτη και αναπτύσσονται σε βάρος του ωστενίτη.

Κατά την απόψυξη υποευτηκτοειδούς κράματος ο σχηματιζόμενος φερρίτης (α-φάση) στη διφασική περιοχή α+γ ονομάζεται προευτηκτοειδής φερρίτης και παρουσιάζεται με τις εξής μορφές:

- (i) ως κυτταροειδής σε αργές ταχύτητες απόψυξης και
- (ii) ως βελονοειδής (φερρίτης Widmanstätten) σε μεγαλύτερες ταχύτητες απόψυξης.

Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος (πέρας απόψυξης) σχηματίζεται συνολικά προευτηκτοειδής φερρίτης που περιβάλλει ως μητρική φάση κόκκους περλίτη (ευτηκτοειδής φερρίτης και σεμεντίτης).

Κατά την απόψυξη υπερευτηκτοειδούς κράματος ο σχηματιζόμενος σεμεντίτης στη διφασική περιοχή $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ ονομάζεται προευτηκτοειδής σεμεντίτης και σχηματίζεται στα περατωτικά όρια των κόκκων ωστενίτη.

Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος σχηματίζεται συνολικά περλίτης (ευτηκτοειδής φερρίτης και σεμεντίτης) και προευτηκτοειδής σεμεντίτης στα όρια των κόκκων περλίτη.

Γ. Ευτηκτική περιοχή

Κατά την απόψυξη ευτηκτικού τήγματος σχηματίζεται στο ευτηκτικό σημείο κατά την είσοδο του στη διφασική περιοχή $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ στερεά δομή (μίγμα φάσεων) που αποτελείται από εναλλασσόμενες πλάκες ωστενίτη και σεμεντίτη. Η δομή αυτή ονομάζεται λεδεμβουρίτης.

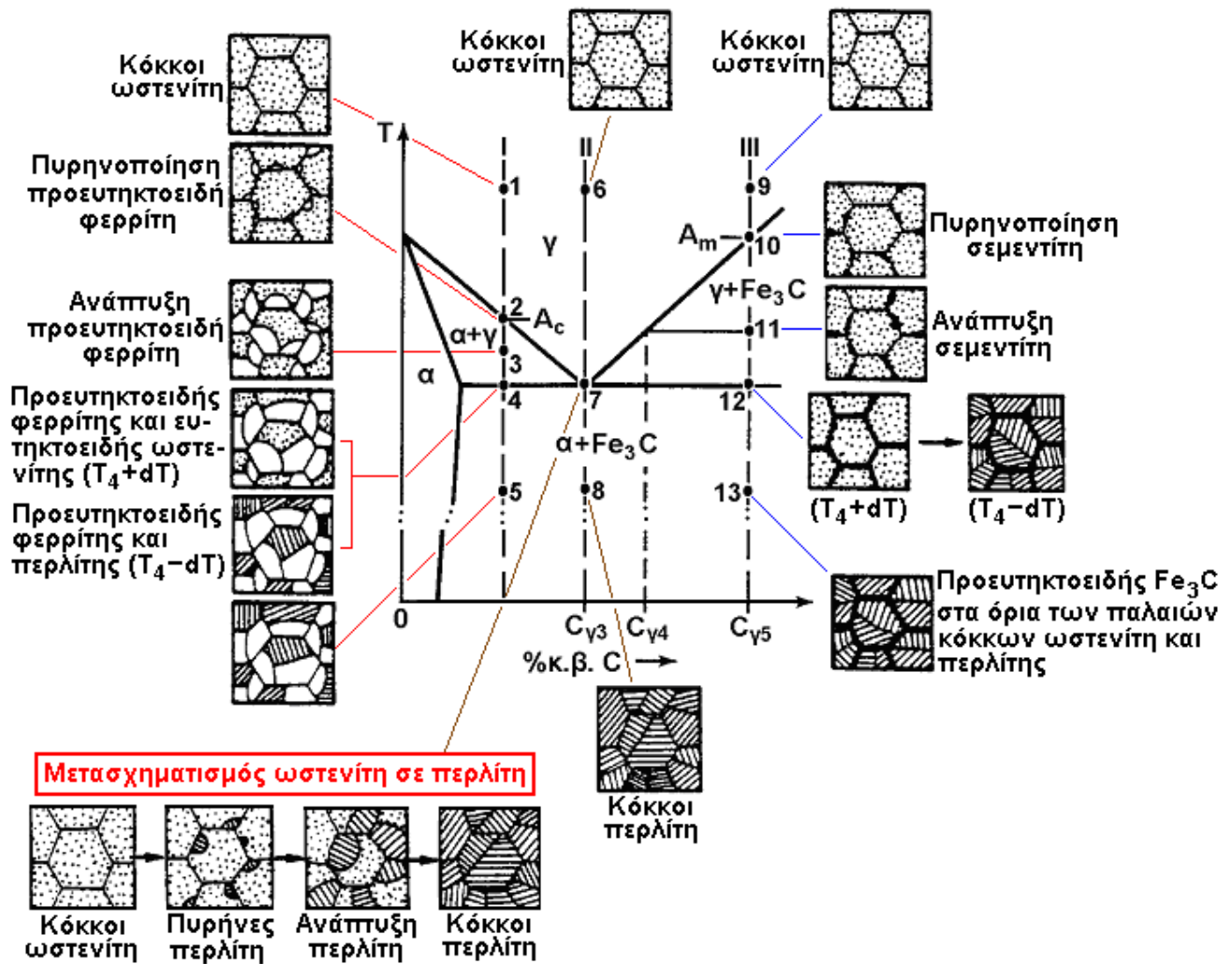
Συνεχίζοντας την απόψυξη σχηματίζεται επιπλέον μικρή ποσότητα δευτερογενούς σεμεντίτη στην ίδια περιοχή.

Κατά την είσοδο του κράματος στη περιοχή $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ συντελείται ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε περλίτη, ενώ συγχρόνως σχηματίζεται και επιπλέον μικρή ποσότητα τριτογενούς σεμεντίτη (εκτός από τον ήδη υπάρχοντα ευτηκτικό σεμεντίτη). Η προκύπτουσα μικρογραφική δομή ονομάζεται λεδεμβουριτική μορφή (μίγμα ευτηκτικού σεμεντίτη και περλίτη).

Κατά την απόψυξη υπερευτηκτικού τήγματος παρατηρούνται κατά σειρά:

- (i) Προοδευτικός σχηματισμός κρυστάλλων προευτηκτικού ή πρωτογενούς (βελονοειδούς) σεμεντίτη στη διφασική περιοχή $L + \text{Fe}_3\text{C}$ σε βάρος της υγρής φάσης.
- (ii) Ανάπτυξη λεδεμβουρίτη (ευτηκτικός ωστενίτης + ευτηκτικός σεμεντίτης) στην ευτηκτική θερμοκρασία από τη στερεοποίηση του απομείναντος υγρού ευτηκτικής σύστασης.
- (iii) Σχηματισμός μικρής επιπλέον ποσότητας δευτερογενούς σεμεντίτη στη διφασική περιοχή $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$.
- (iv) Μετασχηματισμός στην ευτηκτοειδή θερμοκρασία του ωστενίτη που περιέχεται στο λεδεμβουρίτη σε περλίτη (ανάπτυξη λεδεμβουριτικής μορφής).
- (v) Στη διφασική περιοχή $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ σχηματίζεται μια πολύ μικρή επιπλέον ποσότητα τριτογενούς σεμεντίτη. Άρα, τελικά, (αμελώντας δευτερογενή και τριτογενή σεμεντίτη) στη θερμοκρασία περιβάλλοντος η μικροδομή του κράματος αποτελείται από πρωτογενή σεμεντίτη και λεδεμβουριτική μορφή.

Στο Σχ. 4 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τελικές μικροδομές των ανωτέρω φάσεων, όπως ελήφθησαν σε οπτικό μικροσκόπιο.



Σχήμα 4: Περιγραφή μηχανισμού ανάπτυξης δομών γύρω από το ευθηκτοειδές σημείο (I) υποευθηκτοειδές κράμα, (II) ευθηκτοειδές κράμα, (III) υπερευθηκτοειδές κράμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Δυνατότητες αυτοματοποίησης της μεθόδου

Ο αυτοματισμός εισήχθη στην τεχνική των συγκολλήσεων με σκοπό τη μείωση του κόστους, τη χρονική επιτάχυνση των εργασιών συγκόλλησης, την εξασφάλιση σταθερής ποιότητας, καθώς και τη βελτίωση της εμφάνισης της ραφής.

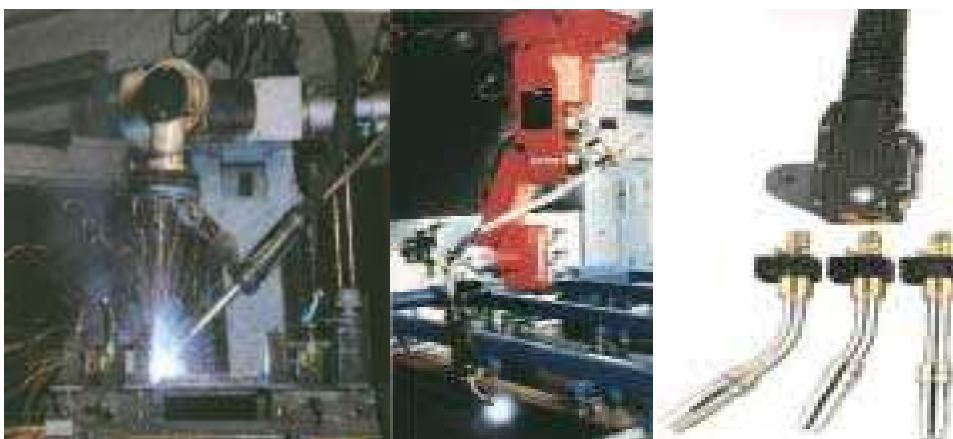
Το πρώτο σύστημα αυτόματης διαδικασίας συγκόλλησης ήταν η SAW (βυθισμένου τόξου) και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1951. Όλα τα συστήματα SAW χρησιμοποιούν σύρμα, μεγάλης διαμέτρου, που αρχίζει από 2 mm και φθάνει μέχρι και 6 mm, ενώ το συλλίπασμα πέφτει στο λουτρό της συγκόλλησης χύμα.

Στη συνέχεια, ο αυτοματισμός στη συγκόλληση έχει κάνει μεγάλη πρόοδο και σήμερα χρησιμοποιούνται στις αυτόματες διαδικασίες και μηχανές ρομπότ. Η χρήση των ρομπότ στις συγκολλήσεις γίνεται σε εργασίες που εκτελούνται σε γραμμή παραγωγής ή σε εργασίες που δεν είναι δυνατόν να εκτελεστούν από άνθρωπο, όπως όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες ή δημιουργούνται πολλοί σπινθήρες. Το σύστημα αποτελείται από τα ίδια μέρη που αποτελείται ένα συγκρότημα συγκόλλησης, με μόνη διαφορά ότι τη θέση του ανθρώπου την έχει πάρει μία μηχανή που προγραμματίζεται για να εκτελεί συγκεκριμένες κινήσεις.

Τα μέρη ενός ρομποτικού συστήματος είναι:

- Η μηχανή συγκόλλησης, που ενδέχεται να είναι και ακριβώς η ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται στις συγκολλήσεις με το χέρι.
- Ενδεχομένως ένα κατάλληλα διαμορφωμένο τραπέζι εργασίας, πάνω στο οποίο τοποθετούνται τα προς συγκόλληση τεμάχια.
- Το ρομπότ (π.χ. ρομποτικός βραχίονας) και
- Ο πίνακας ελέγχου του ρομπότ.

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



Σχήμα (9.1): Ρομποτικά συστήματα που βασίζονται στην MIG/MAG και το σύστημα της τσιμπίδας.

Σε όλα γενικά τα ρομποτικά συστήματα εφαρμόζονται οι συγκολλήσεις σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου. Τα συστήματα GMAW είναι τα πλέον συνηθισμένα, αλλά υπάρχουν και συστήματα που βασίζονται στην GTAW (TIG), με τη μόνη διαφορά από την κλασική TIG ότι η τροφοδοσία του υλικού συγκόλλησης γίνεται υπό μορφή σύρματος. Στο σχήμα (9.1) βλέπουμε διάταξη ρομποτικού συστήματος βασισμένου στην MIG/MAG και στο (9.2), διάταξη βασισμένη στην TIG.



Σχήμα (9.2): Ρομποτικό σύστημα που βασίζεται στην TIG και η μορφή της τσιμπίδας

Στο σχήμα (9.3), φαίνεται ένα πολύ σύγχρονο ρομπότ. Αυτό μπορεί να εκτελέσει 6 διαφορετικές κινήσεις γύρω από άξονες και λέμε ότι είναι ρομπότ των 6 αξόνων. Στην περιοχή όμως που κινείται ένα τέτοιο ρομπότ, όταν αυτό είναι σε λειτουργία δεν επιτρέπεται να εισέλθει κάποιος, επειδή υπάρχει κίνδυνος να τραυματιστεί σοβαρά από κάποια κίνηση του ρομπότ. Γι. αυτό η περιοχή αυτή θα πρέπει να είναι απομονωμένη.



Σχήμα (9.3): Σύγχρονο ρομπότ 6 αξόνων (εκτελεί 6 διαφορετικές κινήσεις).

Τα ρομπότ είναι εφοδιασμένα και με **αισθητήρες** που τους επιτρέπουν να κάνουν τις απαιτούμενες διορθωτικές κινήσεις. Υπάρχουν οι αισθητήρες επαφής που αντιλαμβάνονται το τι συμβαίνει κατά την επαφή π.χ. με το λουτρό συγκόλλησης και οι αισθητήρες που αντιλαμβάνονται χωρίς να προκληθεί επαφή, π.χ. μετρώντας κάποια τάση ή κάποια συχνότητα. Επίσης, ενδέχεται να υπάρχουν και οπτικοί αισθητήρες που να μεταφέρουν εικόνα στο χειριστή, ο οποίος, στη συνέχεια, έχει τη δυνατότητα να δώσει στο ρομπότ τις ανάλογες εντολές. Με τη χρήση των αισθητήρων το ρομποτικό σύστημα εκτελεί όλες τις διορθωτικές κινήσεις που χρειάζονται για τη ρύθμιση των παραμέτρων ηλεκτροσυγκόλλησης.

Στο Σχήμα 9.4. φαίνεται ένα σύγχρονο ρομπότ. Αυτό μπορεί να εκτελέσει 6 διαφορετικές κινήσεις γύρω από άξονες και έτσι έχει 6 βαθμούς ελευθερίας. Στην περιοχή, όμως, που κινείται ένα τέτοιο ρομπότ, όταν αυτό είναι σε λειτουργία δεν επιτρέπεται να εισέλθει κάποιος, επειδή υπάρχει κίνδυνος να τραυματιστεί σοβαρά από κάποια κίνηση του ρομπότ. Γι' αυτό η περιοχή αυτή θα πρέπει να είναι περιφραγμένη.



Σχήμα 9.4 Ρομποτικός βραχίονας συγκόλλησης με 6 βαθμούς ελευθερίας.

Τα ρομπότ διαθέτουν και αισθητήρες που τους επιτρέπουν να κάνουν τις απαιτούμενες διορθωτικές κινήσεις. Υπάρχουν οι αισθητήρες επαφής που αντιλαμβάνονται το τι συμβαίνει κατά την επαφή π.χ. με το λουτρό συγκόλλησης και οι αισθητήρες που αντιλαμβάνονται χωρίς να προκληθεί επαφή, π.χ. μετρώντας κάποια τάση ή κάποια συχνότητα. Επίσης, ενδέχεται να υπάρχουν και οπτικοί αισθητήρες που να μεταφέρουν εικόνα στο χειριστή, ο οποίος στη συνέχεια έχει τη δυνατότητα να δώσει στο ρομπότ τις ανάλογες εντολές. Με τη χρήση των αισθητήρων, το ρομποτικό σύστημα εκτελεί όλες τις διορθωτικές κινήσεις που χρειάζονται για τη ρύθμιση των παραμέτρων της συγκόλλησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Σφάλματα ραφών

Ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια των Συγκολλήσεων είναι αυτό που πραγματεύεται την ανάπτυξη ασυνεχειών ή σφαλμάτων καθώς από αυτά καθορίζεται η επιτυχία και η αποδοχή μίας συγκόλλησης.

Τα ελαττώματα ή σφάλματα των συγκολλητών συνδέσεων διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες :

- α) Υπομικροσκοπικά ελαττώματα, δηλαδή ατέλειες κρυσταλλογραφικού πλέγματος όπως οι αταξίες και τα κενά.
- β) Μικροσκοπικά ελαττώματα όπως τα μικροεγλείσματα, οι διαφορισμοί στοιχείων και οι μικρορωγματώσεις.
- γ) Μακροσκοπικά ελαττώματα όπως οι υποκοπές, η ατελής διείδυση, οι πόροι, οι σκουριές η ατελής τήξη και οι ρωγματώσεις.

Τα αναφερθέντα ελαττώματα ασκούν επίδραση στις μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες των συνδέσεων , άρα στην ικανότητά τους για εργασία σε καθορισμένες συνθήκες φορτίσεων , θερμοκρασιών ή εκθετικών διαβρώσεων. Ως ασυνέχεια ορίζεται η διακοπή της τυπικής δομής της συγκόλλησης. Μπορεί να είναι η απώλεια της ομοιομορφίας στα μηχανικά , μεταλλουργικά ή φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού συγκόλλησης. Η ασυνέχεια δεν αποτελεί απαραίτητα και ελάττωμα της συγκόλλησης.

Σύμφωνα με την American Welding Society ως ελάττωμα της συγκόλλησης ορίζεται μία ασυνέχεια ή πολλές ασυνέχειες που εκ φύσεως ή λόγω της συνολικής επίδρασης, όπως για παράδειγμα το συνολικό πορώδες ή το συνολικό μήκος των εγκλεισμάτων, καθιστούν το προϊόν ανίκανο να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις.

Με άλλα λόγια, πολλά προϊόντα μπορεί να περιέχουν ασυνέχειες και να είναι αποδεκτά. Όμως κανένα προϊόν δεν πρέπει να εμφανίζει ελαττώματα στις συγκολλήσεις του. Η μοναδική διαφορά μεταξύ μίας ασυνέχειας και ενός ελαττώματος είναι όταν η ασυνέχεια γίνεται τόσο μεγάλη ή όταν υπάρχουν πολλές μικρές ασυνέχειες που καθιστούν τη συγκόλληση μη αποδεκτή σύμφωνα με τις τυποποιήσεις του κώδικα για το συγκεκριμένο προϊόν. Ορισμένοι κώδικες είναι περισσότερο αυστηροί από κάποιους άλλους και έτσι η ίδια συγκόλληση μπορεί να γίνεται αποδεκτή από ένα κώδικα και να απορρίπτεται από κάποιον άλλο.

Η ιδανική περίπτωση είναι μία συγκόλληση να μην παρουσιάζει καμία ασυνέχεια, γεγονός που είναι πρακτικά αδύνατο. Η διαφορά μεταξύ του τι είναι αποδεκτό και τι είναι τέλει είναι γνωστή ως ανοχή.

Κατά την αξιολόγηση των συγκολλήσεων είναι σημαντικό να σημειώνεται ο τύπος της ασυνέχειας, το μέγεθος και η θέση αυτής. Καθένας από τους τρεις αυτούς παράγοντες ή και οι τρεις σε συνδυασμό με τις εφαρμοζόμενες τυποποιήσεις καθορίζουν εάν πρόκειται για ασυνέχεια ή ελάττωμα.

Οι δώδεκα πιο δημοφιλείς ασυνέχειες είναι οι παρακάτω :

- 1) Porosity (Πορώδες).
- 2) Inclusions (Εγκλείσματα).
- 3) Inadequate Joint Penetration (Ανεπαρκής Διείσδυση της Κόλλησης).
- 4) Incomplete Fusion (Ατελής Σύντηξη).
- 5) Arc Strikes (Χτυπήματα Τόξου).
- 6) Overlaps (Υπερπληρώσεις).
- 7) Undercuts (Υποκοπές).
- 8) Cracks (Ρωγμές).
- 9) Underfill (Ατελής Πλήρωση).
- 10) Laminations (Ελασματοποιήσεις).
- 11) Delaminations.
- 12) Lamellar Tears.

Παρακάτω δίνεται ένας συνοπτικός πίνακας αναφοράς και περιγραφής των βασικότερων ελαττωμάτων.

ΑΙΤΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΟΡΩΝ ΣΤΙΣ ΡΑΦΕΣ

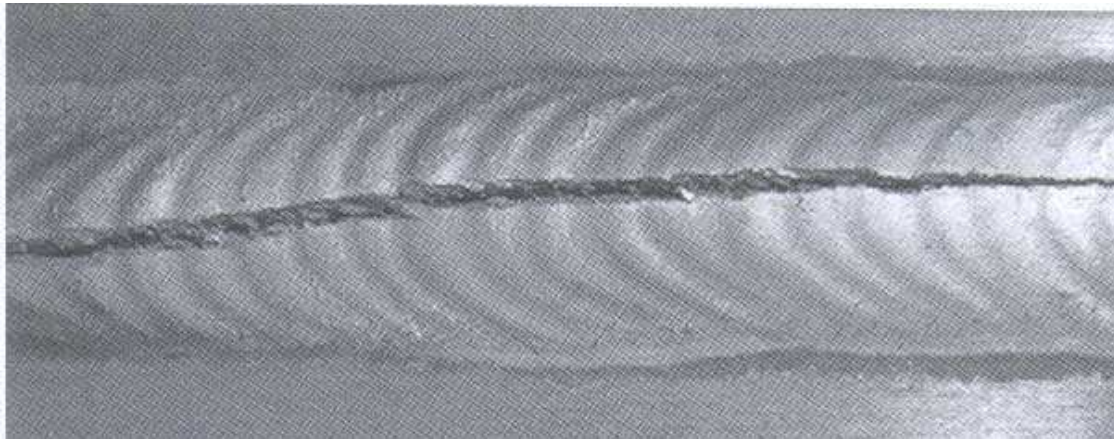
Πόροι δημιουργούνται όταν η ροή είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της κανονικής. Σε χώρους όπου υπάρχουν ρεύματα αέρος επιβάλλεται η αύξηση της ροής του αερίου ανάλογα με τις συνθήκες.

- Όταν η κλίση της λαβίδας ως προς την κατακόρυφο είναι μεγαλύτερη από 15ο.
- Όταν η απόσταση του μπεκ από το άκρο του ακροφυσίου είναι μεγαλύτερη από 5 mm.
- Όταν το προστατευτικό αέριο εμποδίζεται από λανθασμένη θέση του μπεκ, να καλύψει ομοιόμορφα το λειωμένο μέταλλο.
- Όταν εξαιτίας επικαθήσεων η ροή του αερίου προστασίας δεν είναι στρωτή .
- Όταν η απόσταση του μπεκ από το πρόσωπο του ακροφυσίου είναι μεγαλύτερη των 5 mm.
- Όταν η τάση του ρεύματος συγκόλλησης είναι αρκετά μεγάλη.
- Όταν το τόξο συγκόλλησης είναι αρκετά μεγάλο.

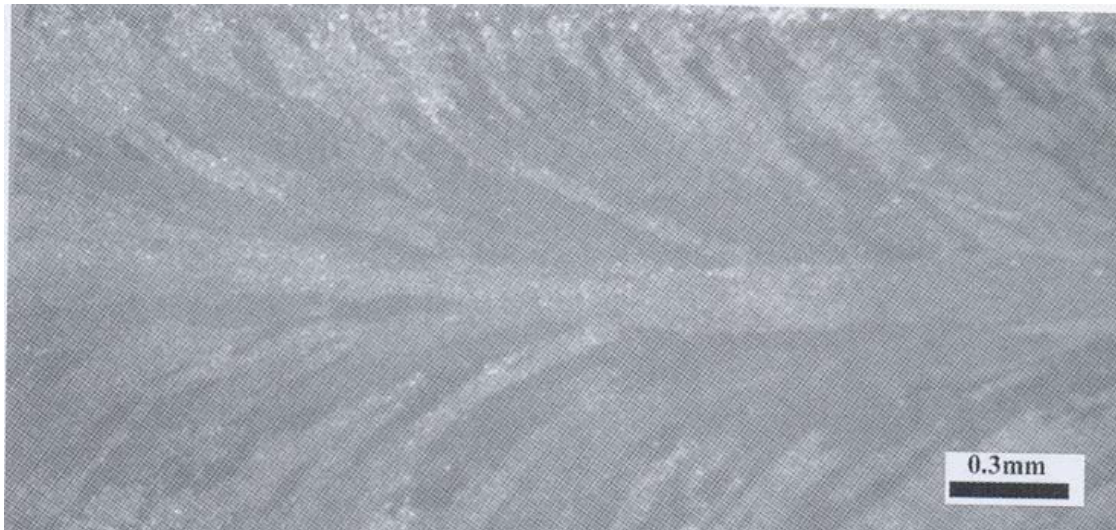
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Ρηγμάτωση στη ζώνη τήξης ή σε γειτονικές περιοχές.

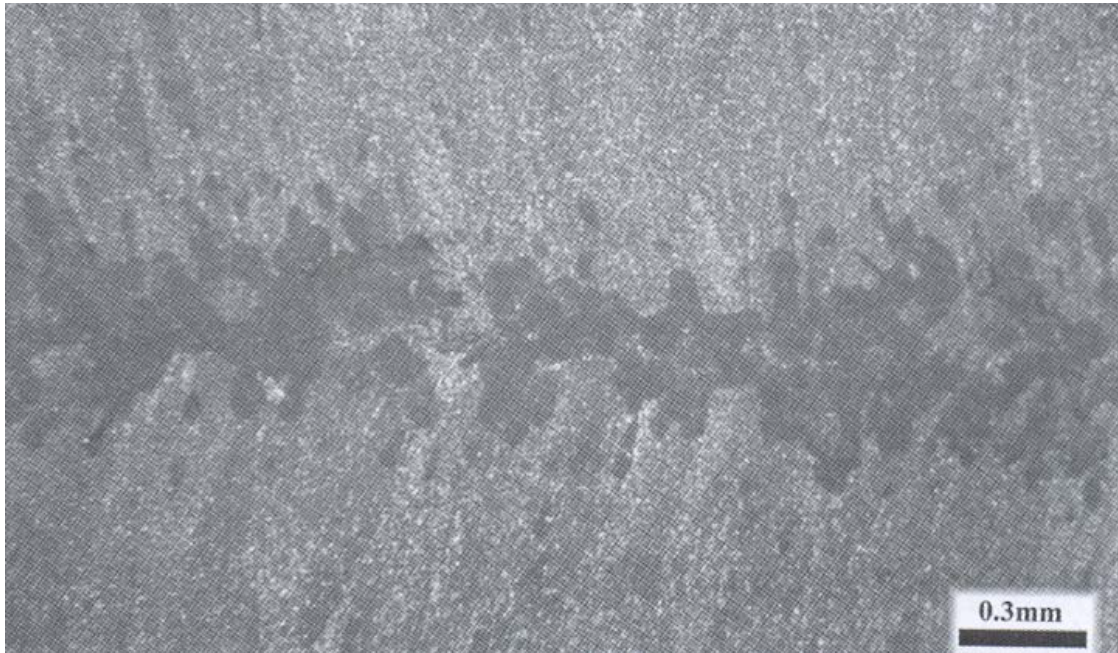




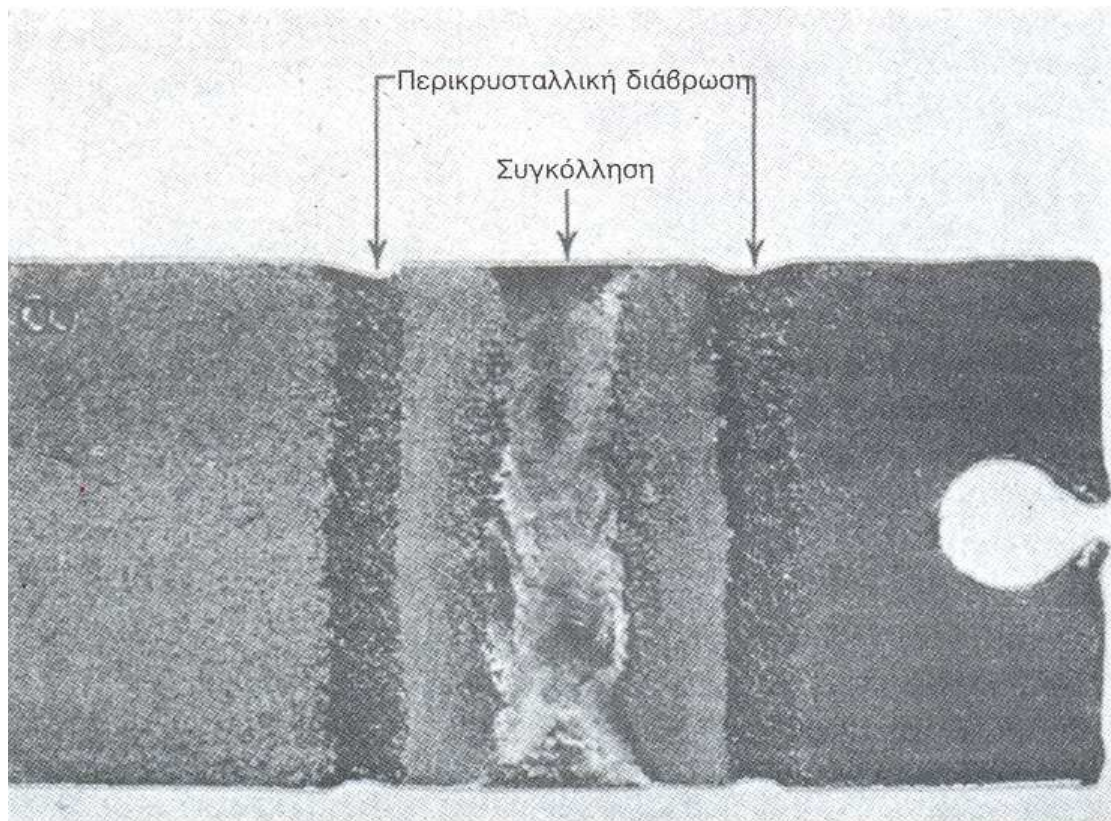
Θερμή ρωγμάτωση



Μικρή ταχύτητα συγκόλλησης (κιονοειδής δομή)



Μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης (κιονοειδής δομή με ισοαξονική ζώνη στο κέντρο)



Τρόποι αντιμετώπισης της περικρυσταλλικής διάβρωσης σε συγκολλήσεις ανοξειδωτων χάλυβων:

- Θερμική κατεργασία συγκολλημένων για επαναδιαλυτοποίηση καρβιδίων
- Χρήση χάλυβα μικρής περιεκτικότητας σε C (<0,03%) για την ελαχιστοποίηση των καρβιδίων
- Προσθήκη στο χάλυβα μετάλλων ισχυρότερα καρβιδιογόνων από το χρώμιο (π.χ. Nb, Ti)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ



Προστασία από την υπέρυθη ακτινοβολία

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

Προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία

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

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

Πιο αναλυτικά:

Μάσκα ηλεκτροσυγκολλητή χειρός ή κεφαλής

Η μάσκα ηλεκτροσυγκολλητή προορίζεται για την προστασία του προσώπου και των ματιών του εργαζομένου από την υπεριώδη ακτινοβολία. Πρέπει να καλύπτουν την περιοχή του προσώπου και του λαιμού και να έχουν άνοιγμα μπροστά, στο ύψος των ματιών για να δέχονται το φίλτρο προστασίας και το πρόθεμα που είναι συνήθως από γυαλί ή θερμοπλαστικό υλικό. Το πρόθεμα τοποθετείται μπροστά από το φίλτρο για να το προστατεύει από αμυχές, εκτοξευόμενα σωματίδια κ.α. Το φίλτρο γενικά πρέπει να μπορεί να αντικαθίσταται, ιδιαίτερα όταν αυτό είναι σταθερής σκίασης. Το υλικό κατασκευής πρέπει να είναι από υδρόφοβο, βραδύκαυστο υλικό, το οποίο να μην προκαλεί εφίδρωση.

Οι μάσκες μπορεί να είναι χειρός ή κεφαλής. Οι μάσκες χειρός φέρουν πλαστική χειρολαβή στο εσωτερικό τους, η οποία πρέπει να προσθαφαιρείται. Οι μάσκες κεφαλής στηρίζονται στο κεφάλι του εργαζομένου με πλαστικό κεφαλόδεσμο που ρυθμίζεται καθ' ύψος και κατά τη διάμετρό του, ούτως ώστε να εφαρμόζει καλά. Ο κεφαλόδεσμος πρέπει να δίνει τη δυνατότητα ανεβοκατεβάσματος της μάσκας και στο επάνω μέρος της πρέπει να είναι επενδεδυμένη με μαλακό υλικό για να μην ενοχλεί ή τραυματίζει τον εργαζόμενο. Επίσης πρέπει να ρυθμίζεται η απόστασή της από το πρόσωπό του. Κάποια μοντέλα μασκών κεφαλής μπορούν επίσης να προσαρμοστούν σε κράνος ασφαλείας.

Τα φίλτρα που φέρουν μπορεί να είναι σταθερής ή αυτόματης σκίασης. Τα φίλτρα αυτόματης σκίασης σκουραίνουν αυτόματα κατά την έναυση του τόξου και ανάλογα με την ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Όταν δεν υπάρχει τόξο προσφέρουν μόνιμη προστασία από την υπεριώδη, την υπέρυθη και τη μπλε ακτινοβολία του ηλιακού φωτός. Ο χρόνος απόκρισής τους από διαυγές σε σκούρο είναι της τάξης των 0,4 msec και από σκούρο σε διαυγές της τάξης των 100 msec, με δυνατότητα ρύθμισης του τελευταίου σε ορισμένες περιπτώσεις. Παίρνουν τυποποιημένες τιμές επιπέδου σκίασης από ένα εύρος που διαφέρει ανάλογα με το φίλτρο. Λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα και τροφοδοτούνται από μπαταρίες.



Μάσκα κεφαλής



Μάσκα χειρός

Ποδιά ηλεκτροσυγκολλητή

Οι ποδιές ηλεκτροσυγκολλητών έχουν σκοπό την προστασία εκείνων που εργάζονται σε εργασίες ηλεκτροσυγκόλλησης από την απορρόφηση των υπεριωδών ακτίνων που είναι επιβλαβείς, και πρέπει να καλύπτουν το εμπρός μέρος και τα πλάγια του σώματος περίπου μέχρι το ύψος των γονάτων. Οι ποδιές πρέπει να είναι κατασκευασμένες από δέρμα μόσχου σχιστό, πυρίμαχο, πάχους τουλάχιστον 1,00 mm.



Μανίκια ηλεκτροσυγκολλητή

Τα μανίκια αυτά έχουν σκοπό την προστασία από εγκαύματα και ακτινοβολίες των χεριών, εκείνων που εργάζονται σε εργασίες ηλεκτροσυγκόλλησης. Η κατασκευή των μανικιών γίνεται από δέρμα μόσχου σχιστό, πυρίμαχο, πάχους $1,5 \pm 0,1$ mm. Τα μανίκια πρέπει να φέρουν στο κάτω μέρος μανσέτα η οποία να κλείνει με κουμπιά πίεσεως ώστε να εμποδίζεται η είσοδος σπινθήρων στο εσωτερικό του μανικιού.

Περικνημίδες ηλεκτροσυγκολλητών

Οι περικνημίδες αυτές έχουν σκοπό την προστασία από εγκαύματα και ακτινοβολίες των κάτω άκρων, εκείνων που εργάζονται σε εργασίες ηλεκτροσυγκόλλησης. Οι περικνημίδες πρέπει να είναι κατασκευασμένες από δέρμα μόσχου, πυρίμαχο, πάχους τουλάχιστον 1,00 mm. Πρέπει να έχουν ύψος 30 cm περίπου και θα φτάνουν μέχρι το μέσο της κνήμης ώστε να καλύπτουν την περιοχή του πάνω μέρους των παπουτσιών για να τα προστατεύουν από τους σπινθήρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

Βιβλιογραφία

- Peckner D., Bernstein I. 1977, *Handbook of stainless steels*, McGraw-Hill, New York.
- Παπάζογλου Β.Ι., Παπαδημητρίου Γ., 1994. Επιστήμη και τεχνική των συγκολλήσεων, *NTUA*.
- Γεωργίου Δ. Παπαδημητρίου, *Εισαγωγή στη Μεταλλουργία, την Τεχνολογία και τον Έλεγχο των Συγκολλήσεων*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996
- Δ. Ι. Παντελής και Γ. Χρυσουλάκης, *Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2005
- Διαμαντούδης, Θ.Α., *Συγκολλήσεις Μετάλλων*, 2^η εκδ., Θεσσαλονίκη, 2000.
- Βαξεβανίδης, Ν.Μ., *Μηχανολογική Σχεδίαση*, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (ΕΑΠ), Πάτρα, 2003.
- Αντωνιάδης, Α, Πανταζόπουλος, Γ., *Μηχανουργική Τεχνολογία ΙΙ*, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1999.
- Χρυσουλάκη Γ. Δ., Παντελή Δ. Ι., «Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996
- Αθάν. Γ. Μάμαλη, «Κατεργασίες των Υλικών», Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 1991
- Αδαμάκης Ι., Εργασίες Συγκόλλησης και Κοπής Μετάλλων, από την έκδοση του ΕΛΙΝΥΑΕ: Θέματα Υγείας και Ασφάλειας της Εργασίας για επιχειρήσεις β' κατηγορίας (Π.Δ. 294/1988), Αθήνα, 2007
- Αλεξόπουλος Ευάγγελος, Κίνδυνοι για την Υγεία από την Ηλεκτροσυγκόλληση, εκδόσεις ΕΛΙΝΥΑΕ, Αθήνα, 2007
- Γ. Παρίκος (μετάφραση, 2008): «Τεχνολογία Συγκολλήσεων», εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
- Σ. Σκολιανός (1991): «Σημειώσεις Χύτευση-Συγκολλήσεις», έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- Γ.Ν. Χαϊδεμενόπουλος (2010): «Εισαγωγή στις Συγκολλήσεις», εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
- Tusek J., Suban M. (1999), TIG welding in a mixture of argon, helium and hydrogen, *IIW SG-212-948-99*.
- Shirali, A. A., Mills, K. C., The effect of welding parameters on penetration in GTAW, *Welding J.* 72(7) 1993, pp. 347s-353s.
- Lancaster, J.F., Mills, K.C., Recommendations for the avoidance of variable penetration in gas tungsten arc welding, *IIW Doc 212-796-91*.
- Pierce, S. W., Burgardt, P., Olson, D. L., Thermocapillary and arc phenomena in stainless steel welding, *Welding J.*, 78(2) 1999, pp. 45s-52s.
- Paillard, P., Saindrenan, J., Effect of activating fluxes on the penetration capability of the TIG welding arc: study of fluid-flow phenomena in weld pools and the energy concentration in the anode spot of a TIG arc plasma, *Materials Science Forum* 426-4, Ed. Chandra, T., Torralba, J.M., Sakai, T., 4087-4092, 2003.
- Watanabe H., Butsusaki Y., Nagashima T (2004), Development of ultra-narrow gap hot wire GTA welding process, *IIW Doc. XII-1810-04*.
- GTAW process with dual shielding gas, *IIW Doc. XI-455-86*, 1986.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Προκειμένου η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G.(Tungsten Inert Gas) να είναι επιτυχής, πρέπει τα κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από ακαθαρσίες. Η κόλληση επιλέγεται από ενώσεις των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η συγκόλληση πραγματοποιείται χωρίς κόλληση και μόνο με την τήξη των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν.

Η συγκόλληση γίνεται με συνεχές ρεύμα με ορθή ή ανάστροφη πολικότητα. Η κατανομή της θερμότητας στο ηλεκτρικό τόξο είναι για την άνοδο (+) 80%, για την κάθοδο(-) 5% και η μεταφορά από αέριο 15%. Επομένως, για τα περισσότερα μέταλλα χρησιμοποιείται η ορθή πολικότητα. Εξάιρεση αποτελεί το αλουμίνιο, όπου χρησιμοποιείται ανάστροφη πολικότητα για να επιτευχθεί καθοδικός καθορισμός. Εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται με υψηλή συχνότητα και υψηλή τάση για τη βελτίωση της ευστάθειας του τόξου.

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς και ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων του ανοξείδωτου χάλυβα διαστάσεων 10x60x160mm κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης με χρήση των μεθόδων συγκόλλησης T.I.G.

13.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για το πειραματικό μέρος της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δυο τεμάχια ανοξείδωτου χάλυβα με διαστάσεις 10X60X160 , τα οποία προετοιμάστηκαν και μορφοποιήθηκαν στο ένα τους άκρο από τη μεγαλύτερη τους διάσταση σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς μορφοποίησης.

Οι κλίσεις στα άκρα που δόθηκαν είναι 60°. Οι κατεργασίες αυτές έγιναν με χρήση της φρέζας του εργαστηρίου, ακολούθως τα τεμάχια αυτά συγκολλήθηκαν με χρήση μηχανής μεθόδου T.I.G, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε αδρανές αέριο υψηλής καθαρότητας με την επωνυμία ARGON.

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

Με τα παραπάνω στοιχεία παρόλο που στην έναρξη της συγκόλλησης δοκιμάστηκαν και αρκετά άλλα διαπιστώθηκε ότι η συμπεριφορά του τόξου ήταν πολύ καλή. Δηλαδή πήραμε ένα κανονικό σε ύψος τόξο (ούτε πολύ κοντό αλλά ούτε και πολύ υψηλό) με εμφανή των καταιονισμό του υλικού εναπόθεσης.

Με ιδιαίτερη προσοχή στην θέση της λαβίδας (σχεδόν κάθετη) κατά την εκτέλεση της συγκόλλησης στην επιφάνεια του μετάλλου βάσης και φροντίζοντας ώστε το τηκόμενο άκρο του υλικού εναπόθεσης να ισαπέχει και να διατηρεί μια απόσταση περίπου 2 mm από το μέταλλο βάσης , καταφέραμε να πετύχουμε μια ομοιόμορφη και συμπαγής ραφή .

Το ενιαίο σύνολο που πρόεκυψε μετά τη συγκόλληση με πολύ μικρές παραμορφώσεις τοποθετήθηκε στη φρέζα του εργαστηρίου κατεργάστηκε αρχικά από τις μεγάλες παράλληλες και ακολούθως από τις παράπλευρες πλευρές, με σχετικές διαστάσεις όμως εις τρόπον ώστε όλες οι προκύπτουσες επιφάνειες να καταστούν λείες καθόλη την έκτασή τους και με σχετικά μικρό βαθμό τραχύτητας.

Στη συνέχεια τα δοκίμια αυτά διατρήθηκαν με κατάλληλο κοπτικό διαμέτρου $\Phi 30$ mm, αρχικά επάνω στη ραφή και μετέπειτα παραπλεύρως μακριά από την Θ.Ε.Ζ του υλικού με σκοπό αυτά να παρατηρηθούν μικροσκοπικά, κατά συνέπεια να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν τις αλλαγές του μετάλλου βάσης από τις παραπάνω κατεργασίες που υπέστησαν (κοπή, Συγκόλληση, φρεζάρισμα).



13.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Το πρώτο βήμα είναι η εύρεση των παραμέτρων της συγκόλλησης. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές συγκολλήσεις στο πρόχειρο δοκίμιο. Αφού έγιναν αρκετές δοκιμαστικές αποθέσεις προέκυψαν κάποιες συνθήκες συγκόλλησης που φαίνονταν ότι δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Η ρύθμιση του αερίου είναι τόση ώστε να υπάρχει αδρανοποίηση απο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και απο λοιπούς παράγοντες (μικροσωματίδια, οξειδώσεις) στο σημείο του βολταικού τόξου. Μία επιτυχής συγκόλληση προκύπτει όταν έχουμε πλήρη αδράνεια της περιοχής συγκόλλησης απο υδρογόνο, οξυγόνο και οξειδώσεις του μετάλλου. Χρησιμοποιήσαμε παροχή ρεύματος 380 Volt και η ένταση του ρεύματος ήταν ανάλογη με το πάχος του ελάσματος και το πάχος της ακίδας. Το ρεύμα ανα πάσο ήταν μεταβλητό. Δηλαδή στο πρώτο πάσο χρησιμοποιήσαμε 85-95 A, στο δεύτερο πάσο ήταν 10-15 A μεγαλύτερο και στο τρίτο πάσο διατηρήσαμε τα ίδια amper λόγω διατήρησης υψηλής θερμοκρασίας του τεμαχίου. Για να διατηρήσουμε την ίδια τήξη συγκόλλησης στο τελείωμα κάνουμε επιβράδυνση της έντασης λόγω υψηλής θερμοκρασίας του τεμαχίου. Μια επιτυχής

συγκόλληση πρέπει να έχει διακύμανση θερμοκρασίας 20°C σε όλη την διάρκεια της συγκόλλησης για να μην υπάρχει υδρογονοποίηση, εγκλωβισμός οξειδώσεων ή κρυσταλλοποίηση.



Παροχή προστατευτικού αερίου: 82%Ar-18% CO²
Ισχύς μηχανής (ποσοστό επί της μέγιστης): 50%
Ταχύτητα τσιμπίδας: 30 cm/sec
Τάση τόξου, V: 24 V
Ρεύμα συγκόλλησης, I: 80-110 A

Στην συνέχεια τροχίσαμε την ακίδα βολφραμίου πάχους 2,2mm ώστε να έχει την απαραίτητη γωνία. Η συγκόλληση έγινε κατά διαστήματα με διαφορετικές κατευθύνσεις έτσι ώστε να έχουμε τις λιγότερες μεταφερόμενες τάσεις. Ολοκληρώσαμε την συγκόλληση σε τρία επίπεδα(πάσα), ενώ πάντα είχαν την ίδια κατεύθυνση τα σημεία συγκόλλησης. Τέλος, αφήσαμε το δοκίμιο να κρυώσει και μετά το απελευθερώσαμε.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

Μεταλλογραφική διερεύνηση δοκιμίων (Μικροσκόπηση)

14.1 Εισαγωγή

Η μεταλλογραφία είναι ο τομέας της φυσικής μεταλλουργίας που ασχολείται με τη δομή των μετάλλων και των κραμάτων τους. Αρχικά γίνεται η αποκάλυψη της δομής του μετάλλου και στην συνέχεια η μελέτη της με την βοήθεια διαφόρων οργάνων και τεχνικών. Τα όργανα και οι τεχνικές που συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε κατά τη μεταλλογραφία είναι στερεοσκόπια, οπτικά και ηλεκτρονικά μικροσκόπια.

Για να φτάσουμε, όμως στο στάδιο της παρατήρησης στο μικροσκόπιο, πρώτα οι συγκολλημένες πλάκες κόπηκαν, με τη βοήθεια δισκοτόμου σε δοκίμια μικρότερων διαστάσεων. Αυτό έγινε ώστε αυτά τα δοκίμια να είναι εύχρηστα και να είναι δυνατή η εύκολη τοποθέτησή τους στο μικροσκόπιο και στη συσκευή μικροσκληρομετρήσεων. Μετά ακολουθεί ο εγκιβωτισμός, η λείανση, η στίλβωση, και στη συνέχεια η χημική προσβολή του δοκιμίου για να φανερωθεί η δομή του προς εξέταση μετάλλου. Στη συνέχεια περιγράφεται πιο αναλυτικά πως έγινε η προετοιμασία των δοκιμίων.

14.2 Λείανση

Κατά τη λείανση χρησιμοποιούμε λειαντικά χαρτιά, τα οποία τοποθετούνται σε ένα περιστρεφόμενο δίσκο και η λείανση των δοκιμίων γίνεται με το χέρι ή μηχανικά. Πάνω στο χαρτί ρέει νερό, το οποίο βοηθάει στην απομάκρυνση των κομματιών του μετάλλου, της ρητίνης ή του λειαντικού χαρτιού από την επιφάνια επαφής.

Τα χαρτιά λείανσης τοποθετούνται διαδοχικά από το πιο χονδρόκοκκο στο πιο λεπτόκοκκο χαρτί. Σκοπός μας είναι κάθε φορά να εξαλείφονται οι ανωμαλίες της επιφάνειας ή οι γραμμές από το προηγούμενο χαρτί, δημιουργώντας μία ομοιόμορφη επιφάνεια με κάθε φορά όλο και πιο λεπτές γραμμές. Μετά το τελευταίο χαρτί, το δοκίμιο είναι έτοιμο να στίλβωθεί. Η λείανση των δοκιμίων μας έγινε διαδοχικά με τα εξής χαρτιά: 220, 320, 500, 800, 1200, 2400 grit.

14.3 Στίλβωση

Η στίλβωση ακολουθεί τη λείανση και σκοπός της είναι να εξαλείψει τις γραμμές λείανσης από τα δοκίμια. Η στίλβωση γίνεται πάνω σε κατάλληλα υφάσματα στα οποία απλώνεται διαμαντόπαστα ή πάστα οξειδίων (π.χ. αλούμινας). Τα υφάσματα τοποθετούνται σε περιστρεφόμενο τροχό και η διαδικασία απαιτεί και υγρό λιπαντικό μέσο ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη πάστα. Ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται και το στάδιο στίλβωσης, γίνεται και η ανάλογη χρήση υφάσματος. Τέλος, κάθε στάδιο χρησιμοποιεί, όπως και στη λείανση μικρότερο μέγεθος λειαντικών σωματιδίων από το προηγούμενο. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μία επιφάνεια μετάλλου τόσο λεία που θα καθρεφτίζει, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και στην παραπάνω φωτογραφία.

14.4 Χημική προσβολή

Το στάδιο της χημικής προσβολής είναι απαραίτητο για να αποκαλυφθεί η δομή του εξεταζόμενου υλικού με μικροσκοπικές μεθόδους, μιας και η απρόσβλητη επιφάνεια μπορεί να δώσει λίγες σχετικά πληροφορίες. Η χημική προσβολή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνική αποκάλυψης των χαρακτηριστικών της δομής μεταλλικών δοκιμίων. Γνωρίζοντας ποιες φάσεις προσβάλλει το αντιδραστήριο που έχουμε επιλέξει και ποιες όχι, αντιλαμβανόμαστε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της δομής. Για την προσβολή των μετάλλων και των κραμάτων έχουν αναπτυχθεί πολλά αντιδραστήρια. Οι πληροφορίες που χρειάζεται κανείς για να χρησιμοποιήσει ένα αντιδραστήριο είναι η σύσταση του, ο τρόπος χρησιμοποίησής του και τι προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται κατά τη χρήση του. Για να μπορέσει να κατανοήσει κάποιος την δομή που παρατηρεί θα πρέπει να ξέρει ποιες φάσεις προσβάλλονται ή χρωματίζονται από το αντιδραστήριο και το χρώμα που λαμβάνουν. Μετά από την προσβολή η επιφάνεια εκπλένεται με νερό για να απομακρυνθεί το αντιδραστήριο και να σταματήσει η προσβολή, καθαρίζεται με οινόπνευμα και στεγνώνεται.

Η χημική προσβολή των δοκιμίων έγινε με Nital, διάλυμα νιτρικού οξέος (HNO_3) σε αιθανόλη ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) σε αναλογία 1:50.



14.5 Οπτικό Μικροσκόπιο

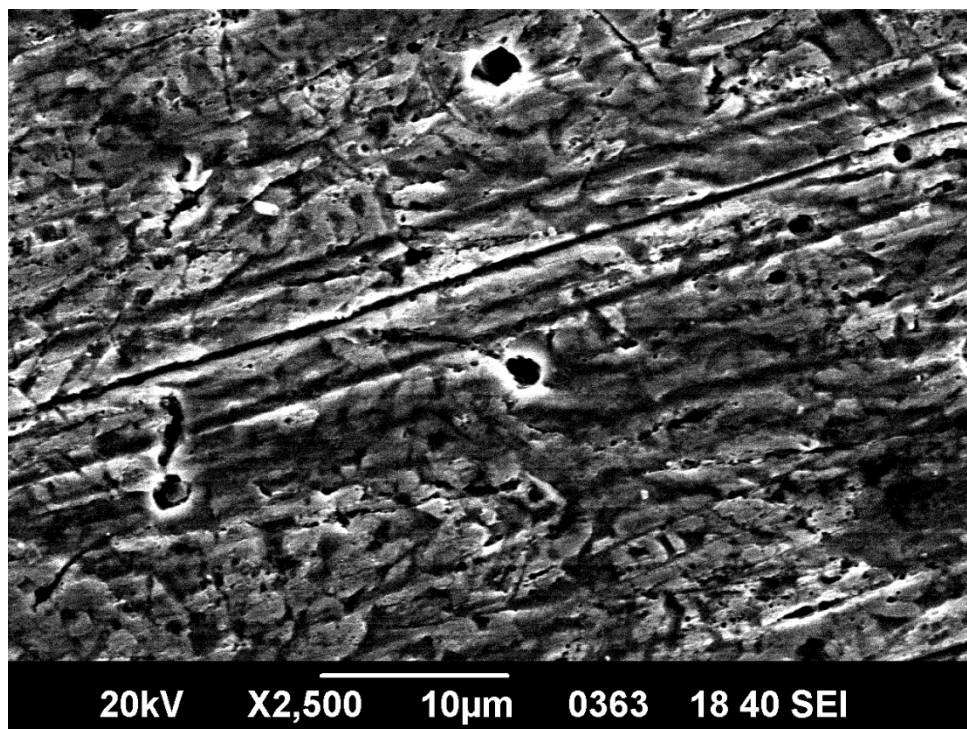
Η οπτική μικροσκοπία είναι σήμερα η πιο σημαντική μέθοδος μελέτης της μικροδομής μετάλλων και κραμάτων. Τα δοκίμια αφού στιλβωθούν και γίνει η χημική προσβολή, είναι έτοιμα για το οπτικό μικροσκόπιο. Το κύριο εργαλείο της οπτικής μικροσκοπίας είναι το μικροσκόπιο ανακαλούμενου φωτός.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μικροσκοπίων, που ανάλογα με τον προσανατολισμό του δοκιμίου κατά την παρατήρηση του χωρίζονται σε ορθής παρατήρησης και αντεστραμμένης. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) του Εργαστηρίου που χρησιμοποιήθηκε για την φωτογράφιση των δοκιμίων είναι ανεστραμμένης παρατήρησης.

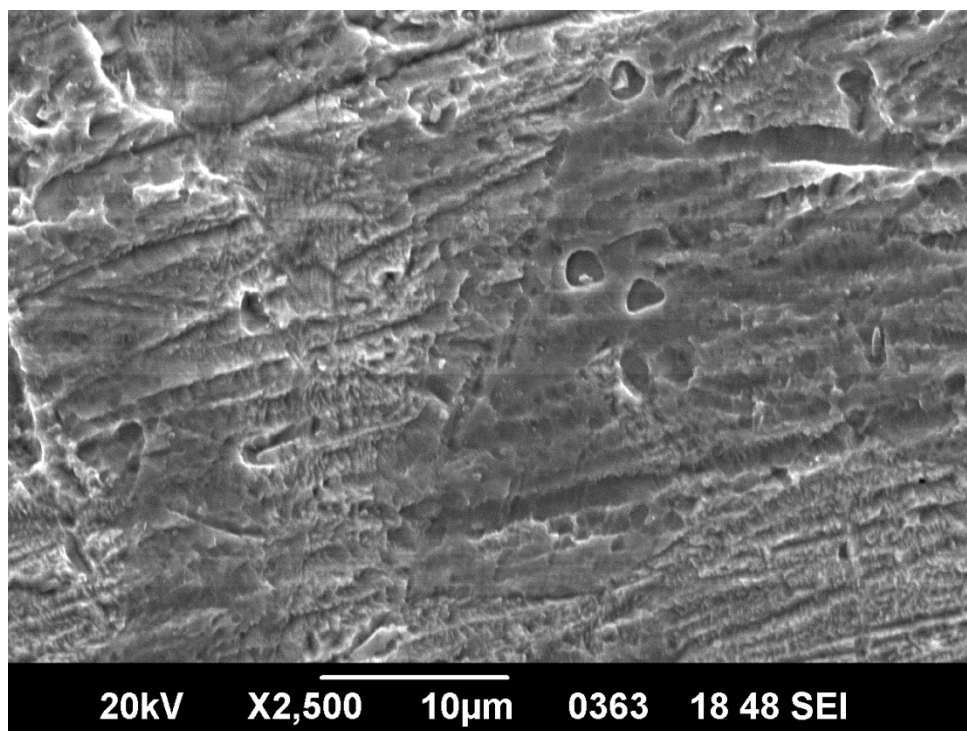


14.6 Μελέτη μικροδομής μετάλλου βάσης (M.B)

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η τυπική δομή του μετάλλου βάσης σε μεγέθυνση.

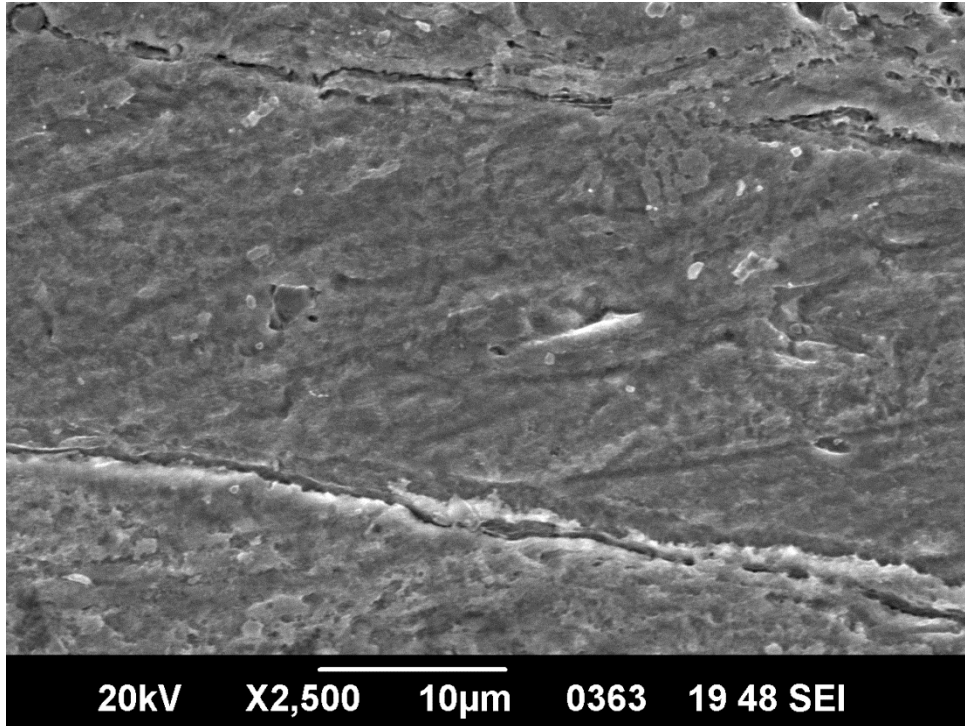


Εικόνα 14.6 Μέταλλο βάσης ανοξείδωτου χάλυβα σε καθαρή περιοχή 316L

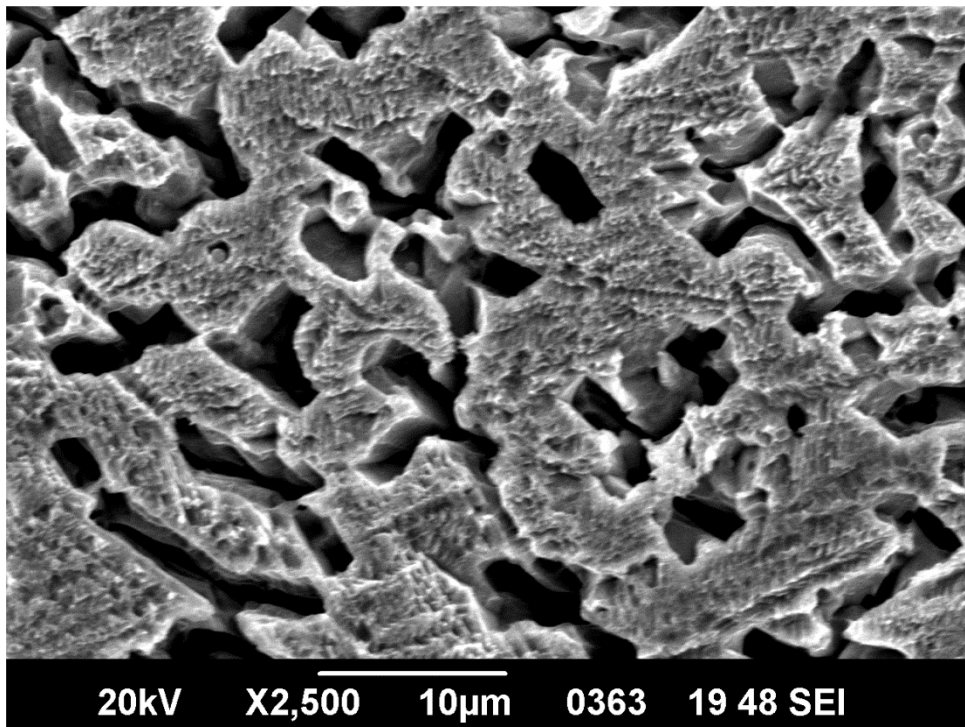


Εικόνα 14.6.1 Μέταλλο βάσης ανοξείδωτου χάλυβα όπου έχει υποστεί χημική προσβολή

Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε στο μέταλλο βάσης πλήρως ωστενιτική δομή με ευδιάκριτους κόκκους και διδυμίες. Εμφανείς είναι επίσης οι γραμμές δ-φερρίτη οι οποίες προκύπτουν από τον τοπικό διαφορισμό των α-φερογόνων στοιχείων (που προωθούν την φάση του φερρίτη) που δημιουργούνται κατά την κατεργασία της θερμής έλασης.



Σχήμα 14.6.2 Καθαρό μέταλλο βάσης ανοξείδωτου χάλυβα



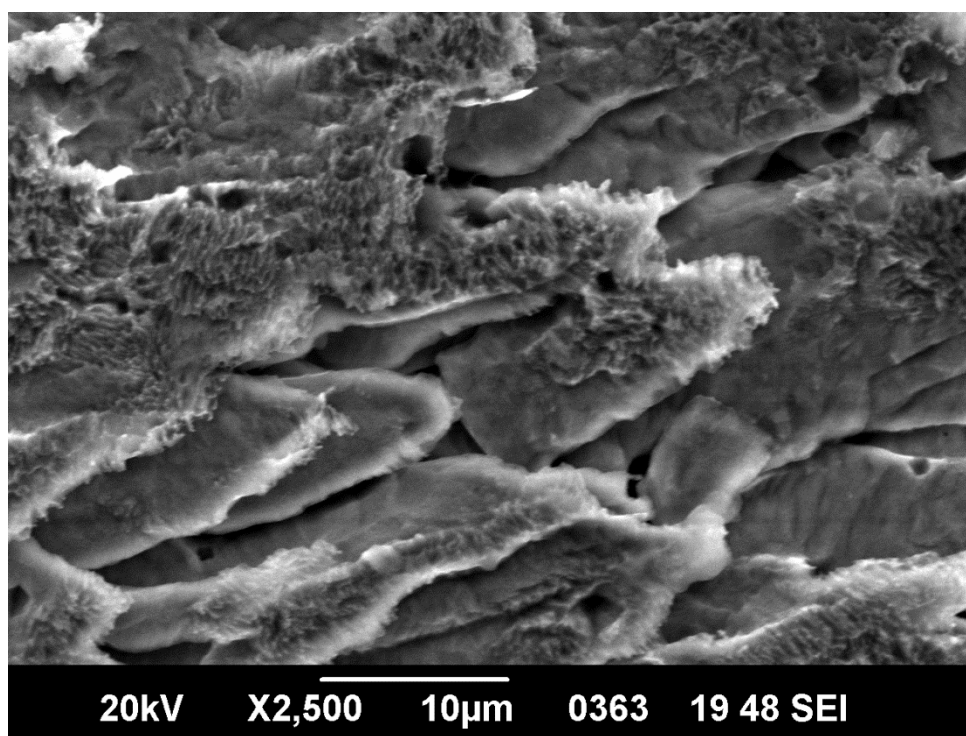
14.6.3 Μέταλλο βάσης σε προσβαλλόμενη περιοχή

Όπως φαίνεται και στις εικόνες, είναι εμφανής αλλά όχι μεγάλη η αλλαγή στη μικροδομή μεταξύ ΜΣ και ΘΕΖ. Παρατηρείται αλλαγή της διεύθυνσης των κόκκων, με τους κόκκους στη ΘΕΖ να έχουν χάσει την αρχική παράλληλη διάταξη που είχαν λόγω της έλασης και, ακόμη, σημειώνεται ότι η ΘΕΖ δεν αποτελεί ομοιόμορφη ζώνη ως προς τη μικροδομή της, αλλά αποτελείται από διαφορετικές οπτικά περιοχές έως ότου σταδιακά γίνεται η μετάβαση στο ΜΣ (Εικόνα 14.6.4).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14.7, όσο μετακινούμαστε από τη ζώνη τήξης (μέταλλο συγκόλλησης) προς τα έξω παρατηρούμε, διαδοχικά, πρώτα χονδρόκοκκες δομές (φερρίτη-περλίτη), κατόπιν κόκκους μέσου μεγέθους που γίνονται διαρκώς όλο και λεπτότεροι και στο τέλος το μέταλλο βάσης χωρίς μεταβολή. Αυτό υποδεικνύει ότι υπήρξε θερμικός επηρεασμός λόγω της συγκόλλησης αλλά σε μικρό επίπεδο.

Επίσης, παρατηρήθηκε σε μερικά σημεία στη ΘΕΖ και στο ΜΣ, λόγω της ταχύτητας απόψυξης, σχηματισμός φερρίτη (εικόνες 14.6.2 και 14.6.3), δηλαδή φερρίτη με βελονοειδή μορφή λόγω πιθανώς της αύξησης των κόκκων ωστενίτη κατά την υπερθέρμανση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η παρουσία του φερρίτη οδηγεί συνήθως σε μείωση της δυσθραυστότητας, η οποία μπορεί να διαπιστωθεί όμως μόνο με δοκιμή Charpy.

Τέλος, διακρίνουμε στο ΜΣ (ζώνη τήξης) περιοχή όπου, λόγω της απόψυξης του τήγματος, έχουν σχηματιστεί κόκκοι υπό μορφή δενδριτών (Εικόνα 14.7.2 και Εικόνα 14.7.3). Οι δενδρίτες, με φορά αντίθετη προς τη ροή της θερμότητας, είναι τόσο λεπτότεροι, όσο η ταχύτητα απόψυξης είναι μεγαλύτερη. Η αργή απόψυξη ευνοεί τους μεγάλους και χονδρούς δενδρίτες και οδηγεί σε φτωχότερες μηχανικές ιδιότητες της ζώνης τήξης. Η απόψυξη είναι πιο αργή για μεγάλες θερμικές παροχές και μικρό πάχος ελασμάτων.

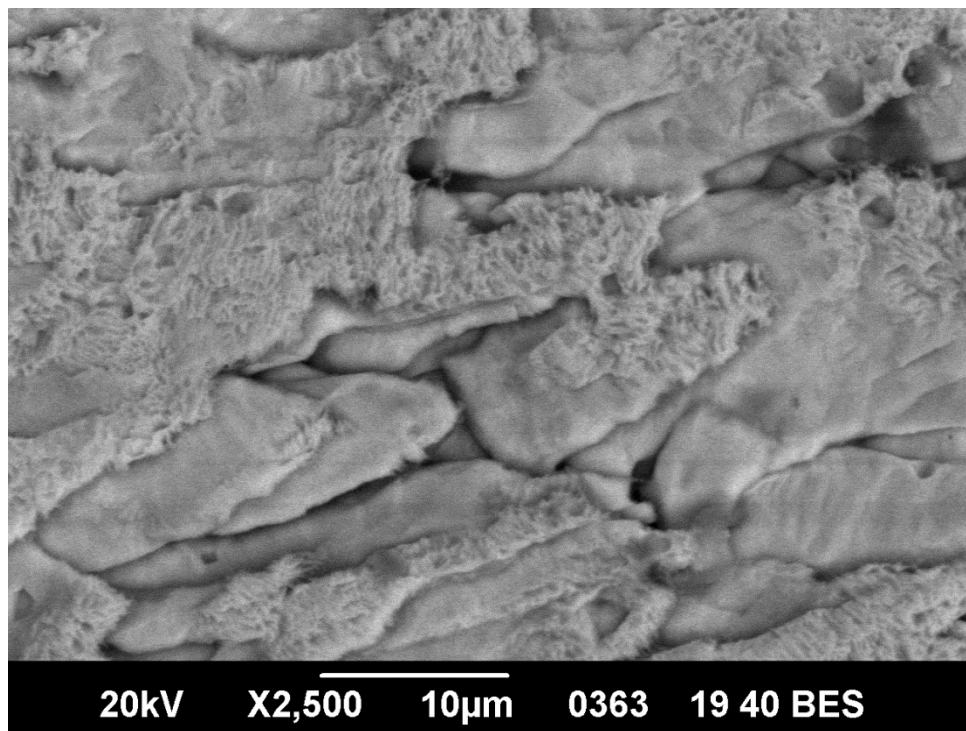


Σχήμα 14.6.4 Η ένωση του μετάλλου συγκόλλησης με το μέταλλο βάσης

Στην Εικόνα 14.6.4, διακρίνεται μία πολύ στενή ζώνη σύνδεσης μεταξύ του μετάλλου βάσης και του μετάλλου συγκόλλησης. Δεν παρατηρείται μεταβολή ούτε στο μέγεθος των κόκκων αλλά ούτε και ως προς την μορφολογία της μικροδομής, όπου παραμένει ίδια μέχρι το μέταλλο συγκόλλησης (Μ.Σ.). Το γεγονός αυτό εμποδίζει τον οπτικό χαρακτηρισμό της ΘΕΖ ή την χαρακτηρίζει ως πάρα πολύ μικρή.

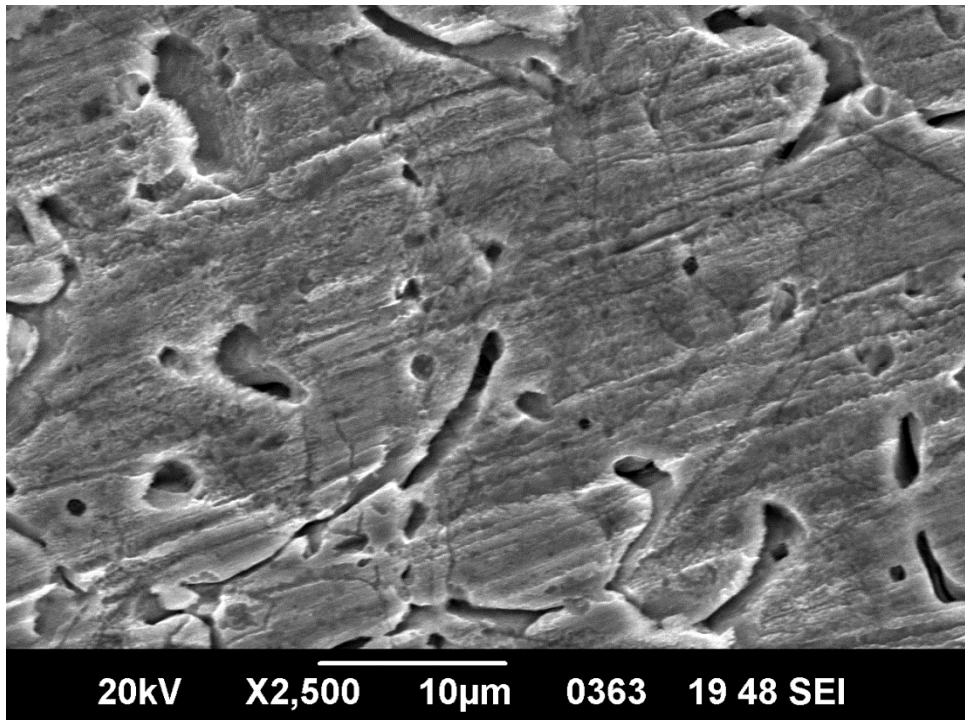
14.7 Μελέτη μικροδομής μετάλλου εναπόθεσης (Μ.Σ)

Στην εικόνα 14.7 φαίνεται η τυπική δομή του μετάλλου συγκόλλησης σε περιοχή η οποία έχει υποστεί χημική προσβολή.



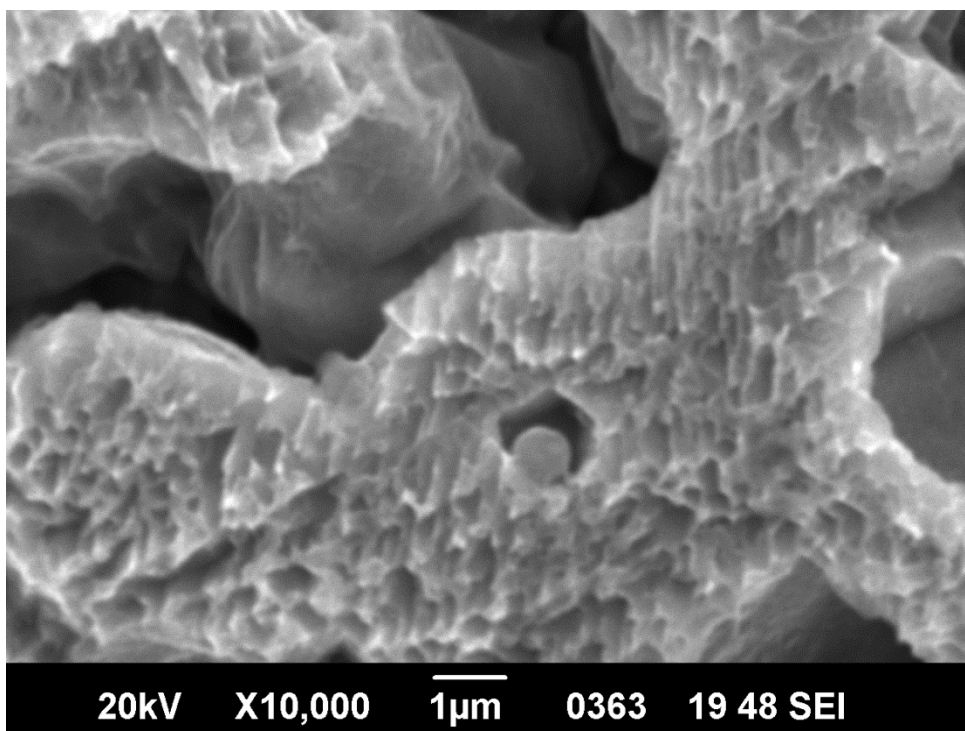
Εικόνα 14.7 Μέταλλο συγκόλλησης σε περιοχή όπου έχει υποστεί χημική προσβολή (SEI Topology)

Στην εικόνα 14.7.1 φαίνεται το μέταλλο βάσης σε καθαρή περιοχή όπου δεν έχει υποστεί χημική προσβολή. Η εικόνα 14.7 είναι πιο καθαρή λόγω της χημικής προσβολής που έχει υποστεί.

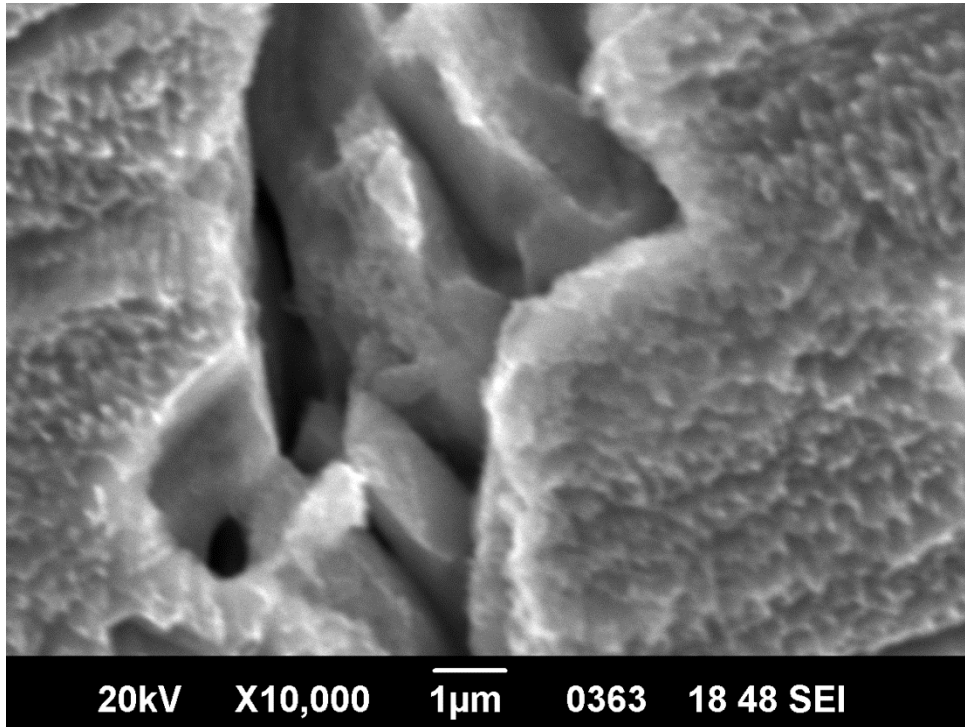


Εικόνα 14.7.1 Μέταλλο βάσης σε καθαρή περιοχή

Η φωτεινότητα έχει να κάνει με το πόσο επίπεδη είναι η επιφάνεια όπου εξετάζουμε. Τα χαρακτηριστικά μαύρα σημάδια είναι πόροι ενώ τα άσπρα σημάδια είναι εξωγκώματα ή διάφορα καρβίδια.



Εικόνα 14.7.2 Μέταλλο βάσης σε προσβαλόμενη περιοχή



Εικόνα 14.7.3 Μέταλλο συγκόλλησης σε προσβαλλόμενη περιοχή

14.8 Παρατήρηση αλλαγών στην μικροδομή του υλικού

Η κρυσταλλική δομή διαφοροποιείται διότι το τεμάχιο πριν τη συγκόλληση ήταν σε θερμοκρασία δωματίου και μετά την συγκόλληση υπερθερμάνθηκε με αποτέλεσμα την αλλαγή της κρυσταλλικής του δομής.

Το μέταλλο βάσης έχει ωστενιτική κυρίως μικροδομή με εμφανείς διδυμίες. Το μέγεθος των κόκκων και η μορφολογία τους παραμένει η ίδια μέχρι και το όριο διαχωρισμού της ΘΕΖ από το μέταλλο συγκόλλησης, γεγονός που υποδεικνύει ότι δεν υπήρξε αξιοσημείωτος θερμικός επηρεασμός λόγω της συγκόλλησης. Σε όλο το μέταλλο συγκόλλησης εμφανίζονται κόκκοι δενδριτικής μορφής, οι οποίοι ακολουθούν τις διευθύνσεις στερεοποίησης. Ανάμεσα στους δενδρίτες, είναι εμφανής η ύπαρξη δ-φερρίτη. Επίσης υπήρξε ομοιογένεια μεταξύ του μετάλλου εναπόθεσης και του μετάλλου βάσης πράγμα που αποδύκνυει ότι οι προδιαγραφές της συγκόλλησης είναι πολύ καλές. Τέλος σημειώνεται ότι σε καμία περιοχή δεν εντοπίστηκαν μικρορωγματώσεις, πορώδες ή άλλες ασυνέχειες, αλλά ούτε και καρβίδια.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την παρούσα πτυχιακή στόχευσα στην παρουσίαση των βασικών εννοιών σε ό, τι αφορά τους ανοξείδωτους χάλυβες, την διαμόρφωση της δομής τους, τη συμπεριφορά τους σε διάφορα περιβάλλοντα και μετά την επεξεργασία τους. Εξέτασα την παραγωγική διαδικασία και την πληθώρα εφαρμογών τους, ανέλυσα αυτούς βάσει των παραγόντων που επιδρούν στην συγκολλητότητα ενός υλικού και στην συνέχεια μελέτησα μεθόδους συγκόλλησης αυτών (όργανα, διαδικασία, εξοπλισμός).

Τέλος, με ποικιλία εικόνων και σχεδιαγραμμάτων, θέλησα να βοηθήσω τον αναγνώστη να έχει ολοκληρωμένη μηχανολογική άποψη για την μέθοδο συγκόλλησης T.I.G. και τους ανοξείδωτους χάλυβες.