



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΠΑΧΕΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ
SUBMERGED ARC WELDING - ELECTROSLAG WELDING
ELECTROGAS WELDING

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Σ. ΚΑΛΑΠΟΘΑΡΑΚΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δ.Ι. ΠΑΝΤΕΛΗΣ

ΖΩΓΡΑΦΟΥ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
1.1 Τα πρώτα Ναυπηγικά υλικά	1
1.2 Οι πρώτες ενδείξεις συγκόλλησης	4
2 ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	9
2.1 Ναυπηγικοί χάλυβες	10
2.2 Συγκόλληση – Κατασκευή σκάφους	12
3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΥ ΤΟΞΟΥ – SUBMERGED ARC WELDING	13
3.1 Αρχή λειτουργίας	13
3.2 Αρχή της διαδικασίας	15
3.3 Εφαρμογή της μεθόδου	16
3.4 Συγκόλληση χαλύβων	18
3.5 Είδη συνδέσεων	19
3.6 Ηλεκτρικό κύκλωμα συγκόλλησης	22
3.7 Εξοπλισμός μηχανής συγκόλλησης	23
3.8 Ηλεκτρόδια και συλλιπάσματα	29
3.9 Διάκριση συλλιπασμάτων	31
3.10 Επιλογή ηλεκτροδίου και συλλιπάματος	36
3.11 Ρυθμός απόθεσης και ποιότητα συγκόλλησης	37
3.12 Προγραμματισμός παραμέτρων συγκόλλησης	40
3.13 Μεταβλητές συγκόλλησης	42
3.14 Τεχνικές εκτέλεσης	44
3.15 Επικαλύπτρες	46
3.16 Έναυση ηλεκτρικού τόξου	53
3.17 Παραλλαγές της μεθόδου	54
3.18 Βιβλιογραφικές αναφορές	57
4 ΗΛΕΚΤΡΟΣΚΩΡΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ – ELECTROSLAG WELDING	58
4.1 Αρχή λειτουργίας	59
4.2 Πλεονεκτήματα και χρήσεις	64
4.3 Συγκολλησιμότητα μετάλλων και εύρος εφαρμογής	65
4.4 Δυνατότητα συνδέσεων	67
4.5 Ηλεκτρικό κύκλωμα και ρεύμα συγκόλλησης	68
4.6 Εξοπλισμός	69
4.7 Υλικά συγκόλλησης	70
4.8 Ποιότητα συγκολλήσεων	72
4.9 Προγραμματισμός συγκόλλησης	73
4.10 Μεταβλητές συγκόλλησης	75
4.11 Ζητήματα ασφαλείας	76
4.12 Βιομηχανικές εφαρμογές	76
4.13 Βιβλιογραφικές αναφορές	78
5 ELECTROGAS WELDING	80
5.1 Αρχή λειτουργίας	80
5.2 Δυνατότητες συγκόλλησης	82
5.3 Σχεδιασμός ένωσης	82
5.4 Ηλεκτρικό κύκλωμα	83
5.5 Εξοπλισμός	84
5.6 Ρυθμός απόθεσης και ποιότητα συγκόλλησης	85
5.7 Προγραμματισμός συγκόλλησης – παράμετροι	85
5.8 Θέματα ασφαλείας	86
5.9 Βιομηχανικές εφαρμογές	87
6 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ (WPSs)	91
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γνώση της τεχνολογίας των συγκολλήσεων για ένα ναυπηγό μηχανολόγο μηχανικό είναι ιδιαίτερος σημαντική αφού οι συγκολλήσεις αποτελούν την πιο συνηθισμένη μέθοδο σύνδεσης μεταλλικών μερών στη ναυπηγική βιομηχανία.

Θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση τριών μεθόδων συγκολλήσεως με ευρεία εφαρμογή στη Ναυπηγική.

1. Τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου (Submerged Arc Welding, SAW)
2. Την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση (Electroslag Welding, ESW)
3. Electrogas Welding, EGW

Και οι τρεις μέθοδοι είναι ιδανικές για μεγάλου πάχους ελάσματα ενώ οι δύο τελευταίες για τις κατακόρυφες συγκολλήσεις.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω τον κ. Δ.Ι. Παντελή Καθηγητή στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις του κατά την εκπόνησή της. Επίσης για την υπομονή του και την αμέριστη συμπαράστασή του.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση τριών μεθόδων συγκόλλησης που εφαρμόζονται στη Ναυπηγική Βιομηχανία, κυρίως για τη συγκόλληση μεγάλου πάχους ελασμάτων χάλυβα.

Αυτές είναι:

- Η συγκόλληση βυθισμένου τόξου
Submerged Arc Welding, SAW
- Η ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση
Electroslag Welding, ESW
- Electrogas Welding, EGW

Γίνεται ανάλυση των μεθόδων, η οποία περιλαμβάνει την αρχή λειτουργίας, τις φάσεις της συγκόλλησης καθώς και τις παραμέτρους που υπεισέρχονται σε αυτές.

Περιγράφονται επίσης οι τύποι των ηλεκτροδίων και των συλλιπασμάτων που απαιτούνται για την εκτέλεσή αυτών, ενώ παρέχονται όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές για περαιτέρω μελέτη.

Στο τέλος παρατίθενται δύο παραρτήματα με υποδείγματα των πιστοποιητικών της διαδικασίας συγκόλλησης (Welding Procedure Specifications) και του συνόλου των κινδύνων που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση των συγκολλήσεων.

ABSTRACT

The following paper attempts to present three Welding Methods as these are applied in the field of Naval Industry, mainly for the welding of thick steel plates.

These are:

- Submerged Arc Welding, (SAW)
- Electroslag Welding, (ESW)
- Electrogas Welding, (EGW)

An analysis of these methods is conducted, and this involves the Principles of Operation, the Welding levels, as well as their parameters.

Electrodes and flux types are demonstrated, as these are essentially required in the methods. Additionally, all the references that have been used are included for further research.

At the end of this thesis, two appendixes with patterns of Welding Procedure Specifications are attached, together with all the dangers in total that can be encountered in the welding process.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ^[1-3]

Πλοίο, σύμφωνα με τον Κώδικα Δημοσίου Ναυτικού Δικαίου (ΝΔ 187/1973), είναι κάθε σκάφος, δηλαδή κοίλο ναυπήγημα, προορισμένο να κινείται πάνω στο νερό, με σκοπό τη μεταφορά προσώπων ή πραγμάτων, τη ρυμούλκηση, την επιθαλάσσια αρωγή, την αλιεία, την αναψυχή, τις επιστημονικές έρευνες ή οποιοδήποτε άλλο ναυτιλιακό σκοπό. Ο Κώδικας Ιδιωτικού Ναυτικού Δικαίου (Ν. 3816/1958) περιορίζει ακόμα περισσότερο την έννοια του πλοίου σε κάθε σκάφος που έχει καθαρή χωρητικότητα δέκα τουλάχιστον κόρων και είναι προορισμένο να κινείται αυτοδύναμα στη θάλασσα.

Υπολογίζεται ότι τα πρώτα ξύλινα πλοία, κατασκευασμένα από καλάμια της Νουβίας, ναυπηγήθηκαν την 5^η χιλιετία από τους Αιγύπτιους για πλόες στο Νείλο. Η αρχή της ναυπήγησης ξύλινων πλοίων κατάλληλων για πλόες στην ανοικτή θάλασσα τοποθετείται περί το 3.000 π.Χ. Τα πλοία αυτά είχαν μονόστηλο ιστό τρόπιδα, όχι όμως εγκάρσιους νομείς, όπως όλα τα ναυπήγηματα από τη μινωική εποχή και μετά. Περί το 2.000 π.Χ. οι Μινωίτες ναυπηγούσαν ξύλινα πλοία με υπερυψωμένη πλώρη και χαμηλή σχετικά πρύμνη, που είχαν εγκάρσιους νομείς πάνω στους οποίους στερεωνόταν το περίβλημα του πλοίου, τεχνοτροπία που ισχύει μέχρι σήμερα, καθώς και μονόστηλο ιστό. Λίγο αργότερα τα πλοία των Φοινίκων αποκτούν ισχυρή κατασκευή και μεγάλη για την εποχή μεταφορική ικανότητα. Οι Έλληνες έχουν να επιδείξουν κωπήλατα πλοία, την τριαντακόρο και την πενηντακόρο, με 30 ή 50 κωπηλάτες ενώ από το 500 π.Χ. και μετά την τριήρη, ελαφρό και ταχύ κωπήλατο πλοίο με ισχυρή πρωραία κατασκευή, αναπόσπαστο τμήμα της οποίας ήταν το έμβολο. Οι αθηναϊκές τριήρεις πρέπει να είχαν μήκος 35-40 m, πλάτος 4,5-5 m, βύθισμα 1,2-1,4 m και εκτόπισμα 70-100 τόνους. Ήταν κατασκευασμένες από πεύκο και έλατο και εξοπλισμένες με δύο ιστούς, έναν κύριο (μέγας) και ένα μικρότερο στην πλώρη (ακάτειος). Οι Ρωμαίοι πάνω από το ορθογώνιο ιστίο τοποθέτησαν ένα άλλο, τριγωνικό, το οποίο αποτελεί τον πρόδρομο του Βυζαντινού και μετέπειτα ιστίου, που ονομαζόταν «λατίνι».

Από τους ελληνιστικούς χρόνους μέχρι και τον Μεσαίωνα, σε όλους τους τύπους των ιστοφόρων σημειώθηκαν πολυάριθμες μεταβολές στην εξαρτία και σε μικρότερο βαθμό στο σκάφος, με μικρότερο ή μεγαλύτερο βύθισμα και αναλογία μήκους

πλάτους, ώστε η ευστάθεια τους να ανταποκρίνεται στην εκάστοτε υιοθετούμενη ιστοφορία. Με το τέλος του Μεσαίωνα, τον 15^ο αιώνα, εμφανίστηκαν στις θάλασσες πλοία με περισσότερα αλλά μικρότερα ιστία, μεγάλωσαν τα βοηθητικά λατίνια και προστέθηκε στον τρίτο ιστό τραπεζοειδές ιστίο (μπούμα). Καθιερώθηκε επίσης οριστικά ο πρόβολος και τοποθετήθηκαν ένα ή και περισσότεροι αρτεμόνες (φλόκοι). Στις μεταβολές και ανακατατάξεις στη σύνθεση της ιστοφορίας των πλοίων της Μεσογείου σημαντικοί επίδραση είχαν οι Βίκινγκς, οι οποίοι έμαθαν στους ναυτικούς της Μεσογείου να ταξιδεύουν με την πιο μικρή γωνία προς τον άνεμο. Εξάλλου από τον 13^ο αιώνα και μετά ήταν σε χρήση πια το σύγχρονο πηδάλιο, στερεωμένο στο ποδόστημα, πλέον κατάλληλο για ιστοφόρο και μάλιστα με μεγάλα έξαλα.

Όταν τα ξύλινα ιστοφόρα πλοία χρειάστηκε να διαπλεύσουν τους ωκεανούς, η εμπειρική ναυπηγική δεν επαρκούσε για να επιλύσει τα προβλήματα που δημιουργούσαν οι εφαρμοζόμενες πάνω στο πλοίο ροπές, τόσο κατά το εγκάρσιο όσο και κατά το διάμηκες. Αυτό επιτεύχθηκε μόλις τον 17^ο αιώνα, όταν η επιστήμη ήρθε πλέον συνεπικουρη στην τέχνη της ναυπηγικής.

Τα διάφορα είδη ξύλου είναι λοιπόν τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη ναυπηγική. Η ευρεία χρήση τους οφείλεται στο γεγονός ότι εμφανίζονται στο φυσικό περιβάλλον σε μεγάλες ποσότητες, στο ότι είναι ελαφρά επιπλέοντα και μπορούν να διαμορφωθούν με απλά εργαλεία. Είναι αξιοσημείωτο ότι παρά το γεγονός ότι υπήρχε μεγάλη χρήση μετάλλων για αρκετούς αιώνες σε διάφορα εξαρτήματα των πλοίων, η πρώτη σημαντική χρήση μετάλλων στη γάστρα του πλοίου συνέβη στις αρχές του 17^{ου} αιώνα. Η συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν η επίστρωση λεπτών ελασμάτων χαλκού στην ξύλινη βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας με σκοπό την προστασία της από το μικροοργανισμό *Teredo navalis*, που σε τροπικά νερά κατάστρεφε το ξύλο.

Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα το υλικό κατασκευής των πλοίων ήταν το ξύλο, το οποίο λόγω του είδους των αρμόσεων που χρησιμοποιούνται δεν έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει όλη την αντοχή που διαθέτει. Έτσι το μέγεθος των πλοίων είχε περιορισμούς που εξαρτιόνταν από τον τρόπο ανέγερσης, την εκμεταλλεύσιμη αντοχή αλλά και τη δυνατότητα διαμόρφωσης του υλικού.

Περί τα τέλη του 19^{ου} αιώνα εισήχθη ως ναυπηγικό υλικό ο σίδηρος και λίγο αργότερα ο χάλυβας. Το υλικό αυτό έχει μεγαλύτερη αντοχή από το ξύλο και λόγω του ότι μπορεί να διαμορφωθεί και να συναρμολογηθεί κατάλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολύ μεγαλύτερων κατασκευών. Έτσι το μέγεθος των πλοίων άρχισε να αυξάνεται και περί τα μέσα του 20^{ου} αιώνα κατασκευάσθηκαν πλοία τα οποία για τους ναυπηγούς του περασμένου αιώνα ανήκαν στο πεδίο της επιστημονικής φαντασίας.

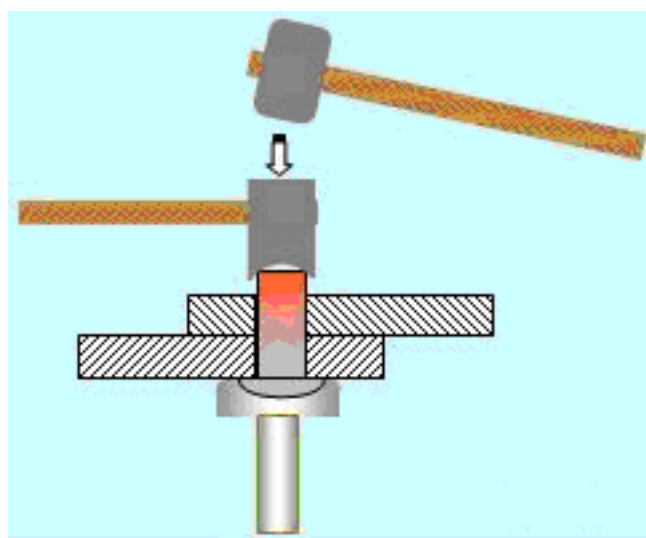
Σήμερα, η ποικιλία των διατιθέμενων τεχνικών υλικών είναι πολύ μεγάλη και καθιστά δύσκολη την επιλογή τους, ακόμη και για μια σχετικά απλή κατασκευή. Τα τελευταία χρόνια, η συσσώρευση επιστημονικών γνώσεων, επαγγελματικής εμπειρίας καθώς και τα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα έχουν καταστήσει εφικτό και τον πολυπλοκότερο θεωρητικό σχεδιασμό ενός προϊόντος με μεγάλη ακρίβεια. Τα προβλήματα παρουσιάζονται στο στάδιο της υλοποίησης. Όταν μελετάται η κατασκευή ενός προϊόντος τίθεται δύο ερωτήματα: πως θα κατασκευαστεί το συγκεκριμένο προϊόν και από ποια υλικά, ώστε να πληροί τις αναγκαίες προϋποθέσεις για τη σωστή λειτουργία του^[4].

1.2 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ^[5]

Οι πρώτες ενδείξεις σύνδεσης είναι ορατές περισσότερο από 4.000 χρόνια πριν, όταν συνδεθήκανε φύλλα χρυσού για την κατασκευή κοσμημάτων. Στη Βίβλο υπάρχει ίσως η πρώτη αναφορά ονόματος τεχνίτη, του Tubal Cain, σαν τον πρώτο που σφυρηλάτησε σε καμίνι μπρούτζο και σίδηρο για την κατασκευή εργαλείων. Στην αρχαία Ελλάδα η πρώτη επώνυμη συγκόλληση σιδήρου έγινε από τον Γλαύκο τον Χίο το 700 π.Χ. . Η χρήση όμως του ξύλου, ως πρώτη ύλη για τις κατασκευές και η περιορισμένων δυνατοτήτων εφαρμογή της συγκόλλησης μετάλλων, ήταν ο λόγος που στη διαδικασία σύνδεσης των κατασκευών κυρίαρχο λόγο είχε η ήλωση. Η διαδικασία αυτή επικράτησε μέχρι τον 19^ο αιώνα, όταν πλέον το μέταλλο άρχισε να αντικαθιστά το ξύλο και να γίνεται εκμεταλλεύσιμη η νέα πηγή ενέργειας, το ηλεκτρικό ρεύμα.

Σήμερα, στον τομέα της μεταλλικής κατασκευής η ήλωση σαν διαδικασία σύνδεσης, έχει αντικατασταθεί πλήρως από τη συγκόλληση λόγω των πολλών μειονεκτημάτων που παρουσιάζει. Και οι δύο διαδικασίες σύνδεσης θεωρούνται μόνιμες αφού για την αφαίρεσή τους απαιτείται η καταστροφή των ήλων ή της συγκόλλησης. Μη μόνιμος σύνδεση θεωρείται η κοχλιωτή σύνδεση η οποία σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή γεφυρών, μεταλλικών κτηρίων κλπ.

Κατά τη διαδικασία της ήλωσης γίνεται διάτρηση των προς σύνδεση τεμαχίων από τις οπές των οποίων περνούσαν τους ήλους. Οι ήλοι, στο ένα άκρο τους έφεραν κεφαλή, ενώ το άλλο άκρο ήταν ερυθροπυρωμένο σε καμίνι για να γίνει δυνατή η δημιουργία νέας κεφαλής με σφυρηλάτηση (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Διαδικασία ήλωσης δύο μεταλλικών επιφανειών

Τα μειονεκτήματα της ήλωσης ως προς τη συγκόλληση είναι:

- Απαιτούνται πολλαπλάσιες εργατοώρες
- Δεν προσφέρει ικανοποιητική στεγανότητα
- Προκαλεί μεγάλη ηχορύπανση
- Προσθέτει περισσότερο υλικό και μεγαλύτερο βάρος στις κατασκευές
- Δεν προσφέρει τις μέγιστες μηχανικές ιδιότητες στην κατασκευή
- Ο σχεδιασμός των κατασκευών είναι πιο πολύπλοκος

Παράλληλα παρουσιάζει και πλεονεκτήματα

- Δεν απαιτεί τεχνίτες με ιδιαίτερες ικανότητες (π.χ συγκολλητές)
- Δεν παρουσιάζει σφάλματα στα σημεία σύνδεσης (πόροι κλπ.)
- Δεν απαιτεί προθερμάνσεις ή μεταθερμάνσεις
- Ελέγχει τις ρωγματώσεις της κατασκευής
- Προσφέρει μεγαλύτερη ελαστικότητα
- Επιτρέπει τη σύνδεση όλων των μετάλλων

Η **ηλεκτροσυγκόλληση** είναι μια μέθοδος συγκόλλησης που ανήκει στην κατηγορία των συγκολλήσεων δια τήξεως και ειδικότερα ανήκει στην οικογένεια των αυτογενών συγκολλήσεων.

Τα πρώτα βήματά της γίνονται στην Αγγλία το 1865 και αναπτύσσεται την εποχή της πρώτης βιομηχανικής επανάστασης όχι τυχαία, αφού τότε άρχισε η ευρεία παραγωγή και εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ηλεκτρικό τόξο, είναι διαπίδυση ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δύο ετερόνυμων φορτισμένων αγωγών, που απέχουν μεταξύ τους συγκεκριμένη απόσταση και με σύγχρονη έκλυση μεγάλης ποσότητας θερμικής ενέργειας. Η ισχυρή αυτή θερμική ενέργεια, κατάλληλα εφαρμοζόμενη, τήκει τα προς συγκόλληση μέταλλα και τα συνδέει διαχέοντας τα στοιχεία του ενός στα στοιχεία του άλλου.

Επειδή σκοπός της ηλεκτροσυγκόλλησης είναι η μόνιμη σύνδεση διαφόρων επί μέρους τεμαχίων, με στόχο το κτίσιμο μιας κατασκευής, και με ζητούμενο την κατά δυνατόν διατήρηση των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων των προς συγκόλληση τεμαχίων στο σημείο σύνδεσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι η συγκόλληση αυτή καθ'

αυτή, είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς διαδικασιών και ενεργειών που έχουν προηγηθεί για την ποιοτικά σωστή ολοκλήρωση της κατασκευής.

Η πρώτη παρατήρηση ότι με τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι δυνατόν να τηχθούν μέταλλα γίνεται από τον Ιταλό φυσικό και δημιουργό της ομώνυμης μονάδας μέτρησης τάσης, κόμη ALEXANDER VOLTA.

Σχεδόν ταυτόχρονα, κάπου στα 1801, ο Sir HUMPHREY DAVY, ο εφευρέτης της ασετυλίνης, διατύπωσε την θεωρία ότι, μεταξύ δύο ετερόνυμων φορτισμένων ηλεκτροδίων άνθρακα, θα μπορούσε να αναπτυχθεί ηλεκτρικό τόξο.

Το 1856, ο Άγγλος JAMES JOULE, πατέρας της μονάδας ενέργειας joule, απέδειξε ότι από αγωγό που διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας και πειραματιζόμενος, κατάφερε να τήξει, για πρώτη φορά στην ιστορία, μέταλλο με τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Το 1865 ο Άγγλος WILDE, συγκολλά τα πρώτα κομματάκια σιδήρου, χρησιμοποιώντας μια πρωτόγονη ηλεκτρική πηγή και δίνει τον ορισμό της ηλεκτροσυγκόλλησης.

Το 1881 ο Γάλλος μηχανικός και εφευρέτης της ηλεκτρομαγνητικής μηχανής, AUGUSTE DE MERITENS κατασκεύασε μπαταρίες με ηλεκτροσυγκολλητά ελάσματα μολύβδου και το 1886 κατάφερε να καθιερωθεί ως διαδικασία συγκόλλησης, η συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο.

Το 1885 οι συνεργάτες του A DE MERITENS, N.V BENARDOS και ο SOLSZESKI, χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδιο άνθρακα και με την χρήση βέργας ως προστιθέμενο υλικό, πέτυχαν τη δημιουργία ραφής συγκόλλησης .

Στην Αγγλία το 1887, αναφέρεται η πρώτη παραγωγική χρήση της ηλεκτροσυγκόλλησης για την κατασκευή βαρελιών και μεταλλικών επίπλων.

Ο HANS ZERNER το 1889 ανέπτυξε έναν πρωτότυπο τρόπο συγκόλλησης χρησιμοποιώντας δύο ηλεκτρόδια από άνθρακα που δημιουργούσανε τόξο, έναν μαγνήτη ο οποίος ωθούσε το τόξο προς το μέταλλο βάσης και βέργα συγκόλλησης.

Ο E. TOMSON, εργαζόμενος επάνω στις μελέτες του J. JOULE το 1890, ανέπτυξε την συγκόλληση δια αντιστάσεων, σημειακή ή ραφής, η οποία βρήκε μεγάλο πεδίο εφαρμογών μέχρι και σήμερα.

Το ίδιο έτος, 1890, στις ΗΠΑ , ο C L COFFIN είναι μάλλον ο πατέρας της συγκόλλησης GTAW. Χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο άνθρακα κατάφερε για πρώτη φορά να τήξει βέργα και να μεταφέρει το τηγμένο υλικό κατά μήκος του τόξου προς τη ραφή.

Στα 1895 ο N.G SLAVIANOF προσπάθησε, με μικρή επιτυχία να αντικαταστήσει το ηλεκτρόδιο άνθρακα και τη βέργα του BENARDOS, με μεταλλικό ηλεκτρόδιο.

Το 1903 στο Έσσεν της Γερμανίας εφευρίσκεται από τον HANS GOLDSCHMIDT η διαδικασία συγκόλλησης με χρήση θερμότη, μίγματος οξειδίων του σιδήρου και ρινισμάτων αλουμινίου, η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη συγκόλληση των σιδηροτροχιών.

Το 1904 την σκέψη του SLAVIANOF την ολοκλήρωσε με μεγάλη επιτυχία ο Σουηδός OSCAR KJELLBERG , ο οποίος κατασκεύασε το πρώτο επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο.

Το 1907 ο N BENARDOS αναπτύσσει τη συγκόλληση με τήξη σκουριάς

Στη Γερμανία ο φυσικός SCHONNER παράγει το πρώτο τόξο πλάσματος το 1909.

Στις ΗΠΑ αρχίζει το 1912 η παραγωγή μηχανών ηλεκτροσυγκόλλησης από την LINCOLN E.C .

Το 1920 άρχισε η ευρεία κατασκευή σιδηρούχων και μη σιδηρούχων ηλεκτροδίων.

Την ίδια χρονιά στη Σουηδία, με την έγκριση του LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING κατασκευάζεται το πρώτο πλήρως συγκολλημένο πλοίο, το "ESAB IV", μήκους 16 και πλάτους 14 μέτρων .

Το 1926, στις ΗΠΑ ο H M HOBART και ο P K DEVERS κάνουν τις πρώτες προσπάθειες συγκόλλησης με προστασία αδρανούς αερίου αργού και ηλίου.

Στο McKeesport των ΗΠΑ ο ROBINOFF το 1930 εφευρίσκεται τη συγκόλληση βυθιζόμενου τόξου.

Περίπου στο 1940 ο διακεκριμένος Αμερικανός μηχανικός συγκολλήσεων RUSSELL MERIDETH, εργαζόμενος για λογαριασμό της Northrop Aircraft Inc. εφεύρε την μέθοδο συγκόλλησης με μη αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αδρανούς αερίου γνωστή ως GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).

Η μέθοδος συγκόλλησης με συνεχή τροφοδοσία γυμνού σύρματος γνωστή ως GMAW (Gas Metal Arc Welding) αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1948 για συγκόλληση αλουμινίου και καθιερώθηκε ως μέθοδος συγκόλλησης το 1950.

Το 1950, στη Γαλλία αναπτύσσετε η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων από τον Γάλλο πυρηνικό επιστήμονα J. A. Stohr .

Το 1954 πρωτοεμφανίζεται το παραγεμιστό σύρμα συγκόλλησης.

Το 1957 ο ROBERT M GAGE επιτυγχάνει την πρώτη συγκόλληση με πλάσμα.

Στο δεύτερο μισό του 20 αιώνα, το 1960, κάνει την εμφάνισή της και η πρώτη ακτίνα LASER, η οποία δεν θα αργήσει πολύ να χρησιμοποιηθεί για κοπή και συγκόλληση μετάλλων.

Το 1991 στα εργαστήρια του TWI αναπτύσσεται η διαδικασία συγκόλλησης διατριβής.

Εικοστός πρώτος αιώνας. Η τελευταία εξέλιξη της συγκόλλησης, με επιφύλαξη γιατί η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία, είναι η συγκόλληση με μαγνητικούς παλμούς, συγκόλληση MIG-BRAZING και CMT. Διαδικασίες που παρουσιάστηκαν με την ανατολή του 21 αιώνα και ήδη εφαρμόζονται σε πλήθος εφαρμογών παραγωγικής διαδικασίας.

2. ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Από την αρχή του 20^{ου} αιώνα, οπότε ο σίδηρος αντικαταστάθηκε τελείως από το χάλυβα, ο τελευταίος παραμένει το σημαντικότερο Ναυπηγικό υλικό για την ανέγερση της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους.

Παρά τη σημαντική όμως θέση που κατέχει ο χάλυβας στη ναυπηγική, αρκετά άλλα υλικά έχουν συνεχώς αυξανόμενες χρήσεις στην κατασκευή του κυρίου περιβλήματος του πλοίου. Από την πλευρά των μετάλλων αναφέρονται χαρακτηριστικά τα κράματα αλουμινίου και τιτανίου, ενώ από την πλευρά των μη μεταλλικών υλικών τα διάφορα σύνθετα υλικά, με κυριότερο εκπρόσωπο τα ενισχυμένα με ίνες πολυμερή¹⁶¹.

Η επιλογή των υλικών για μια δεδομένη Ναυπηγική κατασκευή ανάγεται, κατά κάποιο τρόπο, στο πρόβλημα του καθορισμού των χαρακτηριστικών εκείνων που, σε συνδυασμό, είναι τα πιο κατάλληλα για τη θεωρούμενη εφαρμογή. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού ο μελετητής πρέπει να κατέχει σε βάθος τόσο τις ιδιότητες των διαφόρων υπαρχόντων υλικών, όσο και τις λειτουργικές απαιτήσεις των ναυπηγικών κατασκευών. Η τελευταία αυτή απαίτηση γίνεται σαφέστερη, αν αναλογιστεί κανείς τη μεγάλη ποικιλία εφαρμογών που συναντώνται στη Ναυπηγική, το εύρος του φάσματος κατασκευαστικών απαιτήσεων κάθε εφαρμογής και τις ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος όπου οι κατασκευές αυτές υπάρχουν και λειτουργούν.

Σημειώνεται ότι παρά το γεγονός ότι ο μελετητής έχει σχετική ελευθερία επιλογής υλικών, η επιλογή αυτή υπόκειται σε ορισμένες προδιαγραφές και ελέγχους που επιβάλλονται από εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς οργανισμών, που στην περίπτωση της Ναυπηγικής είναι κατά κύριο λόγο οι Νηογνώμονες.

Οι κυριότερες ιδιότητες που πρέπει να έχουν τα υλικά ώστε να είναι κατάλληλα για εφαρμογή σε στοιχεία αντοχής της μεταλλικής κατασκευής είναι^{12,31}:

- Λόγος αντοχής προς βάρος
- Δυσθραυστότητα
- Αντοχή σε κόπωση
- Αντοχή σε διάβρωση και σε διάβρωση με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ρηγμάτωση
- Ευχέρεια συγκόλλησης
- Αντοχή σε σχάση κατά φυλλώσεις
- Ευχέρεια διαμόρφωσης
- Κόστος
- Ευχέρεια ανεύρεσης
- Διαδικασία συντήρησης

Η βέλτιστη επιλογή του υλικού πρέπει να είναι αποτέλεσμα συστηματικής διερεύνησης όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή, το βάρος και το κόστος της κατασκευής.

2.1 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ^[2,3,7]

Οι κοινοί χάλυβες ή ανθρακούχοι χάλυβες (mild steels or carbon steels) αποτελούν την πιο διαδεδομένη ομάδα ναυπηγικών χαλύβων, με ιδιότητες που εξαρτώνται κύρια από τη χημική τους σύσταση και τη μικροδομή τους (κυρίως φερριτική). Εκτός από άνθρακα, που περιέχεται σε ποσοστό κατά βάρος μέχρι και 0,23%, οι χάλυβες αυτοί περιέχουν σε διάφορα ποσοστά μαγγάνιο, πυρίτιο, φώσφορο και θείο, ενώ διάφορα άλλα στοιχεία μπορεί να συνυπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ καλή έως εξαιρετική συγκολλητότητά τους. Σε ευρεία χρήση συναντώνται και χάλυβες υψηλής αντοχής (high strength steels, HTS), με όριο διαρροής που μπορεί να φτάσει τα 350 MPa. Χρήση των χαλύβων αυτών οδηγεί σε μείωση των παχών των στοιχείων αντοχής, άρα και του βάρους μιας ναυπηγικής κατασκευής, λόγω των υψηλότερων τιμών των επιτρεπομένων τάσεων. Η βασική διαφορά τους από τους συνήθεις χάλυβες έγκειται στην προσθήκη ειδικών στοιχείων, όπως αλουμίνιο, κολόμβιο και βανάδιο τα οποία βελτιώνουν της μηχανικές τους ιδιότητες. Σε ειδικές ναυπηγικές κατασκευές είναι δυνατή και η χρήση μικροκραματωμένων χαλύβων υψηλής αντοχής (high strength low alloy HSLA, steels) με όρια διαρροής από 415 MPa μέχρι 690 MPa. Για την επίτευξη των υψηλών αυτών αντοχών οι χάλυβες αυτοί περιέχουν ειδικές προσμίξεις (χρώμιο, νικέλιο κτλ) και υφίστανται ειδικές θερμομηχανικές κατεργασίες.

Η μικροδομή^[4] των ναυπηγικών χαλύβων αποτελείται από σεμεντίτη (cementite) μέσα σε φερριτική μήτρα (ferrite). Όταν η θερμοκρασία ενός χάλυβα φτάσει τη θερμοκρασία αλλοτροπικού μετασχηματισμού του, ο σίδηρος που βρισκόταν στη φερριτική φάση θα μετασχηματιστεί σε μια άλλη φάση την ωστενιτική (austenite) στην οποία ο σεμεντίτης είναι πολύ διαλυτός. Με ψύξη του χάλυβα κάτω από τη θερμοκρασία μετασχηματισμού, ο ωστενίτης με τον διαλυμένο σεμεντίτη επανέρχεται στην προηγούμενη κατάσταση, δηλαδή φερρίτης με σεμεντίτη. Η μικροδομή του χάλυβα που αποτελείται από στρώσεις σεμεντίτη και φερρίτη ονομάζεται περλίτης (pearlite) και αποτελεί ένα από τα κυριότερα συστατικά των ναυπηγικών χαλύβων.

Γενικά, το ποσοστό του άνθρακα και ο ρυθμός απόψυξης επιδρούν στη μικροδομή, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την αντοχή και τη σκληρότητα του χάλυβα. Οι περισσότεροι ναυπηγικοί χάλυβες αποψύχονται στον αέρα μετά την εν θερμώ εξέλαση ή την οποιαδήποτε άλλη θερμική κατεργασία τους. Μερικοί, όμως ναυπηγικοί χάλυβες υψηλής αντοχής με όριο διαρροής πάνω από 350 MPa υφίστανται βαφή σε νερό (water quenching) από θερμοκρασία υψηλότερη εκείνης του μετασχηματισμού και ακολούθως υπόκεινται σε επαναφορά (tempering) με θέρμανση σε θερμοκρασία αρκετά χαμηλότερη εκείνης του μετασχηματισμού. Η θερμική αυτή κατεργασία οδηγεί σε ειδική μικροδομή, καλούμενη επαναφερμένος

μαρτενσίτης (tempered martensite) με κύρια χαρακτηριστικά τις υψηλές τιμές αντοχής και δυσθραυστότητας.

Οι ναυπηγικοί χάλυβες παρασκευάζονται συνήθως με μια από τις ακόλουθες μεθόδους:

- Ανοικτής φλογοκαμίνου (open hearth furnace)
- Βασικής οξυγόνου (basic oxygen furnace)
- Ηλεκτρικής καμίνου (electric furnace)

Τελευταία, μικρές ποσότητες ναυπηγικού χάλυβα παρασκευάζονται και με άλλες νεότερες μεθόδους, όπως με ανάτηξη με τόξο σε κενό (vacuum-arc remelt), με ανάτηξη ηλεκτροσκωρίωσης (electroslag remelt) κλπ.

Κατά την παρασκευή του χάλυβα, η σημαντικότερη αντίδραση από μεταλλουργική σκοπιά είναι εκείνη όπου ο άνθρακας και το οξυγόνο ενώνονται και δημιουργείται αέριο. Η διαδικασία αποξείδωσης (deoxidation) αποτελεί σημαντικό παράγοντα από τον οποίο εξαρτάται η ποιότητα του ναυπηγικού χάλυβα. Έτσι διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις ποιότητες:

- Ο πλήρως καθησυχασμένος χάλυβας (killed steel), ο οποίος είναι τελείως αποξειδωμένος και του οποίου η ομοιογενής μεταλλουργική δομή τον καθιστά κατάλληλο για παχιά ελάσματα. Η αποξείδωση επιτυγχάνεται με την προσθήκη στοιχείων όπως το πυρίτιο ή το αλουμίνιο.
- Ο περιθωριακός χάλυβας (rimmed steel), ο οποίος είναι ελάχιστα αποξειδωμένος και ο οποίος παράγεται συνήθως σε πάχη μέχρι 12,5mm. Η χρήση του στη ναυπηγική είναι περιορισμένη σε δευτερεύουσες κατασκευές.
- Ο ημικαθησυχασμένος χάλυβας (semi killed steel), στον οποίο προστίθεται μικρότερη ποσότητα αποξειδωτικού στοιχείου σε σύγκριση με τον πλήρως καθησυχασμένο. Είναι καλύτερης ποιότητας από τον περιθωριακό. Λόγω του χαμηλότερου κόστους του, εν σχέση με τον καθησυχασμένο, αποτελεί την ποιότητα των συνήθων ναυπηγικών χαλύβων.

Οι περισσότεροι ναυπηγικοί χάλυβες συνήθους αντοχής προσφέρονται στο εμπόριο αμέσως μετά την εν θερμώ εξέλασή τους. Όπου, όμως απαιτείται χάλυβας υψηλής δυσθραυστότητας (π.χ. σε κρίσιμες κατασκευές), προδιαγράφεται συνήθως και η θερμική κατεργασία της εξομάλυνσης (normalizing). Επιπλέον είναι δυνατή η απαίτηση λεπτόκοκκου χάλυβα κάτι που επιτυγχάνεται με την προσθήκη ποσοτήτων στοιχείων όπως αλουμίνιο νιόβιο και βανάδιο.

Γενικά η συνύπαρξη λεπτών κόκκων, πλήρους καθησυχασής και εξομάλυνσης οδηγεί στην παρασκευή χάλυβα πολύ υψηλής ποιότητας.

Οι δοκιμές που γίνονται για τη διαπίστωση της επάρκειας των μηχανικών ιδιοτήτων είναι αυτές του εφελκυσμού και της κρούσης και τις προδιαγράφουν οι Νηογνώμονες^[8].

2.2 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΚΑΦΟΥΣ^[8,9,10]

Κατόπιν της επιλογής του κατάλληλου τύπου ναυπηγικού χάλυβα επιλέγεται η μέθοδος συγκόλλησης που θα χρησιμοποιηθεί για την ανέγερση της γάστρας και των λοιπών τμημάτων του σκάφους.

Ακολουθώντας τις προδιαγραφές και τα πρωτόκολλα που ορίζει ο εκάστοτε Νηογνώμονας για την προετοιμασία της συγκόλλησης, τις δυνατότητες του Ναυπηγείου και του προσωπικού του, ξεκινάει η ανέγερση.

Θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση τριών μεθόδων συγκολλήσεως με ευρεία εφαρμογή στη Ναυπηγική.

1. Τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου (Submerged Arc Welding, SAW)
2. Την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση (Electroslag Welding, ESW)
3. Τη συγκόλληση Electrogas Welding, EGW

Και οι τρεις μέθοδοι είναι ιδανικές για μεγάλου πάχους ελάσματα ενώ οι δύο τελευταίες για τις κατακόρυφες συγκολλήσεις.

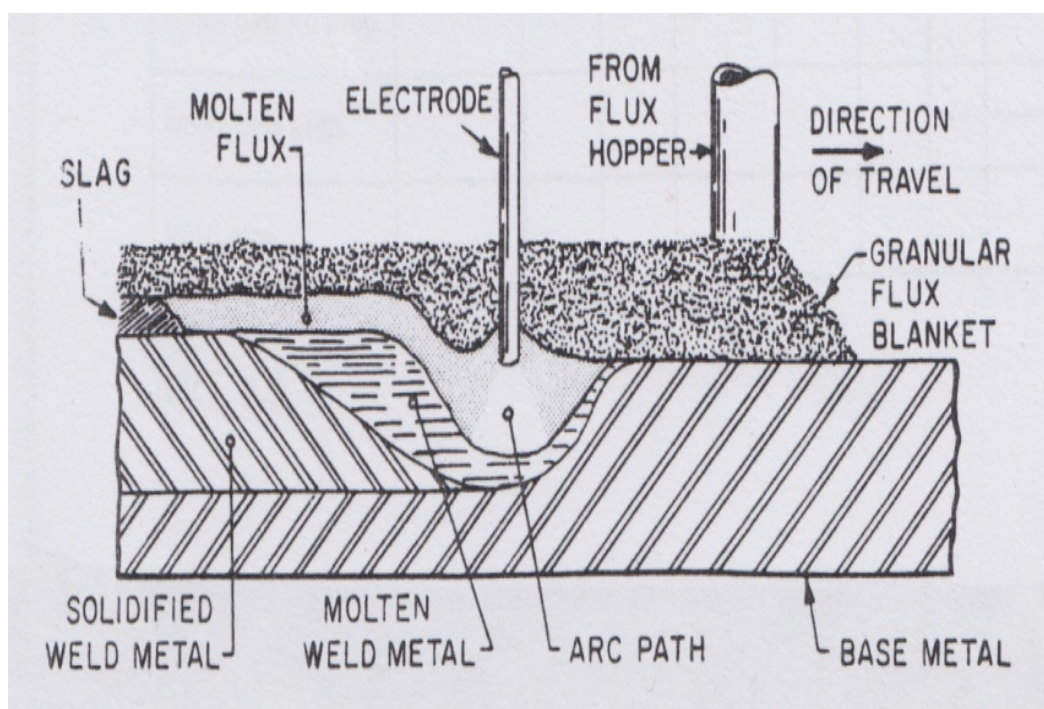
3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΥ ΤΟΞΟΥ

(SUBMERGED ARC WELDING, SAW)

Η συγκόλληση βυθισμένου τόξου είναι μια μέθοδος συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου που χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά τόξα μεταξύ ενός ή περισσότερων, χωρίς επένδυση, ηλεκτροδίων και του προς συγκόλληση βασικού μετάλλου. Ένα στρώμα κοκκιώδους, εύτηκτου υλικού που ονομάζεται συλλίπασμα προστατεύει το τόξο και το λιωμένο μέταλλο. Το προστιθέμενο μέταλλο παρέχεται από το ηλεκτρόδιο και ορισμένες φορές, όπως θα δούμε στη συνέχεια, και από συμπληρωματικές πηγές όπως ράβδους συγκόλλησης. Είναι συνήθως αυτοματοποιημένη μέθοδος και πραγματοποιείται χωρίς εφαρμογή εξωτερικής πίεσης. Αναπτύχθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1920 και παρουσιάστηκε αρχές της επόμενης με την ονομασία *under powder welding* και *smothered arc welding* για τη συγκόλληση της διαμήκης ραφής μεγάλης διαμέτρου σωλήνων^[11].

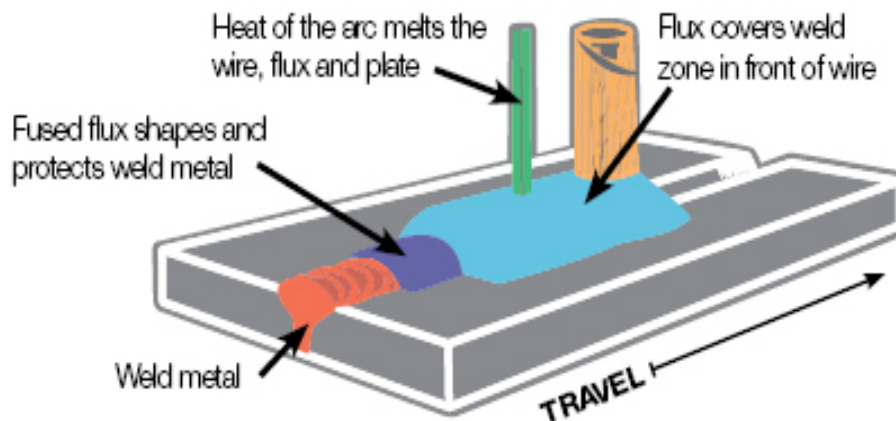
3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η μέθοδος συγκόλλησης βυθισμένου τόξου αξιοποιεί τη θερμότητα ενός ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται μεταξύ ενός συνεχούς τροφοδοσίας ηλεκτροδίου και των προς συγκόλληση τεμαχίων. Η θερμότητα τήκει την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και την άκρη του ηλεκτροδίου. Το τηκόμενο ηλεκτρόδιο, μέσω του τόξου, μεταφέρεται στη ρίζα της συγκόλλησης και αποτελεί το προστιθέμενο μέταλλο συγκόλλησης. Το τηγμένο μέταλλο προστατεύεται από το περιβάλλον με το συλλίπασμα το οποίο καλύπτει όλοι την περιοχή συγκόλλησης (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Σχηματική αναπαράσταση συγκόλλησης βυθισμένου τόξου^[11]

Το συλλίπασμα πλησίον του ηλεκτρικού τόξου τήκεται και αναμιγνύεται με το λιωμένο μέταλλο προστατεύοντας και ενισχύοντας τη συγκόλληση. Το λιωμένο συλλίπασμα είναι ελαφρύτερο από το προστιθέμενο μέταλλο και έρχεται στην επιφάνεια δημιουργώντας μια προστατευτική επιφάνεια. Η τελική συγκόλληση βρίσκεται κάτω από το στρώμα του συλλιπάσματος και για το λόγο αυτό ονομάστηκε βυθισμένου τόξου (Σχήμα 3).

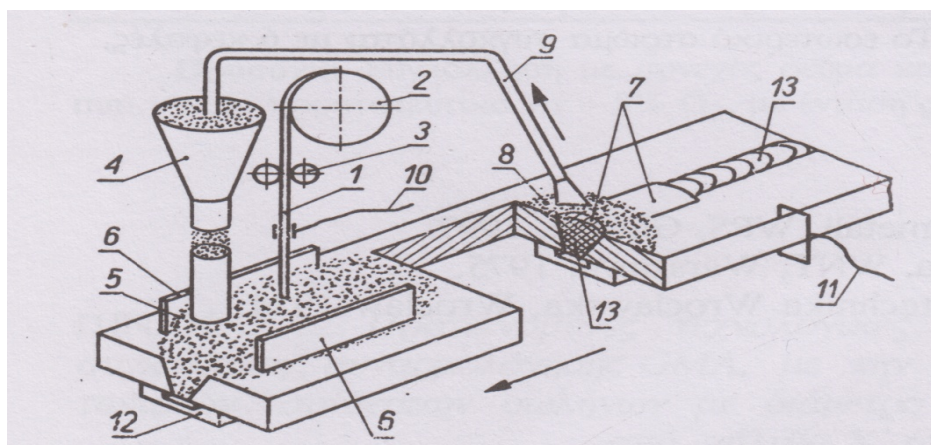


Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση συγκόλλησης βυθισμένου τόξου

3.2 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η μηχανοποιημένη συγκόλληση τόξου με γυμνό σύρμα δεν προσφέρει στις συνδέσεις υψηλές ιδιότητες αντοχής, ενώ η μηχανοποιημένη συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, εξαιτίας των πολλών τεχνικών δυσκολιών και της χαμηλής απόδοσης δεν μπόρεσε να αναπτυχθεί. Μόνο με την προώθηση της μεθόδου συγκόλλησης βυθισμένου τόξου (κάτω από συλλίπασμα) με γυμνό ηλεκτρόδιο επέτρεψε τη μηχανοποίηση της συγκόλλησης τόξου^[5].

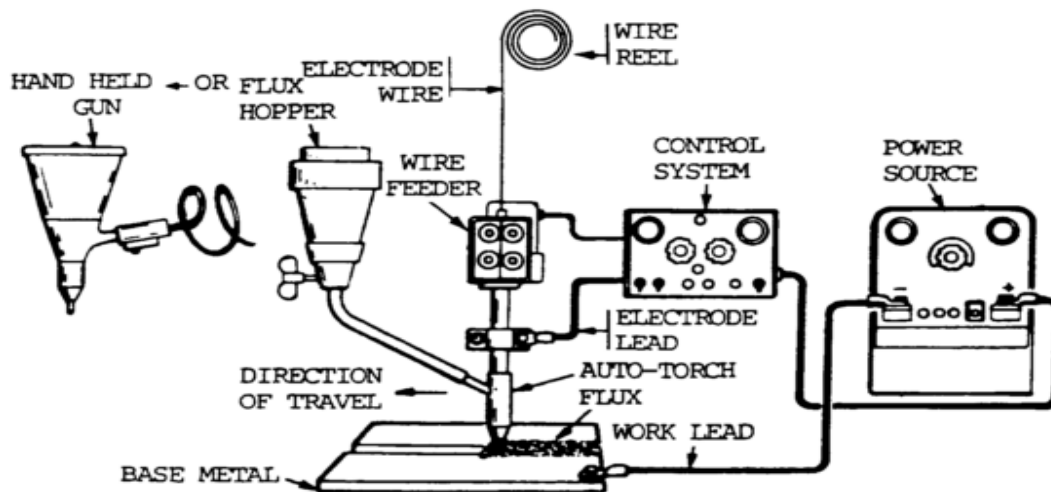
Η μηχανή συγκόλλησης βυθιζόμενου τόξου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4) αποτελείται από το γυμνό ηλεκτρόδιο (1) που εκτυλίσσεται από το τύμπανο (2) ελκόμενο από τα ράουλα (3) που περιστρέφονται διαμέσου ηλεκτρικού κινητήρα. Προ του ηλεκτροδίου εισρέει από το χωνί (4) το συλλίπασμα (5) σε μορφή σκόνης το οποίο παίζει τον ίδιο ρόλο με την επένδυση στα ηλεκτρόδια. Τα καλύμματα από ελάσματα (6) προφυλάσσουν το διασκορπισμό της σκόνης προς τα πλάγια. Το ηλεκτρικό τόξο καλύπτεται από το συλλίπασμα. Το τηκόμενο συλλίπασμα που λαμβάνει χώρα στη διαδικασία συγκόλλησης επιπλέει πάνω στην επιφάνεια της κόλλησης με μορφή σκουριάς, η οποία καλύπτει την κόλληση με το στρώμα (7) το οποίο εύκολα αποσύρεται με μεταλλική βούρτσα. Το πλεόνασμα του συλλιπάσματος απορροφάται με τη βοήθεια του αγωγού (9) και προωθείται ξανά στο χωνί (4). Οι αγωγοί (10) και (11) διοχετεύουν το ρεύμα στο ηλεκτρόδιο και στα προς συγκόλληση αντικείμενα. Το υποστήριγμα (12) προστατεύει το μέταλλο της κόλλησης (13) από την εκροή του στην άλλη πλευρά.



Σχήμα 4: Περιγραφή συνιστωσών μεθόδου^[5]

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η πιο δημοφιλής εφαρμογή της μεθόδου είναι η *μηχανοποιημένη* όπου ο τεχνίτης παρακολουθεί τη διαδικασία συγκόλλησης και είναι σε θέση να επέμβει στις μεταβλητές της^[11,12,13] (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Μηχανοποιημένη εφαρμογή της μεθόδου

Δεύτερη σε δημοφιλία εφαρμογή της μεθόδου είναι η *αυτοματοποιημένη* όπου η λειτουργία της συγκόλλησης προκύπτει από το πάτημα ενός πλήκτρου (push-button operation). Η εφαρμογή της μεθόδου σε ημιαυτόματη κλίμακα αν και μπορεί να εφαρμοστεί δεν έχει γνωρίσει ευρεία χρήση και αποδοχή. Η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί χειρωνακτικά διότι είναι αδύνατο για τον τεχνίτη συγκολλητή να ελέγξει και να καθοδηγήσει ένα ηλεκτρικό τόξο το οποίο δεν βλέπει.

Η συγκόλληση βυθισμένου τόξου είναι περιορισμένων θέσεων διαδικασία συγκόλλησης. Μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε επίπεδη θέση και σε οριζόντια διάταξη με ευκολία. Ο περιορισμός έγκειται στο γεγονός ότι δημιουργείται μεγάλη λίμνη τηγμένου μετάλλου το οποίο σε οποιαδήποτε άλλη θέση θα κυλούσε μακριά από τη ένωση. Κάτω από ειδικές συνθήκες είναι δυνατή η συγκόλληση στη θέση που είναι γνωστή ως 3-o'clock welding. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με χρήση ειδικών μηχανών συγκόλλησης που συγκρατούν το συλλίπασμα και το τηγμένο μέταλλο στη σωστή τους θέση και δεν επιτρέπουν τη διαφυγή τους^[14] (Σχήμα 6). Η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην κατακόρυφη ή οροφιαία θέση.



Σχήμα 6: Μηχανισμός συγκόλλησης βυθισμένου τόξου "3-o'clock welding"^[14]

3.4 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ

Με τη μέθοδο συγκολλούνται μαλακοί χάλυβες (mild), μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα (medium carbon), χαμηλής περιεκτικότητας στοιχείων κράματος (low alloy), υψηλής αντοχής, βαμμένοι και επαναφερμένοι χάλυβες καθώς και ανοξείδωτοι χάλυβες^[11,12] (Πίνακας 1)

Base Metal	Weldability
Wrought iron	Weldable
Low carbon steel	Weldable
Low alloy steel	Weldable
High and medium Alloys steel	Possible but not popular
Stainless steel	Weldable

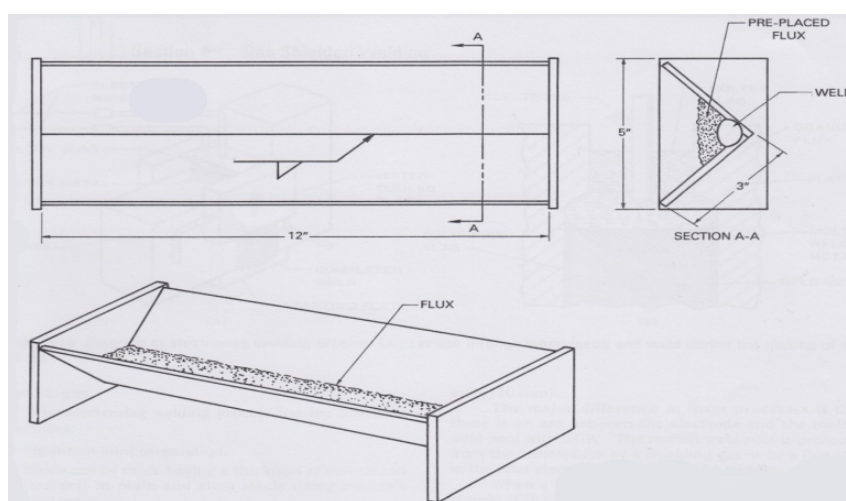
Πίνακας 1 Συγκόλληση μετάλλων με συγκόλληση βυθισμένου τόξου

Μέταλλα με πάχη μεταξύ 1,6 mm έως 13 mm (1/16''-1/2'') μπορούν να συγκολληθούν χωρίς καμία προετοιμασία των άκρων τους. Με προετοιμασία των ακμών τους μπορούν να συγκολληθούν με ένα πέρασμα υλικά με πάχη από 6.4 mm έως 25 mm (1/4''-1''). Με τη δυνατότητα εφαρμογής πολλαπλών περασμάτων το μέγιστο πάχος μετάλλων που μπορούν να συγκολληθούν είναι πρακτικά απεριόριστο, (Πίνακας 2).

Πάχος	Ενέργεια													
	inch	.005	.015	.062	.125	3/16	1/4	3/8	1/2	3/4	1	2	4	8
mm	.13	.4	1.6	3.2	4.8	6.4	10	12.7	19	25	51	102	203	
Ένα πέρασμα χωρίς διαμόρφωση ακμών				←					→					
Ένα πέρασμα με διαμόρφωση ακμών							←			→				
Πολλαπλά περάσματα									←					→

Πίνακας 2 Εύρος πάχους για συγκόλληση βυθισμένου τόξου

Για οριζόντιες αυχενικές συγκολλήσεις το πάχος των ελασμάτων μπορεί να είναι έως 9.5 mm (3/8'') ενώ για τις επίπεδες αυχενικές συγκολλήσεις μπορεί να φτάσει τα 25 mm (1''), (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Επίπεδη αυχενική συγκόλληση βυθισμένου τόξου^[13]

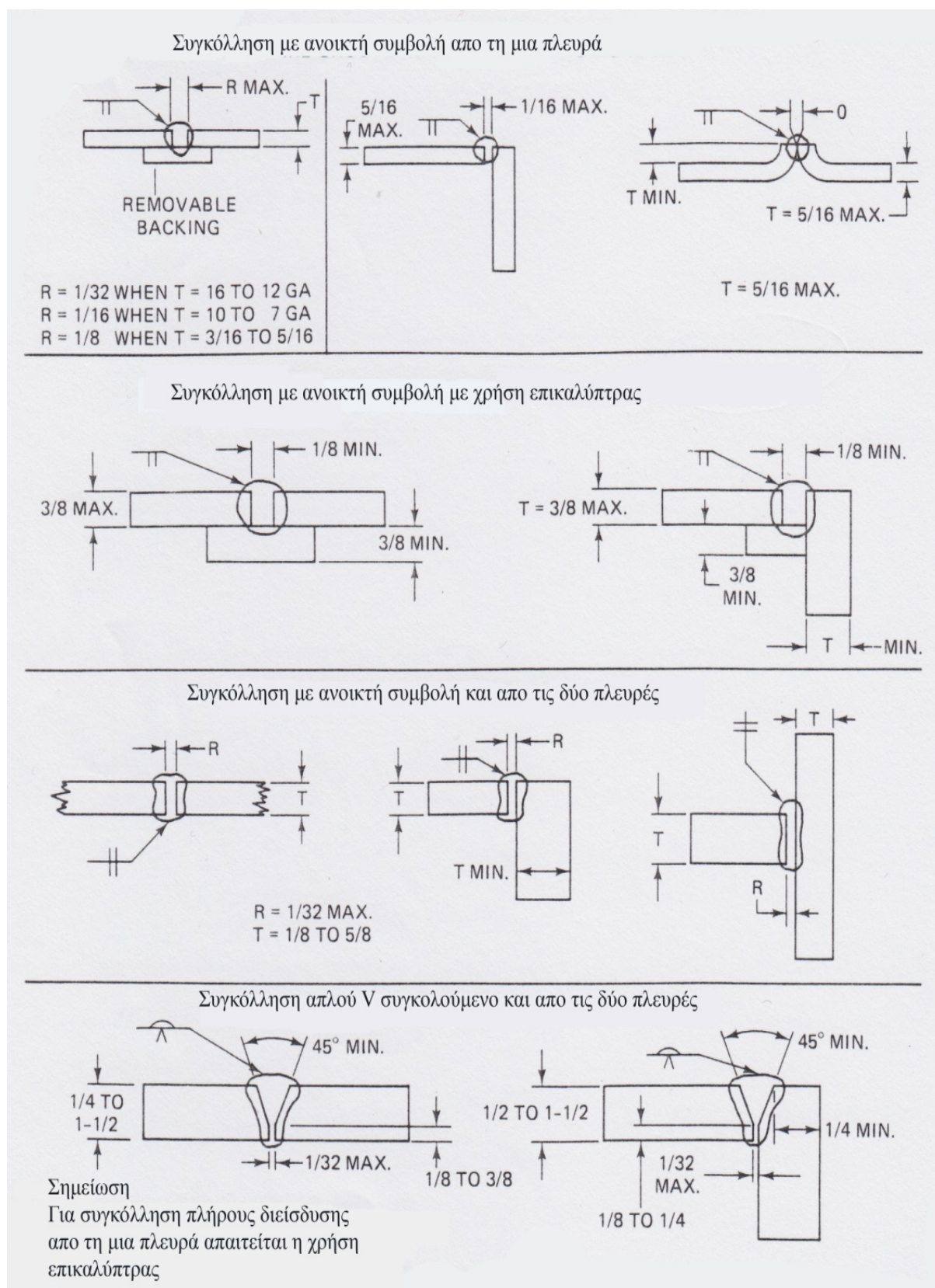
3.5 ΕΙΔΗ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Στη μέθοδο συγκόλλησης βυθισμένου τόξου μπορούν να εφαρμοστούν οι ίδιες σχεδιαστικές λεπτομέρειες που χρησιμοποιούνται και στη συγκόλληση τόξου με χρήση επενδεδυμένων ηλεκτροδίων. Ωστόσο για τη μέγιστη χρησιμοποίηση και αποδοτικότητα της μεθόδου απαιτούνται διαφορετικές σχεδιαστικές λεπτομέρειες όσον αφορά τη διαμόρφωση των ακμών των προς συγκόλληση τεμαχίων.

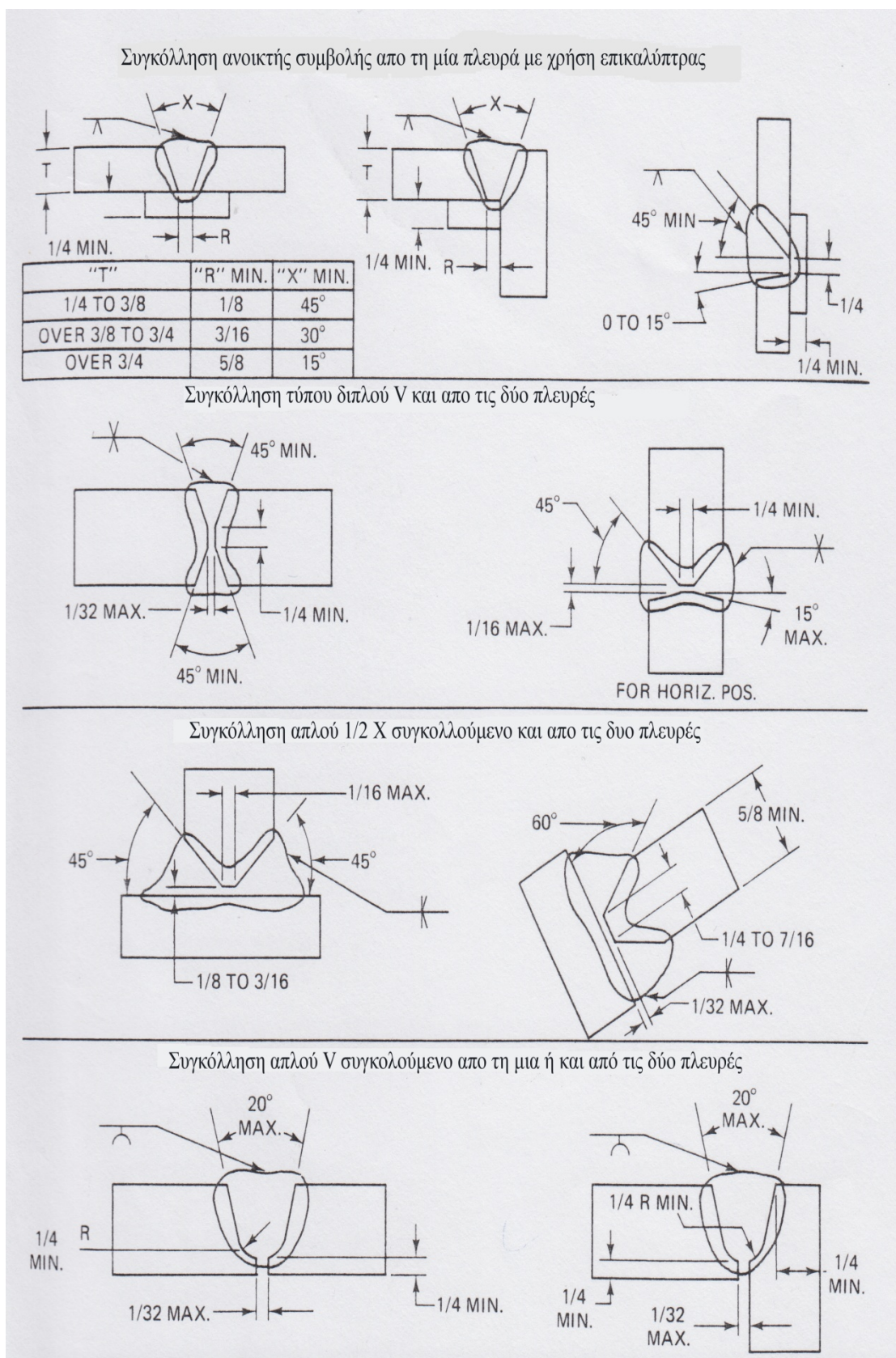
Στις συνδέσεις με κλειστή συμβολή (square groove weld) το μέγιστο πάχος των προς συγκόλληση τεμαχίων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 16 mm (5/8"). Πέρα από αυτή την τιμή απαιτείται κατάλληλη διαμόρφωση των ακμών.

Στις συνδέσεις με ανοικτή συμβολή (open square groove weld) απαιτείται η χρήση επικαλύπτρας (backing strip) για τη συγκράτηση του τηγμένου μετάλλου. Κατά τη συγκόλληση παχύτερων ελασμάτων, ανάλογα με το διάκενο, η επικαλύπτρα μπορεί να αφαιρεθεί. Ωστόσο εάν είναι επιθυμητή συγκόλληση πλήρους διείδυσης από τη μία πλευρά η χρήση επικαλύπτρας είναι απαραίτητη.

Συνιστώμενα είδη συνδέσεων με συγκόλληση βυθισμένου τόξου παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες (Σχήμα 8-9).



Σχήμα 8: Είδη συνδέσεων με συγκόλληση βυθισμένου τόξου^[11,12]



Σχήμα 9: Είδη συνδέσεων με συγκόλληση βυθισμένου τόξου^[11,12]

3.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Στις μηχανές συγκόλλησης βυθισμένου τόξου χρησιμοποιείται είτε συνεχές είτε εναλλασσόμενο ρεύμα. Στις περισσότερες εφαρμογές συγκόλλησης με ένα ηλεκτρικό τόξο παρατηρείται η χρήση συνεχούς ρεύματος (DC), ενώ η αλλαγή πολικότητας στο ηλεκτρόδιο είναι συνήθως πρακτική στο συνεχές ρεύμα όπως και στο εναλλασσόμενο [direct-current electrode positive (DCEP), & electrode negative (DCEN)]^[11].

Η χαρακτηριστική σταθερής τάσης των μηχανών σταθερού ρεύματος είναι η πιο συνήθως εφαρμογή της συγκόλλησης βυθισμένου τόξου για ηλεκτρόδια διαμέτρου μικρότερης από 3.2mm (1/8inch). Η χαρακτηριστική σταθερού ρεύματος στις μηχανές συνεχούς ρεύματος συνήθως χρησιμοποιείται για μεγαλύτερης διαμέτρου ηλεκτρόδια από 4 mm (5/32 inch). Ο έλεγχος όμως της συγκόλλησης είναι δύσκολος διότι απαιτείται η διατήρηση του ηλεκτρικού τόξου σε μια συγκεκριμένη τιμή. Ο αυτόματος τροφοδότης του ηλεκτροδίου θα πρέπει να διατηρήσει σταθερή τάση στην άκρη του τόξου και να διατηρήσει σταθερή την τροφοδοσία του ηλεκτροδίου. Καθώς οι συνθήκες αλλάζουν, η τροφοδοσία πρέπει να αυξηθεί ή να ελαττωθεί ώστε να διατηρηθεί η τάση στην άκρη του τόξου. Αυτό περιπλέκει τη διαδικασία συγκόλλησης διότι τα συστήματα ελέγχου δεν μπορούν να αντιδράσουν ακαριαία. Επίσης στις μηχανές συνεχούς ρεύματος το άναμμα του τόξου είναι πιο δύσκολο διότι απαιτείται επιπλέον μηχανισμός (reversing system) για το άναμμα, τον περιορισμό και τέλος τη διατήρηση της κατάλληλης σταθερής τάσης του τόξου.

Για τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος η χαρακτηριστική σταθερού ρεύματος είναι αυτή που χρησιμοποιείται. Η χαρακτηριστική σταθερού ρεύματος βρίσκει εφαρμογή και σε περιπτώσεις πολλαπλών ηλεκτροδίων με ηλεκτρικά τόξα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Η χαρακτηριστική σταθερής τάσης παρόλα αυτά μπορεί να εφαρμοστεί όταν δύο ηλεκτρόδια τροφοδοτούνται από μία μηχανή συγκόλλησης.

Οι μηχανές συγκόλλησης βυθισμένου τόξου λειτουργούν σε ένα εύρος ρεύματος από 50 A έως 2000 A. Οι περισσότερες συγκολλήσεις πραγματοποιούνται από 200 έως 1200 A.

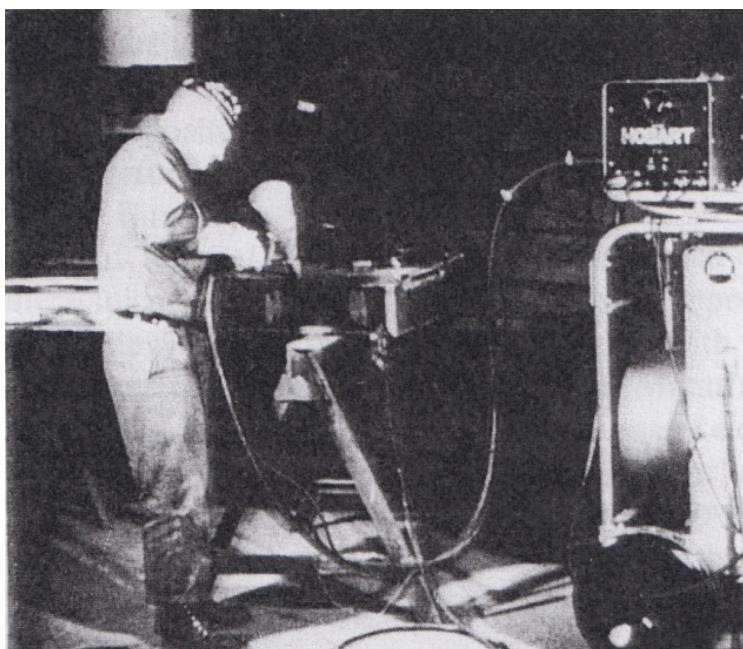
3.7 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται για τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου (Σχήμα 5) αποτελείται από τη γεννήτρια συγκόλλησης (power source AC ή DC), το σύστημα προώθησης ηλεκτροδίου (wire feeder), τον πίνακα ελέγχου και τον μηχανισμό αφής του τόξου (auto torch) για αυτόματες συγκολλήσεις ή το πιστόλι συγκόλλησης (hand held gun) για ημιαυτόματες συγκολλήσεις, το μηχανισμό τροφοδοσίας συλλιπάσματος (flux hopper) και τέλος το μηχανισμό κίνησης είτε της μηχανής συγκόλλησης είτε των προς συγκόλληση τεμαχίων.

Όταν χρησιμοποιείται η χαρακτηριστική σταθερού ρεύματος, είτε στο συνεχές είτε στο εναλλασσόμενο ρεύμα, ένα σύστημα διατήρησης σταθερής τάσης τροφοδοσίας ηλεκτροδίου πρέπει να χρησιμοποιηθεί .

Ζεύγη γεννητριών με μετασχηματιστές ή ανορθωτές συνήθως χρησιμοποιούνται με τους τελευταίους σε μεγαλύτερο ποσοστό. Το εύρος λειτουργίας των μηχανών συγκόλλησης είναι από 300-1500 A ενώ μπορεί να συνδεθούν παράλληλα μεταξύ τους για εφαρμογές με μεγαλύτερες απαιτήσεις. Συνεχές ρεύμα χρησιμοποιείται σε ημιαυτόματες εγκαταστάσεις ενώ το εναλλασσόμενο ρεύμα κατά κύριο λόγο βρίσκει χρήση σε μηχανοποιημένες και αυτόματες εφαρμογές. Συστήματα πολλαπλών ηλεκτροδίων απαιτούν ειδικά ηλεκτρικά κυκλώματα στην εφαρμογή εναλλασσομένου ρεύματος.

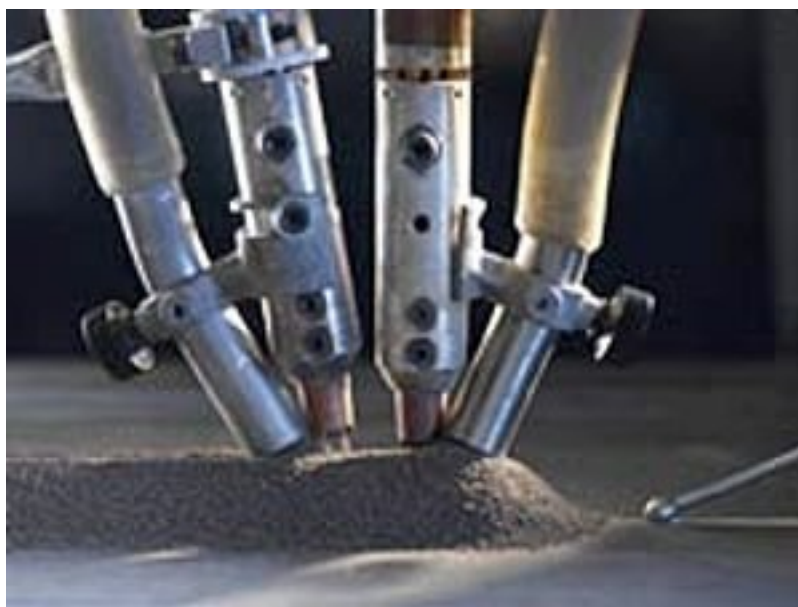
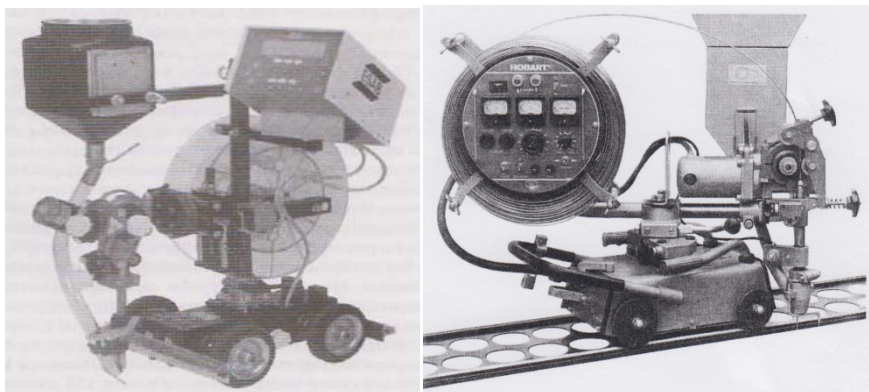
Για ημιαυτόματες εφαρμογές χρησιμοποιείται ένα πιστόλι συγκόλλησης (σαν της μεθόδου GTAW) τροποποιημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει το ηλεκτρόδιο το ρεύμα με καλώδιο και το συλλιπάσμα μέσω ενός μικρού ασκού τροφοδοσίας (Σχήμα 10). Η παροχή συλλιπάσματος γίνεται μέσω της βαρύτητας. Διάφοροι μηχανισμοί επιτρέπουν τη ροή συλλιπάσματος κατά την έναρξη της συγκόλλησης.



Σχήμα 10: Ημιαυτόματη συγκόλληση βυθισμένου τόξου^[11]

Στις αυτόματες μονάδες ο μηχανισμός αφής του τόξου (torch), ο τροφοδότης του ηλεκτροδίου (wire feeder) και ο τροφοδότης συλλιπάσματος αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της μηχανής συγκόλλησης. Ο τροφοδότης επιπλέον μπορεί να διαθέτει μια μαγνητική βαλβίδα, που ανοίγει και κλείνει, η οποία ελέγχεται από τον πίνακα ελέγχου.

Το τελευταίο εξάρτημα του εξοπλισμού περιλαμβάνει συνήθως και ένα φορείο που μπορεί να είναι ένας απλός μηχανισμός με ρόδες ή και μια πολύπλοκη μηχανή μεταφοράς (Σχήμα 11). Η μονάδα τροφοδοσίας συλλιπάσματος μπορεί να περιλαμβάνει και μηχανισμό αναρρόφησης της περίσσειας συλλιπάσματος που δεν συμμετείχε στη συγκόλληση. Οι μηχανές συγκόλλησης βυθισμένου τόξου μπορούν να εξοπλιστούν και με άλλες συσκευές όπως seam followers, weavers or work movers.



Σχήμα 11: Μηχανές συγκόλλησης βυθισμένου τόξου

3.8 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΚΑΙ ΣΥΛΛΙΠΑΣΜΑΤΑ

Για την πραγματοποίηση της συγκόλλησης βυθισμένου τόξου όπως είδαμε και παραπάνω χρησιμοποιούμε ένα καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο και το συλλίπασμα. Ο Αμερικάνικος Οργανισμός Συγκόλλησης (American Welding Society, AWS) ορίζει τις προδιαγραφές που προδιαγράφουν ένα σύστημα τυποποίησης για το συλλίπασμα και τα ηλεκτρόδια^[15,16,17].

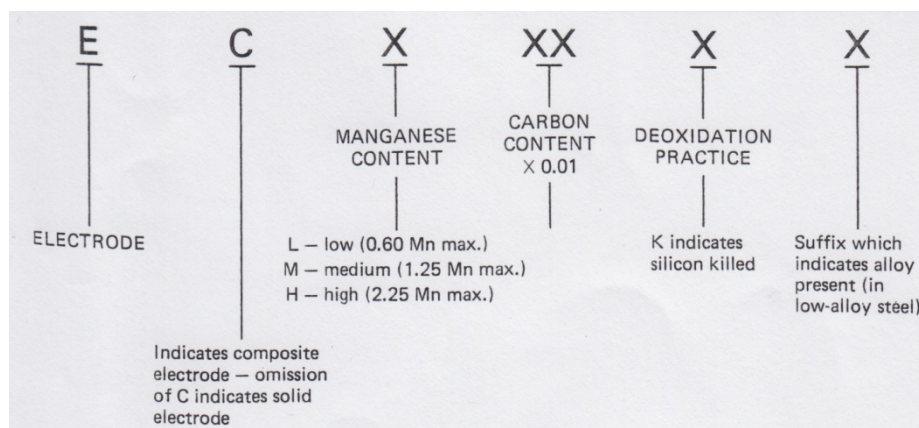
Το συλλίπασμα περιγράφεται από το λατινικό γράμμα F (flux) και συνοδεύεται από ένα διψήφιο ή τριψήφιο αριθμό που υποδεικνύει το ελάχιστο όριο αντοχής σε εφελκυσμό σε πίεση 10.000 psi. Στη συνέχεια ένα γράμμα υποδεικνύει το είδος της θερμικής κατεργασίας που πραγματοποιήθηκε για την αξιολόγηση της συγκόλλησης. Το A υποδεικνύει το «όπως προέκυψε από τη συγκόλληση» ενώ το P χρησιμοποιείται για «θερμικά κατεργασμένο μετά τη συγκόλληση». Αυτά ακολουθούνται από 1 ή 2 αριθμούς που υποδεικνύουν την ελάχιστη θερμοκρασία (σε °F) που εκτελείται η δοκιμή κρούσης ώστε να προκύψει απορρόφηση ενέργειας 20ft-lb (ή την ελάχιστη θερμοκρασία σε °C της δοκιμής κρούσης ώστε να προκύψει απορρόφηση ενέργειας ίση με 27 Joule). Υπάρχουν οκτώ διαφορετικές κατατάξεις για την αντοχή σε κρούση. Η τυποποίηση για τα συλλιπάσματα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 12).

F	X	X	X
FLUX	MECHANICAL PROPERTIES	HEAT TREATMENT	MINIMUM IMPACTS
6— 60-80,000 tensile 48,000 min yield 22% elong. in 2"	7— 70-95,000 tensile 58,000 min yield 22% elong. in 2"	A — as welded P — post weld heat treated	20 ft-lbs @ Z — no requirement 0 — 0°F = -18°C 2 — -20°F = -29°C 4 — -40°F = -40°C 5 — -50°F = -46°C 6 — -60°F = -51°C 8 — -80°F = -62°C 10 — -100°F = -73°C
8— 80-100,000 tensile 68,000 min yield 20% elong. in 2"	9— 90-110,000 tensile 78,000 min yield 17% elong. in 2"		
10— 100-120,000 tensile 88,000 min yield 16% elong. in 2"			

Σχήμα 12: Τυποποίηση συλλιπάσματος κατά AWS

Το ηλεκτρόδιο περιγράφεται από το λατινικό γράμμα E (electrode) και ακολουθείται από τρία ψηφία. Ωστόσο μετά το γράμμα E μπορεί να υπάρχει το γράμμα C (composite construction) που δηλώνει σύνθετη κατασκευή του ηλεκτροδίου, ενώ εάν δεν αναφέρεται δηλώνει ότι το ηλεκτρόδιο είναι ενιαίο. Το πρώτο ψηφίο του κωδικού δηλώνει την περιεκτικότητα σε μαγνήσιο. Στη συνέχεια ένας αριθμός δηλώνει το ποσοστό επί τοις εκατό σε άνθρακα. Η παρουσία στη συνέχεια του γράμματος K σημαίνει ότι το ηλεκτρόδιο κατά τη χύτευσή του έχει «εφησυχαστεί» με προσθήκη πυριτίου (silicon Killed). Εάν ο χάλυβας είναι άλλου τύπου το γράμμα K δεν εμφανίζεται. Στη συνέχεια δύο ψηφία περιγράφουν τα στοιχεία κραμάτωσης

που περιέχονται. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η τυποποίηση των ηλεκτροδίων (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Τυποποίηση ηλεκτροδίων κατά AWS

AWS Classification	Χημική Σύσταση (Wt %) ^{a,b}					
	C	Mn	Si	S	P	Cu ^c
Low-manganese steel electrodes						
ELB	0.10	0.25/0.60	0.07	0.035	0.035	0.35
EL8K	0.10	0.25/0.60	0.10/0.25	0.035	0.035	0.35
EL12	0.05/0.15	0.25/0.60	0.07	0.035	0.035	0.35
Medium-manganese steel electrodes						
EM12	0.06/0.15	0.80/1.25	0.10	0.035	0.035	0.35
EM12K	0.05/0.15	0.80/1.25	0.10/0.35	0.035	0.035	0.35
EM13K	0.07/0.19	0.90/1.40	0.35/0.75	0.035	0.035	0.35
EM15K	0.10/0.20	0.80/1.25	0.10/0.35	0.035	0.035	0.35
High-manganese steel electrodes						
EH-14	0.10/0/20	1.70/2.20	0.10	0.035	0.035	0.35

^a Οι μονές τιμές είναι οι μέγιστες

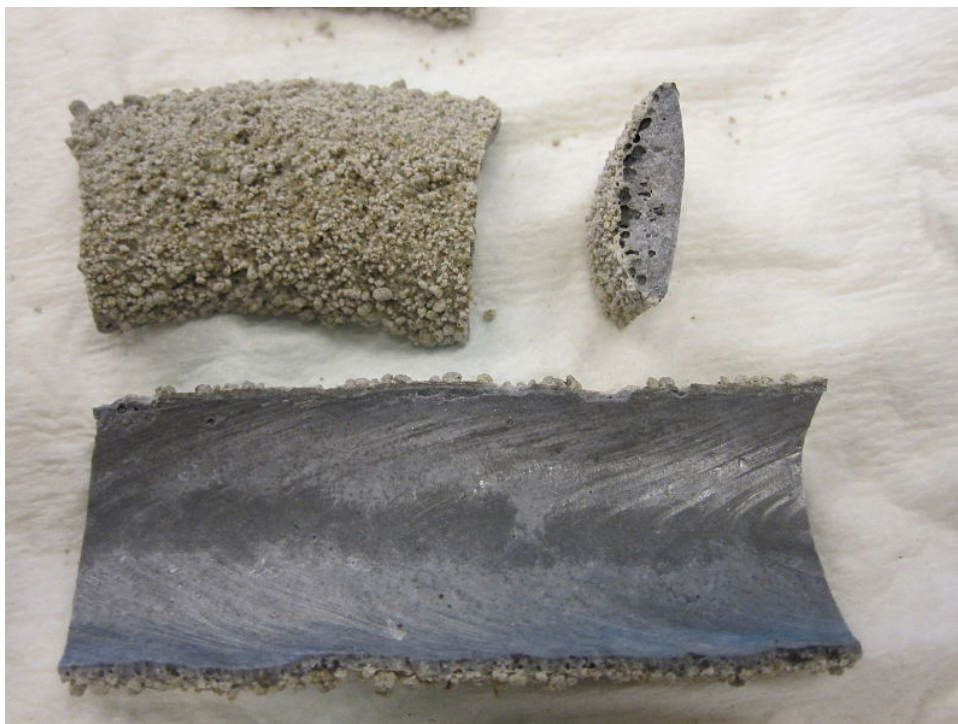
^b Τα ηλεκτρόδια πρέπει να αναλύονται για τα στοιχεία που αναφέρονται παραπάνω. Άλλα στοιχεία που προστίθενται θα πρέπει να αναφέρονται. Το σύνολο των τελευταίων στοιχείων και όλων των άλλων στοιχείων που δεν έχουν προστεθεί σκοπίμως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.50%.

^c Το όριο στη συγκέντρωση του χαλκού περιλαμβάνει και την επένδυση που μπορεί να εφαρμοστεί στο ηλεκτρόδιο

Πίνακας 3: Χημική σύσταση ηλεκτροδίων κατά AWS

Όπως έχουμε αναφέρει το συλλίπασμα καλύπτει το ηλεκτρικό τόξο και το τηγμένο μέταλλο από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο και άζωτο. Το συλλίπασμα περιέχει αντιοξειδωτικά και άλλα καθαριστικά στοιχεία που βοηθούν στην απομάκρυνση των ακαθαρσιών από το μέταλλο της συγκόλλησης. Το συλλίπασμα επίσης αποτελεί και ένα μέσο παροχής στοιχείων κραμάτωσης στη ίδια τη συγκόλληση. Τα ίδια στοιχεία και αντιοξειδωτικά μπορούν να προσδοθούν και από το ηλεκτρόδιο.

Καθώς το τηγμένο συλλίπασμα ψύχεται δημιουργεί μια υαλώδη επιφάνεια που καλύπτει και προστατεύει τη συγκόλληση. Η υαλώδης αυτή επιφάνεια πρέπει να απομακρυνθεί από την επιφάνεια της τελικής συγκόλλησης. Η απογύμνωση αυτή γίνεται άνετα μετά την ψύξη του συλλιπάσματος χωρίς καμία ιδιαίτερη προσπάθεια (Σχήμα 14).



Σχήμα 14: Αφαίρεση τηγμένου συλλιπάσματος

Το τηγμένο συλλιπάσμα που αφαιρείται πρέπει να απορρίπτεται διότι τα στοιχεία κραμάτωσης και τα αντιοξειδωτικά που περιείχε έχουν καταναλωθεί. Το συλλιπάσμα που δεν έχει τήξει και επομένως δεν έχουν επηρεαστεί οι ιδιότητές του μπορεί να συλλεχθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί. Σε έρευνα που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *Welding Journal*^[18] παρουσιάζεται η δυνατότητα ανακύκλωσης του τηγμένου συλλιπάσματος και επαναχρησιμοποίησής του. Το κόστος από τη χρησιμοποίηση ανακυκλωμένου συλλιπάσματος φτάνει έως και το 50% του κόστους αγοράς καινούριου συλλιπάσματος. Χημικές αναλύσεις και μηχανικές δοκιμές που έγιναν ικανοποίησαν τις απαιτήσεις των οργανισμών συγκόλλησης (AWS, ASME) – (Πίνακες 4-5).

Certification Deposit Analysis

Element	AWS Requirements	First Recycle	Second Recycle	Third Recycle	Fourth Recycle	Fifth Recycle	Sixth Recycle
Carbon	0.05/0.15	0.07	0.06	0.05	0.08	0.05	0.06
Managanese	0.80/1.25	1.15	1.08	0.9	1.03	1.25	1.14
Silicon	0.10/0.35	0.31	0.29	0.32	0.33	0.21	0.25
Sulfur	0.030 max.	0.019	0.021	0.026	0.021	0.011	0.012
Phosphorus	0.030 max.	0.018	0.027	0.016	0.019	0.021	0.015
Copper	0.35 max.	0.21	0.22	0.25	0.18	0.25	0.23

Continuous Qualification Mechanical Test Results

	ASME Requirements	First Recycle	Second Recycle	Third Recycle	Fourth Recycle	Fifth Recycle	Sixth Recycle	Seventh Recycle
Tensile Test Type	58 ksi Min. Reduced Sec.	72.9/73.4 ksi Reduced Sec.	70.7/71.7 ksi Reduced Sec.	70.7/69.2 ksi Reduced Sec.	74.4/74.0 ksi Reduced Sec.	71.4/72.8 ksi Reduced Sec.	71.9/72.2 ksi Reduced Sec.	74.4/74.4 ksi Reduced Sec.
Location	N/A	Base Metal	Base Metal	Base Metal	Base Metal	Base Metal	Base Metal	Base Metal
Nature	N/A	Ductile	Ductile	Ductile	Ductile	Ductile	Ductile	Ductile
Bend Tests Type	Per QW-163 Per QW-462	Passed Root/Face	Passed Side	Passed Root/Face	Passed Root/Face	Passed Root/Face	Passed Root/Face	Passed Root/Face

Certification Charpy V-Notch Test Data in ft/lb

Charpy V-Notch Impact Values	First Recycle Results ft/lb	Second Recycle Results ft/lb	Third Recycle Results ft/lb	Fourth Recycle Results ft/lb	Fifth Recycle Results ft/lb	Sixth Recycle Results ft/lb
Use	33	17	17	42	18	57
Use	40	52	23	50	29	63
Use	44	69	53	54	58	86
Average	39	46	31	49	35	69
Test Temp.	-20°F	-20°F	-20°F	-20°F	-20°F	-20°F

Πίνακας 4: Δυνατότητα χρησιμοποίησης ανακυκλωμένου συλλιπάσματος

Certification Mechanical and Radiographic Results

	AWS Requirements Data (ksi)	First Recycle (ksi)	Second Recycle (ksi)	Third Recycle (ksi)	Fourth Recycle (ksi)	Fifth Recycle (ksi)	Sixth Recycle (ksi)
All-Weld-Metal							
Tensile Yield strength	58 min.	63.6	60.9	61.7	63.2	58.7	61.4
Tensile strength	70/95	72.5	71.8	73.6	74	70.6	74.9
% Elongation	22 min.	32.5	33	32.5	31	31.9	29.7
% R of A	N/A	67.9	70.8	72.6	70.9	73.9	70.1
Radiography Results Method E142	See AWS A5.17	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed

Πίνακας 5: Δυνατότητα χρησιμοποίησης ανακυκλωμένου συλλιπάσματος

3.9 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΣΥΛΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ^[5]

Από την άποψη του τρόπου παρασκευής, τα συλλιπάσματα διαιρούνται σε **τηκόμενα** και **μη τηκόμενα** (κεραμικά και μικτά). Τα συλλιπάσματα παρασκευάζονται από ορυκτά υλικά με τήξη σε κλιβάνους ηλεκτρικούς ή φλογοβόλους (τηκόμενα συλλιπάσματα) ή με πυροσυσσωμάτωση (κεραμικά συλλιπάσματα). Τα κεραμικά συνήθως περιέχουν μεταλλικές προσθήκες, κυρίως μαγγανίου και πυριτίου, τα οποία ενισχύονται με πυροσυσσωμάτωση σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, γενικά, κάτω των 800°C. Τα κεραμικά συλλιπάσματα, με πυροσυσσωμάτωση, σε θερμοκρασία πάνω από 1000°C δεν περιέχουν μεταλλικές προσθήκες και ονομάζονται πυροσυσσωματωμένα συλλιπάσματα.

Σύμφωνα με τις υποδείξεις του Διεθνούς Ινστιτούτου Συγκόλλησης (ΔΙΣ) οι διάφοροι τύποι συλλιπασμάτων συμβολίζονται ως εξής:

F – συλλίπασμα τηκόμενο

B – συλλίπασμα κεραμικό

M – συλλίπασμα μίγματος

Το συλλίπασμα μίγματος μπορεί να είναι ελεύθερο μηχανικά μίγμα των τηκόμενων και των κεραμικών συλλιπασμάτων, όπως επίσης και ειδικές προσθήκες π.χ. μη μεταλλικές. Εκτός των αναφερθέντων συμβόλων που συμβολίζουν τον τρόπο παραγωγής του συλλιπασματος, οι υποδείξεις για την κατάταξη του ΔΙΣ (εγγ. XII-512-70) προβλέπουν, πρόσθετα και τους κώδικες που χαρακτηρίζουν τις ιδιότητες του συλλιπασματος.

1. **Ανθεκτικότητα στη φόρτιση με ρεύμα συγκόλλησης** – το μέγιστο ρεύμα συγκόλλησης σε Amper (A) που ορίζεται από τον αραβικό αριθμό πολλαπλασιαζόμενο με το 100, είναι επιτρεπόμενη τιμή της έντασης του ρεύματος συγκόλλησης με ένα σύρμα ηλεκτροδίου με το οποίο επιτυγχάνεται η ορθολογική εκτέλεση της κόλλησης (πχ το σύμβολο F10 συμβολίζει συλλίπασμα τηκόμενο, που προσφέρεται για τη συγκόλληση με ρεύμα έντασης 1000 A)
2. **Ικανότητα συγκόλλησης με μεγάλες ταχύτητες** – το συλλίπασμα επιτρέπει τη συγκόλληση με ταχύτητες άνω των 200 m/h και κωδικοποιείται με το σύμβολο S. Στην περίπτωση συλλιπασμάτων για τη συγκόλληση με μικρότερες ταχύτητες, στο σύμβολο κατάταξης του συλλιπασματος δεν προβλέπεται ειδικός κώδικας.
3. **Ικανότητα για συγκόλληση με κατάλληλο ρεύμα**
 - ο κώδικας a, στο σύμβολο κατάταξης, συμβολίζει την ικανότητα συγκόλλησης του συλλιπασματος με ρεύμα εναλλασσόμενο ή συνεχές,
 - ο κώδικας b συμβολίζει την ικανότητα του συλλιπασματος για συγκόλληση με συνεχές ρεύμα
 - ο κώδικας c συμβολίζει την ικανότητα του συλλιπασματος για τη συγκόλληση με άλλα είδη ρεύματος.

4. Απαιτήσεις που αφορούν στην **ελάχιστη τάση U της εν κενώ λειτουργίας (OVC) της πηγής ρεύματος**, για την εγγύηση της σταθερότητας του τόξου συγκόλλησης στη διαδικασία συγκόλλησης.
 - ο κώδικας x χωρίς περιορισμούς ιδιαίτερα για πηγές ρεύματος με χαμηλές τάσεις της εν κενώ λειτουργίας ($U < 65V$)
 - ο κώδικας y απαιτούμενη $U \geq 65V$
 - ο κώδικας z απαιτούμενη $U \geq 85V$
5. **Η ιδιότητα μεταλλουργικής αντίδρασης στη χημική σύσταση του εναποτιθέμενου υλικού**, στην περιοχή των βασικών προσθηκών, δηλαδή του μαγγανίου και πυριτίου.

Τα συλλιπάσματα, ανάλογα με τη δική τους μεταλλουργική δραστικότητα, μπορούν να προξενήσουν προσαυξήσεις ή ελάττωση του Mn και του Si στις κολλήσεις. Σύμφωνα με τον πίνακα 6 οι αριθμοί 1÷4 χαρακτηρίζουν το συλλίπασμα που προξενεί στις κολλήσεις ελάττωση του Mn και του Si, που σημαίνει το κάψιμο αυτών των προσθηκών κατά τη συγκόλληση. Οι αριθμοί 6÷9 χαρακτηρίζουν τις προσαυξήσεις των αναφερθέντων προσθηκών στις κολλήσεις, δηλαδή στη μετάβαση ορισμένης ποσότητας Mn και Si από το συλλίπασμα στην κόλληση.

Ο αριθμός 5 πρακτικά σημαίνει τη μεταλλουργική αδράνεια του συλλιπάσματος · το συλλίπασμα εγγυάται στις κολλήσεις τη σταθερότητα της χημικής σύστασης. Ο μεταλλουργικός χαρακτήρας δεδομένου συλλιπάσματος καθορίζεται από τη δοκιμασία της χημικής σύστασης μιας στρώσης της κόλλησης εκτελουμένης με σύρμα περιεκτικότητας περίπου 1% Mn σε έλασμα από καθησυχασμένο ανθρακοχάλυβα χαμηλού άνθρακα. Η δοκιμασία αυτή εκτελείται σύμφωνα με τις υποδείξεις των συνθηκών προτυποποίησης του ΔΙΣ (XII-512-70).

Μεταλλουργική αλληλεπίδραση του συλλιπάσματος στο Mn και Si στην κόλληση	Ονομαστικοί αριθμητικοί δείκτες αλληλεπίδρασης του συλλιπάσματος	Μεταβολές στη χημική σύσταση κατά τη δοκιμασία επιφανειακής κόλλησης	
		Mn ¹ %	Si ² %
Ελάττωση Mn και Si	1	>35	>0,35
	2	25-35	0,20-0,35
	3	15-25	0,10-0,20
	4	5-15	0,03-0,10
Αδρανή	5	6-5	0-0,03
Προσαύξηση Mn και Si	6	5-15	0,03-0,10
	7	15-25	0,10-0,20
	8	25-35	0,20-0,35
	9	>35	>0,35

1) Μεταβολή της περιεκτικότητας του Mn επί τοις % σε σχέση με την αρχική ποσότητα
2) Περιεκτικότητα του Si στη δοκιμασία επιφανειακής κόλλησης (αναγόμευση)

Πίνακας 6: Δείκτες μεταλλουργικής δραστικότητας των συλλιπασμάτων

Παράδειγμα συμβολισμού κατατασσόμενου συλλιπάσματος: Συλλιπάσμα F8ay96 οι διάφοροι κώδικες στο σύμβολο κατάταξης του ανώτερου συλλιπάσματος καθορίζονται ως εξής: **F** - συλλιπάσμα τηκόμενου τύπου, **8** – ικανό για τη συγκόλληση με μέγιστη ένταση ρεύματος 800A, **a** – δυνατότητα συγκόλλησης με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, **y** – τάση της εν κενώ λειτουργίας της πηγής ρεύματος, η οποία πρέπει να είναι, το ελάχιστο, 65V, **9** – το συλλιπάσμα προξενεί μεγάλη προσαύξηση του μαγγανίου στην κόλληση και **6** - ασήμαντη μετάβαση του πυριτίου στην κόλληση. Το δεδομένο συλλιπάσμα, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του μαγγανίου στην κόλληση, δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση χοντρών ελασμάτων, με την τεχνική πολλαπλών κορδονιών, ιδιαίτερα για ελάσματα πάχους άνω των 40 mm (κλιμακωτή προσαύξηση του μαγγανίου με την αύξηση του αριθμού των στρώσεων στην κόλληση).

Η κατάταξη των συλλιπασμάτων, σύμφωνα με τις υποδείξεις του ΔΙΣ, έχει προσανατολιστικό χαρακτήρα. Παρόμοια κατάταξη των συλλιπασμάτων για τη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο εισήχθη προγενέστερα στους κανονισμούς DIN 8557. Ο τρόπος που περιγράφηκε παραπάνω για το συμβολισμό και κωδικοποίηση των συλλιπασμάτων, σύμφωνα με τις υποδείξεις του ΔΙΣ ή τους κανονισμούς DIN, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των περισσότερων χωρών.

Τηκόμενα συλλιπάσματα

Για τη συγκόλληση και αναγόμευση με βυθιζόμενο τόξο καθώς και με την ηλεκτροσκοριακή μέθοδο (electroslag welding) χρησιμοποιούνται τηκόμενα συλλιπάσματα. Η τεχνική χρησιμοποίησης των συλλιπασμάτων εκτιμάται βάσει της χημικής σύστασης (πίνακας 3) των φυσικών ιδιοτήτων και των ιδιοτήτων τεχνικής συγκόλλησης δεδομένου συλλιπάσματος.

Οι χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες των συλλιπασμάτων ορίζονται από τις ακόλουθες ιδιότητες: την ομοιομορφία, την κοκκομετρία και την υγρασία.

Τα τηκόμενα συλλιπάσματα παράγονται σε δύο κατηγορίες βάσει της κοκκομετρίας: 0,32÷2,5mm 0,32÷1,6mm.

Τα συλλιπάσματα με μικρή κοκκομετρία (μέχρι 1,6mm) χρησιμοποιούνται κυρίως για τη συγκόλληση με μεγάλες ταχύτητες, για την εκτέλεση κολλήσεων με χαμηλή ένταση αλλά και κατά τη συγκόλληση με ηλεκτρόδια ταινίας.

Η υγρασία στο συλλιπάσμα αποτελεί την αιτία δημιουργίας πόρων αερίου στις κολλήσεις.

Η επιτρεπόμενη υγρασία των συλλιπασμάτων δεν μπορεί να υπερβαίνει το 0,1% ενώ σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποίησης το 0,05% (πχ στα συλλιπάσματα για τη συγκόλληση με ταχύτητα άνω των 100 m/h και κατά την αναγόμευση με ηλεκτρόδια ταινίας).

Η θερμοκρασία στεγνώματος των συλλιπασμάτων είναι περίπου 300°C.

Για τη συγκόλληση **ανθρακοχαλύβων** με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα χρησιμοποιούνται συνήθως **όξινα** συλλιπάσματα.

Για τη συγκόλληση **ελαφρά κραματομένων χαλύβων** χρησιμοποιούνται **αδρανή** και **βασικά** συλλιπάσματα.

Για τη συγκόλληση **ισχυρά κραματομένων χαλύβων** χρησιμοποιούνται κυρίως **βασικά** συλλιπάσματα.

Τα **όξινα** συλλιπάσματα αντέχουν σε υψηλότερες παραμέτρους ρεύματος (A,V) και είναι λιγότερο ευπαθή στη δημιουργία πόρων. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου (SiO₂) προξενεί στις κολλήσεις τη μείωση των πλαστικών ιδιοτήτων των κολλήσεων.

Τα **βασικά** συλλιπάσματα περιέχουν συνήθως: οξείδια του ασβεστίου (CaO), οξείδια του μαγγανίου (MnO), οξείδια του αλουμινίου (Al₂O₃), φθορίτη (CaF₂) καθώς και οξείδια του πυριτίου (SiO₂). Τα συλλιπάσματα αυτά είναι λιγότερο ανθεκτικά στις υψηλές παραμέτρους του ρεύματος συγκόλλησης, είναι περισσότερο ευπαθή στη δημιουργία πόρων στις κολλήσεις, αλλά επιτρέπουν την επίτευξη κολλήσεων με καλύτερες πλαστικές ιδιότητες.

Τα όξινα συλλιπάσματα, μαζί με το SiO₂, περιέχουν συνήθως και το οξείδιο του μαγγανίου MnO. Ανάλογα με την περιεκτικότητα αυτής της προσθήκης στο συλλίπασμα, διακρίνονται **συλλιπάσματα ελαφρά, μέτρια και ισχυρά μαγγανιούχα**.

Κατά τη συγκόλληση κατασκευαστικών ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα, ανάλογα με την περιεκτικότητα στο συλλίπασμα MnO, επιλέγεται κατάλληλη κατηγορία σύρματος ώστε η περιεκτικότητα του μαγγανίου στην κόλληση να είναι σε κάθε περίπτωση ίδια (στα όρια 0,8÷1,2). Η σύνθεση των συρμάτων με τα συλλιπάσματα γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

Περιεκτικότητα MnO στο συλλίπασμα	Περιεκτικότητα Mn στο σύρμα
MnO – άνω από 30%	0,3 ÷ 0,6% Mn
MnO – 25 ÷ 15%	0,8 ÷ 1,2% Mn
MnO – 12 ÷ 0%	1,5 ÷ 2,5% Mn

Πίνακας 7: Συνδυασμός συλλιπάσματος και ηλεκτροδίου ανάλογα την περιεκτικότητα MnO

Σημαντική προσθήκη των συλλιπασμάτων για τη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο είναι το φθοριούχο ασβέστιο (CaF₂). Παρά το ότι το συστατικό αυτό είναι αντισταθεροποιητής του τόξου, εισάγεται στη σύσταση των συλλιπασμάτων, για την αύξηση της αραιοποιημένης ρευστότητας και της ανθεκτικότητάς τους στην υγρασία και τη σκουριά. Το φθοριούχο ασβέστιο ευνοεί την ένωση των υδρατμών με το υδρογόνο στο τόξο σε στερεές ενώσεις πχ HF, μη διαλυτοποιημένες στην κόλληση. Η περιεκτικότητα του φθοριούχου ασβεστίου στα οξινομαγγανιούχα συλλιπάσματα κυμαίνεται από 2÷10%.

Με περιεκτικότητα άνω των 4%, για την αύξηση της σταθερότητας του τόξου, κατά τη συγκόλληση με πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, πρέπει να χρησιμοποιείται τάση στην εν κενώ λειτουργία min 80V. Τα συλλιπάσματα με περιεκτικότητα φθοριούχου ασβεστίου άνω των 4% προορίζονται πρωταρχικά για τη συγκόλληση οξειδωμένων χαλύβδινων ελασμάτων. Τα όξινα και τα βασικά συλλιπάσματα, ιδιαίτερα αυτά που περιέχουν λίγη ποσότητα CaF₂ πρέπει προ της συγκόλλησης να στεγνώνονται με μεγάλη ακρίβεια στη θερμοκρασία περ. των 300°C. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συλλιπασμάτων.

Συμβολισμός των συρμάτων	Συμβολισμός των συλλιπασμάτων	Το βασικό των συλλιπασμάτων ¹	Ο χαρακτήρας του συλλιπάσματος	Χρησιμοποίηση
S2 S2 Si S3	Fg ay 56	B=1,1	Αδρανές, ελαφρά μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα και ελαφρά κραματωμένων χαλύβων
S2 S2 Si S3	F10 ay 56	B=1,1	Αδρανές, ελαφρά μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση χαλύβων ελαφρά κραματωμένων
S1 S2	F12 ay 97	B=0,73	Όξινο ισχυρά μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα
S2 Si	F13 ay 87	B=0,66	Όξινο μέτρια μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων και χαλύβων ελαφρά κραματωμένων με μεγάλες ταχύτητες, ιδιαίτερα για σωλήνες
S3	F10 ay 97	B=0,77	Όξινο μέτρια μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα με μεγάλες ταχύτητες
S1 S2	F12 ay 97	B=0,63	Όξινο ισχυρά μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα
S2	F10 ay 38	B=0,83	Όξινο μέτρια μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα και αναγόμευση
S3	F13 ay 38	B=0,81	Όξινο	Για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα με ρεύμα υψηλής έντασης
	F10 ay 55	B=1,2	Βασικό μη μαγγανιούχο	Για τη συγκόλληση κραματωμένων χαλύβων και για αναγόμευση ανθρακοχαλύβων με κραματωμένους χάλυβες
	F10 ay 56	B=1,2	Βασικό ελαφρά μαγγανιούχο	Για την αναγόμευση ανθρακοχαλύβων με χάλυβες ελαφρά κραματωμένους
S2 S3		B=1,1	Αδρανές, ελαφρά μαγγανιούχο	Για την ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση ανθρακοχαλύβων και ελαφρά κραματωμένων χαλύβων
S2 S3		B=0,97	Όξινο μέτρια μαγγανιούχο	Για την ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα

1) Το βασικό του συλλιπάσματος, υπολογισμένο από τον τύπο του Boniszewski:

$$B = \frac{CaO + MgO + CaF_2 + 0,5(MnO + FeO)}{SiO_2 + 0,5(TiO_2 + ZrO_2)}$$

Πίνακας 8: Συμβολισμός των συρμάτων, ιδιότητες και χρησιμοποίηση των κυριότερων συλλιπασμάτων για τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου (σύμφωνα με το SI XII-512-70)

Κεραμικά συλλιπάσματα

Τα κεραμικά συλλιπάσματα, παρόμοια με τις επενδύσεις ηλεκτροδίων, αποτελούν μίγμα λεπτών αλεσμένων ορυκτών προϊόντων, συνθετικών, καθώς και μεταλλικών συστατικών. Σε αντίθεση με τα τηκόμενα συλλιπάσματα, τήκονται μόνο κατά τη διαδικασία συγκόλλησης.

Στα κεραμικά συλλιπάσματα εμφανίζονται παρόμοια οξειδία σκωριογόνα όπως και στα τηκόμενα συλλιπάσματα (SiO_2 , AlO_3 , CaO , MgO κ.α.) καθώς και ανθρακικά, κυρίως CaCO_3 και MgCO_3 , όπως επίσης και φθοριούχες ενώσεις, κυρίως CaF_2 . Στα κεραμικά συλλιπάσματα εισάγονται πρόσθετα συστατικά μεταλλικά, που, συγχρόνως, παίζουν το ρόλο των κραματικών προσθηκών και των αποξειδωτικών. Συνήθως χρησιμοποιούνται: μαγγάνιο, πυρίτιο, τιτάνιο, αλουμίνιο, όπως επίσης και μολυβδαίνιο, χρώμιο και νικέλιο.

Τα κεραμικά συλλιπάσματα εκλύουν, κατά τη διαδικασία συγκόλλησης, σχετικά πολλές πτητικές ουσίες, περισσότερες απ' ό,τι κατά τη συγκόλληση με τα τηκόμενα συλλιπάσματα.

Απ' αυτά τα αέρια περισσότερο υπερτερεί το O_2 , που προκύπτει από τη διάσπαση των ανθρακικών.

Με την έκλυση αυτών των πτητικών ουσιών συνδέεται η θερμική ανθεκτικότητα του συλλιπάσματος κατά τη φόρτισή του με το ρεύμα συγκόλλησης.

Όσο το συλλιπάσμα εκλύει λιγότερες πτητικές ουσίες, τόσο υψηλότερες παράμετροι ρεύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη συγκόλληση.

Συνήθως κατά τη συγκόλληση με κεραμικά συλλιπάσματα η ένταση του ρεύματος δεν υπερβαίνει τα 800Α. Η χαμηλή θερμική αντοχή των κεραμικών συλλιπασμάτων τα καθιστά λιγότερο ανθεκτικά στη δημιουργία πόρων στις κολλήσεις. Με τέτοιες ιδιότητες χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα τα ελαφρά πυροσσωματωμένα συλλιπάσματα ή αυτά που σκληραίνουν σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από 400 °C).

Τα κεραμικά συλλιπάσματα προετοιμάζονται για τη συγκόλληση με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα των φθοριτικών και αλκαλικών ενώσεων. Συνήθως με περιεκτικότητα άνω του 10% των ενώσεων φθοριούχου ασβεστίου, κυρίως CaF_2 , τα συλλιπάσματα προσφέρονται αποκλειστικά για τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα.

Τα όξινα κεραμικά συλλιπάσματα με μεγάλη περιεκτικότητα φθοριούχου ασβεστίου χαρακτηρίζονται με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην επίδραση της σκουριάς απ' ό,τι τα τηκόμενα συλλιπάσματα.

Στα ισχυρά βασικά συλλιπάσματα (το βασικό $B > 2$) υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα φθοριούχου ασβεστίου, επειδή στη σύστασή τους εισέρχονται μεγάλες ποσότητες οξειδίων που τήκονται δύσκολα, πχ Al_2O_3 -2038 °C, CaO -2500 °C, MgO -2800 °C,

ZrO₂-2900 °C. Οι ενώσεις φθοριούχου ασβεστίου μειώνουν σε αυτά τα συλλιπάσματα τη θερμοκρασία τήξης.

Το πλεονέκτημα των κεραμικών είναι η δυνατότητα ρύθμισης της χημικής σύνθεσης της κόλλησης με τη βοήθεια των κραματικών συστατικών που εισάγονται στο συλλίπασμα.

Για τη συγκόλληση μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν σύρματα μαλακού ανθρακοχάλυβα με μικρή περιεκτικότητα μαγγανίου (0,5% Mn). Μεταβάλλοντας ανάλογα στο συλλίπασμα τις μεταλλικές προσθήκες, είναι δυνατόν, με το ίδιο σύρμα μαλακού ανθρακοχάλυβα, να επιτευχθεί διαφορετική χημική σύσταση της κόλλησης.

Αυτός ο τρόπος αξιοποιείται σε μεγάλη κλίμακα και ιδιαίτερα κατά την παρασκευή κεραμικών συλλιπασμάτων για την αναγόμευση.

Τα βασικά συλλιπάσματα έχουν ωφέλιμες ιδιότητες εξευγενισμού – αποξείδωσης, παρόμοια με τα βασικά επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, τα οποία επιτρέπουν την επίτευξη καλών πλαστικών ιδιοτήτων και παρουσιάζουν μεγάλη δυσθραυστότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Επειδή τα βασικά συλλιπάσματα παράγονται ευκολότερα ως κεραμικά απ' ό,τι τα τήκόμενα παρατηρείται μεγαλύτερη διάδοση των κεραμικών συλλιπασμάτων.

Τα κεραμικά συλλιπάσματα, ιδιαίτερα τα βασικά, είναι πάρα πολύ ευαίσθητα στην υγρασία. Γι' αυτό απαιτείται το άμεσο στέγνωμά τους προ της συγκόλλησης στη θερμοκρασία των 300 °C για χρόνο 2h.

Για τη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο χρησιμοποιούνται μαγγανιούχα συλλιπάσματα με κοκκομετρία μέχρι 3mm.

Στη ναυπηγική βιομηχανία ένα από τα συλλιπάσματα που χρησιμοποιείται είναι το TMnΠ¹⁵¹ συλλίπασμα ισχυρά μαγγανιούχο, ανθεκτικό στην επίδραση της σκουριάς και της υγρασίας. Χρησιμεύει για την αυτόματη συγκόλληση κατασκευαστικών ανθρακοχαλύβων με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 0,25%. Περιοχή ρεύματος συγκόλλησης: μέγιστο εναλλασσόμενο ρεύμα 900A , μέγιστο συνεχές ρεύμα 1000A. Η τάση της εν κενώ λειτουργίας μετασχηματιστή συγκόλλησης min. 78V. Η κοκκομετρία του συλλιπασματος 0,5÷2,5mm.

3.10 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ

Στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου είναι απαραίτητη η επιλογή ενός συνδυασμού ηλεκτροδίου και συλλιπάσματος που να ταιριάζει με τη σύνθεση του βασικού μετάλλου και τις ιδιότητές του. Συλλιπάσματα από διαφορετικούς κατασκευαστές δεν μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς να έχουν προηγηθεί δοκιμές.

Τα συλλιπάσματα μπορεί να είναι ουδέτερα ή ενεργά. Τα ουδέτερα συλλιπάσματα δεν προσφέρουν καμία ιδιαίτερη αλλαγή στη δομή της συγκόλλησης και συνήθως χρησιμοποιούνται για πολλαπλές ραφές (multi-pass welding). Τα ενεργά συλλιπάσματα περιέχουν, μικρές ποσότητες μαγγανίου και/ή πυριτίου, στοιχεία που μειώνουν τους πόρους και τις ρωγμές και συνήθως εφαρμόζονται για τις μονές ραφές (single-pass welding).

Διαφοροποιήσεις στην τάση του ηλεκτρικού ρεύματος αλλάζει και την κατανάλωση του συλλιπάσματος. Υψηλότερη τιμή της τάσης του τόξου (μεγάλο μήκος τόξου) αυξάνει την ποσότητα του τηγμένου συλλιπάσματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εναπόθεση περισσότερων στοιχείων κραμάτωσης ως εκ τούτου είναι σημαντικό να ακολουθούνται οι οδηγίες του παραγωγού του συλλιπάσματος όσον αφορά τις συνιστώμενες τιμές τάσης του ηλεκτρικού τόξου για συγκεκριμένο συλλιπάσμα^[11,12].

Γενικά το συλλιπάσμα επιλέγεται βάσει των μηχανικών ιδιοτήτων που απαιτούνται στη συγκόλληση. Το ηλεκτρόδιο επιλέγεται σε συνδυασμό με το συλλιπάσμα για να προσδώσει αυτές τις ιδιότητες. Οι κατασκευαστές συνήθως παρέχουν λίστες συλλιπασμάτων με αρκετούς συνδυασμούς ηλεκτροδίων για τη συγκόλληση διαφορετικών τύπων χάλυβα^[19]. Οι οδηγίες των κατασκευαστών πρέπει να τηρούνται ακριβώς. Εάν οι απαιτήσεις της συγκόλλησης είναι μεγάλες θα πρέπει να διενεργούνται δοκιμές ώστε η διαδικασία που θα επιλεγεί να ικανοποιήσει τις τελικές ιδιότητες της συγκόλλησης.

OK Flux 10.80

An agglomerated neutral Si and Mn alloying flux for submerged arc welding.
Density: 1.1 kg/dm³ approx
Basicity index: 1.1

Classification
AWS A5.17-89: F7A2-F6P0-EL12
DIN 32522: BCS 189 AC 8 M 2-16

Applications
OK Flux 10.80 is to be used for single and multi-pass butt welding of mild and medium tensile steels where moderate impact strengths are required. OK Flux 10.80 is of calcium-silicate type which allows very high current carrying capacity even at low welding speeds both an AC and DC.
OK Flux 10.80 is excellent for butt welding of materials from 10 up to 40 mm and is used e.g. in the ship building industry.
OK Flux 10.80 is especially designed for welding in combination with OK Autrod 12.10 or OK Autrod 12.20 in single or multi-wire systems.

Typical weld metal composition %

OK Flux 10.80/ OK Autrod	C	Si	Mn
12.10	0.05	0.6	1.4
12.20	0.10	0.6	1.7

Flux consumption as kg flux/kg wire
Flux consumption is almost directly proportional to the arc voltage according to table below.

Voltage	AC	DC+
26	0.4	0.5
30	0.6	0.7
34	0.9	1.0
38	1.1	1.2

Typical mechanical properties. All weld metal

OK Flux 10.80/ OK Autrod	Yield stress N/mm ²	Tensile strength N/mm ²	Impact values J	Charpy V °C
12.10	420	530	60	-20
12.20	450	560	50	-20

Approvals

OK Flux 10.80/ OK Autrod	ABS	LR	DnV	BV	GL	RS	Controlas
12.10	2TM, 2YTM	2TM, 2YTM	IYTM	A2, 2YTM	2YTM	2YTM	CS-P 2TM
12.20	1T2M	1T2M, 1YT	IYT	A1T, A2M	1T2M	-	-

Vd TÜV: in combination with OK Autrod 12.10, 12.20 and 12.32 according to the latest edition
Vd TÜV 1000.

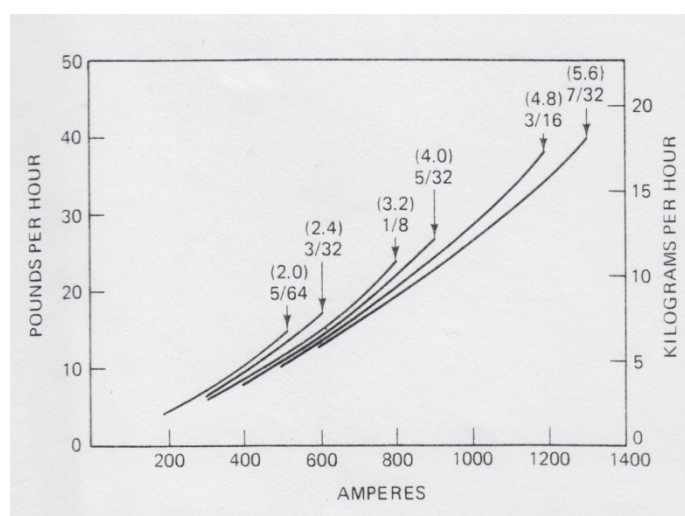
Storage and handling
Recommendations for storage and handling see page 265.

Packing data
OK Flux 10.80 is delivered in plastic-lined paper bags containing 25 kgs.

Σχήμα 15: Εγχειρίδιο κατασκευαστή για την επιλογή συλλιπάσματος^[18]

3.11 ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

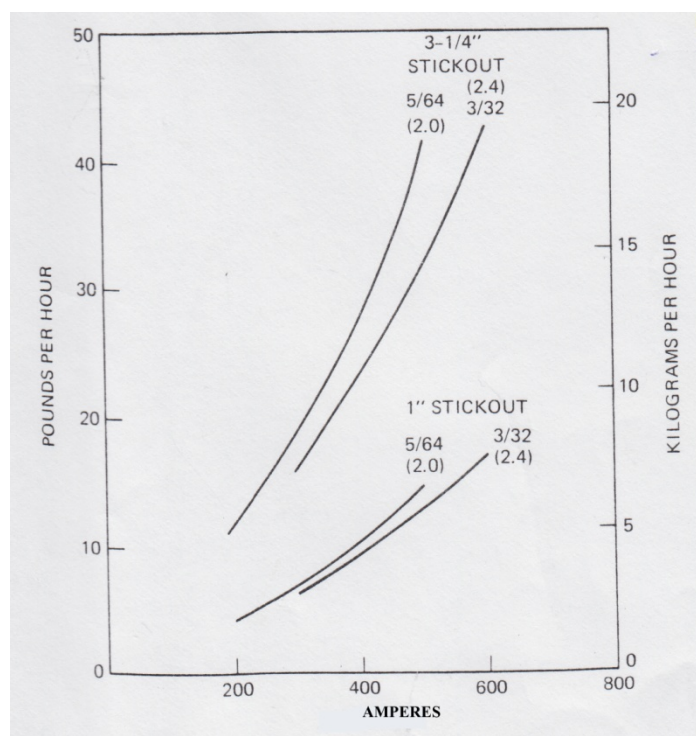
Ο ρυθμός απόθεσης υλικού στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου είναι υψηλότερος από κάθε άλλη μέθοδο συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου. Τέσσερις παράγοντες επιδρούν στο ρυθμό απόθεσης: η πολικότητα, το μήκος του τόξου, τα πρόσθετα στοιχεία στο συλλίπασμα και τα ηλεκτρόδια^[11,12]. Στο συνεχές ρεύμα με αρνητική πολικότητα στο ηλεκτρόδιο η απόθεση είναι μεγαλύτερη. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα ο ρυθμός απόθεσης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών του συνεχούς ρεύματος στη θετική και στην αρνητική πολικότητα. Στον αρνητικό πόλο εμφανίζεται ως γνωστόν η μέγιστη πρόσδοση θερμότητας. Ο ρυθμός απόθεσης για μονά ηλεκτρόδια διαφορετικής διαμέτρου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 16).



Σχήμα 16: Ρυθμός απόθεσης

Ο ρυθμός απόθεσης μπορεί να αυξηθεί επεκτείνοντας το μήκος του ηλεκτρικού τόξου (stickout), την απόσταση δηλαδή μεταξύ ηλεκτροδίου και μητρικού μετάλλου. Συνήθως η απόσταση αυτή κυμαίνεται από 1'' έως 1^{1/2}'' (25 με 38mm). Εάν αυξηθεί η απόσταση αυτή προκαλείται προθέρμανση του ηλεκτροδίου η οποία σε μεγάλο βαθμό αυξάνει το ρυθμό απόθεσης υλικού. Με περαιτέρω αύξηση της απόστασης μειώνεται η διείσδυση στο μητρικό μέταλλο. Η επίδραση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη διότι ορισμένες φορές η διείσδυση είναι το ζητούμενο στη συγκόλληση. Η σχέση μεταξύ απόστασης και ρυθμού απόθεσης παρουσιάζεται γραφικά στην επόμενη εικόνα. Περαιτέρω αύξηση στο ρυθμό απόθεσης μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη μεταλλικών στοιχείων στο συλλίπασμα.

Η ποιότητα του μετάλλου συγκόλλησης στη μέθοδο βυθισμένου τόξου είναι υψηλή. Η αντοχή και η ελαστικότητα υπερβαίνει αυτή του βασικού μετάλλου στους απλούς χάλυβες ή στους ελαφρά κραματωμένους όταν χρησιμοποιείται ο σωστός συνδυασμός ηλεκτροδίου και συλλιπάσματος. Γενικά το πλάτος της κόλλησης (weld bed) είναι αρκετά μεγαλύτερο από κάθε άλλη μέθοδο συγκόλλησης. Η θερμότητα που



Σχήμα 17: Σύγκριση απόθεσης μετάλλου ανάλογα το μήκος τόξου

αναπτύσσεται είναι υψηλότερη ενώ ο ρυθμός ψύξεως είναι χαμηλός με αποτέλεσμα αέρια και άλλες ατέλειες να έχουν περισσότερο χρόνο να διαφύγουν. Ομοιομορφία και σταθερότητα είναι επιπλέον πλεονεκτήματα στην αυτοματοποιημένη μέθοδο.

Ορισμένα προβλήματα μπορεί να παρουσιαστούν στην εφαρμογή της ημιαυτόματης μεθόδου (Σχήμα 10). Το ηλεκτρόδιο μπορεί να καμπυλώσει καθώς εξέρχεται από το ακροφύσιο του όπλου συγκόλλησης. Αυτή η κάμψη μεταφέρει το ηλεκτρικό τόξο σε σημεία που δεν μπορεί να ελέγξει ο συγκολλητής. Σε συγκολλήσεις ελασμάτων μεγάλου πάχους η καμπυλότητα αυτή προξενεί στρέβλωση του τόξου προς τη μια πλευρά παρά στη ρίζα της συγκόλλησης. Αυτό προκαλεί με τη σειρά του ατελή τήξη του μετάλλου ενώ παγιδεύεται συλλίπασμα στην κόλληση. Ένα επιπλέον πρόβλημα κατά την εφαρμογή της ημιαυτόματου μεθόδου είναι η ολοκλήρωση της ραφής συγκόλλησης στο επιθυμητό μέγεθος λόγω του γεγονότος ότι η συγκόλληση καλύπτεται τη στιγμή που πραγματοποιείται. Αυτό απαιτεί στη συνέχεια έξτρα πέρασμα ενώ πολλές φορές παρατηρείται επιπλέον υλικό από το απαιτούμενο. Παραλλαγές στο διάκενο μεταξύ των ελασμάτων επιδρά και στην ταχύτητα συγκόλλησης, η οποία εάν δεν είναι η κατάλληλη, η συγκόλληση θα παρουσιάζει έλλειψη ή επιπλέον υλικό. Όλα τα παραπάνω προβλήματα μπορεί να υπερκεραστούν από τα προσόντα και την εμπειρία του συγκολλητή.

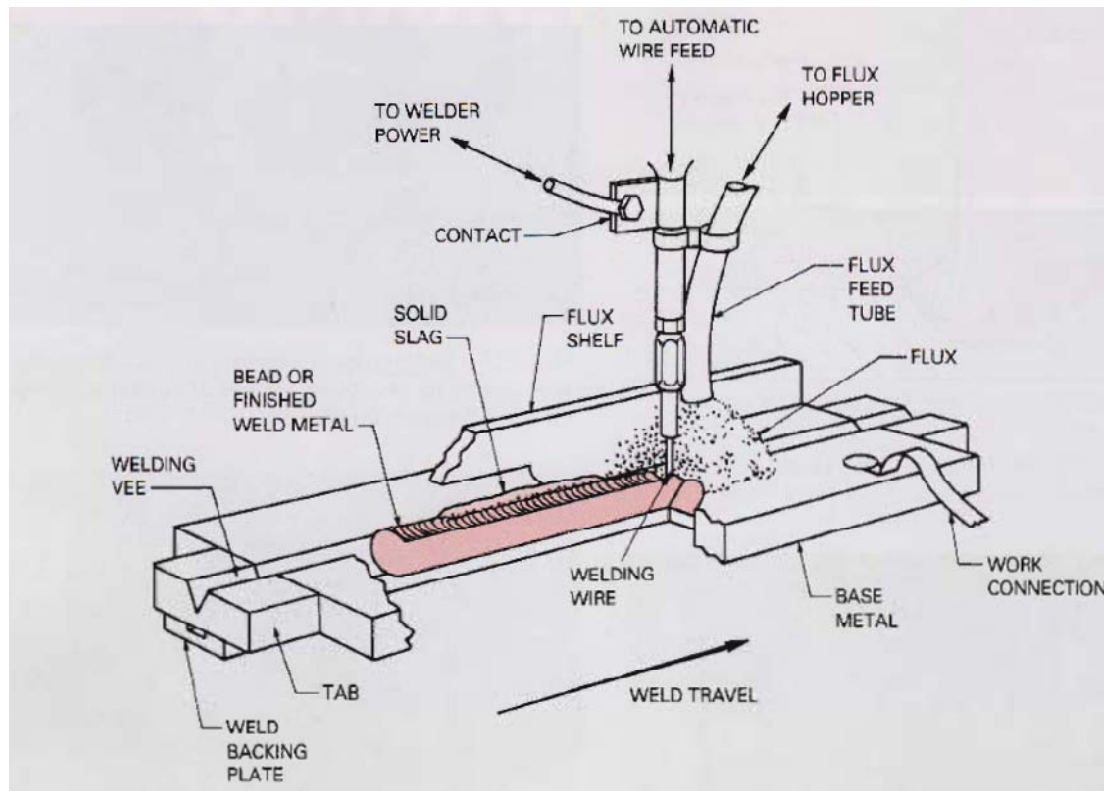
Ένα πρόβλημα ποιότητας της συγκόλλησης παρουσιάζεται κατά την εφαρμογή της μεθόδου βυθισμένου τόξου στις ραφές συγκόλλησης μεγάλου μεγέθους που γίνονται με ένα πέρασμα. Καθώς το μέταλλο συγκόλλησης στερεοποιείται ακαθαρσίες και προσμείξεις συγκεντρώνονται παράλληλα με τον άξονα της συγκόλλησης. Εάν υπάρξει μεγάλη συγκέντρωση αυτών των ακαθαρσιών υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης διαμηκών ρωγμών. Αυτό ενδέχεται να εμφανιστεί στις μεγάλες αυχενικές

συγκολλήσεις με ένα πέρασμα όταν το έλασμα είναι τοποθετημένο με γωνία 45° ως προς το επίπεδο (Σχήμα 7). Μια απλή λύση είναι η αποφυγή τοποθέτησης σε αυτή τη θέση των 45° των προς συγκόλληση τεμαχίων αλλά σε μια γωνία πλησίον των 10° ώστε ο άξονας της κόλλησης να μην συμπίπτει με το άξονα της ραφής. Μια άλλη λύση είναι η εφαρμογή πολλών περασμάτων συγκόλλησης αντί ενός.

Εξαιρετικής σκληρότητας συγκολλήσεις συμβάλλουν στη ρηγμάτωση κατά την κατασκευή και κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους. Συνιστάται μια σκληρότητα κατά Brinell έως 225 Kg/mm².

Λόγοι για τη σκληρότητα της συγκόλλησης σε ανθρακούχους και χαμηλής κραμάτωσης χάλυβες είναι η ταχεία ψύξη, η ανεπαρκής μεταθέρμανση ή η υπερβολική πρόσδοση κραματικών στοιχείων στο μέταλλο συγκόλλησης. Η υπερβολική πρόσδοση μπορεί να οφείλεται στην επιλογή ενός ηλεκτροδίου με υψηλό ποσοστό κραμάτωσης ή σε συλλίπασμα με υψηλή συγκέντρωση κράματος ή ακόμα και σε υψηλή τάση ρεύματος. Συνιστάται ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή αυτών των σφαλμάτων.

Στις αυτοματοποιημένες συγκολλήσεις σφάλματα παρουσιάζονται συνήθως στην αρχή και στο τέλος της συγκόλλησης. Η καλύτερη λύση που έχει βρει εφαρμογή είναι η τοποθέτηση προσθηκών (tabs) στην αρχή και το τέλος των ελασμάτων ώστε η εκκίνηση και ο τερματισμός της συγκόλλησης να πραγματοποιείται σε αυτές παρά στην τελική κατασκευή.



Σχήμα 18: : Τοποθέτηση προσθηκών στην αρχή και το τέλος της κατασκευής

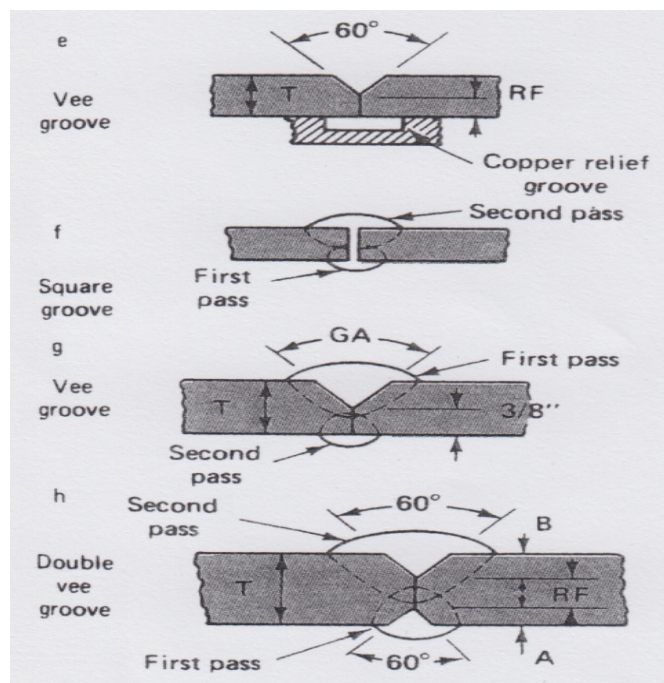
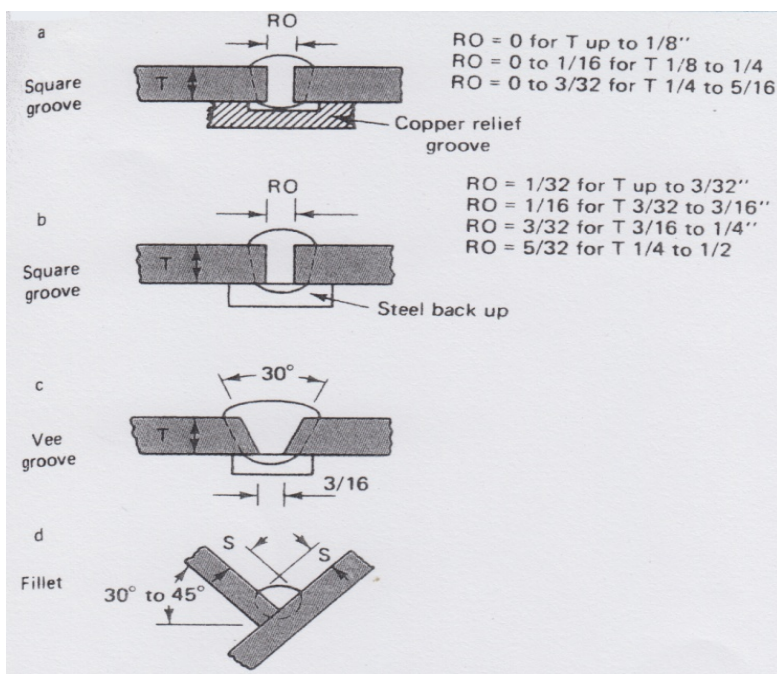
3.12 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Οι συγκολλήσεις βυθισμένου τόξου που πραγματοποιούνται θα πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με μια προκαθορισμένη επιλογή των παραμέτρων συγκόλλησης. Στον επόμενο πίνακα και στο σχήμα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συνιστώμενες παράμετροι συγκόλλησης βυθισμένου τόξου για μαλακούς και χαμηλής κραμάτωσης χάλυβες.

Material Thickness			Type of Weld	Electrode Dia. In.	Welding Current (A dc)	Arc Voltage (Elec. Pos)	Wire Feed (in./min)	Travel Speed (in./min)
Ga	in.	mm						
16	0.063	1.6	a Square groove	3/32	300	22	68	100-140
			b Square groove	1/8	425	26	53	95-120
14	0.078	2	a Square groove	3/32	375	23	85	100-140
			b Square groove	1/8	500	27	65	75-85
12	0.109	2.8	a Square groove	1/8	400	23	51	70-90
			b Square groove	1/8	550	27	65	50-60
			d Fillet	1/8	400	25	51	40-60
10	0.140	3.5	a Square groove	1/8	425	26	53	50-80
			b Square groove	5/32	650	27	55	40-45
3/16	0.188	4.8	a Square groove	5/32	600	26	50	40-75
			b Square groove	3/16	875	31	55	35-40
			d Fillet	1/8	525	26	67	35-40
¼	0.250	6.3	a Square groove	3/16	800	28	50	30-35
			b Square groove	3/16	875	31	56	22-25
			d Fillet	5/32	650	28	56	30-35
			e V groove	3/16	750	30	47	25-40
3/8	0.375	9.5	b Square groove	3/16	950	32	61	20-25
			f Square groove	3/16	1 st pass 500 2 nd pass 750	32 33	27 47	30 30
			e V groove	3/16	900	33	57	23-25
			d Fillet	3/16	950	31	61	30-35
½	0.500	12.6	c V groove	3/16	975	33	63	12-17
			f Square groove	3/16	1 st pass 650 2 nd pass 850	34 35	40 54	25 23-27
			e V groove	3/16	950	35	61	18-20
			d Fillet	3/16	950	33	61	14-17
¾	0.750	19	c V groove	7/32	1000	35	49	68
			f Square groove	3/16	1 st pass 925 2 nd pass 1000	37 40	59 65	12 11
			e V groove	7/32	950	36	46	10-12
			d Fillet	7/32	1000	35	49	6-8
			g V groove	7/32	1 st pass 950 2 nd pass 750	34 34	46 25	15 22
			h Double v groove	3/16	1 st pass 700 2 nd pass 1000	35 36	42 65	20-22 14-16
			g V groove	7/32	1 st pass 1150 2 nd pass 850	36 36	58 40	11 20
			h Double v groove	7/32	1 st pass 900 2 nd pass 1075	36 36	42 52	13-15 12-14
1 ¼	1.25	32	h Double v groove	7/32	1 st pass 1000 2 nd pass 1125	36 37	50 56	13 8
			h Double v groove	7/32	1 st pass 1000 2 nd pass 1125	36 37	51 56	9 7

Πίνακας 9: Επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης^[11]

Σε όλες τις συγκολλήσεις πρέπει να γίνεται ποιοτικός έλεγχος ώστε να διασφαλιστεί η σωστή επιλογή ηλεκτροδίου και συλλιπάσματος. Εάν τα αποτελέσματα ποικίλουν πάνω από 10% επιπλέον έλεγχοι πρέπει να γίνουν για να καθοριστεί η ποιότητα των συγκολλήσεων.



Σχήμα 19: Επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης^[11]

3.13 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ^[11,20]

Οι μεταβλητές συγκόλλησης για τη μέθοδο βυθισμένου τόξου είναι κοινές με άλλες πρακτικές συγκόλλησης με κάποιες εξαιρέσεις.

Στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου ο τύπος του ηλεκτροδίου και του συλλιπάσματος επιλέγονται βάσει των μηχανικών ιδιοτήτων που απαιτούνται.

Η διάμετρος του ηλεκτροδίου είναι συνάρτηση του μεγέθους της ραφής και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που προδιαγράφεται για τη συγκεκριμένη συγκόλληση. Από το μέγεθος του ηλεκτροδίου καθορίζεται και ο αριθμός των περασμάτων που θα εκτελεστούν. Συγκολλήσεις ιδίου μεγέθους μπορεί να γίνουν με πολλά ή λιγότερα περάσματα, συναρτήσει και των μεταλλουργικών ιδιοτήτων που απαιτούνται. Πολλαπλά περάσματα αυξάνουν το κόστος αλλά προσδίδουν καλύτερης ποιότητας ραφές.

Η πολικότητα καθορίζεται εξ' αρχής και επιλέγεται από την απαίτηση για μεγαλύτερη διείσδυση ή μεγαλύτερη απόθεση υλικού.

Οι σημαντικότερες μεταβλητές που επενεργούν στη συγκόλληση είναι η θερμότητα πρόσδοσης (heat input) που είναι συνάρτηση του ηλεκτρικού ρεύματος συγκόλλησης, η τάση του ηλεκτρικού τόξου (arc voltage) και η ταχύτητα συγκόλλησης (travel speed).

Το ρεύμα συγκόλλησης είναι η πιο σημαντική παράμετρος. Για μονές ραφές η ένταση του ρεύματος πρέπει να είναι επαρκής για την επιθυμητή διείσδυση. Μεγαλύτερης εντάσεως ρεύμα θα προκαλέσει μεγαλύτερη διείσδυση. Σε πολλαπλά περάσματα η ένταση του ρεύματος πρέπει να είναι ρυθμισμένη ώστε να προκύπτει το μέγεθος της ραφής που απαιτείται σε κάθε πέραςμα. Η επιλογή της εντάσεως του ρεύματος πρέπει να επιλέγεται και βάσει της διαμέτρου του ηλεκτροδίου.

Η τάση του ηλεκτρικού τόξου ποικίλει με μικρό εύρος μεταβολών. Επηρεάζει το πλάτος και το σχήμα της ραφής. Υψηλής τάσης ηλεκτρικό τόξο προκαλεί διεύρυνση της ραφής. Τάση εξαιρετικής μεγάλης τιμής πρέπει να αποφεύγεται λόγω της επίδρασης δημιουργίας ρωγμών. Αυτό οφείλεται διότι προκαλείται τήξη υπερβολικής ποσότητας συλλιπάσματος και πλήθος αντιοξειδωτικών στοιχείων μεταφέρονται στο μέταλλο συγκόλλησης ελαττώνοντας την ολκιμότητά του. Επομένως υψηλή τιμή της τάσης του ηλεκτρικού τόξου προκαλεί και υπερβολική κατανάλωση συλλιπάσματος. Χαμηλή τιμή της τάσης δημιουργεί ένα πιο σταθερό τόξο που ενισχύει τη διείσδυση ιδιαίτερα στον πυθμένα σε βαθύ ραφές. Εάν η τάση είναι πολύ χαμηλή μια στενή ραφή θα σχηματιστεί και θα είναι δύσκολη η απομάκρυνση της προστατευτικής σκουριάς που σχηματίζεται.

Η ταχύτητα της συγκόλλησης επιδρά τόσο στο πλάτος της ραφής όσο και στη διείσδυση. Γρήγορες συγκολλήσεις προκαλούν στενές ραφές με ανεπαρκή διείσδυση. Αυτό βέβαια αποτελεί πλεονέκτημα για λεπτά ελάσματα. Εάν η ταχύτητα είναι αρκετά μεγάλη ωστόσο υπάρχει η τάση να δημιουργούνται υποκοπές (undercut) και πόροι διότι το μέταλλο συγκόλλησης ψύχεται ταχύτερα.

Εάν η ταχύτητα είναι πολύ μικρή το ηλεκτρόδιο παραμένει στη λίμνη της συγκόλλησης για αρκετό χρόνο με αποτέλεσμα την ανεπαρκή διάσταση της ραφής και επίσης την πρόκληση υπερβολικής εκτόξευσης μετάλλου (excessive spatter) στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου.

Δευτερεύουσες παράμετροι περιλαμβάνουν τη γωνία του ηλεκτροδίου ως προς το έλασμα, τη γωνία και τη θέση του ίδιου του ελάσματος, το πάχος της κάλυψης με συλλίπασμα και το πιο σημαντικό, το μήκος του ηλεκτρικού τόξου που σχολιάστηκε παραπάνω.

Το πάχος της κάλυψης με το συλλίπασμα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Εάν είναι λεπτό δεν θα καλύπτει πλήρως το ηλεκτρικό τόξο ενώ δημιουργούνται και πόροι. Εάν η ποσότητα είναι μεγάλη η συγκόλληση που θα προκύψει θα είναι περιορισμένη και κυρτή. Επίσης παρουσιάζονται σπηλαιώδεις ασυνέχειες στην επιφάνεια της συγκόλλησης, αποτέλεσμα των αερίων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και τα οποία δεν μπορούν να διαφύγουν. Τα σημάδια αυτά αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως φουσκάλες (rock marks)^[20,21].

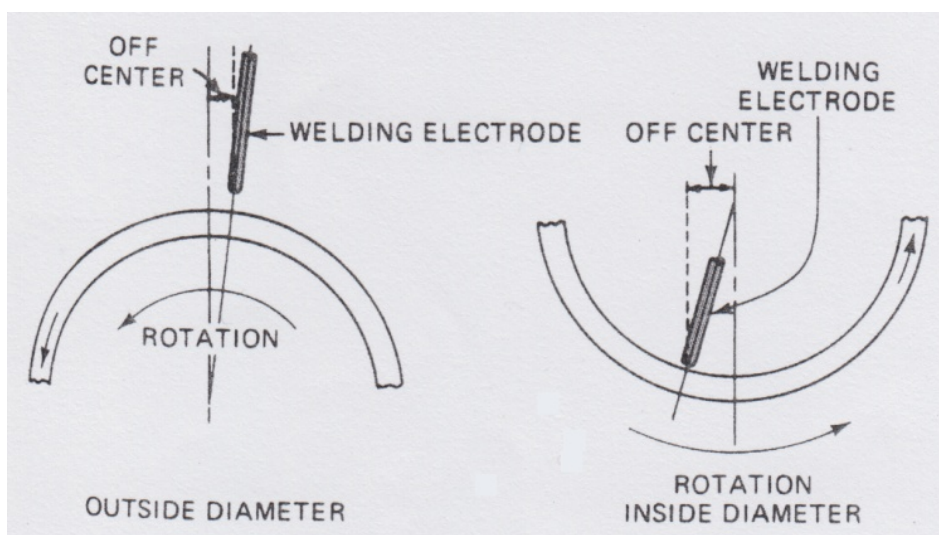
3.14 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ^[11,20]

Μια από τη σημαντικότερη εφαρμογή της μεθόδου βυθισμένου τόξου είναι η συγκόλληση κυλινδρικών τεμαχίων τα οποία περιστρέφονται ως προς μια σταθερή μηχανή συγκόλλησης. Οι συγκολλήσεις μπορεί να εφαρμοστούν είτε στην εσωτερική είτε στην εξωτερική διάμετρο.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου δημιουργείται μια μεγάλη ποσότητα τηγμένου μετάλλου η οποία τείνει να διαφύγει λόγω της καμπυλότητας των τεμαχίων. Αυτό επιβάλει, κατά τη συγκόλληση στην εξωτερική διάμετρο, το ηλεκτρόδιο να τοποθετηθεί με απόκλιση από τον κατακόρυφο άξονα (12-o'clock position), ώστε το μέταλλο συγκόλλησης να αρχίζει να στερεοποιείται πριν περάσει από αυτή την κατακόρυφη θέση και αρχίσει η κλίση.

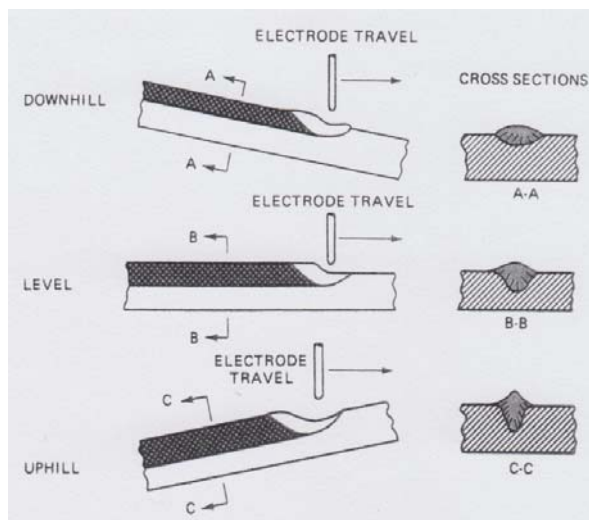
Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται και στην περίπτωση που η διάμετρος του προς συγκόλληση τεμαχίου είναι μικρή. Ακατάλληλη θέση του ηλεκτροδίου θα αυξήσει την πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων στη ραφή. Η γωνία του ηλεκτροδίου θα πρέπει λοιπόν να αλλάξει και να σημαδεύει την κατεύθυνση της φοράς περιστροφής των τεμαχίων.

Όταν η συγκόλληση γίνεται στην εσωτερική περιφέρεια, το ηλεκτρόδιο ομοίως τοποθετείται με απόκλιση από την κατακόρυφη θέση (6-o'clock position). Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 20) παρουσιάζονται οι δύο παραπάνω περιπτώσεις.



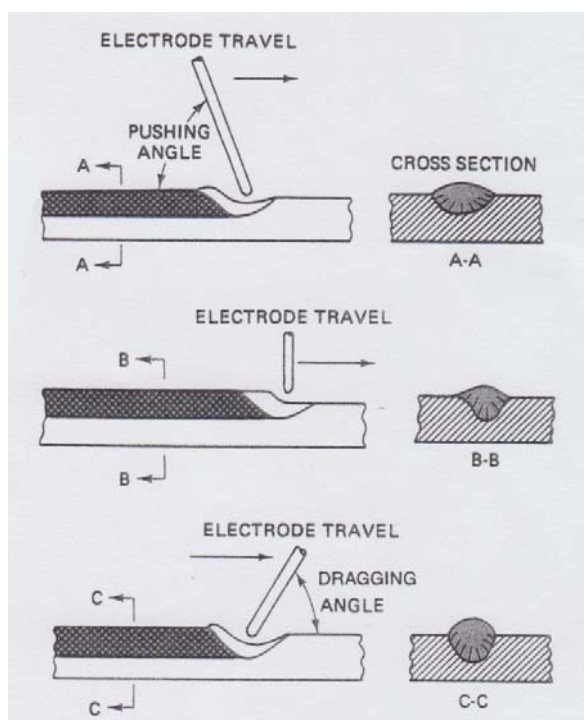
Σχήμα 20: Συγκόλληση κυκλικής διατομής τεμαχίων

Σε αρκετές κατασκευές απαιτείται η συγκόλληση να γίνει σε τέτοια θέση, λόγω διαμόρφωσης, που τα τεμάχια να βρίσκονται με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Εάν τα προς συγκόλληση τεμάχια είναι τοποθετημένα με κατηφορική κλίση η ραφή παρουσιάζει μικρότερη διείσδυση και μεγαλύτερο πλάτος. Αντίστροφα στην περίπτωση ανοδικής κλίσης η ραφή παρουσιάζει βαθύτερη διείσδυση και μικρότερο πλάτος. Όλα αυτά παρατηρούνται διατηρώντας όλους τους άλλους παράγοντες της συγκόλλησης σταθερούς (Σχήμα 21).



Σχήμα 21: Συγκόλληση τεμαχίων υπό κλίση

Παρόμοια αποτελέσματα μπορεί να εμφανιστούν και όταν μεταβάλλεται η γωνία του ηλεκτροδίου ως προς το οριζόντιο επίπεδο (Σχήμα 22).



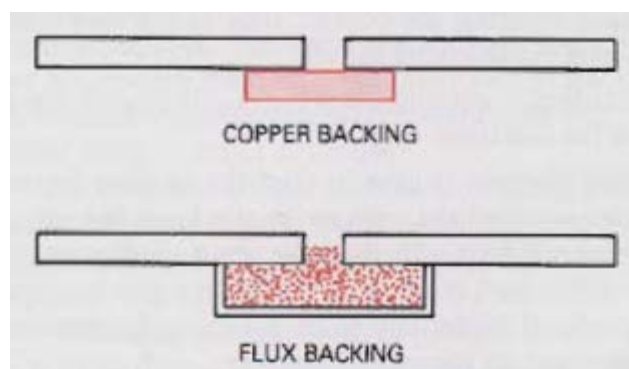
Σχήμα 22: Συγκόλληση υπό κλίση του ηλεκτροδίου

3.15 ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΡΕΣ^[3,5,13]

Η μονόπλευρη συγκόλληση βυθισμένου τόξου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους συγκόλλησης στη Ναυπηγική. Με αυτή επιτρέπεται η συγκόλληση, μεγάλου πάχους, ελασμάτων μεγάλων διαστάσεων, χωρίς να απαιτείται η αναστροφή τους, κάτι που είναι χρονοβόρο και επικίνδυνο.

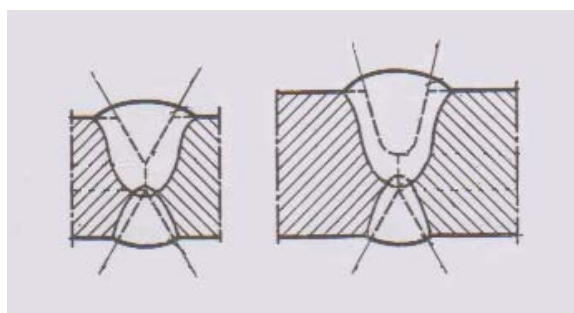
Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, για την επιτυχία της συγκόλλησης με τη μέθοδο βυθισμένου τόξου είναι συνήθως επιθυμητή η εφαρμογή επικαλύπτρας. Και αυτό γιατί η μέθοδος δημιουργεί σχετικά μεγάλο όγκο τηγμένου μετάλλου συγκόλλησης, το οποίο παραμένει τηγμένο για σημαντικό χρονικό διάστημα, κάτι που απαιτεί κάποιο τρόπο υποστήριξής του μέχρι τη στερεοποίησή του στη ρίζα της συγκόλλησης. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ πιο έντονο στην περίπτωση της μονόπλευρης συγκόλλησης, όπου η ανάγκη συγκόλλησης παχύτερων ελασμάτων οδηγεί στην εφαρμογή υψηλότερων εντάσεων ρεύματος συγκόλλησης.

Σε εφαρμογή βρίσκονται δύο βασικά συστήματα επικάλυψης. Το πρώτο είναι το **σύστημα με χάλκινη επικάλυψη** (copper backing system) και το δεύτερο είναι το **σύστημα επικάλυψης με σκόνη** (flux backing system)^[3,13].



Σχήμα 23: Συστήματα επικάλυψης^[13]

Σε περίπτωση που υπάρχει δυσκολία στη χρησιμοποίηση κάποιου συστήματος επικάλυψης ή όταν δεν είναι δυνατή η δίπλευρη μηχανοποιημένη συγκόλληση, από το κάτω μέρος γίνεται χειρωνακτική υποσυγκόλληση, με μικρές κολλήσεις, οι οποίες δημιουργούν υπόβαθρο για τις μηχανοποιημένες συγκολλήσεις^[5].

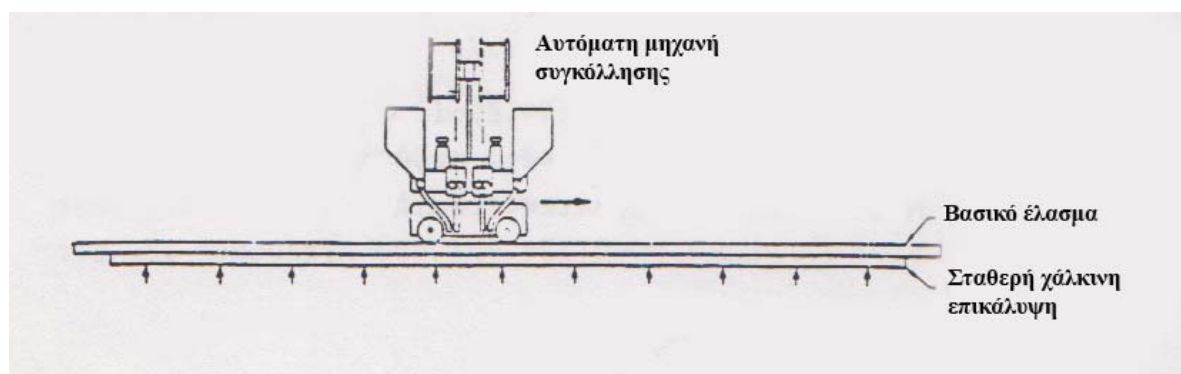


Σχήμα 24: Εφαρμογή χειρωνακτικής συγκόλλησης στο διάκενο^[5]

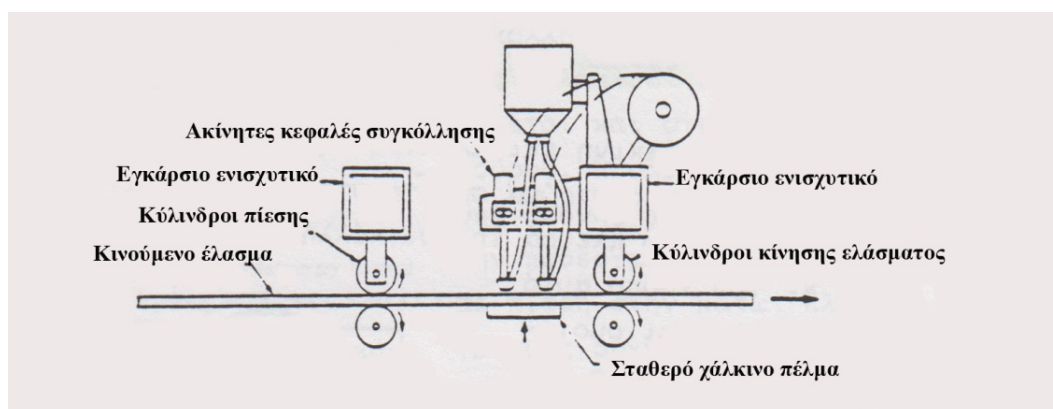
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΑΛΚΙΝΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (COPPER BACKING)^[2,3]

Τα συστήματα με χάλκινη επικάλυψη εμφανίζονται με δύο παραλλαγές. Στη μια τα προς συγκόλληση ελάσματα είναι ακίνητα και κινείται η μηχανή συγκόλλησης (Σχήμα 25), ενώ στην άλλη παραλλαγή η μηχανή συγκόλλησης παραμένει ακίνητη και κινούνται τα προς συγκόλληση ελάσματα (Σχήμα 26).

Σταθερές μακριές ράβδοι ή φύλλα χαλκού τοποθετούνται κατά μήκος της κάτω πλευράς της ραφής συγκόλλησης στην πρώτη μέθοδο ενώ στη δεύτερη ένα σταθερό πέγμα εφαρμόζεται κάτω από το μέταλλο συγκόλλησης.



Σχήμα 25: Συγκόλληση με σταθερή χάλκινη επικάλυψη

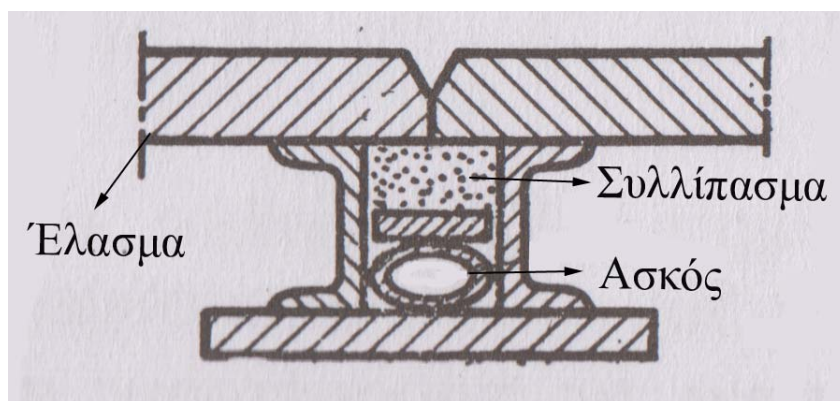


Σχήμα 26: Συγκόλληση με σταθερό χάλκινο πέγμα

Οι χάλκινες επικαλύπτρες δημιουργούν καλή όψη της κάτω πλευράς της ραφής. Βασικό μειονέκτημα είναι η επίτευξη καλής συναρμογής μεταξύ αυτών και των προς συγκόλληση ελασμάτων. Για το λόγο αυτό απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στην προετοιμασία των ακμών των προς συγκόλληση ελασμάτων, τα οποία συγχρόνως πρέπει να έχουν τη μέγιστη δυνατή συνεπιπεδότητα.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΜΕ ΣΚΟΝΗ (FLUX BACKING SYSTEMS)^[2,3]

Στα κλασσικά συστήματα επικάλυψης με σκόνη, μια μεταλλική σκάφη, σχήματος αυλακίου γεμισμένη με συλλίπασμα, τοποθετείται στην κάτω πλευρά της γραμμής συγκόλλησης. Το συλλίπασμα πιέζεται επάνω στα προς συγκόλληση ελάσματα φουσκώνοντας έναν ασκό.



Σχήμα 27: Σύστημα επικάλυψης με σκόνη

Η χρήση της μεθόδου αυτής εφαρμόζεται με επιτυχία μόνο στην περίπτωση σχετικά λεπτών ελασμάτων. Σε συγκολλήσεις παχέων ελασμάτων, όπου η ένταση του ρεύματος ξεπερνάει τα 1000A, είναι πολύ δύσκολο να πετύχουμε καλή όψη της κάτω πλευράς της ραφής.

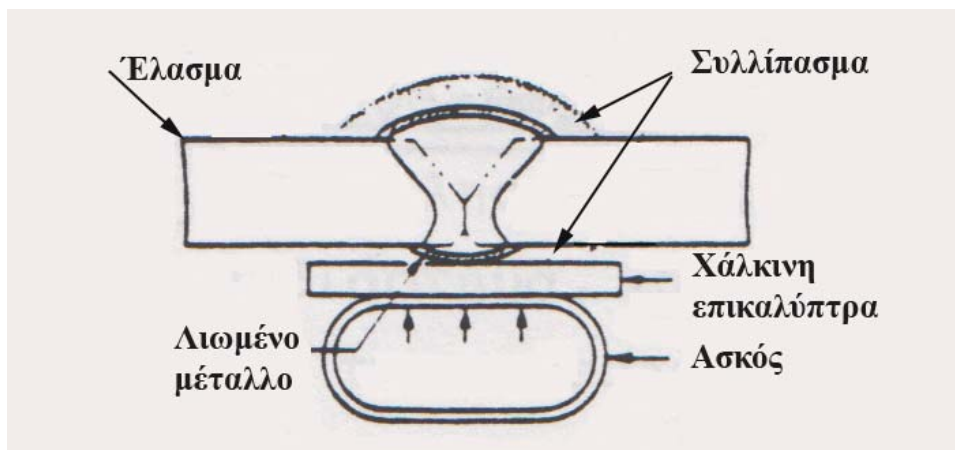
Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος αναπτύχθηκαν οι ακόλουθοι τρεις νέοι τύποι επικάλυψης με σκόνη:

- Σύστημα χάλκινης επικάλυψης με σκόνη (Flux-copper backing)
- Σύστημα επικάλυψης με σκόνη αναμεμιγμένης με ρητίνη (Resin bonded backing flux process)
- Σύστημα επικάλυψης με ράβδο στερεοποιημένης σκόνης (Cemented flux bar process)

Από τα παραπάνω τρία συστήματα επικάλυψης με σκόνη τα δύο πρώτα χρησιμοποιούνται για ευθύγραμμες συγκολλήσεις επιπέδων ελασμάτων, ενώ το τρίτο για συγκολλήσεις καμπύλων ελασμάτων.

• **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΛΚΙΝΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΜΕ ΣΚΟΝΗ**^[2,3]

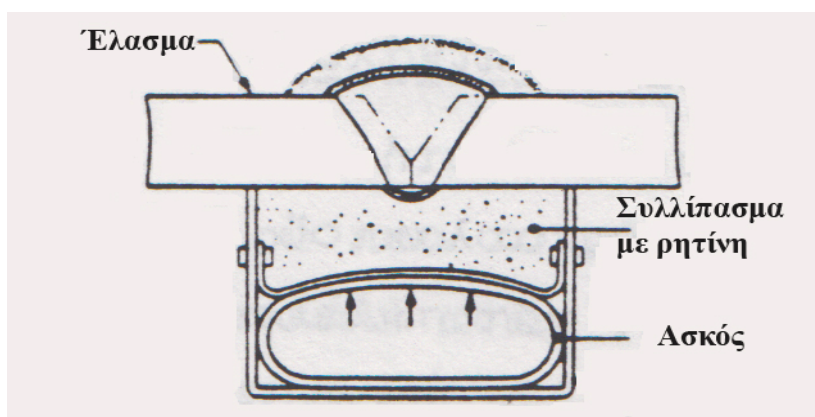
Μια μακριά χάλκινη επικάλυπτρα σε σχήμα ράβδου ή φύλλου που φέρει ένα λεπτό στρώμα συλλιπάσματος στην επιφάνειά του πιέζεται πάνω στην κάτω πλευρά της συγκόλλησης (Σχήμα 28). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ομαλή και ομοιόμορφη όψη της κάτω πλευράς της ραφής συγκόλλησης.



Σχήμα 28: Σύστημα χάλκινης επικάλυψης με σκόνη

• **ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΜΕ ΣΚΟΝΗ ΑΝΑΜΕΜΕΙΓΜΕΝΗΣ ΜΕ ΡΗΤΙΝΗ**^[2,3]

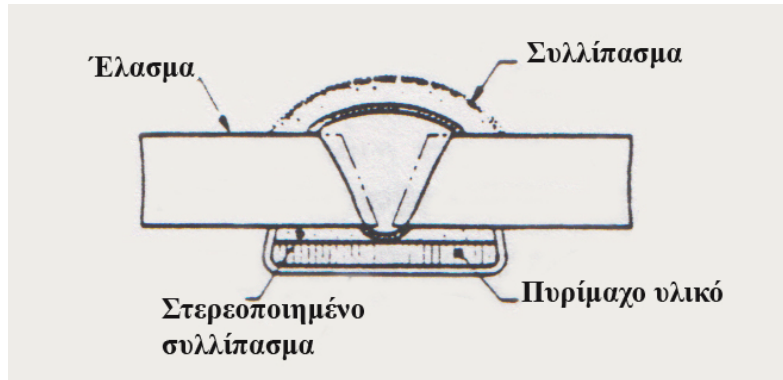
Στο σύστημα αυτό, ειδικό υλικό επικάλυψης, που αποτελείται από συλλίπασμα με ρητίνη, εφαρμόζεται στην κάτω πλευρά των προς συγκόλληση ελασμάτων με τρόπο όμοιο με εκείνο της κλασικής μεθόδου επικάλυψης με συλλίπασμα. Η αναπτυσσόμενη θερμότητα συγκόλλησης που μεταδίδεται κατά τι γρηγορότερα από την ταχύτητα προχώρησης της μηχανής συγκόλλησης προκαλεί στερεοποίηση της ρητίνης, η οποία έτσι υποστηρίζει το τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης που βρίσκεται από πάνω της. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του τηγμένου χάλυβα, κάποια ποσότητα του μίγματος επικάλυψης καίγεται, δημιουργώντας έτσι μια ρηχή κοιλότητα κάτω από τη γραμμή συγκόλλησης. Μέσα στην κοιλότητα αυτή ρέει το τηγμένο μέταλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ομοιόμορφης όψης της κάτω πλευράς της συγκόλλησης (Σχήμα 29).



Σχήμα 29: Επικάλυψη με μείγμα συλλιπάσματος με ρητίνη

- **ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΜΕ ΡΑΒΔΟ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΣΚΟΝΗΣ**

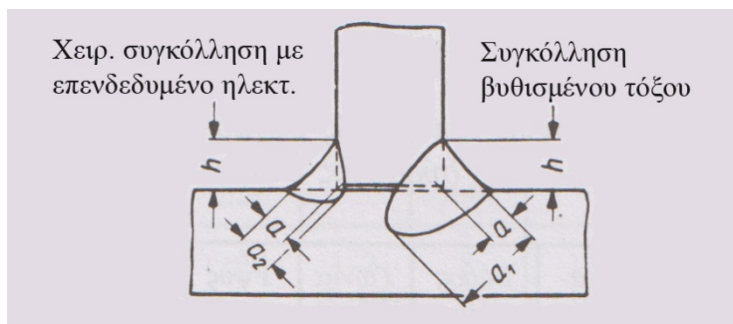
Το συλλίπασμα αναμιγνύεται με ειδικό κολλητικό υλικό και αποχύεται πάνω σε μεταλλικό φύλλο σχήματος αυλακιού. Κατόπιν το μίγμα ψήνεται και στερεοποιείται σε φούρνο. Η ράβδος στερεοποιημένου συλλιπάσματος που λαμβάνεται από την προεργασία αυτή εφαρμόζεται με πίεση στην κάτω πλευρά της γραμμής συγκόλλησης, ενώ η συγκόλληση γίνεται από την άλλη πλευρά (Σχήμα 30).



Σχήμα 30: Επικάλυψη με ράβδο στερεοποιημένου συλλιπάσματος

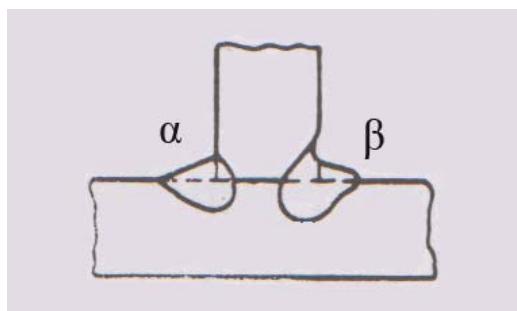
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΑΥΧΕΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ^[5]

Οι αυχενικές κολλήσεις, εκτελούμενες με βυθιζόμενο τόξο, έχουν σημαντικά βαθύτερη διείσδυση, συγκρινόμενες με τους τρόπους εκτέλεσης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια και αποτελούν ωφελιμότερες συνδέσεις από την άποψη αντοχής και κατανομής των τάσεων (Σχήμα 31).



Σχήμα 31: Εγκάρσια τομή αυχενικής συγκόλλησης

Κατά την εκτέλεση αυχενικών συγκολλήσεων σε κατακόρυφη θέση δεν υπάρχει κίνδυνος εκροής του μετάλλου αλλά αυτό έχει τάση για ανομοιόμορφη εναπόθεση που είναι αποτέλεσμα της φυσιολογικής εκροής στην οριζόντια επιφάνεια. Επιπλέον στο κατακόρυφο τοίχωμα μπορεί να δημιουργηθούν υποκοπές (Σχήμα 32).

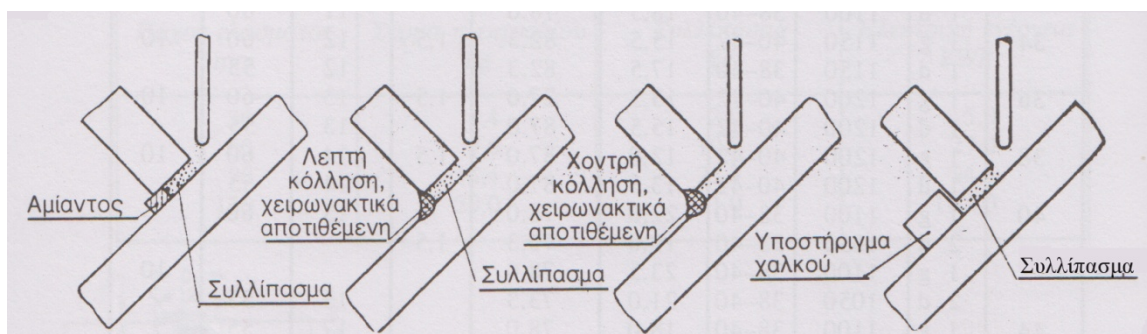


Σχήμα 32: Σφάλματα συγκόλλησης α) ανομοιόμορφη διείσδυση, β) υποκοπή

Κατά τον καθορισμό των συνθηκών εκτέλεσης των αυχενικών κολλήσεων, σε επίπεδη θέση, μπορεί να θεωρηθεί ως εκτέλεση μετωπικών κολλήσεων με γωνία 90°. Με σκοπό την εξασφάλιση της σωστής εναπόθεσης της κόλλησης είναι απαραίτητο, για δεδομένο πλάτος της κόλλησης, η ποσότητα του λιωμένου εναποτιθέμενου υλικού να φτάσει για το γέμισμα της διατομής του αυχενικού αύλακα.

Όσον αφορά το σημαντικό πάχος του μητρικού υλικού, δεν υφίσταται κίνδυνος διείσδυσης υλικών κατά διαμπερή τρόπο. Αλλά όμως εμφανίζονται δυσκολίες, συνδεδεμένες με την εκροή ρευστού μετάλλου από τα δημιουργούμενα διάκενα, ως συνέπεια της μη επαρκούς εφαρμογής των ελασμάτων μεταξύ τους. Και ως εκ τούτου προκύπτει ανάγκη κατάλληλης στεγανοποίησης των διακένων και, ιδιαίτερα, κατά τη συγκόλληση σε επίπεδη θέση, επειδή το πλάτος του διακένου υπερβαίνει το 1÷1,5mm.

Ανάλογα με το μέγεθος και τη μορφή του συγκολλούμενου αντικειμένου, όπως επίσης και του διακένου στην θέση συγκόλλησης, χρησιμοποιούνται διάφορα είδη υποστηριγμάτων και τρόποι στεγανοποίησης, που εξασφαλίζουν την μη εκροή του ρευστού μετάλλου (Σχήμα 33).



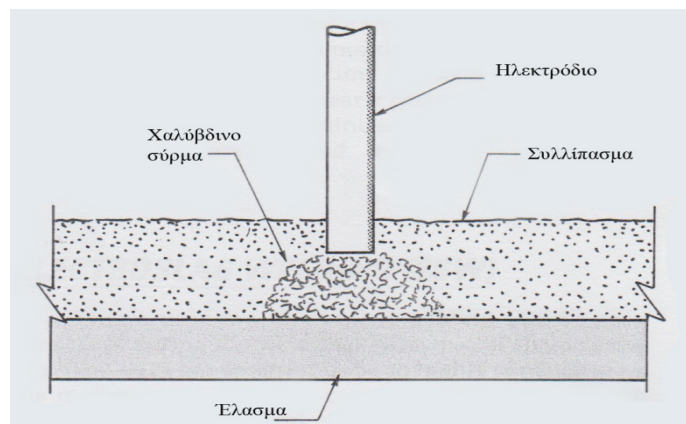
Σχήμα 33: Διάφοροι τρόποι στεγανοποίησης του διακένου στην αυχενική συγκόλληση

3.16 ΕΝΑΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ^[13,20]

Χρησιμοποιούνται κυρίως έξι μέθοδοι έναυσης και έναρξης του ηλεκτρικού τόξου στη συγκόλληση:

1. **Μπάλα χαλύβδινου σύρματος (steel wool ball).**

Μια χαλύβδινη συρμάτινη μπάλα τοποθετείται ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και το βασικό μέταλλο και καλύπτεται με συλλίπασμα (Σχήμα 34). Το ρεύμα συγκόλλησης προκαλεί ταχεία υπερθέρμανση της χαλύβδινης συρμάτινης μπάλας και έτσι το ηλεκτρικό τόξο ξεκινάει.



Σχήμα 34: Χαλύβδινη συρμάτινη μπάλα για την έναυση του ηλεκτρικού τόξου

2. **Ρεύμα υψηλής συχνότητας (high-frequency starting)**

Ένα ρεύμα υψηλής συχνότητας διαπερνάει το ηλεκτρόδιο και ξεκινάει το ηλεκτρικό τόξο αμέσως μόλις τεθεί σε λειτουργία η μηχανή συγκόλλησης.

3. **Εκκίνηση δια τριβής (Scratch starting)**

Το ηλεκτρόδιο σύρεται κατά μήκος της ραφής πριν το διαπεράσει το ηλεκτρικό ρεύμα συγκόλλησης. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα έρθει σε επαφή με το κινούμενο μέταλλο βάσης αρχίζει να σπινθιρίζει και έτσι έχουμε την έναρξη του ηλεκτρικού τόξου.

4. **Εκκίνηση με απόσυρση (wire retract start)**

Το ηλεκτρόδιο είναι ακέραιο μέχρι τη στιγμή που έρχεται σε επαφή με το μέταλλο βάσης και τη στιγμή που το ρεύμα συγκόλλησης εφαρμόζεται. Σε εκείνο το σημείο αποσύρεται ελαφρώς και το ηλεκτρικό τόξο ξεκινάει.

5. **Εκκίνηση με όξυνση του ηλεκτροδίου (wire sharp starting)**

Εάν το άκρο του ηλεκτροδίου διαμορφωθεί σε ακμή, το σημείο αυτό μόλις έρθει σε επαφή με το βασικό μέταλλο θα δημιουργηθεί αμέσως ηλεκτρικό τόξο.

6. **Εκκίνηση με λιωμένο συλλίπασμα (molten flux start)**

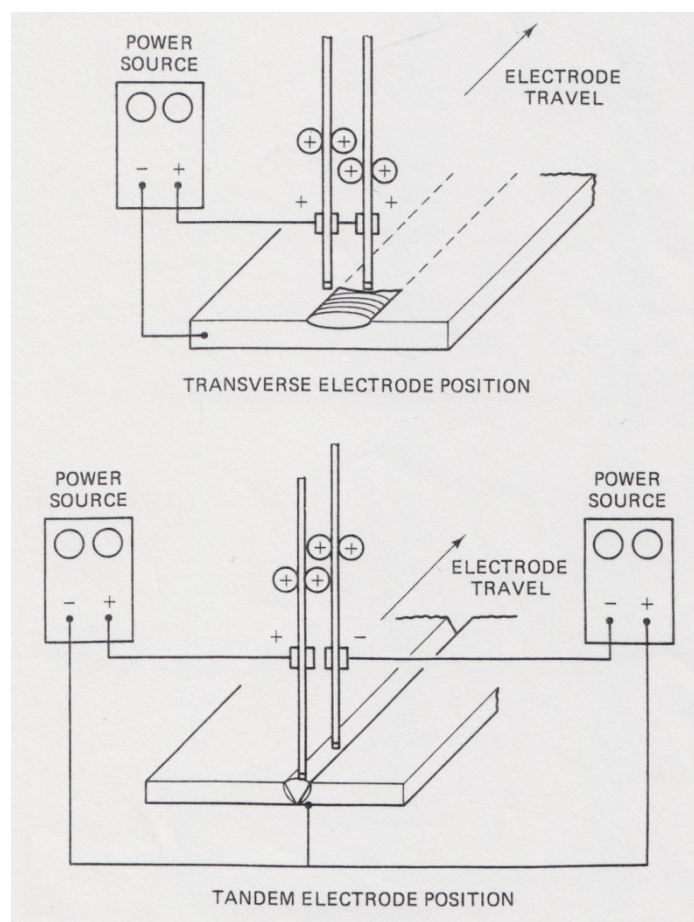
Το ηλεκτρικό τόξο θα ξανά-ανάψει εάν το ηλεκτρόδιο βυθιστεί σε μια λίμνη από τηγμένη σκουριά και η μηχανή συγκόλλησης τεθεί σε λειτουργία.

3.17 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥ^[11,12]

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραλλαγών της μεθόδου που της προδίδουν επιπλέον δυνατότητες. Μερικές από τις πιο γνωστές είναι:

1. Εφαρμογή με δύο ηλεκτρόδια με την ίδια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος
2. Εφαρμογή με δύο ηλεκτρόδια με διαφορετική πηγή ηλεκτρικού ρεύματος
3. Εφαρμογή με τρία ηλεκτρόδια με διαφορετική πηγή ηλεκτρικού ρεύματος
4. Εφαρμογή με ηλεκτρόδια λωρίδας (strip electrode) για επιφανειακή αναγώμωση
5. Προσθήκη ψηγμάτων σιδήρου (iron powder) στο συλλίπασμα
6. Long-stickout welding
7. Προσθήκη ηλεκτρικά ουδέτερου ηλεκτροδίου (electrically ‘cold’ filler wire)

Τα συστήματα πολλαπλών ηλεκτροδίων προσφέρουν επιπλέον πλεονεκτήματα, καθώς βελτιώνονται ο ρυθμός απόθεσης υλικού και η ταχύτητα συγκόλλησης. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται δυο μέθοδοι χρησιμοποίησης δύο ηλεκτροδίων. Στην πρώτη με μία πηγή ενέργειας και στη δεύτερη με δύο πηγές.



Σχήμα 35: Συγκόλληση βυθισμένου τόξου με δύο ηλεκτρόδια

Στην περίπτωση με μια πηγή ενέργειας η τροφοδοσία των ηλεκτροδίων μπορεί να γίνει από έναν κοινό κύλινδρο ενώ στην περίπτωση δύο πηγών απαιτούνται δύο ξεχωριστοί τροφοδοτές ώστε να παρέχεται ηλεκτρική μόνωση των δύο ηλεκτροδίων.

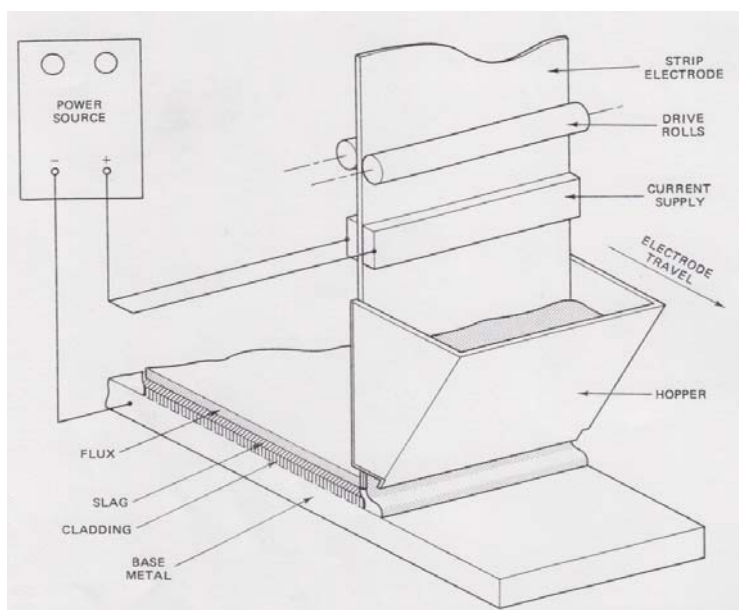
Με δύο ηλεκτρόδια και ξεχωριστές πηγές είναι εφικτή η αξιοποίηση δύο διαφορετικών πολικότητων στα ηλεκτρόδια ή η εφαρμογή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στο ένα και συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος στο άλλο. Τα ηλεκτρόδια μπορεί να τοποθετηθούν παράλληλα το ένα με το άλλο (transverse electrode position) ή το ένα να προπορεύεται του άλλου (tandem electrode position).

Η χρήση της τελευταίας διάταξης των ηλεκτροδίων με ξεχωριστές πηγές χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη διείδυση. Το προπορευόμενο ηλεκτρόδιο συνδέεται με θετική πολικότητα και το άλλο με αρνητική. Το πρώτο ηλεκτρόδιο δημιουργεί μια μορφή ανασκαφής και το δεύτερο ηλεκτρόδιο έρχεται και καλύπτει τη ραφή συγκόλλησης.

Όταν τα δύο ηλεκτρικά τόξα είναι πολύ κοντά υπάρχει η τάση παρεμβολής μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό το δεύτερο ηλεκτρόδιο συνδέεται με πηγή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος για να αποφεύγεται αυτή η διένεξη.

Στην εφαρμογή τριών ηλεκτροδίων εν σειρά συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές πηγές εναλλασσομένου ρεύματος και στα τρία ηλεκτρόδια. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή διαμηκών ραφών με υψηλές ταχύτητες σε μεγάλης διαμέτρου σωλήνες. Είναι δυνατή η εφαρμογή υψηλών τιμών ηλεκτρικού ρεύματος με επίτευξη αντίστοιχων υψηλών ταχυτήτων συγκόλλησης και απόθεσης μεγάλης ποσότητας υλικού. Στη μελέτη του U.Dilthey^[22] περιγράφεται η χρησιμοποίηση τεσσάρων ηλεκτροδίων για την κατασκευή σωλήνων με σημαντικά τεχνικά και οικονομικά οφέλη.

Το σύστημα συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο λωρίδας (strip electrode) χρησιμοποιείται για την επίστρωση ελαφριάς κραμάτωσης ανοξειδωτων χαλύβων. Παράγεται ένα φαρδύ στρώμα το οποίο προκαλεί μια ενιαία και ομοιόμορφη διείδυση. Χρησιμοποιείται στη Ναυπηγική για την επικάλυψη του εσωτερικού της γάστρας για την προστασία ενάντια στη διάβρωση.



Σχήμα 36: Συγκόλληση βυθισμένου τόξου με ηλεκτρόδιο λωρίδας

Άλλη μέθοδος αύξησης της απόθεσης υλικού στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου είναι η προσθήκη σιδηρούχων συστατικών στην ένωση κάτω από το συλλίπασμα, συγκόλληση που καλείται και bulk welding^[11]. Ο σίδηρος τήκεται με το ηλεκτρικό τόξο και γίνεται μέρος του μετάλλου συγκόλλησης. Αυτή η προσθήκη αυξάνει το εναποτιθέμενο υλικό χωρίς να μειώνει τις ιδιότητές του. Μεταλλικές προσμίξεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για ειδικές εφαρμογές αναγόμεσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση ενός ή πολλών ηλεκτροδίων.

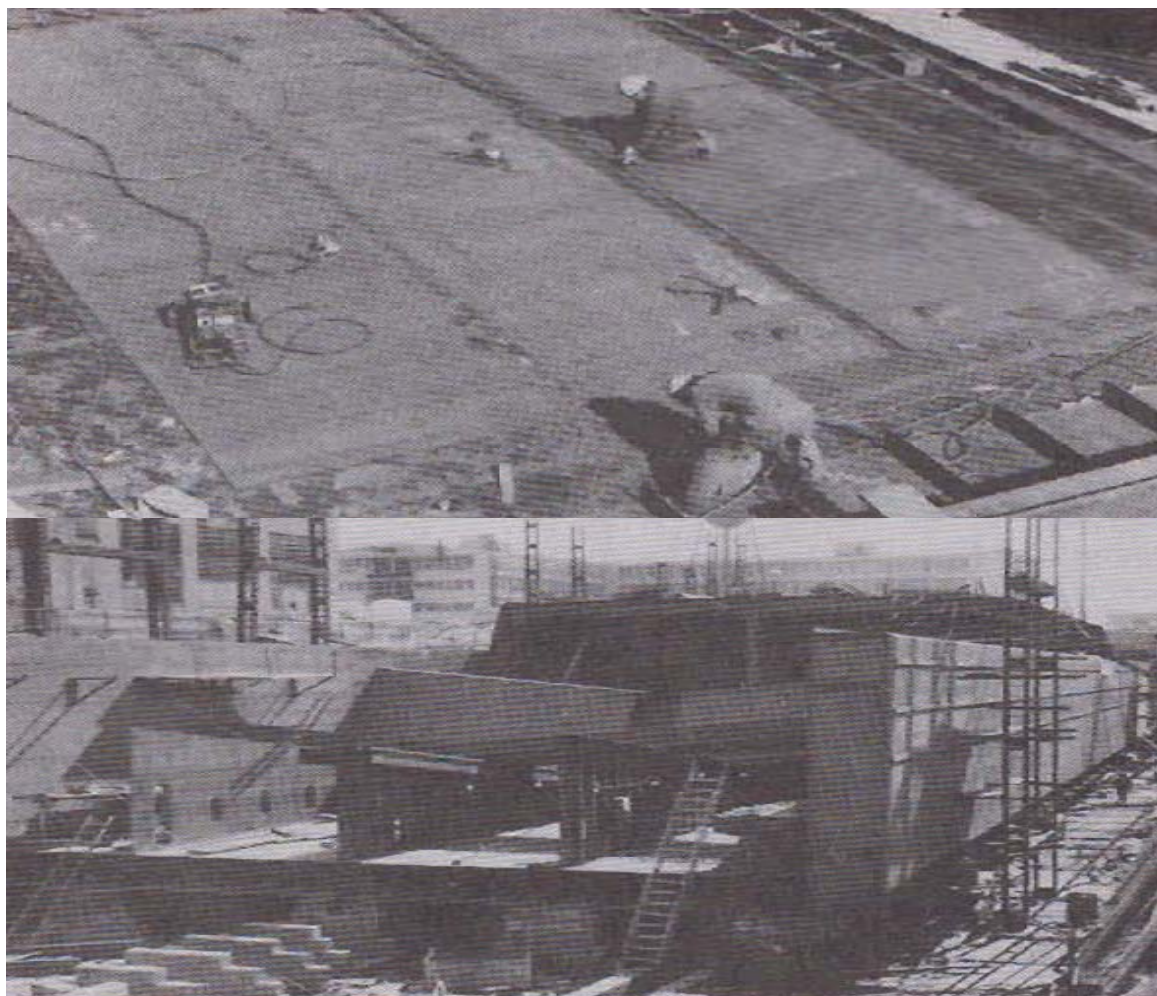
Τελευταία παραλλαγή είναι με την προσθήκη ενός ηλεκτρικά ουδετέρου ηλεκτροδίου στην περιοχή του ηλεκτρικού τόξου. Η ράβδος αυτή μπορεί να είναι συμπαγής ή επενδεδυμένη με συλλίπασμα και προσδίδει ιδιαίτερες προσμίξεις στο μέταλλο συγκόλλησης. Ελέγχοντας τις προσμίξεις αυτές οι ιδιότητες του μετάλλου συγκόλλησης βελτιώνονται. Είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ενός επενδεδυμένου ηλεκτροδίου στα συστήματα πολλαπλών ηλεκτροδίων ώστε να επιτευχθεί η παροχή των ειδικών στοιχείων κραμάτωσης.

3.18 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Πληθώρα μελετών αναφέρονται στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου. Μια ενδιαφέρουσα έρευνα^[23] αναφέρεται στις ηλεκτροχημικές και θερμοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και οι οποίες επιδρούν στην τελική σύσταση του μετάλλου συγκόλλησης επηρεάζοντας τις ιδιότητές του. Σε άλλη έρευνα^[24] επιτυγχάνεται ο προκαθορισμός της τελικής σύστασης του μετάλλου συγκόλλησης, με χρήση μαθηματικών μοντέλων, αναλόγως των συνθηκών που πρόκειται να εφαρμοστούν στη συγκόλληση, προκαθορίζοντας με αυτόν τον τρόπο και τις τελικές μηχανικές ιδιότητες της εφαρμογής, δεδομένου ότι αυτές εξαρτώνται σε μεγάλο ποσοστό από την τελική χημική σύσταση του μετάλλου συγκόλλησης.

Πληθώρα δημοσιεύσεων σχετικά με τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου συναντάμε στο διαδίκτυο^[25-30].

Η κατασκευή του πυθμένα, του καταστρώματος και των πλευρών φορτηγού πλοίου μήκους 110m (360ft), 8000tn με εφαρμογή της συγκόλλησης βυθισμένου τόξου, σύμφωνα με τους κανονισμούς του ABS, παρουσιάζεται παρακάτω^[13,31].

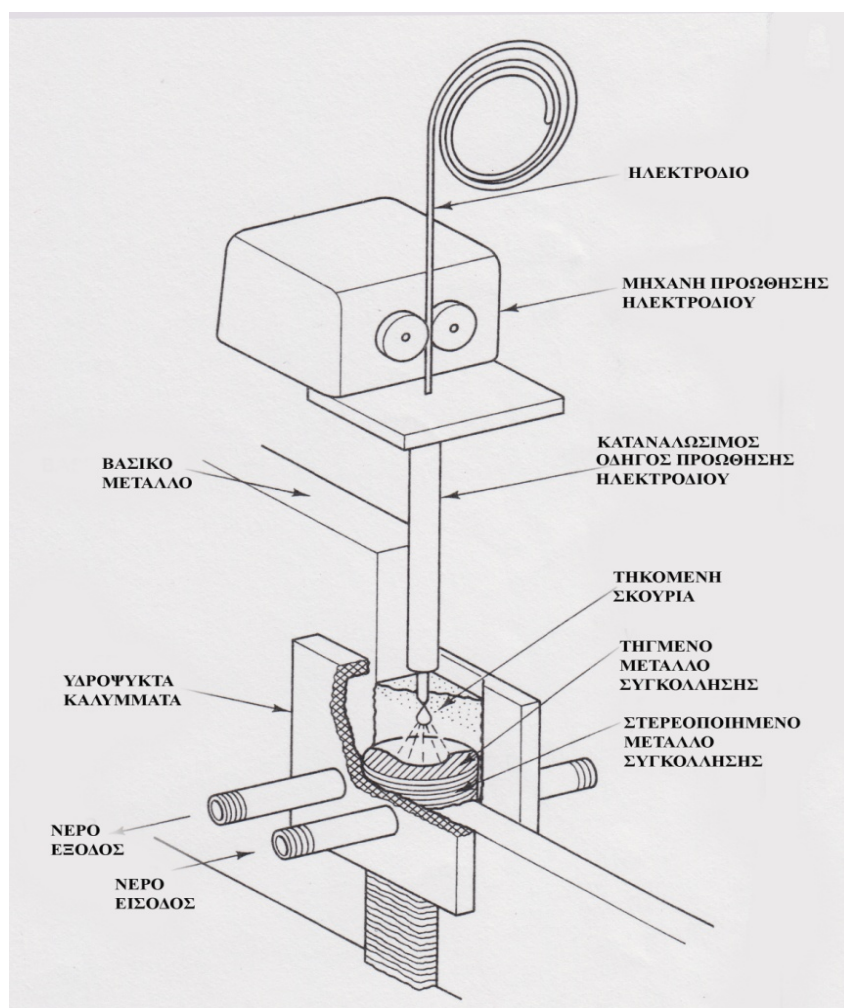


Σχήμα 37: Κατασκευή φορτηγού πλοίου με SAW^[13,31]

4. ΗΛΕΚΤΡΟΣΚΩΡΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ (ELECTROSLAG WELDING)

Η ηλεκτροσκωριακή μέθοδος συγκόλλησης είναι μια διαδικασία που παράγει ενώσεις μετάλλων με τη βοήθεια λιωμένης σκουριάς η οποία τήκει το προστιθέμενο μέταλλο και τις παράλληλες επιφάνειες των προς συγκόλληση τεμαχίων^[11]. Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '50 στη Ρωσία από το E.O. Paton Electric Welding Institute^[32].

Η διαδικασία ξεκινάει με ένα ηλεκτρικό τόξο που θερμαίνει τη σκουριά. Στη συνέχεια το ηλεκτρικό τόξο σβήνει από την επαφή του με την τηγμένη σκουριά η οποία διατηρείται σε αυτή τη μορφή λόγω της ηλεκτρικής της αντίστασης και του ρεύματος που την διαπερνά μεταξύ του ηλεκτροδίου και του βασικού μετάλλου. Μια παραλλαγή της μεθόδου είναι αυτή στην οποία το προστιθέμενο μέταλλο της συγκόλλησης παρέχεται από το ηλεκτρόδιο και από τον οδηγό προώθησής του (Σχήμα 38).



Σχήμα 38: Ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση με καταναλώσιμο οδηγό

Η ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση είναι μέθοδος συγκόλλησης υψηλής απόδοσης. Προσφέρεται για την εκτέλεση μετωπικών συγκολλήσεων και αναγομώσεων, σε

κατακόρυφη θέση. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε ως επιβελτιωτική της διαδικασίας συγκόλλησης με βυθιζόμενο τόξο^[5]. Το κύριο πρόβλημα ήταν η μείωση της κατανάλωσης του ακριβού συλλιπάσματος και, ιδιαίτερα κατά τη συγκόλληση εξαρτημάτων με μεγάλο πάχος (πάνω από 100 mm).

4.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η ηλεκτροσφωριακή συγκόλληση δεν είναι μια διαδικασία συνεχούς ηλεκτρικού τόξου. Συμπεριλαμβάνεται σε αυτήν την κατηγορία διότι χρησιμοποιεί τον ίδιο βασικό εξοπλισμό όπως οι άλλες μέθοδοι συγκόλλησης με καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο.

Πραγματοποιείται σε κατακόρυφη θέση χρησιμοποιώντας πλευρικές υδρόψυκτες επικαλύπτρες σε απόλυτη επαφή με το βασικό μέταλλο ώστε να συγκρατείται η λιωμένη σκουριά και το μέταλλο συγκόλλησης πριν αυτό αρχίσει να στερεοποιείται. Η τροφοδοσία του ηλεκτροδίου γίνεται μέσω ενός οδηγού προώθησης στο κάτω μέρος της ένωσης. Διαμέσου του οδηγού μεταφέρεται το ηλεκτρικό ρεύμα συγκόλλησης στο ηλεκτρόδιο. Ο οδηγός αυτός συνήθως είναι κατασκευασμένος από μεγάλο πάχους σωλήνα.

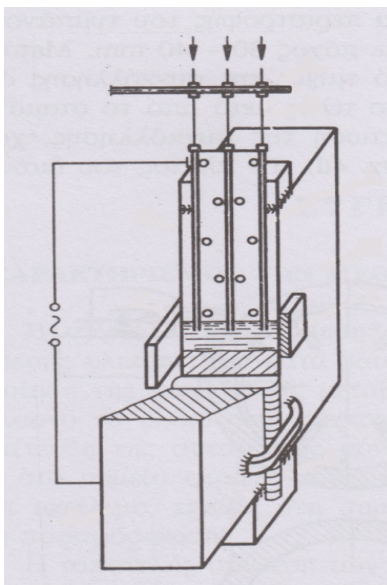
Στην αρχή της συγκόλλησης λεπτόκοκκο συλλίπασμα τοποθετείται στο κάτω μέρος του διακένου μεταξύ των ελασμάτων. Με την εκκίνηση της μηχανής συγκόλλησης και για ένα σύντομο χρονικό διάστημα δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο στην άκρη του ηλεκτροδίου. Πολύ σύντομα το συλλίπασμα τήκεται από τη θερμότητα του ηλεκτρικού τόξου και δημιουργείται μια λίμνη τηγμένου μετάλλου και το ηλεκτρικό τόξο σβήνει. Η τηγμένη σκουριά είναι καλός ηλεκτρικός αγωγός, επομένως το ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνά από το ηλεκτρόδιο το τηγμένο μέταλλο και από εκεί το βασικό μέταλλο. Η διαβίβαση αυτή του ηλεκτρικού ρεύματος, με τη βοήθεια της ηλεκτρικής αντίστασης της αγωγίμης σκουριάς (φαινόμενο Joule), έχει σαν αποτέλεσμα την υπερθέρμανση της τηγμένης σκουριάς σε σημείο που υπερβαίνει το σημείο τήξεως του βασικού μετάλλου. Επομένως προκαλείται η τήξη των εσωτερικών πλευρικών επιφανειών των προς συγκόλληση τεμαχίων, του ηλεκτροδίου και της άκρης του οδηγού προώθησης του ηλεκτροδίου.

Το μίγμα τηγμένου βασικού μετάλλου, ηλεκτροδίου και οδηγού προώθησης είναι βαρύτερο από το τηγμένο συλλίπασμα και συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος της κοιλότητας της ραφής. Καθώς το μίγμα αυτό ξεκινάει να στερεοποιείται στη βάση δημιουργείται η ραφή των δύο τεμαχίων.

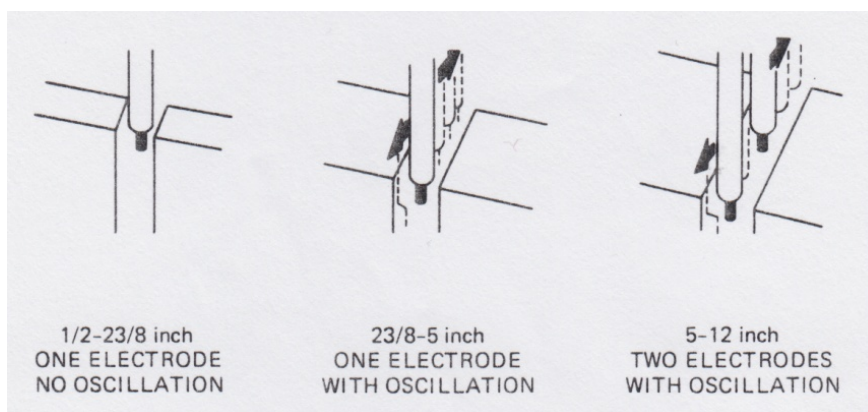
Η προστασία του τηγμένου μετάλλου από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού αέρα παρέχεται από την ίδια τη λίμνη του μετάλλου.

Το εξωτερικό περίγραμμα της ραφής προσδιορίζεται από τις πλευρικές επικαλύπτρες. Η παραλλαγή αυτής της μεθόδου με τον καταναλισκόμενο οδηγό προώθησης του ηλεκτροδίου συνήθως χρησιμοποιεί σταθερές πλευρικές επικαλύπτρες.

Η κεφαλή της μηχανής συγκόλλησης δεν κινείται και είναι σταθερά προσαρμοσμένη στην κορυφή των προς συγκόλληση τεμαχίων. Χρήση πολλαπλών ηλεκτροδίων και οδηγών είναι εφικτή για συγκόλληση μεγαλύτερων διατομών (Σχήμα 39), ενώ είναι δυνατή η ταλάντωση σε ορισμένες εφαρμογές η ταλάντωση του ηλεκτροδίου και του οδηγού κατά το πλάτος της ραφής (Σχήμα 40).

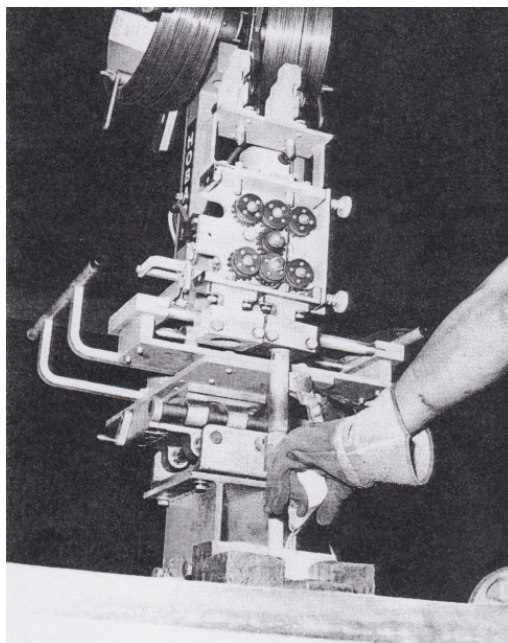


Σχήμα 39: Ηλεκτροσκοωριακή συγκόλληση με τρία ηλεκτρόδια με καταναλισκόμενο οδηγό^[5]



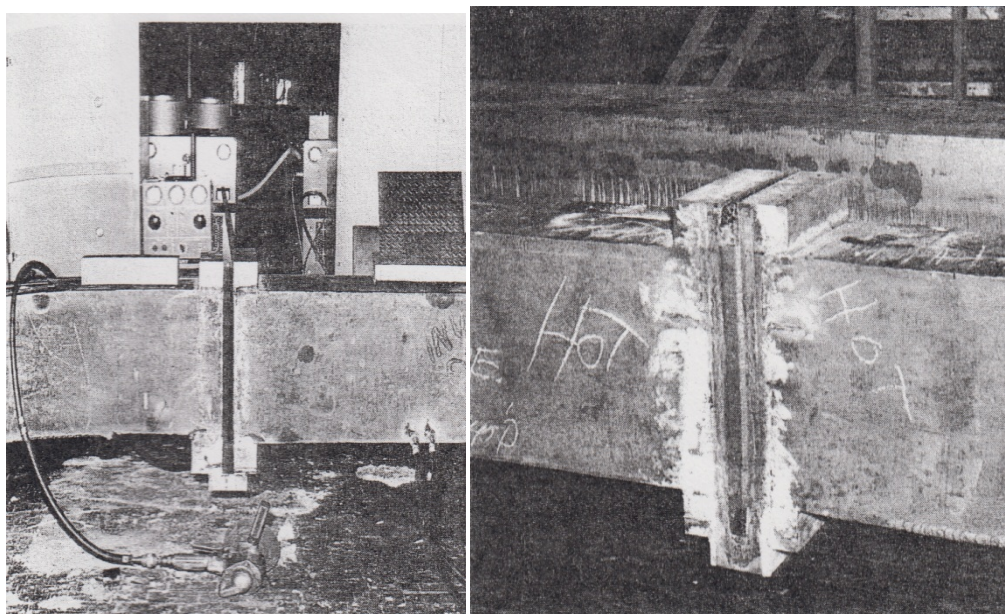
Σχήμα 40: Ηλεκτροσκοωριακή συγκόλληση με ταλάντωση ηλεκτροδίων^[11]

Η τελική στερεοποιημένη επιφάνεια της ραφής καλύπτεται με ένα λεπτό στρώμα σκουριάς το οποίο αφαιρείται πολύ εύκολα. Η κατανάλωση συλλιπάσματος πρέπει να αντισταθμίζεται προσθέτοντας συλλίπασμα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας συγκόλλησης (Σχήμα 41).



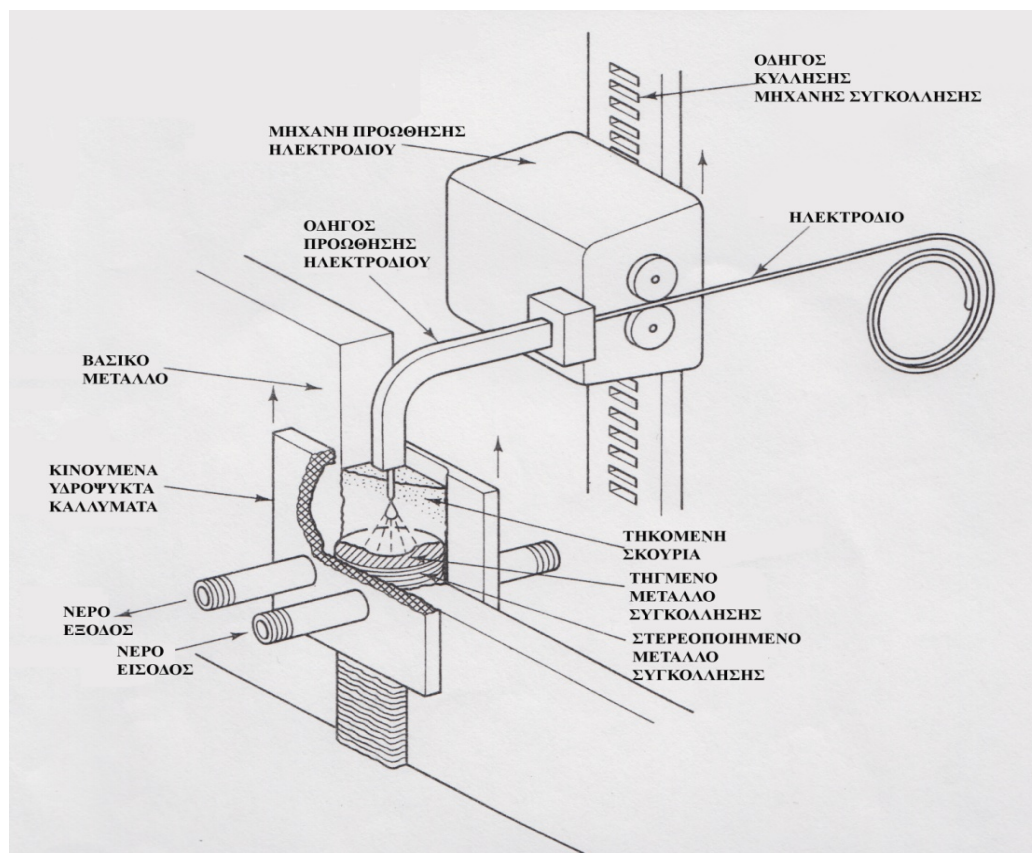
Σχήμα 41: Προσθήκη συλλιπάσματος κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης^[11]

Όπως και στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου απαιτείται η εφαρμογή στην αρχή και στο τέλος της ραφής προσθηκών (starting tab & run-off tab) για την καλύτερη εκκίνηση και τερματισμό της διαδικασίας συγκόλλησης (Σχήμα 42). Μετά το πέρας της συγκόλλησης οι προσθήκες αυτές απομακρύνονται.



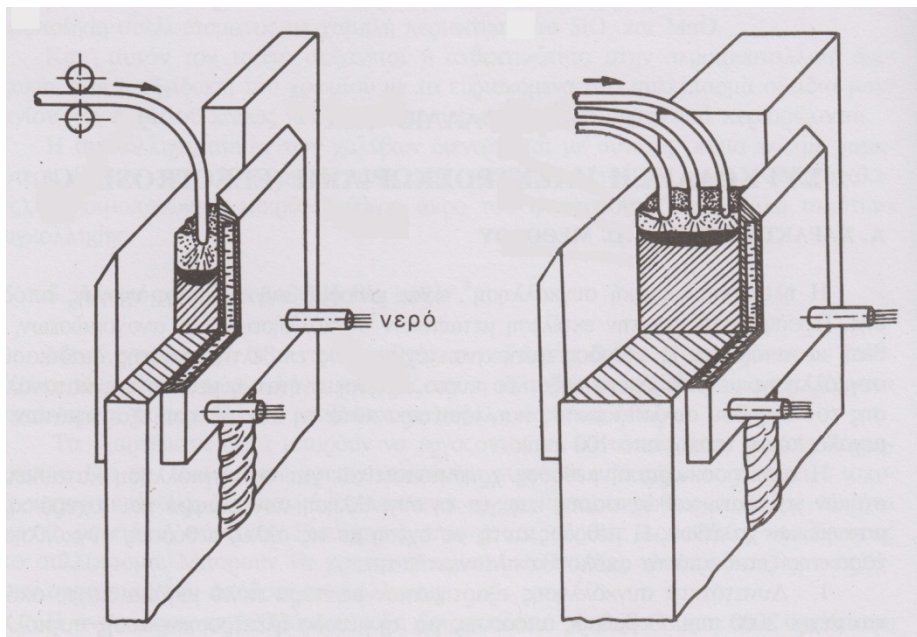
Σχήμα 42: Η τοποθέτηση προσθηκών στην αρχή και το τέλος της ραφής είναι επιτακτική^[11]

Μια άλλη παραλλαγή της μεθόδου ηλεκτροσκοριακής συγκόλλησης είναι η εφαρμογή μιας μηχανής συγκόλλησης στην οποία κινείται κατακόρυφα η κεφαλή της και ανυψώνεται κατά μήκος της ραφής (Σχήμα 43).



Σχήμα 43: Ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση με κινούμενη κεφαλή^[11]

Οι πλευρικές επικαλύπτρες μετακινούνται και αυτές κατά μήκος της ραφής μαζί με την κεφαλή της μηχανής συγκόλλησης. Συστήματα ενός ή πολλαπλών ηλεκτροδίων (Σχήμα 44) μπορούν να εφαρμοστούν με δυνατότητα ταλάντωσης του ηλεκτροδίου κατά το πλάτος της ραφής. Όλοι οι άλλοι συντελεστές εφαρμογής της μεθόδου είναι ίδιοι εκτός της μη χρήσης του καταναλισκόμενου οδηγού προώθησης και επομένως η συνολική ποσότητα του προστιθέμενου μετάλλου παρέχεται εξ' ολοκλήρου από το ηλεκτρόδιο.



Σχήμα 44: Ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση ενός ή τριών ηλεκτροδίων

4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ

Η ηλεκτροσκωριακή μέθοδος συγκόλλησης χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση κατασκευαστικών χαλύβων, καθώς επίσης και για τη συγκόλληση των ελαφρά και ισχυρά κραματωμένων χαλύβων. Η μέθοδος αυτή σε σχέση με τις άλλες μεθόδους συγκόλλησης χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα πλεονεκτήματα^[5]:

1. Δυνατότητα συγκόλλησης εξαρτημάτων με πάρα πολύ μεγάλα πάχη, ακόμη και μέχρι 2000 mm με ένα πέρασμα. Ο βαθμός απόδοσης για τη μέθοδο ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης είναι 1,0 για τη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο 0,7 ενώ για τη χειρωνακτική συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο 0,5.
2. Εξαιρετικά μεγάλο ποσοστό απόθεσης προστιθέμενου μετάλλου. Η ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση έχει ρυθμό απόθεσης της τάξης των 15-20 Kg/hr ανά ηλεκτρόδιο.
3. Υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις από το γεγονός ότι το μέταλλο συγκόλλησης παραμένει για αρκετό χρονικό διάστημα σε υγρή μορφή με αποτέλεσμα τη διαφυγή των αερίων που δημιουργούνται.
4. Δεν απαιτείται ιδιαίτερη προετοιμασία των ακμών των προς συγκόλληση τεμαχίων. Επεξεργασμένες ακμές και ορθογώνιες επίπεδες που προκύπτουν από φλογοκοπή συνήθως χρησιμοποιούνται.
5. Μηχανοποιημένη διαδικασία. Άπαξ και ξεκινήσει η συγκόλληση συνεχίζει προς την ολοκλήρωσή της. Προκαλεί ελάχιστη κόπωση για τους τεχνίτες καθώς κατά την εκτέλεσή της δεν απαιτούνται επιδέξιοι χειρισμοί.
6. Ελαχιστοποίηση παραμορφώσεων. Μηδενική γωνιακή παραμόρφωση στο οριζόντιο επίπεδο (no angular distortion in the horizontal plane). Ελάχιστη παραμόρφωση συστολής (shrinkage) στο κάθετο επίπεδο (vertical plane).
7. Ελάχιστος χρόνος εφαρμογής. Είναι η πιο ταχεία μέθοδος συγκόλλησης για παχέα ελάσματα.
8. Απουσία εκτόξευσης μετάλλου (weld spatter)
9. Απουσία εμφάνισης λάμψης ηλεκτρικού τόξου. Λιγότερα μέτρα ασφαλείας.

4.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η ηλεκτροσκοριακή μέθοδος χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση κατασκευαστικών χαλύβων καθώς επίσης και για τη συγκόλληση ελαφρά και ισχυρά κραματωμένων χαλύβων.

Κάτω από συνήθεις συνθήκες το ελάχιστο πάχος μετάλλου που μπορεί να συγκολληθεί είναι 20mm (3/4"). Το μέγιστο πάχος που επιτυχώς έχει συγκολληθεί είναι 950mm (36") με τη χρήση έξι μεμονωμένων ηλεκτροδίων με καταναλισκόμενο οδηγό προώθησης.

Η χρήση ενός ηλεκτροδίου εφαρμόζεται για πάχη από 25-75mm (1-3"). Από 50-125mm (2-5") εφαρμόζεται η τακτική της ταλάντωσης στη ραφή. Στα πάχη 125-320 mm (5-12") χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρόδια μαζί με καταναλισκόμενους οδηγούς συρμάτων και με ταλάντωση αυτών. Εάν δεν εφαρμοστεί η τακτική της ταλάντωσης απαιτούνται πρόσθετα ηλεκτρόδια. Η επιλογή αυτή βέβαια απαιτεί επιπλέον πηγές ηλεκτρικού ρεύματος, τροφοδότες ηλεκτροδίων επομένως η τακτική της ταλάντωσης επιλέγεται όπου μπορεί να εφαρμοστεί.

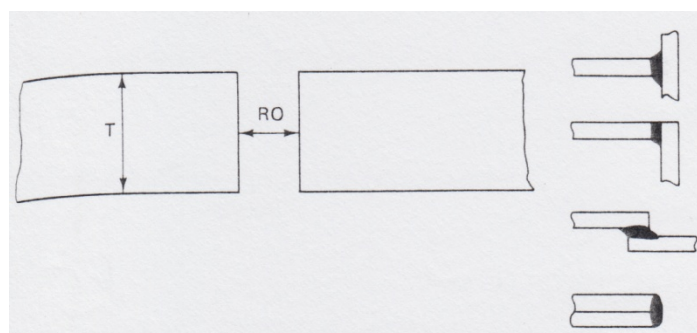
Το ύψος της ραφής είναι μια σημαντική παράμετρος και πρέπει να ληφθεί υπόψη. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρού ύψους ραφές των 100mm (4") έως ραφές των 6,5m (20ft). Δυσκολία εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ταλάντωσης μεγάλου μήκους καταναλισκόμενων οδηγών προώθησης ηλεκτροδίων καθώς γίνονται εύκαμπτοι λόγω της θέρμανσής τους. Όταν δύο οδηγοί προώθησης συνδεθούν σταθερά μεταξύ τους δημιουργώντας μια στιβαρή κατασκευή είναι δυνατή η ταλάντωσή τους. Ωστόσο όσο αυξάνεται ο αριθμός των καταναλισκόμενων οδηγών προώθησης το ύψος πρέπει να μειώνεται. Η σχέση μεταξύ πάχους και ύψους ραφής φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Plate Thickness		Root Opening		Joint Height		Number of Electrodes	Oscillation	Welding Voltage Elec Pos	Total Current Amp DC	Vert Speed	
in	mm	in	mm	ft	m					ipm	mm/min
3/4	19	1	25.4	20	6	1	No	35	500	1.40	36.0
1	25.4	1	25.4	20	6	1	No	38	600	1.20	30.0
2	50.8	1	25.4	20	6	1	No	39	700	1.00	25.0
3	76.2	1	25.4	20	6	1	No	52	700	0.80	20.3
2	50.8	1 1/4	31.8	5	1.5	1	Yes	39	700	0.76	19.3
3	76.2	1 1/4	31.8	5	1.5	1	Yes	40	750	0.64	16.3
4	101.6	1 1/4	31.8	5	1.5	1	Yes	41	750	0.52	13.2
5	127.0	1 1/4	31.8	5	1.5	1	Yes	46	750	0.40	10.2
3	76.2	1	25.4	20	6	2	No	40	850	0.50	12.7
4	101.6	1	25.4	20	6	2	No	41	850	0.44	11.2
5	127.0	1	25.4	20	6	2	No	46	850	0.38	9.7
5	127.0	1 1/4	31.8	10	3	2	Yes	41	1500	0.80	20.3
6	152.4	1 1/4	31.8	10	3	2	Yes	42	1500	0.72	18.2
8	203.2	1 1/4	31.8	10	3	2	Yes	45	1500	0.54	13.7
10	254.0	1 1/4	31.8	10	3	2	Yes	48	1500	0.47	11.9
12	304.8	1 1/4	31.8	10	3	2	Yes	51	1500	0.36	9.1
12-18	304.8-457.2	1 1/2	38.1	6	1.8	3	Yes	55	1800	0.18	4.6
18-24	457.2-609.6	1 1/2	38.1	5	1.5	4	Yes	55	2400	0.18	4.6
24-30	609.6-762.0	1 1/2	38.1	4	1.2	5	Yes	55	3000	0.18	4.6
30-36	762.0-914.4	1 1/2	38.1	3	1	6	Yes	55	3600	0.18	4.6

Πίνακας 10: Πάχος βασικού μετάλλου και ύψος ραφής που μπορούν να συγκολληθούν^[11]

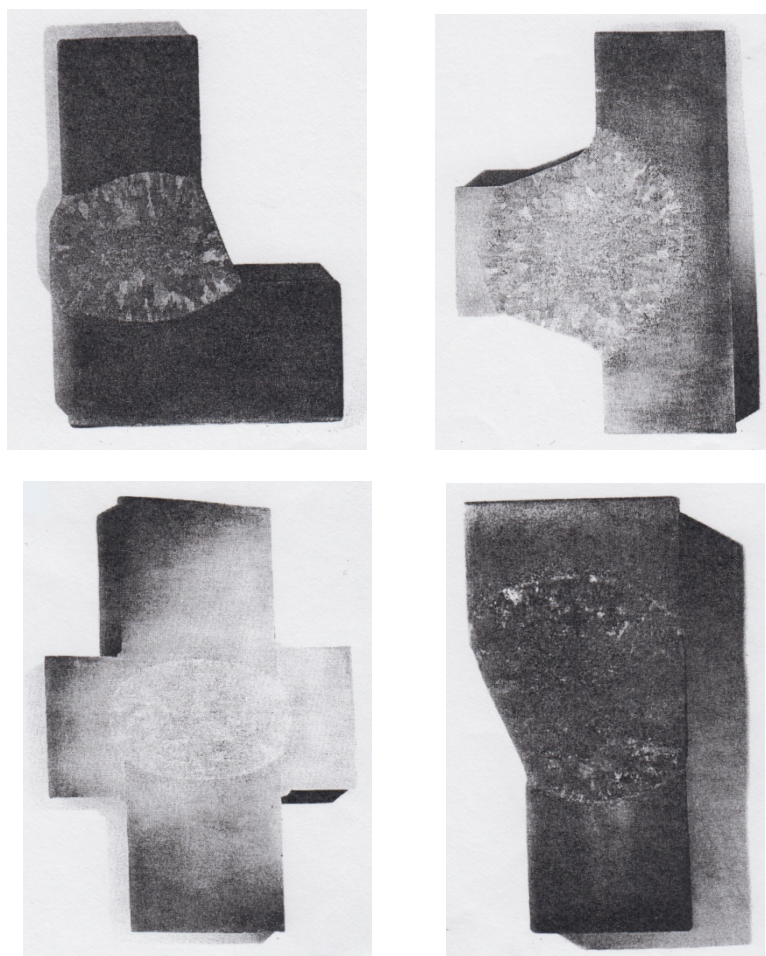
4.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Στην ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση υπάρχει μόνο ένας βασικός τύπος συγκόλλησης, η σύνδεση με ανοικτή συμβολή (open square groove weld). Η συγκόλληση με ανοικτή συμβολή μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή συνδέσεων σε συνεπίπεδα τεμάχια (butt joint), συνδέσεων ταν (tee joint), γωνιακών συνδέσεων (corner joint), συνδέσεων με επικάλυψη (lap joint) και συνδέσεων κατά ακμή (edge joint).



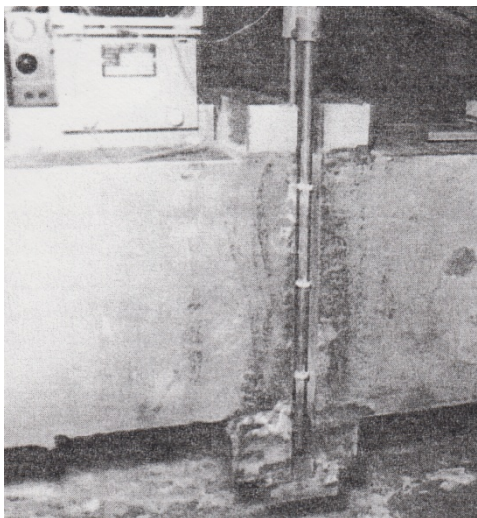
Σχήμα 45: Δυνατότητα συνδέσεων με ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση

Τα διαφορετικά είδη συνδέσεων κατά συμβολή που μπορεί να γίνουν με την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση φαίνονται και στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 46: Διαφορετικές συνδέσεις κατά συμβολή με ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση

Στη σύνδεση με ανοικτή συμβολή εξετάζονται δύο διαστάσεις, το πάχος των προς συγκόλληση τεμαχίων (T) και το διάκενο (gap ή root opening RO) μεταξύ τους (σχήμα 45). Το μήκος του διακένου μπορεί να ποικίλει, αλλά εξαρτάται κυρίως από το πάχος των ελασμάτων. Είναι επιθυμητό το διάκενο να έχει το δυνατόν μικρότερη τιμή ώστε να απαιτείται η ελάχιστη ποσότητα μετάλλου συγκόλλησης. Περιοριστικός παράγοντας στην ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση για το ελάχιστο μήκος διακένου αποτελεί το μέγεθος του καταναλισκόμενου οδηγού προώθησης ηλεκτροδίου και ο εξοπλισμός του που απαιτείται για να τον συγκρατεί ώστε να μην έρθει σε επαφή με τα τοιχώματα των ελασμάτων (Σχήμα 47).

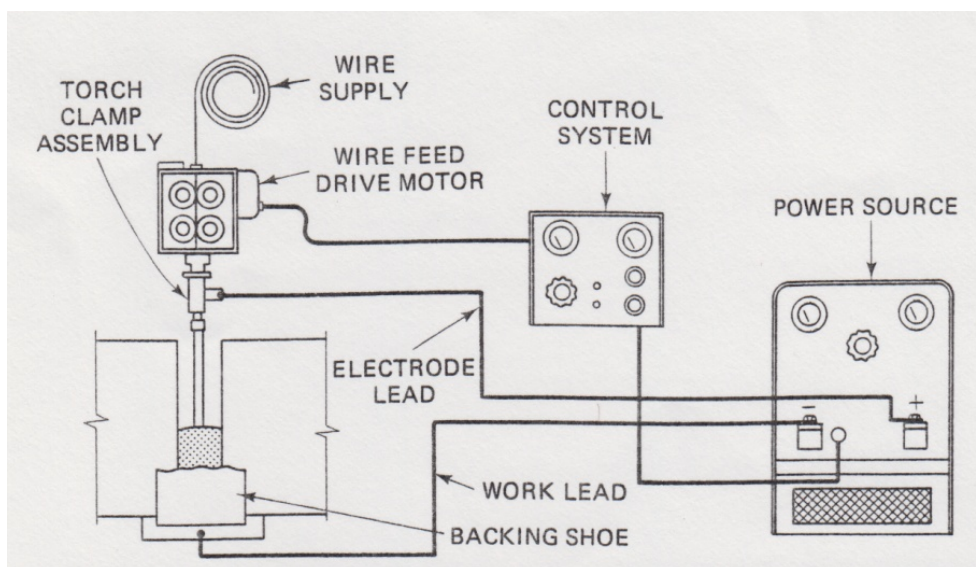


Σχήμα 47: Περιθώριο διακένου σε σχέση με τον καταναλισκόμενο οδηγό

Το μέγεθος του οδηγού πρέπει να είναι επαρκές για την ομαλή διέλευση της μεγάλης έντασης ηλεκτρικού ρεύματος συγκόλλησης και δομικά ισχυρό μέχρι να καταναλωθεί στη λίμνη συγκόλλησης. Το διάκενο επίσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε ο τελικός όγκος του μετάλλου συγκόλλησης να είναι επαρκής για να προσφέρει τις μηχανικές ιδιότητες λειτουργίας του.

4.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Η διάταξη που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση με καταναλισκόμενο οδηγό παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 48: Διάταξη ηλεκτρικού κυκλώματος ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης^[11]

Για τη διάταξη με καταναλισκόμενο οδηγό συνήθως επιλέγεται πηγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Στο ηλεκτρόδιο παρέχεται θετική πολικότητα (DCEP) ενώ επιλέγεται η χαρακτηριστική σταθερής τάσης μαζί με το σύστημα σταθερής (ή ρυθμιζόμενης) ταχύτητας προώθησης του ηλεκτρόδιου.

Στη συνήθη διαδικασία ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης συχνά χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα κυρίως στα συστήματα τριών ηλεκτροδίων. Στις εφαρμογές αυτές επιλέγεται το σύστημα σταθερής τροφοδοσίας των ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του τηγμένου μίγματος είναι όμοια με εκείνα ενός υψηλής εντάσεως ρεύματος ηλεκτρικού τόξου.

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε κάθε ηλεκτρόδιο μπορεί να κυμαίνεται από 400 A έως 800 A ενώ η τάση από 25 έως 55 V. Η υψηλή τιμή της τάσεως είναι εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μεγάλου μήκους οδηγοί (guide tubes).

4.6 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση με καταναλισκόμενο οδηγό παρουσιάζεται στο προηγούμενο σχήμα. Ένα απλό σύστημα συγκόλλησης μπορεί να περιλαμβάνει ένα ηλεκτρόδιο με έναν οδηγό ή πιο πολύπλοκα συστήματα μέχρι έξι ηλεκτρόδια και οδηγούς. Οι συσκευές γίνονται πιο περίπλοκες όσο προστίθενται ηλεκτρόδια.

Η εφαρμογή σχετικής κίνησης ή ταλάντωσης προσφέρει στη μέθοδο συγκριτικά πλεονεκτήματα. Όλα τα ηλεκτρόδια είναι προσαρτημένα στην ίδια συσκευή ταλάντωσης, επομένως απαιτείται μια τέτοια συσκευή και ένας πίνακας ελέγχου αυτής.

Η ηλεκτρική πηγή ενέργειας (power source) αποτελείται συνήθως από μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος με σταθερή χαρακτηριστική τάσης. Η ισχύς της γεννήτριας πρέπει να είναι μεγαλύτερη απ' αυτή που απαιτείται για τη συγκόλληση με ένα ηλεκτρόδιο ενώ θα πρέπει να έχει μεγάλο εύρος τάσης λειτουργίας καθώς η τάση εκκίνησης ξεπερνάει πολλές φορές την τιμή των 55V. Θα πρέπει να περιλαμβάνονται στον εξοπλισμό επιπλέον διατάξεις ελέγχου, μετατροπείς, ενισχυτές, δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου κτλ.

Η συσκευή τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου (wire feed drive motor) συνήθως είναι προσαρμοσμένη πάνω από τη ραφή, ωστόσο είναι δυνατόν να είναι τοποθετημένη αλλού και μέσω εύκαμπτων αγωγών να οδηγείται το ηλεκτρόδιο στη ραφή.

Το σύστημα ταλάντωσης (oscillation system) χρησιμοποιείται για μεγάλου πάχους συγκολλήσεις. Απαιτείται μια μηχανή ταλάντωσης, μηχανισμοί ελέγχου του πλάτους και της ταχύτητας της ταλάντωσης.

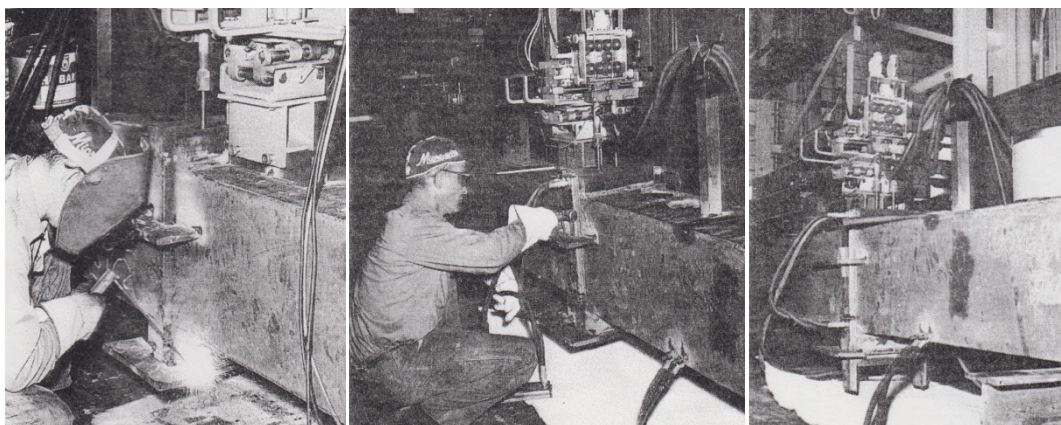
Όταν χρησιμοποιούνται υδρόψυκτες επικαλύπτρες απαιτείται εξοπλισμός κυκλοφορίας του νερού (αντλίες κτλ) και εναλλάκτες θερμότητας ικανού μεγέθους ώστε να απάγουν τη θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

4.7 ΥΛΙΚΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Τρία υλικά ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση. Το συλλίπασμα, το ηλεκτρόδιο και ο καταναλισκόμενος οδηγός.^[32,33,34] Χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά όπως οι προσθήκες στην αρχή και στο τέλος της ραφής. Αυτά είναι υλικά που επαναχρησιμοποιούνται και πρέπει να είναι από το ίδιο υλικό που είναι και το βασικό μέταλλο.

Μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές. Κατάλληλοι μονωτήρες-αποστάτες τοποθετούνται γύρω από τους οδηγούς για να αποφεύγεται η επαφή τους με τα τοιχώματα του βασικού μετάλλου ή τις επικαλύπτρες και προκληθεί διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος και πιθανός σπινθηρισμός (Σχήμα 47).

Επιπλέον υλικά-εξαρτήματα αποτελούν οι σφιγκτήρες και οι σφήνες (strong backs, wedges) που τοποθετούνται για να συγκρατούν τις επικαλύπτρες στη θέση τους (Σχήμα 49).



Σχήμα 49: Τοποθέτηση και συγκράτηση επικαλύπτρων

Στα συστήματα πολλαπλών ηλεκτροδίων τοποθετείται στη βάση της ραφής ένα χαλύβδινο κουβάρι (steel wall ball) κάτω από τα ηλεκτρόδια που βοηθάει στην έναυση του τόξου και στην εκκίνηση της διαδικασίας. Το χαλύβδινο αυτό κουβάρι το συναντήσαμε και στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου (Σχήμα 34). Η πρακτική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και για ένα ηλεκτρόδιο, αν και συνήθως δεν χρειάζεται.

Οι βασικές λειτουργίες του συλλιπάσματος στην ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση είναι:

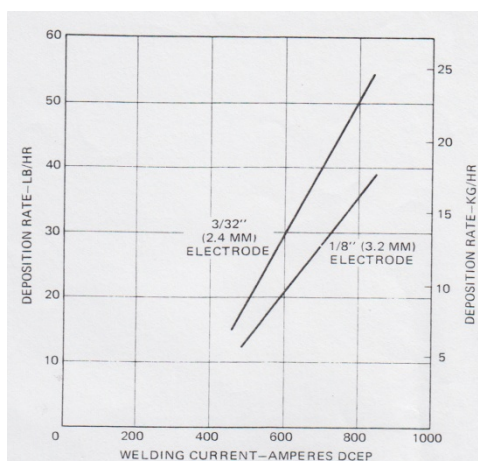
1. Πρόσδοση θερμότητας για την τήξη του ηλεκτροδίου και του βασικού μετάλλου
2. Αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος
3. Προστασία του τηγμένου μετάλλου από την ατμόσφαιρα
4. Δέσμευση ακαθαρσιών
5. Διατήρηση σταθερής λειτουργίας

Υπάρχουν δύο είδη συλλιπάσματος που συνήθως χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης. Το ένα είναι το συλλίπασμα εκκίνησης (starting

flux) και το άλλο το συλλίπασμα λειτουργίας (running flux). Το συλλίπασμα εκκίνησης είναι σχεδιασμένο ώστε να σταθεροποιεί γρήγορα την όλη διαδικασία της συγκόλλησης. Το συλλίπασμα λειτουργίας είναι σχεδιασμένο να παρέχει ισορροπία στη συγκόλληση όσον αφορά τα μεγέθη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, θερμότητας, πυκνότητας και χημικής σύστασης. Η κατανάλωση συλλιπάσματος είναι μικρή και κατά προσέγγιση 100gr ανά 320mm ύψους ραφής.

Το ηλεκτρόδιο στην ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση με καταναλισκόμενο οδηγό παρέχει το 80% του προστιθέμενου μετάλλου. Το υπόλοιπο ποσοστό παρέχεται από τον οδηγό. Η σύσταση του ηλεκτροδίου πρέπει να ταιριάζει με αυτή του βασικού μετάλλου. Καθώς η απόθεση του ηλεκτροδίου της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης προσομοιάζεται με τη χύτευση, είναι σημαντικό οι ιδιότητες του «σαν από χύτευση μετάλλου» να υπερκαλύπτουν τις μηχανικές ιδιότητες των προς συγκόλληση τεμαχίων. Είναι σημαντικό επίσης να ληφθεί υπόψη το ποσοστό διαλυτοποίησης (dilution factor) του βασικού μετάλλου στο τηγμένο μέταλλο. Στην ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση με καταναλισκόμενο οδηγό το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 25% έως 50%. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τις συνθήκες συγκόλλησης.

Το συλλίπασμα δεν συμμετέχει στην κραμάτωση ούτε και στον τελικό όγκο του προστιθέμενου μετάλλου σε σχέση με το ηλεκτρόδιο. Γενικώς τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση με προστασία αερίου (GMAW) και στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου (SAW) επιλέγονται και για την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση. Το ηλεκτρόδιο με διατομή 2,4mm (3/32'') είναι το πιο διαδεδομένο για την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση λόγω της ευκολίας διέλευσής του από τους αγωγούς τροφοδοσίας ενώ έχει το μεγαλύτερο ποσοστό απόθεσης υλικού (Σχήμα 50).



Σχήμα 50: Ρυθμός απόθεσης ηλεκτροδίου 2,4mm (3/32'') σε σχέση με το 3,2mm (1/8'')

Ο καταναλισκόμενος οδηγός προώθησης του ηλεκτροδίου τήκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια της λίκνης του τηγμένου μετάλλου. Ο οδηγός θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν το μήκος της ραφής ξεπερνάει τα 160mm (6'') με την προϋπόθεση ότι η συσκευή τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου είναι σταθερή.

Χρησιμοποιούνται γυμνοί αγωγοί με μονωτήρες, όπως περιγράφηκε παραπάνω, ή επενδεδυμένοι.

4.8 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

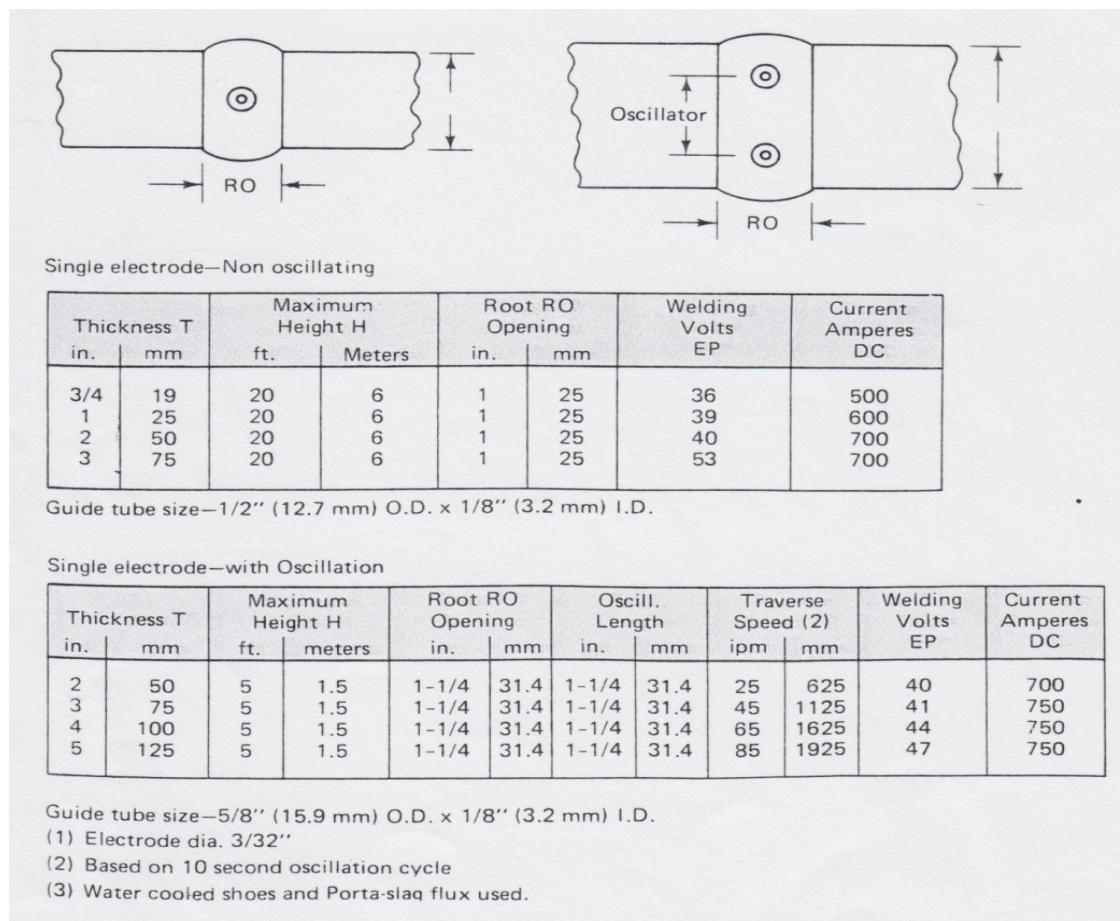
Τα ποσοστά απόθεσης υλικού στην ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση είναι από τα υψηλότερα. Η ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση παράγει συγκολλήσεις υψηλής ποιότητας, αποτέλεσμα της σταδιακής στερεοποίησης η οποία ξεκινάει από τη βάση της ραφής. Υπάρχει πάντα τηγμένο μέταλλο άνωθεν του στερεοποιημένου μετάλλου και οι ακαθαρσίες οι οποίες είναι ελαφρύτερες, οδηγούνται στην επιφάνεια του εναποτιθέμενου τηγμένου μετάλλου και συγκεντρώνονται στην κορυφή της ραφής και σε τμήμα αυτής που συνήθως απομακρύνεται.

Η ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση είναι μια διαδικασία «χαμηλού υδρογόνου», (low-hydrogen), καθώς το υδρογόνο δεν αποτελεί συστατικό στοιχείο κανενός υλικού από αυτά που συμμετέχουν στη συγκόλληση. Επομένως λόγω του αργού ρυθμού ψύξης όλες οι ακαθαρσίες έχουν το χρόνο να διαφύγουν. Ο ρυθμός ψύξης της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης είναι σημαντικά μικρότερος σε σχέση με άλλες μεθόδους συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου. Ο αργός ρυθμός ψύξης επιτρέπει την ανάπτυξη των κρυστάλλων (large grain growth) στο μέταλλο συγκόλλησης καθώς και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη (ΘEZ). Επίσης μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης ρωγμών καθώς μειώνεται η σκληρότητα στη ΘEZ, όπως συχνά συμβαίνει στις συμβατικές μεθόδους συγκόλλησης.

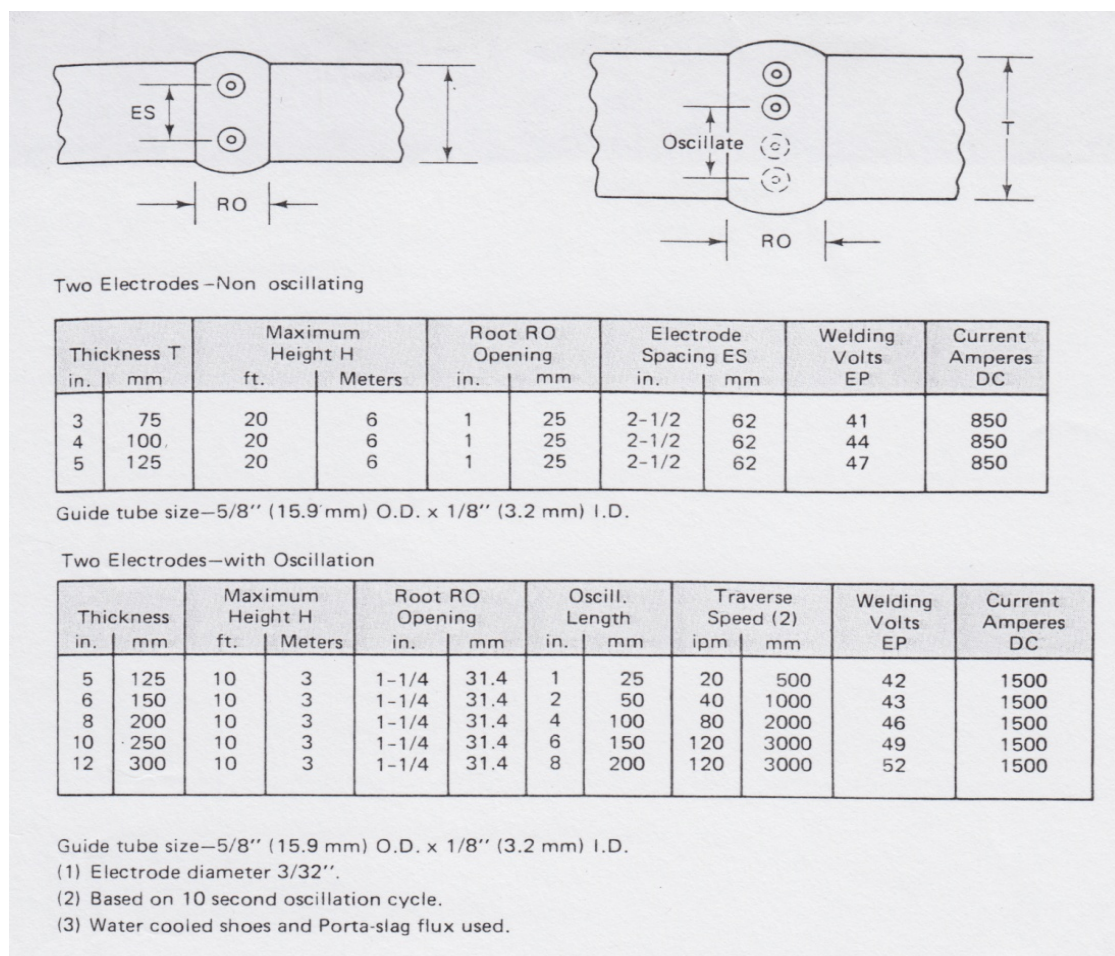
Οι συγκολλήσεις που παράγονται με τη μέθοδο της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης πιστοποιούνται με βάση τους πιο αυστηρούς ελέγχους και πιστοποιήσεις. Οι απαιτήσεις του AWS ικανοποιούνται πλήρως στις ραφές που πραγματοποιούνται με τη μέθοδο της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης.

4.9 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Ένα τυπικό πρόγραμμα-σχεδιασμός και επιλογή παραμέτρων για την πραγματοποίηση ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης με καταναλισκόμενο οδηγό φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Με εφαρμογή ενός ηλεκτροδίου με ή χωρίς ταλάντωση (Σχήμα 49) και με δύο ηλεκτρόδια ομοίως με ή χωρίς ταλάντωση.



Σχήμα 51: Επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης με ένα ηλεκτρόδιο με ή χωρίς ταλάντωση^[11]



Σχήμα 52: Επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης με δύο ηλεκτρόδια με ή χωρίς ταλάντωση^[11]

Η επιλογή των παραπάνω παραμέτρων έγινε για συγκόλληση χαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, σε φυσιολογικές συνθήκες, με χρήση υδρόψυκτων επικαλύπτρων, με καταναλισκόμενους οδηγούς εξωτερικής διαμέτρου 16mm (5/8'') και εσωτερικής 3,2mm (1/8''). Έχει επιλεγθεί ηλεκτρόδιο διαμέτρου 2,4mm (3/32'') και γίνεται χρήση συλλιπάσματος εκκίνησης και κατόπιν λειτουργίας. Κατά την ταλάντωση υπάρχει μια διακοπή της κίνησης, για περίπου τέσσερα δευτερόλεπτα, μόλις το ηλεκτρόδιο προσεγγίσει το ένα ή το άλλο άκρο της ραφής.

4.10 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Η ηλεκτροσκληρωτική συγκόλληση διαφέρει από τις άλλες μεθόδους συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου από το γεγονός ότι η τήξη του βασικού μετάλλου προκαλείται έμμεσα από τη θερμότητα της λίμνης της τηγμένης σκουριάς και όχι από το ηλεκτρικό τόξο. Η πηγή θερμότητας που περιλαμβάνεται στη μέθοδο είναι συγκεντρωμένη στον όγκο της τηγμένης μάζας μεταξύ του πάχους του βασικού μετάλλου στο διάκενο.

Στις συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου η πηγή θερμότητας περιορίζεται στην αρκετά μικρότερη περιοχή που εκτείνεται το ηλεκτρικό τόξο με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλότερη.

Στην ηλεκτροσκληρωτική μέθοδο συγκόλλησης οι προς τήξη επιφάνειες είναι παράλληλες με τον άξονα του ηλεκτροδίου. Συνεπώς αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος δεν θα αυξήσει το βάθος της διείσδυσης στο βασικό μέταλλο. Όσο αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος τόσο αυξάνεται η απόθεση υλικού.

Σε όλες τις μεθόδους συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου αύξηση της τάσης του τόξου προκαλεί μεγέθυνση του πλάτους της ραφής. Στην ηλεκτροσκληρωτική συγκόλληση συμβαίνει το ίδιο, με τη διαφορά ότι αυτό μεταφράζεται σαν αύξηση του βάθους της διείσδυσης στα πλευρικά τοιχώματα. Η αύξηση της τάσης αυξάνει τη συνολική θερμότητα του λουτρού τηγμένου μετάλλου με αποτέλεσμα την τήξη περισσότερου υλικού από τα πλευρικά τοιχώματα του βασικού μετάλλου. Αύξηση λοιπόν της τάσεως του ηλεκτρικού τόξου συνεπάγεται την αύξηση του βάθους τήξεως. Υπερβολική όμως τιμή της τάσεως έχει σαν αποτέλεσμα δημιουργία υποκοπών, ενώ αντίθετα με χαμηλή τιμή της τάσεως λαμβάνει χώρα το φαινόμενο εμφάνισης τόξου μεταξύ του ηλεκτροδίου και του τηγμένου μετάλλου στον πυθμένα του. Ο χειριστής πρέπει να είναι συνέχεια σε εγρήγορση ώστε να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης γνωρίζοντας φυσικά τις επιδράσεις από τη μεταβολή των διαφόρων μεταβλητών.

Το βάθος της τηγμένης σκουριάς είναι ακόμη μία μεταβλητή που πρέπει επίσης να ελέγχεται εάν είναι δυνατόν. Με μια βυθομετρική ράβδο (dipstick) ο χειριστής μπορεί να το ελέγξει, εάν φυσικά έχει πρόσβαση. Από την εμπειρία φαίνεται ότι όταν η επιφάνεια της λίμνης της τηγμένης σκουριάς παραμένει αδιατάραχτη και η διαδικασία συνεχίζεται χωρίς σπίθες ή εκτόξευση μετάλλου, το βάθος της είναι σωστό. Εάν το βάθος της λίμνης είναι αρκετά ρηχό, σπινθήρες αρχίζουν και εμφανίζονται στην επιφάνεια και γίνονται ορατές από το χειριστή. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την προσθήκη συλλιπάσματος κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης (Σχήμα 39).

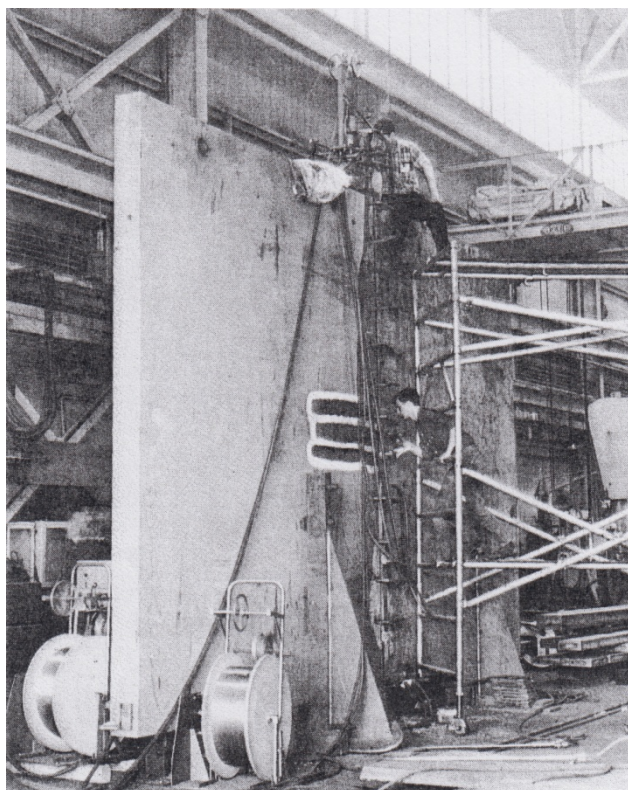
Εάν υπάρξει διαρροή νερού η διαδικασία πρέπει να σταματήσει. Εκτός του ότι δημιουργούνται θέματα ασφαλείας για το προσωπικό που εργάζεται, πόροι και άλλες ατέλειες εμφανίζονται στη ραφή.

4.11 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι η παρουσία μεγάλου όγκου τηγμένου μετάλλου ο οποίος είναι, και πρέπει να παραμείνει, εντός του διακένου των τεμαχίων. Εάν υπάρξει αστοχία των επικαλύπτρων και διαφυγή του τηγμένου μετάλλου προτιμάται η εκκένωση του χώρου, η απενεργοποίηση του εξοπλισμού και η έλευση χρόνου ώστε να στερεοποιηθεί το μέταλλο. Προφανώς οι επιφάνειες πέριξ να είναι πυρίμαχες και όλος ο εξοπλισμός ενισχυμένος κατάλληλα προς αποφυγή αστοχίας του.

4.12 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Μεγάλη εφαρμογή της μεθόδου εντοπίζεται στη βαριά βιομηχανία. Συνήθη χρήση της μεθόδου είναι η ένωση παχέων ελασμάτων για την κατασκευή μεγαλύτερων τεμαχίων για συγκεκριμένες εφαρμογές. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια τέτοια ένωση δύο τεμαχίων πάχους 203mm(4') και ύψους 4m (12ft) για την κατασκευή ενός πλαισίου μηχανής πρέσας.

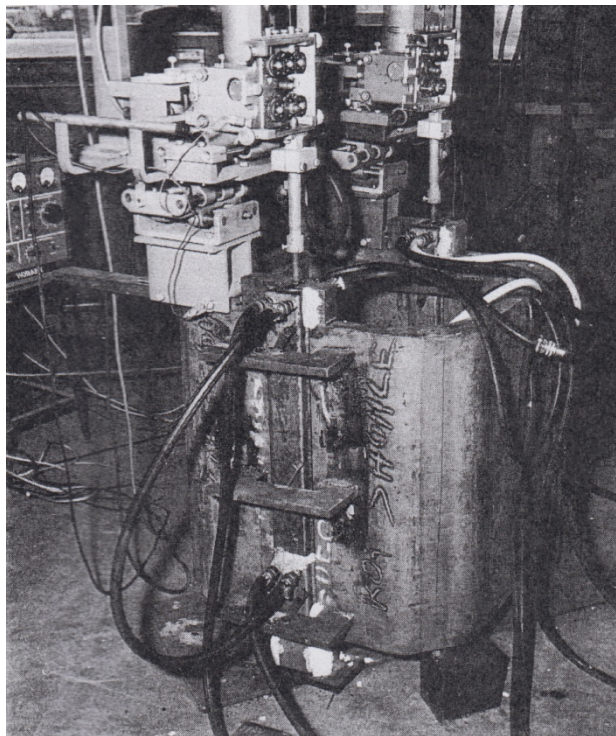


Σχήμα 53: Βιομηχανική εφαρμογή της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης^[11]

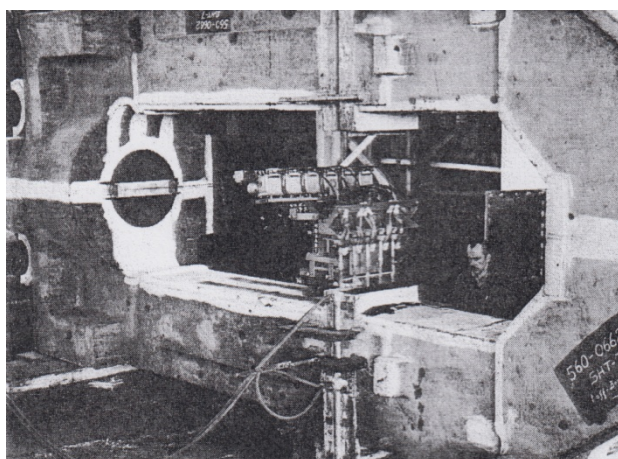
Με εφαρμογή της μεθόδου συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο η παραπάνω ένωση θα απαιτούσε περίπου 80 ώρες, ενώ με την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση η ένωση ολοκληρώθηκε σε μόλις 4 ώρες^[11].

Άλλα παραδείγματα αποτελούν τα μεγάλα ελάσματα πλοίων, οι βάσεις και ο σκελετός μεγάλων μηχανών (χιτώνια κτλ), κατασκευαστικά στοιχεία μεταλλικών κτιρίων, λέβητες και ο κατάλογος εφαρμογών συνεχίζεται. Στη Ναυπηγική η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την ένωση των ελασμάτων της πλευράς του πλοίου, από

το κυρτό της γάστρας μέχρι το κάτω μέρος του ελάσματος του ζωστήρα. Η συγκόλληση αυτή γίνεται στη ναυπηγική κλίνη και η μέθοδος ενδείκνυται λόγω της δυνατότητάς της να ενώνει ελάσματα χωρίς μεγάλους περιορισμούς ανοχών (συνεπιπεδότητα των ελασμάτων). Με τον τρόπο αυτό μπορούν να συγκολληθούν ελάσματα πάχους 13 έως 51mm και μήκους 12 μέχρι 21 μέτρων.



Σχήμα 54: Κατασκευή τμήματος μηχανής με ταυτόχρονη συγκόλληση δύο σημείων

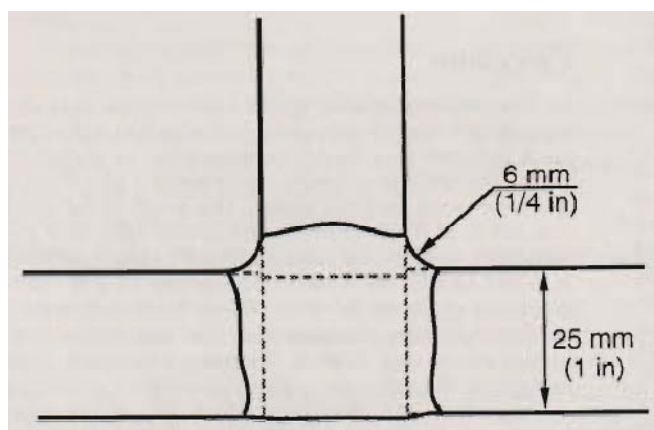


Σχήμα 55: Συγκόλληση τμήματος μηχανής διαμόρφωσης χάλυβα

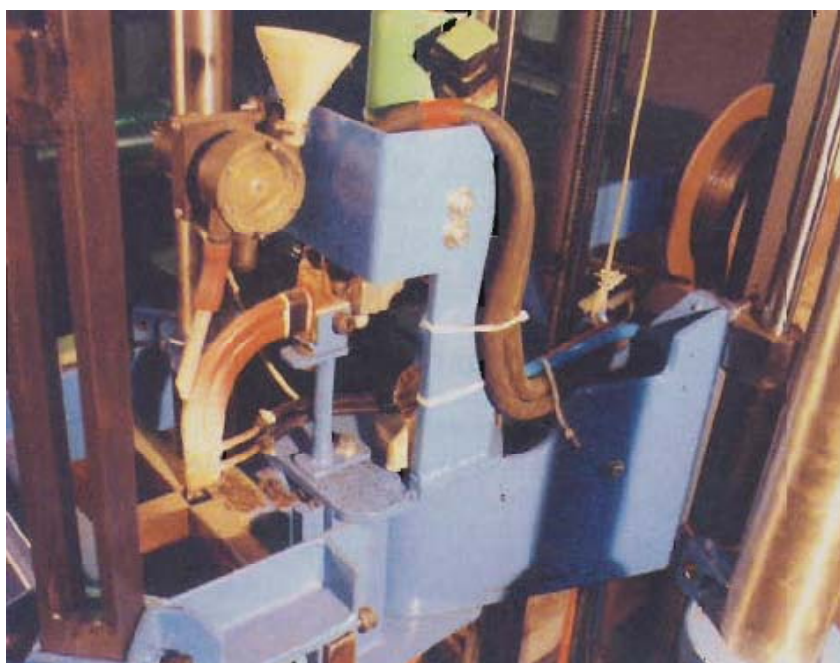
4.13 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Πληθώρα μελετών έχουν δημοσιευτεί για τη μέθοδο της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης. Η μέθοδος χρησιμοποιούνταν ευρέως στην κατασκευή κτιρίων και γεφυρών^[35-36].

Στη Ναυπηγική οι πρώτες αναφορές γίνονται στη δεκαετία του '70^[37-38], ενώ στη συνέχεια εδραιώνεται η εφαρμογή της μεθόδου^[39-40], λόγω των πλεονεκτημάτων της. Σε μια νεότερη μελέτη^[41] αναφέρονται τα οφέλη στο κόστος κατασκευής ενός πλοίου διπλού τοιχώματος από την εφαρμογή της μεθόδου. Παρουσιάζει τη συγκόλληση πλήρους διείσδυσης 3 ελασμάτων πάχους 25mm (1") με σύνδεση T (Σχήμα 56) με ένα πέρασμα. Επιλέχθηκε η μέθοδος της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης με μη καταναλισκόμενο οδηγό (Σχήμα 57). Τα αποτελέσματα των δοκιμών ικανοποίησαν τα κριτήρια του AWS.



Σχήμα 56: Σύνδεση T τριών ελασμάτων πάχους 25mm^[41]



Σχήμα 57: Σύνδεση T με ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση^[41]

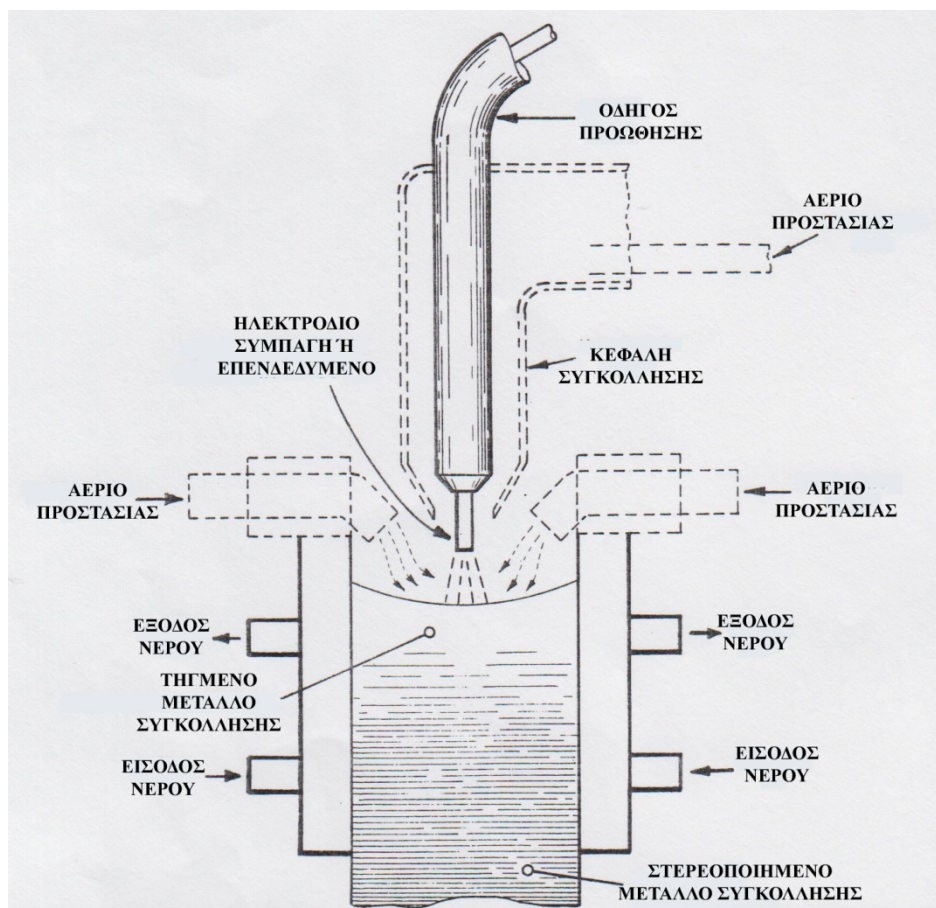
Δύο σημαντικές μελέτες ^[42,43] προσεγγίζουν το θερμοκρασιακό προφίλ της ηλεκτροσκωριακής συγκόλλησης και πως αυτό επηρεάζεται από τις μεταβλητές της όπως τη θέση του ηλεκτροδίου, το διάκενο μεταξύ των ελασμάτων, την τάση. Επίσης, γίνεται μια προσπάθεια κατανόησης του πώς οι μεταβλητές αυτές επηρεάζουν το μέγεθος της ΘΕΖ και κατ' επέκταση τις μηχανικές ιδιότητες της ραφής.

5. ELECTROGAS WELDING (EGW)

Η μέθοδος συγκόλλησης electrogas είναι μια διαδικασία συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται μεταξύ ενός συνεχώς τροφοδοτούμενου ηλεκτροδίου και της λίκνης τηγμένου μετάλλου σε κατακόρυφη θέση με χρήση υδρόψυκτων πελμάτων συγκράτησης. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί με εξωτερική παροχή αερίου προστασίας ή μη. Το ηλεκτρόδιο μπορεί να είναι συμπαγή ή επενδεδυμένο. Υπάρχουν δύο βασικές παραλλαγές της μεθόδου. Η μια χρησιμοποιεί το συμπαγές ηλεκτρόδιο με εξωτερική παροχή αερίου προστασίας, συνήθως CO_2 , και η δεύτερη χρησιμοποιεί ένα επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο χωρίς τη χρήση του αερίου προστασίας, συνήθως, καθώς δημιουργούνται αέρια προστασίας από την ίδια την επένδυση του ηλεκτροδίου^[11].

5.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σαν μέθοδος συγκόλλησης electrogas αναφέρεται η παραλλαγή με το συμπαγές ηλεκτρόδιο και εξωτερική παροχή αερίου προστασίας (Σχήμα 58).



Σχήμα 58: Συγκόλληση electrogas με συμπαγές ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου^[11]

Η διαδικασία εκμεταλλεύεται, όπως αναφέραμε, τη θερμότητα ενός ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται μεταξύ ενός συνεχώς τροφοδοτούμενου συμπαγούς ηλεκτροδίου και της λίκνης του τηγμένου μετάλλου. Η θερμότητα αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την τήξη των επιφανειών του βασικού μετάλλου και της άκρης του

ηλεκτροδίου. Το μίγμα των τηγμένων υλικών συγκεντρώνεται στον πυθμένα της κοιλότητας μεταξύ των προς συγκόλληση τεμαχίων και των πελμάτων συγκράτησης. Το μίγμα αυτό μόλις στερεοποιηθεί θα δημιουργήσει τη ραφή συγκόλλησης. Προστασία από την ατμόσφαιρα του τηγμένου μετάλλου παρέχεται από το αέριο προστασίας το οποίο εισερχόμενο στο διάκενο μεταξύ των τεμαχίων απομακρύνει τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Η μέθοδος electrogas είναι παρόμοια με την electroslag με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει τηγμένη σκουριά πάνω από το τηγμένο μέταλλο και ότι το ηλεκτρικό τόξο είναι παρόν από την αρχή μέχρι το τέλος της συγκόλλησης.

Οι ομοιότητες είναι ότι και η electrogas πραγματοποιείται για κατακόρυφες συγκολλήσεις με τη χρήση υδρόψυκτων ή μη πελμάτων συγκράτησης. Τα πέλατα αυτά είναι σε επαφή με τα ελάσματα ώστε να συγκρατούν το τηγμένο μέταλλο στο διάκενο.

Το ηλεκτρόδιο τροφοδοτείται συνεχώς με ένα σύστημα προώθησης το οποίο κινείται κατακόρυφα ώστε να διατηρείται το μήκος του ηλεκτρικού τόξου μεταξύ της άκρης του ηλεκτροδίου και του τηγμένου μετάλλου.

Σε πολλές περιπτώσεις το ένα πέλαμα είναι σταθερό, κατασκευασμένο από χάλυβα και συνεπώς καθίσταται μέρος της ραφής συγκόλλησης. Από την άλλη μεριά το άλλο πέλαμα είναι ενσωματωμένο με το μηχανισμό προώθησης. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρόδιο για την πραγματοποίηση της ραφής.

Όπως και στην ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση τοποθετούνται προσθήκες στην αρχή και στο τέλος του διακένου (starting tab, run-off tabs), οι οποίες αφαιρούνται μετά την ολοκλήρωση της συγκόλλησης.

Η μέθοδος συγκόλλησης electrogas είναι συνεχής. Άπαξ και η διαδικασία συγκόλλησης ξεκινήσει πρέπει να συνεχιστεί μέχρι να ολοκληρωθεί. Η όλη διαδικασία πρέπει να επιβλέπεται από τον χειριστή της.

Ο βασικός σκοπός είναι να διασφαλίζεται ότι το ηλεκτρόδιο και το ηλεκτρικό τόξο είναι προσανατολισμένο στο κέντρο της ένωσης.

Επίσης να παρέχεται αέριο προστασίας σε όλη τη διάρκεια της συγκόλλησης.

Η τάση του ηλεκτρικού τόξου χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της κάθετης κίνησης του εξοπλισμού. Η κίνηση αυτή ελέγχεται ώστε να διατηρείται το μήκος του ηλεκτρικού τόξου σταθερό σε όλη τη διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου.

Η εφαρμογή της μεθόδου electrogas είναι περιορισμένη για το λόγο ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν ο άξονας της ένωσης είναι κάθετος ή αποκλίνει από το κατακόρυφο έως 15°.

5.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Τα μέταλλα που μπορούν να συγκολληθούν με τη μέθοδο electrogas είναι η χαμηλής και μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα χάλυβες (low & medium-carbon steels), χαμηλής κραμάτωσης χάλυβες υψηλής αντοχής (low-alloy high-strength steels) και ορισμένοι ανοξείδωτοι χάλυβες (stainless steels). Η μέθοδος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για βαμμένους και επαναφερμένους χάλυβες (quenched and tempered steels) υπό τον όρο ότι η σωστή θερμοκρασία διατηρείται ανάλογα τον τύπο του χάλυβα που συγκολλείται.

Κάτω από κανονικές συνθήκες το ελάχιστο πάχος μετάλλου που μπορεί να συγκολληθεί με electrogas είναι 10mm (3/8''). Το μέγιστο πάχος με χρήση ενός ηλεκτροδίου είναι 20mm (3/4''), ενώ με εφαρμογή της ταλάντωσης μπορεί να αυξηθεί.

Το ύψος (ή το μήκος) της ένωσης πρακτικά είναι απεριόριστο. Η μέθοδος electrogas μπορεί να εφαρμοστεί για ενώσεις από 100mm (4'') έως και 18m (50ft). Ο μόνος περιορισμός είναι ο μηχανισμός του αναβατορίου και το ύψος που μπορεί να ανυψώσει τη μηχανή συγκόλλησης.

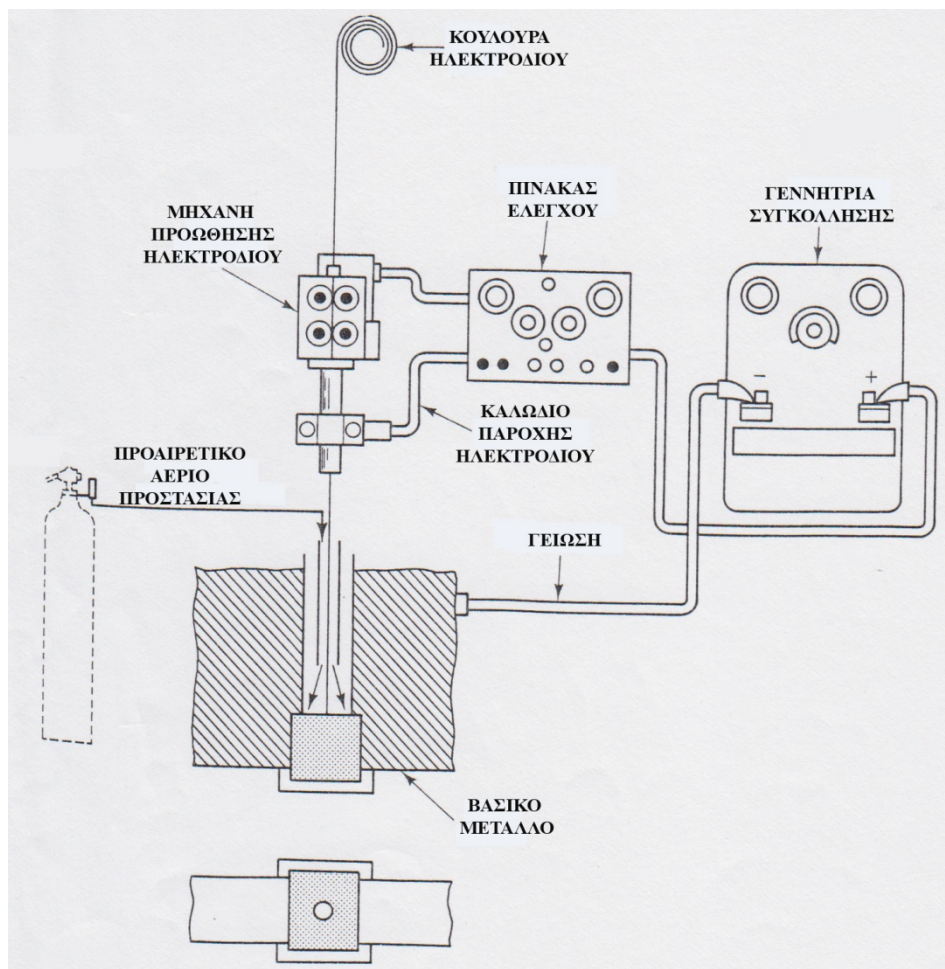
5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΩΣΗΣ

Αυχενικές και κατά συμβολή συγκολλήσεις μπορούν να παραχθούν με τη μέθοδο electrogas. Στις αυχενικές αρκεί ένα μόνο πέλμα στήριξης το οποίο εφαρμόζει στα τεμάχια και προσδίδει και το σχήμα στην ένωση. Στις κατά συμβολή συγκολλήσεις μπορούμε να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο τη μέθοδο όσον αφορά το μέγιστο πάχος των προς συγκόλληση τεμαχίων, όπως αναφέραμε παραπάνω. Επίσης και συγκολλήσεις τύπου V μπορούν να εκτελεστούν, ενώ αν το πάχος των ελασμάτων είναι μεγάλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διαμόρφωση διπλού V. Αυτό προσφέρει την ευκαιρία πραγματοποίησης δύο ξεχωριστών συγκολλήσεων με την προϋπόθεση ότι τα πέλματα συγκράτησης έχουν την κατάλληλη διαμόρφωση. Δηλαδή το ένα πρέπει να έχει το σχήμα V για να εφαρμόζει στη διαμόρφωση του ελάσματος ενώ το άλλο είναι το ίδιο που χρησιμοποιείται στη σύνδεση κατά συμβολή χωρίς διαμόρφωση των ακμών. Όταν εκτελείται η συγκόλληση στο δεύτερο V το πίσω πέλμα δεν απαιτείται αφού ο ρόλος του αντικαθίσταται από τη ραφή που πραγματοποιήθηκε.

Η δυνατότητα εκτέλεσης αυχενικών και απλού ή διπλού V συγκολλήσεων είναι ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου electrogas. Η εξωτερική όψη της ραφής μπορεί να επιτευχθεί το ίδιο όπως σε άλλες μεθόδους συγκόλλησης (GMAW, FCAW) διαμορφώνοντας κατάλληλα το πέλμα.

5.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Το ηλεκτρικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για τη μέθοδο electrogas δε διαφέρει από άλλες μεθόδους συγκόλλησης. Το ηλεκτρικό σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 59).



Σχήμα 59: Ηλεκτρικό διάγραμμα μεθόδου electrogas^[11]

Μία γεννήτρια συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος συνήθως χρησιμοποιείται και η πολικότητα του ηλεκτροδίου επιλέγεται θετική (DCEP). Εφαρμόζεται το σύστημα της σταθερής χαρακτηριστικής της τάσης του τόξου, ενώ υπάρχει η δυνατότητα αυξομείωσης της ταχύτητας τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος κυμαίνεται από 100A έως 400A ενώ η τάση 20-30V. Με την τιμή της τάσης ελέγχεται η ταχύτητα της κεφαλής συγκόλλησης.

5.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την εφαρμογή της μεθόδου παρουσιάζεται στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 59). Η μέθοδος συνήθως εφαρμόζεται με ένα ηλεκτρόδιο, ενώ η πρακτική της ταλάντωσης του ηλεκτροδίου σπανίως χρησιμοποιείται.

Η κεφαλή της μηχανής συγκόλλησης είναι προσαρμοσμένη σε φορείο το οποίο την ανυψώνει καθώς εκτελείται η συγκόλληση. Στη Ναυπηγική ολόκληρος ο εξοπλισμός καθώς και ο χειριστής μπορεί να μεταφέρονται από τη βάση έως την κορυφή της ένωσης. Η μετακίνηση της κεφαλής πραγματοποιείται από ένα ανυψωτικό σύστημα ακριβείας που ελέγχεται από την τάση του ηλεκτρικού τόξου.

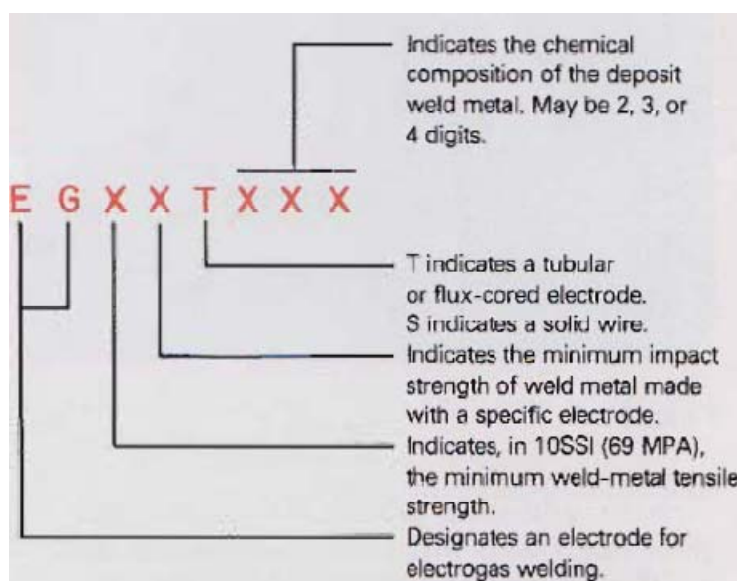
Η γεννήτρια της συγκόλλησης, όπως αναφέραμε είναι συνεχούς ρεύματος με σταθερή χαρακτηριστική τάσης.

Ο εξοπλισμός προώθησης του ηλεκτροδίου δεν διαφέρει από τις άλλες μεθόδους συγκόλλησης.

Το σύστημα του αερίου προστασίας (συνήθως CO₂) πρέπει να παρέχει ικανοποιητική προστασία στο τηγμένο μέταλλο από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Τα πέλματα συγκράτησης είναι συνήθως υδρόψυκτα και στις περισσότερες εφαρμογές είναι κατασκευασμένα από χαλκό. Το σύστημα συμπληρώνεται από τις αντλίες κυκλοφορίας του νερού και από εναλλάκτες θερμότητας^[44].

Το ηλεκτρόδιο πρέπει να ταιριάζει με τη σύσταση των μετάλλων που πρόκειται να συγκολληθούν και πιστοποιείται σύμφωνα με τα πρότυπα^[45-46]. Τα πρότυπα αυτά καλύπτουν και τα συμπαγή αλλά και τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια.



Σχήμα 60: Τυποποίηση ηλεκτροδίου για Electrogas^[13,45]

5.6 ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Τα ποσοστά απόθεσης υλικού στη μέθοδο electrogas είναι σχετικά υψηλά. Τα ποσοστά στα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια ποικίλουν ανάλογα τον τύπο και τον κατασκευαστή τους καθώς διαφοροποιείται το ποσοστό μετάλλου σε αυτά.

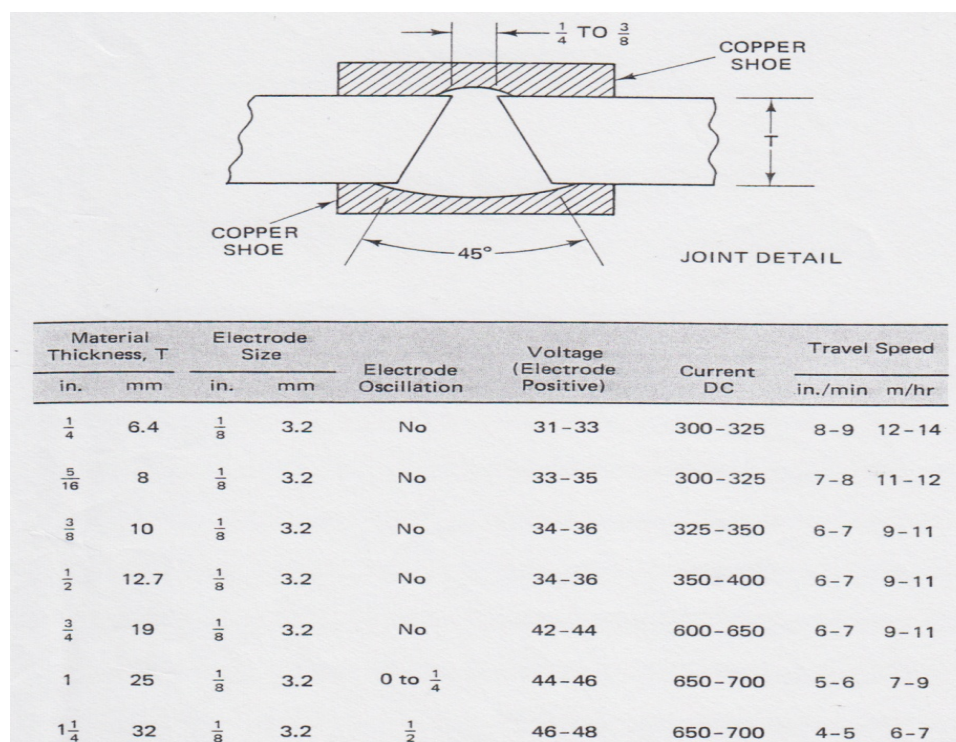
Η μέθοδος electrogas αναφέρεται σαν χαμηλού υδρογόνου τύπου διαδικασία συγκόλλησης καθώς το υδρογόνο δεν αποτελεί συστατικό κανενός υλικού που μετέχει στη συγκόλληση.

Οι συγκολλήσεις με electrogas κατέχουν ιδιότητες και χαρακτηριστικά που υπερκαλύπτουν αυτές των συγκολλήσεων από επενδεδυμένα ηλεκτρόδια με προστασία αερίου.

Η αυξημένη θερμικά παροχή θερμότητας της electrogas μειώνει το ρυθμό ψύξεως και βοηθάει στη μείωση των ατελειών. Αυτό ευνοεί τη δημιουργία μεγαλύτερου μεγέθους κρυστάλλων στο μέταλλο συγκόλλησης καθώς και στη ΘΕΖ. Η σκληρότητα της ένωσης πλησιάζει αυτή του βασικού μετάλλου. Το μέταλλο συγκόλλησης πληροί τις περισσότερες προδιαγραφές.

5.7 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Μια επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης με τη μέθοδο electrogas φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 61).



Σχήμα 61: Επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης electrogas^[11]

Οι τιμές των παραμέτρων μπορεί να διαφοροποιηθούν για βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων, ωστόσο θα πρέπει να διενεργηθούν έλεγχοι για την πιστοποίηση αυτών των επιλογών.

Αν και η μέθοδος electrogas είναι αυτοματοποιημένη ο χειριστής πρέπει να είναι σε εγρήγορση και να κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Ο χειριστής θα πρέπει να έχει καλή γνώση της electrogas λόγω των διαφορετικών επιδράσεων από την αλλαγή των παραμέτρων. Σε αρκετές περιπτώσεις στην electrogas τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά από αυτά που αναμένονται σε σχέση με αυτά που εμφανίζονται στη συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (GMAW). Για παράδειγμα αυξάνοντας την ταχύτητα προώθησης του ηλεκτροδίου αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος αλλά δεν αυξάνεται η διείσδυση στα πλευρικά τοιχώματα στη μέθοδο electrogas. Αυξάνοντας όμως την τάση του ηλεκτρικού τόξου αυξάνεται το κενό μεταξύ της άκρης του ηλεκτροδίου και του τηγμένου μετάλλου και αυτό αυξάνει τη διείσδυση.

Επίσης εάν το ηλεκτρόδιο δεν είναι κεντραρισμένο στο διάκενο η διείσδυση εκατέρωθεν θα παρουσιάζει ανομοιομορφία. Πρέπει λοιπόν να ελέγχεται η ισαπόσταση μεταξύ των πελμάτων συγκράτησης. Ωστόσο εάν το ένα πέλμα είναι χαλύβδινο και άλλο χάλκινο το ηλεκτρόδιο πρέπει να τοποθετηθεί πιο κοντά στο δεύτερο.

Επίσης εάν κάποιο πέλμα δεν εφαρμόζει ισχυρά και υπάρξει διαφυγή τηγμένου μετάλλου αυτό θα πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα και να σφραγιστεί η διαρροή. Συνήθως αυτό αντιμετωπίζεται με μίγμα πυρίμαχου πυλού.

Ο χειριστής επίσης θα πρέπει να έχει προϋπολογίσει την ακριβή ποσότητα ηλεκτροδίου που θα απαιτηθεί για την ένωση ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία χωρίς διακοπή λόγω ελλείψεως ποσότητας ηλεκτροδίου.

Εάν, για οποιοδήποτε λόγο, διακοπεί η διαδικασία, η μηχανή συγκόλλησης πρέπει να απενεργοποιηθεί άμεσα, να γίνει αποκατάσταση του προβλήματος και να ξεκινήσει πάλι η συγκόλληση. Στο σημείο που σταμάτησε η συγκόλληση υπάρχει συνήθως μια περιοχή μη τηγμένου υλικού που θα πρέπει να αφαιρεθεί και να επιδιορθωθεί η ζημιά με μια μέθοδο συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου.

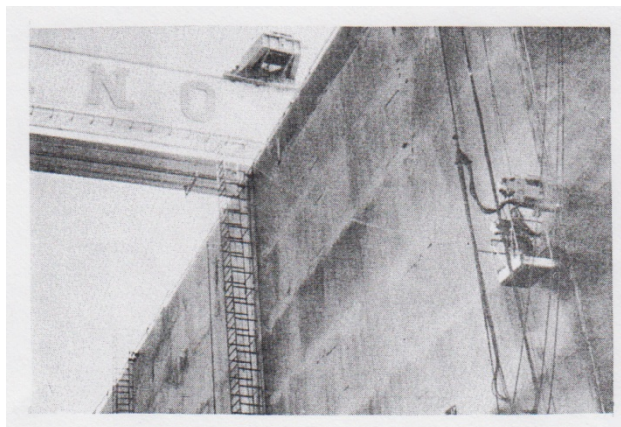
Ομοίως, όπως και στην ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση εάν υπάρξει διαρροή νερού από τα πέλματα εντός του τηγμένου μετάλλου η διαδικασία πρέπει να τερματιστεί διότι δημιουργούνται θέματα ασφαλείας καθώς και θέματα ατελειών στο μέταλλο συγκόλλησης.

5.8 ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι παράγοντες ασφαλείας που εμπλέκονται στη μέθοδο electrogas είναι οι ίδιοι με άλλες μεθόδους συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου. Ατομικά μέσα προστασίας (κράνος, γυαλιά κτλ) πρέπει να εφαρμόζονται καθώς το ηλεκτρικό τόξο είναι παρών από την αρχή έως το τέλος της μεθόδου. Η δημιουργία μεγάλης ποσότητας τηγμένου μετάλλου αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα κινδύνου και πρέπει να διασφαλιστεί και να αποκλειστεί οποιαδήποτε πιθανότητα αστοχίας των πελμάτων συγκράτησης.

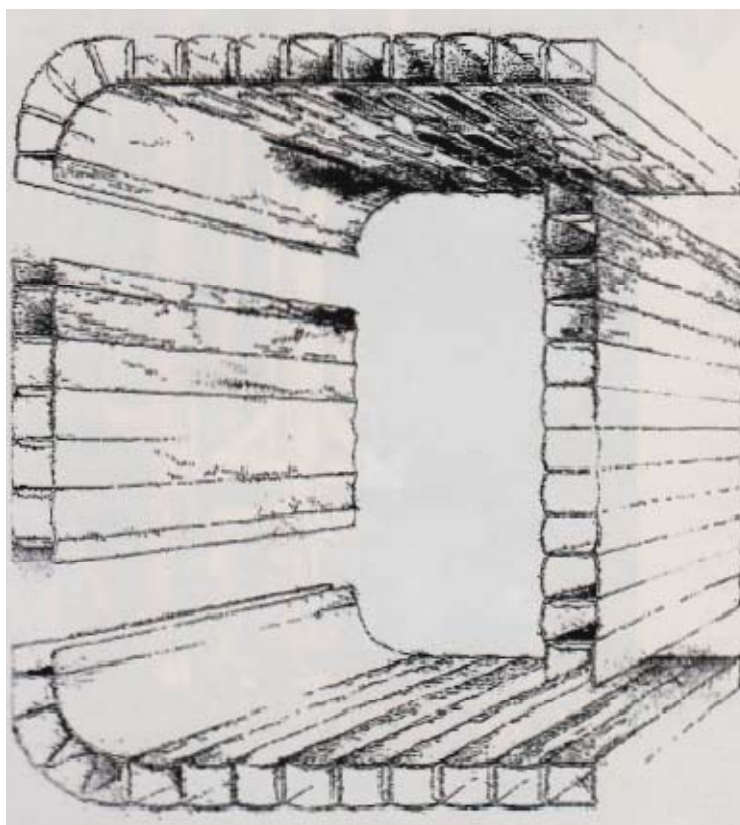
5.9 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η κύρια χρήση της μεθόδου electrogas είναι η ανέγερση δεξαμενών αποθήκευσης υγρών. Μεγάλη εφαρμογή έχει στη Ναυπηγική βιομηχανία στην συγκόλληση των πλευρικών ελασμάτων της γάστρας του πλοίου (Σχήμα 62).



Σχήμα 62: Συγκόλληση πλευρικών ελασμάτων πλοίου με electrogas

Με εφαρμογή της μεθόδου συγκόλλησης electrogas έγινε δυνατή η ανάπτυξη της σχεδίασης μιας νέας μορφής τύπου γάστρας για πλοία με διπλά τοιχώματα που ονομάστηκε Marc Guardian^[47]. Στη σχεδίαση αυτή ελάσματα συγκολλούνται μεταξύ τους με μια διάταξη όπου δεν χρειάζονται επιπλέον ενισχυτικά όπως στις συμβατικές σχεδιάσεις (Σχήμα 63).



Σχήμα 63: Γάστρα πλοίου διπλού τοιχώματος με τη σχεδίαση Marc Guardian^[47]

Προσαρμόζοντας μια μηχανή συγκόλλησης electrogas σε έναν πύργο κατάλληλα διαμορφωμένο (Σχήμα 64) έγινε δυνατή η κατασκευή των επιμέρους τμημάτων της γάστρας (Σχήμα 65).



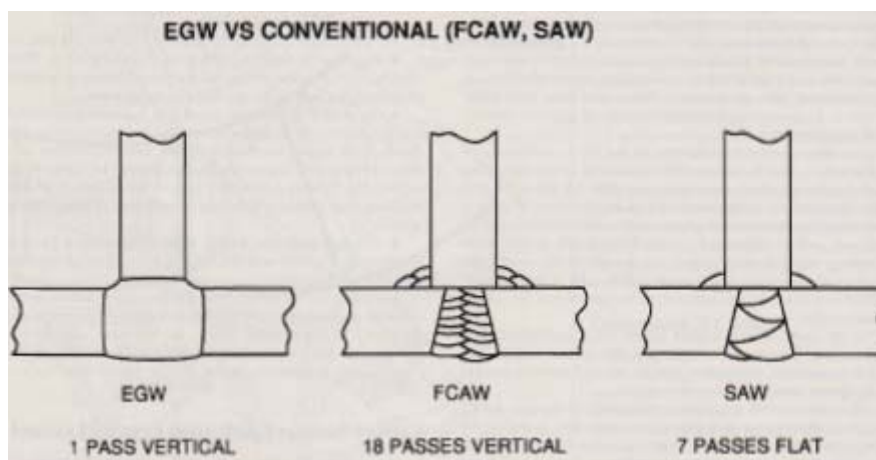
Σχήμα 64: Πύργος κατασκευής συγκόλλησης 17 m (50ft)



Σχήμα 65: Ολοκληρωμένο επιμέρους τμήμα σχεδίασης Marc Guardian

Η εφαρμογή της συγκόλλησης electrogas στην παραπάνω σχεδίαση έτυχε της αποδοχής του Αμερικάνικου Νηογνώμονα (ABS), ενώ το μέταλλο συγκόλλησης ικανοποίησε τα κριτήρια του AWS.

Από την παραπάνω εφαρμογή της electrogas προέκυψαν και ενδιαφέροντα συμπεράσματα όσον αφορά την απόδοση της μεθόδου σε σχέση με άλλες μεθόδους συγκόλλησης που εφαρμόζονται στα ναυπηγεία. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται αυτή η σύγκριση.



Σχήμα 66: Σύγκριση της EGW με τις συμβατικές μεθόδους FCAW & SAW^[47]

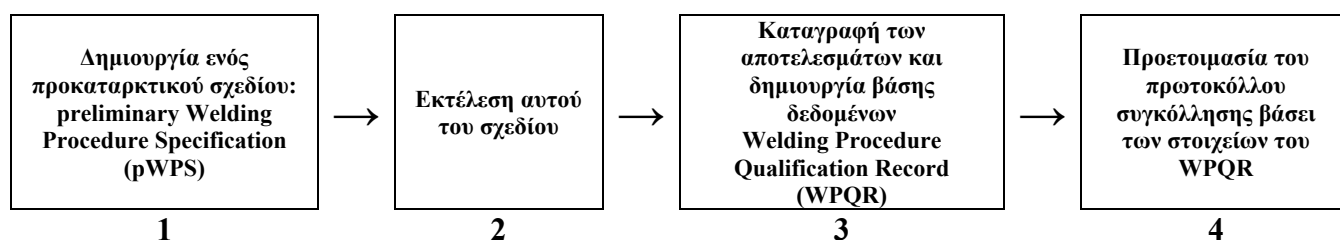
Για την πραγματοποίηση ραφής μήκους περίπου 7 μέτρων με τη μέθοδο electrogas χρειάστηκε μία ώρα όταν με τη μέθοδο επενδεδυμένου ηλεκτροδίου (flux cored arc welding, FCAW) θα απαιτούσε 10-16 ώρες και 18 περάσματα, ενώ με τη μέθοδο βυθισμένου τόξου θα απαιτούσε 5-8 ½ ώρες και 7 περάσματα για την απόθεση της ίδιας ποσότητας υλικού.

6. Καθορισμός διαδικασίας συγκόλλησης

Welding Procedure Specifications (WPSs)^[48]

Καθώς η ποιότητα μιας ολοκληρωμένης συγκόλλησης δεν είναι εύκολα επαληθεύσιμη, οι συγκολλήσεις θεωρούνται μια ιδιαίτερη μέθοδος συνυφασμένη με πρότυπα ποιότητας και μια μέθοδος που απαιτεί αυστηρό έλεγχο κατά την εφαρμογή της. Στην πράξη αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλα πρωτόκολλα που προδιαγράφουν τη διαδικασία συγκόλλησης, τα γνωστά ως Welding Procedure Specifications (WPSs). Είναι διεθνώς αποδεκτό και αναγνωρισμένο ότι τα WPSs αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο για την επίτευξη μιας επιτυχημένης συγκόλλησης. Είναι το έντυπο με τις «οδηγίες χρήσεως» προς τον συγκολλητή που του προδιαγράφουν τις τιμές των μεταβλητών που θα πρέπει να επιλέξει και να εφαρμόσει κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης για μία συγκεκριμένη εφαρμογή.

Σύμφωνα με τα Βρετανικά Πρότυπα (British Standard, BS), η πιστοποίηση ενός WPS προκύπτει μετά από μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, (BS EN ISO 15614-1):



Σχήμα 67: Στάδια πιστοποίησης ενός WPS

Η παραπάνω διαδικασία απαιτεί τη διατύπωση τριών διεθνώς αναγνωρισμένων εντύπων:

- Preliminary Welding Procedure Specification (pWPS)
- Welding Procedure Qualification Record (WPQR)
- Welding Procedure Specification (WPS)

Ο σκοπός και οι διαφορές μεταξύ τους περιγράφονται παρακάτω.

Preliminary Welding Procedure Specification (pWPS)

Το έντυπο αυτό, που συντάσσεται από τον υπεύθυνο Μηχανικό Συγκολλήσεων (Responsible Welding Coordinator, RWC), είναι μια αναφορά που χρησιμοποιείται από τον συγκολλητή για τη συγκόλληση ενός δοκιμίου (test piece). Η μορφή του εντύπου είναι σχεδόν ίδια με την τελική μορφή του WPS και περιλαμβάνει τις μεταβλητές εκείνες της συγκόλλησης που πρέπει να πιστοποιηθούν. Μαζί με τις διαστάσεις, λεπτομέρειες της ένωσης, το είδος των καταναλισκόμενων κτλ παρουσιάζει τις προτεινόμενες παραμέτρους συγκόλλησης που πρέπει να χρησιμοποιηθούν (ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, τάση, ταχύτητα κίνησης κεφαλής κτλ), στοιχεία που προέρχονται από τη γνώση του RWC ή παλαιότερη εμπειρία.

Όπως ακριβώς εννοεί και το όνομά του το προκαταρκτικό αυτό σχέδιο περιλαμβάνει προτεινόμενες παραμέτρους συγκόλλησης οι οποίες πολύ συχνά υπόκεινται σε μικρές τροποποιήσεις βάσει των παρατηρήσεων του συγκολλητή όταν ολοκληρωθεί η συγκόλληση του δοκιμίου. Οι όποιες παρατηρήσεις καταγράφονται στο pWPS και αποτελούν τις καταγραφές του μεταγενέστερου εντύπου WPQR.

Welding Procedure Qualification Record (WPQR)

Το έντυπο αυτό αποτελεί ένα αρχείο καταγραφής όλων των παραμέτρων της συγκόλλησης κατά την εκτέλεση των συγκολλήσεων σε δοκίμια (παρατηρήσεων από τα pWPS), των αποτελεσμάτων από καταστροφικούς ή μη ελέγχους, των πιστοποιητικών των υλικών και το εύρος δυνατοτήτων της συγκόλλησης εάν οι έλεγχοι είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το εύρος αυτών των δυνατοτήτων αναφέρονται στις μεταβλητές εκείνες που μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στις μεταλλουργικές ιδιότητες της τελικής συγκόλλησης όπως ο τύπος και το πάχος του μετάλλου συγκόλλησης, η διαδικασία συγκόλλησης, ο τύπος των καταναλισκόμενων, η θέση της συγκόλλησης, η πρόσδοση θερμότητας, ο τύπος της ένωσης. Η επαλήθευση ενός WPQR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πιστοποίηση μεγάλου πλήθους WPSs.

Welding Procedure Specification (WPS)

Συνήθως στη μορφή εγγράφου μίας σελίδας το WPS περιλαμβάνει όλες τις σχετικές πληροφορίες που απαιτεί ένας έμπειρος συγκολλητής για να πραγματοποιήσει μια συγκόλληση. Σε αντίθεση με το WPQR που περιλαμβάνει τις ακριβείς τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στα δοκίμια το WPS παρέχει ένα επιτρεπόμενο εύρος τιμών των παραμέτρων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Συνεπώς είναι ουσιώδες το WPS να είναι εύκολα διαθέσιμο στο χώρο εργασίας του συγκολλητή, πλήρως κατανοητό και να το τηρεί ευλαβικά.

Υποδείγματα των παραπάνω εγγράφων περιέχονται στο Παράρτημα Α, από διάφορους διεθνείς οργανισμούς (AWS, BS, TWI, CWB, ASME).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των τριών μεθόδων συγκόλλησης προκύπτουν ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Για τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου γενικά θα λέγαμε ότι ενδείκνυται όταν στις εφαρμογές μας χρειαζόμαστε μεγάλη εναπόθεση λιωμένου μετάλλου (deposit rate), μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης (travel speed) και μεγάλη διείσδυση (full penetration). Αξιοσημείωτη είναι η παραγωγικότητα της μεθόδου δεδομένου ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε πολλές εφαρμογές ξεπερνάει τα 1000 Α. Επιπλέον η κάλυψη του ηλεκτρικού τόξου από το συλλίπασμα και η μικρή παραγωγή αερίων κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης την κάνει πιο φιλική για το χρήστη παρέχοντας ένα φιλικό περιβάλλον εργασίας.

Με την ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση, (Electroslag Welding), έγινε δυνατή η συγκόλληση μεγάλου πάχους ελασμάτων, με μία στρώση, σε κατακόρυφη θέση, στην οποία είναι και η μόνη που εφαρμόζεται. Παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα με τη συγκόλληση βυθισμένου τόξου, επιπλέον όμως δεν έχουμε την παρουσία ηλεκτρικού τόξου το οποίο σβήνει μετά την έναρξη της διαδικασίας και η κατανάλωση του ακριβού συλλιπάσματος είναι ελάχιστη. Μπορεί να εφαρμοστεί στη Ναυπηγική κλίνη και μπορεί να ενώσει ελάσματα χωρίς μεγάλους περιορισμούς ανοχών.

Για τη μέθοδο συγκόλλησης Electrogas που αναπτύχθηκε σαν παραλλαγή της προηγούμενης ισχύουν τα ίδια πλεονεκτήματα και επιπλέον ότι η οικονομικότητα της εφαρμογής της αυξάνει με το πάχος και το μήκος των προς συγκόλληση ελασμάτων.

Συνοπτικά και στις τρεις μεθόδους τα αποτελέσματα από τις συγκολλήσεις κρίνονται πέραν του ικανοποιητικού.

Και στις τρεις μεθόδους ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επιλογή των παραμέτρων συγκόλλησης (ένταση ηλ. ρεύματος, τάση, πολικότητα κτλ) καθώς και στην επιλογή των ηλεκτροδίων και του συλλιπάσματος. Επιπλέον χρειάζεται προσοχή στο σχεδιασμό και στην εφαρμογή των απαραίτητων επικαλύπτρων λόγω του μεγάλου όγκου τηγμένου μετάλλου που δημιουργείται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Ακολουθούν υποδείγματα τυποποιημένων εντύπων WPS.

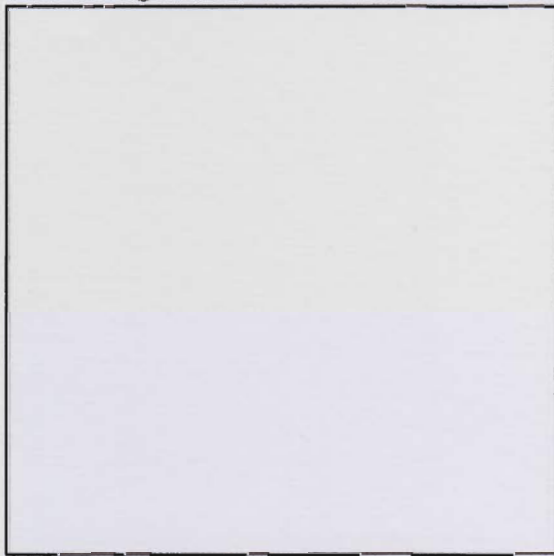
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Approved _____
 Revisions _____ Date _____ Approved _____

Supporting PQR Numbers _____

Joints

Groove Design Sketch



Filler Metal

F-No. _____ AWS No. _____ Class _____
 Size of electrode _____
 Type of electrode _____
 Other _____

Shielding Gas

Shielding gas(es) _____
 Percent composition _____
 Flow rate _____
 Other _____

Backing

Type _____
 Permanent _____
 Removed _____
 Other _____

Position

Position of groove _____
 Welding progression _____
 Other _____

Base Metals

M No. _____ Thickness _____ to _____
 Alloy and Temper _____

Preheat

Preheat temperature _____
 Interpass temperature _____

Form F(a)

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Cleaning

Initial cleaning oxide _____

Initial cleaning oil and dirt _____

Interpass cleaning _____

Postweld Heat Treatment

Original temper _____

Final temper _____

Temperature _____

Time _____

Quench _____

Pass No.	Welding Process	Amps	Volts	Travel Speed

Process(es)

Process _____ Type* _____

Process _____ Type* _____

Electrode (GTAW) _____

Technique

Stringer or weave bead _____

Orifice or gas cup size _____

Oscillation _____

Contact tube to work distance _____

Single pass or multipass _____
per side

Tungsten extension _____

Method of backgouging _____

Other _____

*Manual, automatic, polarity, pulse, etc.



Sketch of Welding Sequence

Form F(a) (Continued)

Διπλωματική εργασία – SAW / ESW / EGW

QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS) (See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Company Name _____ By _____
 Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Supporting PQR No.(s) _____
 Revision No. _____ Date _____

Welding Process(es) _____ Type(s) _____
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

JOINTS (QW-402)	Details																																																			
Joint Design _____ Root Spacing _____ Backing: Yes _____ No _____ Backing Material (Type) _____ <small>(Refer to both backing and retainers)</small> <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified. [At the option of the manufacturer, sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)]																																																				
*BASE METALS (QW-403) P-No. _____ Group No. _____ to P-No. _____ Group No. _____ OR Specification and type/grade or UNS Number _____ to Specification and type/grade or UNS Number _____ OR Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ Thickness Range: Base Metal: Groove _____ Fillet _____ Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 inch (13 mm) (Yes) <input type="checkbox"/> (No) <input type="checkbox"/> Other _____																																																				
*FILLER METALS (QW-404) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%; text-align: center;">1</th> <th style="width: 35%; text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Spec. No. (SFA) _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AWS No. (Class) _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>F-No. _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A-No. _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Size of Filler Metals _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Filler Metal Product Form _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Supplemental Filler Metal _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Weld Metal</td><td></td><td></td></tr> <tr><td> Thickness Range:</td><td></td><td></td></tr> <tr><td> Groove _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td> Fillet _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Electrode-Flux (Class) _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Flux Type _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Flux Trade Name _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Consumable Insert _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Other _____</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			1	2	Spec. No. (SFA) _____			AWS No. (Class) _____			F-No. _____			A-No. _____			Size of Filler Metals _____			Filler Metal Product Form _____			Supplemental Filler Metal _____			Weld Metal			Thickness Range:			Groove _____			Fillet _____			Electrode-Flux (Class) _____			Flux Type _____			Flux Trade Name _____			Consumable Insert _____			Other _____		
	1	2																																																		
Spec. No. (SFA) _____																																																				
AWS No. (Class) _____																																																				
F-No. _____																																																				
A-No. _____																																																				
Size of Filler Metals _____																																																				
Filler Metal Product Form _____																																																				
Supplemental Filler Metal _____																																																				
Weld Metal																																																				
Thickness Range:																																																				
Groove _____																																																				
Fillet _____																																																				
Electrode-Flux (Class) _____																																																				
Flux Type _____																																																				
Flux Trade Name _____																																																				
Consumable Insert _____																																																				
Other _____																																																				

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

(03/08)

Διπλωματική εργασία - SAW / ESW / EGW

QW-482 (Back)

WPS No. _____ Rev. _____

<p>POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ Welding Progression: Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____</p>	<p>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____</p>																							
<p>PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum _____ Interpass Temperature, Maximum _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)</p>	<p>GAS (QW-408)</p> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	_____	_____	_____	Trailing	_____	_____	_____	Backing	_____	_____	_____	Other	_____	_____	_____
	Percent Composition																							
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																					
Shielding	_____	_____	_____																					
Trailing	_____	_____	_____																					
Backing	_____	_____	_____																					
Other	_____	_____	_____																					

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)
		Classification	Diameter							

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current _____ Heat Input (max.) _____

Tungsten Electrode Size and Type _____
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____
(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead _____

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____

Method of Back Chipping _____

Oscillation _____

Contact Tube to Work Distance _____

Multiple or Single Pass (Per Side) _____

Multiple or Single Electrodes _____

Electrode Spacing _____

Peening _____

Other _____

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes
PREQUALIFIED _____ QUALIFIED BY TESTING _____
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes

Company Name _____
 Welding Process(es) _____
 Supporting PQR No.(s) _____

Identification # _____
 Revision _____ Date _____ By _____
 Authorized by _____ Date _____
 Type—Manual Semi-Automatic
 Machine Automatic

JOINT DESIGN USED

Type:
 Single Double Weld
 Backing: Yes No
 Backing Material: _____
 Root Opening _____ Root Face Dimension _____
 Groove Angle: _____ Radius (J-U) _____
 Back Gouging: Yes No Method _____

BASE METALS

Material Spec. _____
 Type or Grade _____
 Thickness: Groove _____ Fillet _____
 Diameter (Pipe) _____

FILLER METALS

AWS Specification _____
 AWS Classification _____

SHIELDING

Flux _____ Gas _____
 Composition _____
 Electrode-Flux (Class) _____ Flow Rate _____
 Gas Cup Size _____

PREHEAT

Preheat Temp., Min. _____
 Interpass Temp., Min. _____ Max. _____

POSITION

Position of Groove: _____ Fillet: _____
 Vertical Progression: Up Down

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting
 Globular Spray
 Current: AC DCEP DCEN Pulsed
 Other _____
 Tungsten Electrode (GTAW)
 Size: _____
 Type: _____

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: _____
 Multi-pass or Single Pass (per side) _____
 Number of Electrodes _____
 Electrode Spacing Longitudinal _____
 Lateral _____
 Angle _____

Contact Tube to Work Distance _____
 Peening _____
 Interpass Cleaning: _____

POSTWELD HEAT TREATMENT

Temp. _____
 Time _____

WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

Form M-1

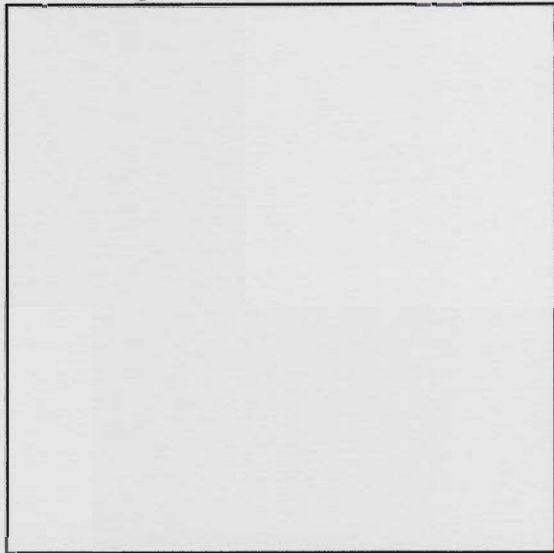
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Approved _____
 Revisions _____ Date _____ Approved _____

 Supporting PQR Numbers _____

Joints

Groove Design Sketch



Filler Metal

F-No. _____ AWS No. _____
Class
 Size of electrode _____
 Type of electrode _____
 Other _____

Shielding Gas

Shielding gas(es) _____
 Percent composition _____
 Flow rate _____
 Other _____

Backing

Type _____
 Permanent _____
 Removed _____
 Other _____

Position

Position of groove _____
 Welding progression _____
 Other _____

Base Metals

M No. _____ Thickness _____ to _____
 Alloy and Temper _____

Preheat

Preheat temperature _____
 Interpass temperature _____

Form F(a)

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Cleaning

Initial cleaning oxide _____

Initial cleaning oil and dirt _____

Interpass cleaning _____

Postweld Heat Treatment

Original temper _____

Final temper _____

Temperature _____

Time _____

Quench _____

Process(es)

Process _____ Type* _____

Process _____ Type* _____

Electrode (GTAW) _____

Technique

Stringer or weave bead _____

Orifice or gas cup size _____

Oscillation _____

Contact tube to work distance _____

Single pass or multipass _____
per side

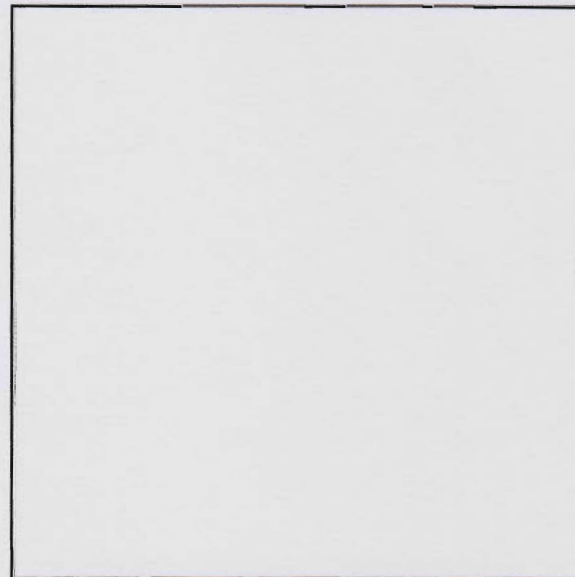
Tungsten extension _____

Method of backgouging _____

Other _____

*Manual, automatic, polarity, pulse, etc.

Pass No.	Welding Process	Amps	Volts	Travel Speed



Sketch of Welding Sequence

Form F(a) (Continued)

COMPANY NAME: _____.

COMPANY ADDRESS: _____.

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION FOR SUBMERGED ARC WELDING

SPECIFICATION No.: _____.

Scope

This Welding Procedure Specification covers welding and related operations of steel structures which are fabricated in accordance with the terms outlined in CSA Standards W47.1 and W59, latest revisions. The attached Data Sheets form an essential part of this specification.

A change in any of the essential variables contained in succeeding paragraphs or detailed on applicable Welding Procedure Data Sheet(s) shall require a new Welding Procedure Specification and/or a new Welding Procedure Data Sheet(s).

Welding Procedure

The welding shall be done by the Submerged-Arc Process using either automatic or semi-automatic equipment, with single or multiple arcs as indicated on the Welding Data Sheets.

Joints shall be made following the procedural stipulations indicated in CSA Standard W59, and may consist of single or multiple passes in accordance with the accepted Welding Procedure Data Sheets to which this specification refers.

Base Metal

The base metal shall conform to the specifications of steel groups 1, 2, 3 as per Table 11.1 or Table 12.1 of CSA Standard W59. Other groups may be welded providing Welding Procedure Data Sheets are accepted by the Canadian Welding Bureau.

Base Metal Thickness

Base metal thicknesses from 3 mm (1/8") to UNLIMITED THICKNESS inclusive may be welded under this specification providing the respective Welding Procedure Data Sheets have been supplied and accepted for the appropriate weld size.

CWB Acceptance	Engineer or Supervisor Acceptance

Filler Metal/Flux

The electrode and flux to be used in combination shall conform to the requirements of CSA Standard W48. Any combination of electrodes and fluxes not certified by the CWB shall be subject to procedure qualification.

Storage and Conditioning of Electrodes/Fluxes

Electrodes shall be stored in suitable conditions that will keep them dry and free from surface rust and foreign material.

Flux used for submerged arc welding shall be dry and free from contamination of dirt, mill scale or other foreign material. All flux shall be purchased in packages capable of being stored under normal conditions for at least 6 months without such storage affecting its welding characteristics or weld metal properties. Flux from damaged packages that have been exposed to free moisture shall be discarded or shall be dried before use in shallow layers (2 inches maximum) at minimum temperature of 500°F for at least 1 hour or at time and temperature conditions as recommended by the manufacturer. Flux fused in welding shall not be reused.

Position

The welding shall be done only in the position indicated on the Welding Data Sheet.

Preheat

The minimum preheat before welding will comply with Table 5.3 of CSA Standard W59. Minimum preheat to be maintained or exceeded during welding.

If welding is interrupted for some time so that the temperature of the base metal falls below the minimum preheat temperature, then arrangements will be made to preheat again prior to recommencing welding.

The weldment shall be allowed to cool to the ambient temperature, without external quench media being supplied. In other words, do not cool using water or by immediate placement in frigid conditions which will cause a quick temperature change.

Heat Treatment and Stress Relieving

This will not be applicable to structures welded under this specification, unless a specific Data Sheet showing all the parameters is submitted to the Canadian Welding Bureau and acceptance is obtained.

Electrical Characteristics

The current used shall be either direct current (DC) or alternating current (AC) as indicated on the Welding Data Sheets.

Welding Technique

The correct amperage and voltage, speed of travel, thickness of layers, number of passes, position, material electrodes and any special instructions will be as per Data Sheet.

Preparation Of Base Material

The edges or surfaces of parts to be joined by welding shall be prepared by oxy-acetylene machine cutting. Where hand cutting is involved the edge will be ground to a smooth surface. All surfaces and edges shall be free from fins, tears, cracks or any other defects that will adversely affect the quality of the weld.

All loose or thick scale, rust, moisture, grease or other foreign material that would prevent proper welding or produce objectionable fumes, shall be removed.

Quality

Cracks or blow holes that appear on the surface of any pass shall be removed before depositing the next covering pass. The procedure and technique shall be such that undercutting of base metal or adjacent passes is minimized. Fillet and butt welds shall meet the desirable or acceptable fillet weld profiles shown in Figure 5.4 of CSA Standard W59. The reinforcement in groove welds shall not exceed 3 mm (1/8") and shall have a gradual transition to the plane of the base metal surface. In general, the weld quality will be such as to meet the requirements of Clause 11.5.4/12.5.4 of CSA Standard W59.

Weld Metal Cleaning

Slag or flux remaining after a pass, shall be removed before applying the next covering pass. Prior to painting, etc., all slag shall be removed and the parts shall be free of loose scale, oil and dirt.

Treatment of Underside of Welding Groove

Prior to depositing weld metal on the underside of a welding groove, the root shall be gouged, or chipped to sound metal, unless otherwise specified on the applicable Data Sheet.

WPS QUALIFICATION TEST RECORD FOR ELECTROSLAG AND ELECTROGAS WELDING

PROCEDURE SPECIFICATION

Material specification _____
 Welding process _____
 Position of welding _____
 Filler metal specification _____
 Filler metal classification _____
 Filler metal _____
 Flux _____
 Shielding gas _____ Flow rate _____
 Gas dew point _____
 Thickness range this test qualifies _____
 Single or multiple pass _____
 Single or multiple arc _____
 Welding current _____
 Preheat temperature _____
 Postheat temperature _____
 Welder's name _____
 Guide tube flex _____
 Guide tube composition _____
 Guide tube diameter _____
 Vertical rise speed _____
 Traverse length _____
 Traverse speed _____
 Dwell _____
 Type of molding shoe _____

VISUAL INSPECTION (Table 6.1, Cyclically loaded limitations)

Appearance _____
 Undercut _____
 Piping porosity _____
 Test date _____
 Witnessed by _____

TEST RESULTS

Reduced-section tensile test

Tensile strength, psi
 1. _____
 2. _____

All-weld-metal tension test

Tensile strength, psi _____
 Yield point/strength, psi _____
 Elongation in 2 in, % _____

Side-bend tests

1. _____ 3. _____
 2. _____ 4. _____

Radiographic-ultrasonic examination

RT report no. _____
 UT report no. _____

Impact tests

Size of specimen _____ Test temp _____
 Ft-lb: 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____
 5. _____ 6. _____ Avg. _____
 High _____ Low _____
 Laboratory test no. _____

WELDING PROCEDURE

Pass No.	Electrode Size	Welding Current		Joint Detail
		Amperes	Volts	

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Clause 4 of AWS D1.1/D1.1M, (_____) *Structural Welding Code—Steel*.
 (year)

Procedure no. _____

Manufacturer or Contractor _____

Revision no. _____

Authorized by _____

Form N-3

Date _____



TECHNICAL REPORT

NEWPORT NEWS SHIPBUILDING AND DRY DOCK CO.
NEWPORT NEWS, VIRGINIA

INDEX FILE PAGE
NN FORM 198-12 746

REPORT NO. S01.10A-2	RESEARCH INDEX NO.	CHARGE NO. G2004-2404
AUTHOR M.J. Rice		DEPT. 037
TITLE Procedure Qualification for Electroslag (Consumable Guide) Welding (ESW) of Carbon Steel Castings		
SECURITY CLASSIFICATION Unclassified	NO. OF PAGES 6	DATE 4-8-83
<p>ABSTRACT</p> <p>Two 10 3/4" thick carbon steel castings were welded using the electroslag (multi-consumable guide) welding (ESW) process. The finished weld was annealed prior to nondestructive testing.</p> <p>The completed weld satisfactorily met the requirements of Military Standard 00248B (Ships), "Welding and Brazing Procedure and Performance Qualification". Welding parameters for performing the subject weld and mechanical test results have been recorded herein.</p>		

KEY WORDS
C/S
ESW
Multi-guide
10 3/4"
PWHT

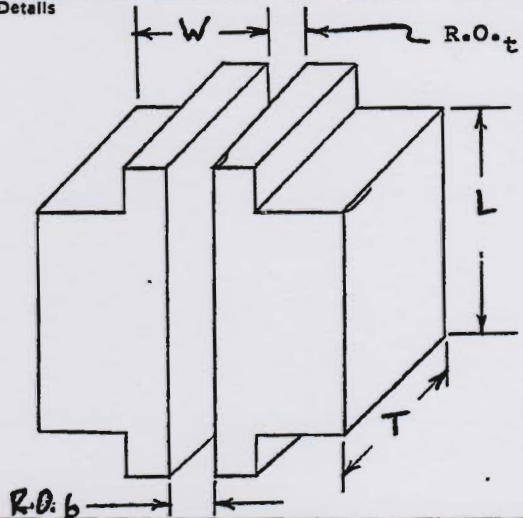
DISTRIBUTION:	
REQUESTER:	
COPIES TO:	1 - Engineering Research Dept., 033 1 - 037 File
APPROVED BY:	<i>R.C. Hansen</i> 5-5-83

ELECTROSLAG DATA SHEET

Newport News Shipbuilding
A Tenneco Company

PROCESS	2 WIRE CONSUMABLE GUIDE ELECTROSLAG WELDING		POSITION	VERTICAL UP	<input checked="" type="checkbox"/> plate <input type="checkbox"/> casting	Preheat (min) 125°F method Torch Tempstick measured by
EQUIP- MENT	Power Supply Polarity Wire Feeder	Hobart RC-1000 DCEP Hobart	CONTROLS: Hobart Multi-Torch Control Box Hobart Multi-Wire Oscillator			PREHEAT SUMP AREA ONLY Interpass N/A
FILLER MAT'L	Size/Type Brand Specification	3/32" Dia./Cored Wire Hobart PS-588 EWT2 (AWS 5.25-78)	5/8" Dia. Guide Tubes Hobart Type No. 58 ASTM A108 Gr. 1018	1/4" Dia. Round Bar Commercial ASTM A108 Gr. 1018		
BASE MAT'L	Dimensions PO/Heat/Lot Specification	10"L x 4"W x 13"T MIL-S-15083 Gr. B	INSU- LATOR	Hobart Type No. 59 5/8" Inside Diameter	FLUX	Brand/Type Linde 124/F74 Storage Flux oven @ 250°F, Remained warm to touch
COOLING SHOES	Size/Type Flow Max Temp	24" Long/Copper 1.7 GPM 100 °F	FINAL VISUAL	<input checked="" type="checkbox"/> Satisfactory Description	Visual Defects	<input type="checkbox"/> Satisfactory <input type="checkbox"/> Unsatisfactory Procedure N/A

Joint Design & Details



$$R.O.t = 1-1/4" \pm 1/16"$$

$$R.O.b = 1-1/8" \pm 1/16"$$

GUIDE TUBE SPACING 2 7/8"

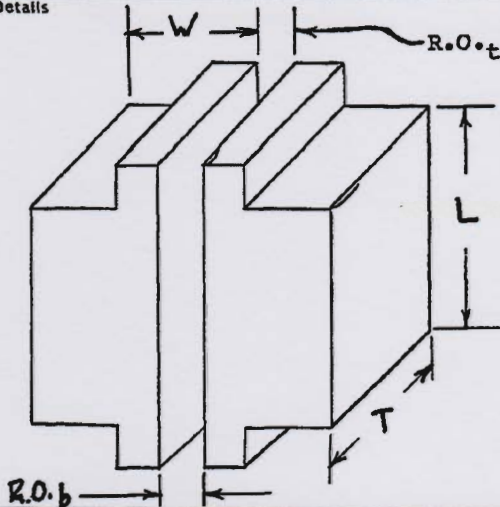
	WIRE FEED SPEED	VOLTS	ELECTRODE EXTENSION	AMPERAGE PER WIRE	OSCILLATION				
					DWELL	CYCLE TIME	FREQUENCY	AMPLITUDE	
START	130 ipm	35 V	1-1/2 in.	350- 450 A	3 sec.	12 sec.	5 cpm	1 3/4 in.	Steel wool under each wire, covered with Flux. Fired all four at the same time. #3 experienced a 5 min. delay.
RUNNING	155 ipm	55 V	—	390- 400 A	↓	↓	↓	↓	Final slag depth 1" 4 rows of RD bar
Technicians/SSN Byrd/Meckley		Charge 1026M-9		Date 2/22/85		Joint No. M685-19C			

ELECTROSLAG DATA SHEET

Newport News Shipbuilding
A Tenneco Company

PROCESS	3 WIRE CONSUMABLE GUIDE ELECTROSLAG WELDING		POSITION	VERTICAL UP	<input checked="" type="checkbox"/> plate <input type="checkbox"/> casting	Preheat (min) N/A method Torch measured by Tempstick
EQUIP. MENT	Power Supply Polarity Wire Feeder	Hobart RC-1000 DCEP Hobart	CONTROLS: Hobart Multi-Torch Control Box Hobart Multi-Wire Oscillator			PREHEAT SUMP AREA ONLY Interpass N/A
FILLER MAT'L	Size/Type Brand Specification	3/32" Dia./Cored Wire Hobart PS-588 EWT2 (AWS 5.25-78)	5/8" Dia. Guide Tubes Hobart Type No. 58 ASTM A108 Gr. 1018	1/4" Dia. Round Bar Commercial ASTM A108 Gr. 1018		
BASE MAT'L	Dimensions PO/Heat/Lot Specification	5"L x 4"W x 12"T MIL-S-15083 Gr. B	INSU-LATOR Hobart Type No. 59 5/8" Inside Diameter	FLUX Brand/Type Linde 124/F74 Storage Flux oven @ 250°F, Remained warm to touch		
COOLING SHOES	Size/Type Flow Max Temp	24" Long/Copper 1.7 GPM 75 °F	FINAL VISUAL <input checked="" type="checkbox"/> Satisfactory Description MacYO = MT Clear	Visual Defects MacYO = MT Clear	FINAL RT <input type="checkbox"/> Satisfactory <input type="checkbox"/> Unsatisfactory	N/A

Joint Design & Details



$$R.O.t = 1-1/4" \pm 1/16"$$

$$R.O.b = 1-1/4" \pm 1/16"$$

GUIDE TUBE SPACING 3-7/8" & 4-3/4"

	WIRE FEED SPEED	VOLTS	ELECTRODE EXTENSION	AMPERAGE PER WIRE	OSCILLATION				
					DWELL	CYCLE TIME	FREQUENCY	AMPLITUDE	
START	130 ipm	55 V	1-1/2 in.	350-370 A	3 sec.	12 sec.	5 cpm	1 15/16 in.	#2 Experienced a 2 min. delay
RUNNING	170-190 ipm	55 V	-	390-420 A	↓	↓	↓	↓	Final Slag Depth 1 1/4" 3 rows of RD. Bar

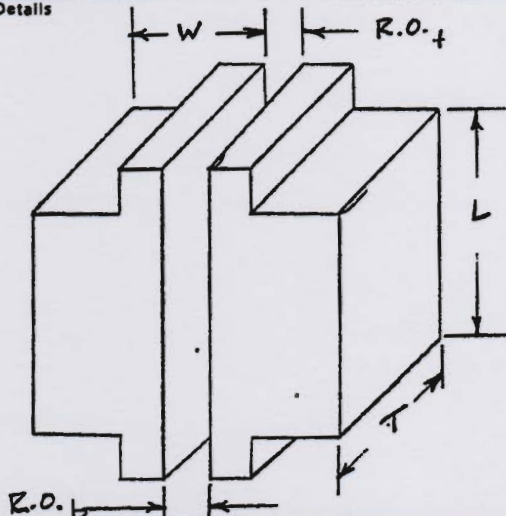
Technicians/SSN Meckley/Byrd	Charge 1026M-9	Date 2/28/85	Joint No. M685-19D
---------------------------------	-------------------	-----------------	-----------------------

ELECTROSLAG DATA SHEET

Newport News Shipbuilding (A Tenneco Company)

PROCESS	WIRE CONSUMABLE GUIDE ELECTROSLAG WELDING		POSITION	VERTICAL UP		<input type="checkbox"/> plate <input checked="" type="checkbox"/> casting	Preheat (min) 150°F
							method Torch
EQUIP. MENT	Power Supply	Hobart RC-1000		CONTROLS:			measured by Tempstick
	Polarity	DCEP		Hobart Multi-Torch Control Box			PREHEAT SUMP AREA ONLY
FILLER MAT'L	Wire Feeder	Hobart		Hobart Multi-Wire Oscillator			Interpass N/A
	Size/Type	3/32" Dia./Solid Wire		5/8" Dia. Guide Tubes		1/4" Dia. Round Bar	
BASE MAT'L	Brand	Hobart 25-P		Hobart Type No. 58		Commercial	
	Specification			ASTM A108 Gr. 1018		ASTM A108 Gr. 1018	
COOLING SHOES	Dimensions	24"L x 12"W x 24"H		Hobart Type No. 59		Brand/Type Linde 124 & PF-2C	
	PO/Heat/Lot	N/R		5/8" Inside Diameter		Storage Flux oven @ 250°F, Remained warm to touch	
FINAL VISUAL	Specification	MIL-S-15083 Gr. B		INSULATOR		FLUX	
	Size/Type	24" Long/Copper		Description		Satisfactory	
FINAL RT	Flow	N/R		Satisfactory		Unsatisfactory N/A	
	Max Temp	175°F		Procedure			

Joint Design & Details



$$R.O.t = 1-1/2" + \frac{1}{16}" - 0$$

$$R.O.b = 1-3/8" + \frac{1}{16}" - 0$$

GUIDE TUBE SPACING 6"

	WIRE FEED SPEED	VOLTS	ELECTRODE EXTENSION	AMPERAGE PER WIRE	OSCILLATION				
					DWELL	CYCLE TIME	FREQUENCY	AMPLITUDE	
START	N/R	N/R	1-1/2 in.	N/R	4 sec.	12 sec.	5 cpm	N/R	Same start settings as -37. Power supply blew a fuse during start. Joint was restarted, after cleaning out the old slag.
RUNNING	225 ipm	55 V	—	500-525 A	↓	↓	↓	↓	
Technicians/SSN				Charge	Date			Joint No.	
Byrd/Meckley				1026M-15	8/8/85			M685-38	

How to create a WPS (page 1)

For automatic creation of a WPS, refer to item 9 on the next page.

1
From Weldspec's main menu bar, click on the small drop-down arrow as shown. Select ASME IX WPS.

2
Fill out your WPS with the same data that appears in this example. For fast data entry, always select the desired data from the drop-down menus or databases rather than typing the information manually. See how this form grows dynamically based on the data entered.

3
When specifying the filler metal, remember to select it from the Filler Material Database instead of manually typing the information. To do this, place the cursor in the "SFA" field and click on the database icon. Locate and select the same filler metals listed in this example and then press the Accept button. Notice that the proper SFA, Classification, F and A numbers are entered automatically. Note: Multiple filler metal classifications may be specified. However, in this example we will only use one for demonstration purposes.

NOTE: Only a few filler metals and base metals are visible in the materials database while in demo mode.

4
In addition to three welding processes, Weldspec also allows you to specify up to five different filler metal sizes for each process. To do this, click inside the filler metal size field and then locate the Add Column icon on the Tool Bar at the top of the screen. Click this icon and watch how this field splits with each click. This will also split any other applicable fields such as the electrical parameters.

5
Notice the missing "Gas" fields for SMAW. This is another feature of the dynamic forms. Weldspec prevents entry of non-relevant information and minimises potential introduction of errors. Helpful features like this are included throughout the software.

WPS (page 2)

To continue entering data into the second page of the WPS, click on the tab at the top of the page entitled "WPS – Page Two".

WPS record number: WPS101 **Revision:** 0 **Qualified to:** ASME Section IX

Date: 28/07/2003

JOINTS (QW-402) Typical joint(s). See actual production drawings and engineering specifications for details.

PREHEAT TABLE

Applicable standard	Preheat temperature (°C)	Thickness (mm)
ASME B31.1	80 (°C for thickness over 25 (mm) and specified maximum carbon content over 0.30%; 10 (°C for all other materials).	
ASME B31.3	10 (°C for thickness less than 25.4 (mm) and specified minimum tensile strength not over 490 (MPa); 80 (°C for 25.4 (mm) and greater thickness, or if specified minimum tensile strength is over 490 (MPa).	
ASME Section VIII Div. 1	75 (°C for thickness over 25 (mm) and specified maximum carbon content over 0.30%; 10 (°C for all other materials).	

POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature (°C): 450 Time (hrs): 1hr/25 mm Type: Stress relief

Heating rate (°C/hr): 200 Method: Furnace

Cooling rate (°C/hr): 200 Method: Still air

TECHNIQUE (QW-410)

Peening: Not used

Surface preparation: _____

Interpass cleaning: Brushing

Back gouging method: Not applicable

NOTES

Prepared by: Name: SVS, Signature: Simon Ward, Date: 30/07/2003

Reviewed by: Name: _____, Signature: _____, Date: _____

Approved by: Name: _____, Signature: _____, Date: _____

Version: 4.10.231 Copyright © 2003 Cooper/TVI Software. All rights reserved worldwide. Catalogue #: WPS0011

6 Weldspec is equipped with a comprehensive database of typical joint details already drawn for you. For more information on these sketches refer to the help system by clicking on Help/Contents. Then select topic 2.2.3.

7 To specify the applicable preheat for the materials entered on page one, simply select up to four standards from Weldspec's drop-down lists and the Code Checking will supply the appropriate data.

8 **Printing this WPS:** When you are ready to print this record, go to the top of the screen and click on File. Then select the second print option which should say Print Unassigned ASME WPS000x.

9 **Automatically create a WPS from a PQR:** another way to create a WPS is to have Weldspec automatically generate the WPS from a PQR. To do this you will need to open a completed PQR. If you have not yet made a PQR, please follow the instructions on the page entitled "How to create a PQR". With a PQR opened, go to the top of the screen and click on File/Save As New. Then select WPS. Weldspec will begin to take all applicable data from the PQR and place it on the WPS. Additionally, notice how the Code Checking supplies you with even more data straight out of the code such as the Thickness and Diameter ranges qualified.

WPS printout sample (page 1)



XYZ Fabrications Ltd
Granta Park, Great Abington, Cambridge, CB1 6AL, UK
ASME IX - WPS - Page 1
Weldspec

WPS record number	WPS101	Revision 0	Qualified to	ASME Section IX
Date	28/07/2003		Competing name	XYZ Fabrications Ltd
Supporting POR(s)	POR101 - Rev 0			
Reference docs	General Welding Standard AWS 1			

Scope	Groove, fillet, impact testing, with PWHT
-------	---

Joint	Joint details for this welding procedure specification in JOINTS section of this WPS
-------	--


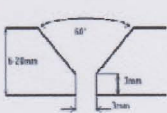
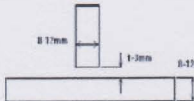
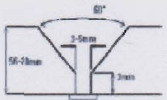
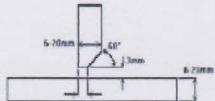
BASE METALS (QW-403)				THICKNESS RANGE QUALIFIED (mm)			
Type	Welded to	Backing	Reinners	As-welded		With PWHT	
				Min.	Max.	Min.	Max.
Carbon steel (P1)	Carbon steel (P1)	None		-	-	4.763	21.94
				-	-	16.97	21.94
				-	-	4.763	21.94
				-	-	no min.	nomax

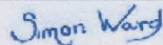
DIAMETER RANGE QUALIFIED (mm)			
As-welded		With PWHT	
Min.	Max.	Min.	Max.
-	-	no min.	nomax

FILLER METALS (QW-404)						THICKNESS RANGE QUALIFIED (mm)			
	SFA	Classification	F-no.	A-no.	Chemical analysis or Trade name	As-welded		With PWHT	
						Min.	Max.	Min.	Max.
SAW	5.1	E7018	4	1		-	-	no min.	8
FAW	5.20	E71T-12M	6	11		-	-	no min.	14
Sup. filler	-	-	-	-	-	- None -			

WELDING PROCEDURE									
Welding process		SAW				FAW			
Type		Manual				Semi-automatic			
Preheat temperature	(°C)	64				64			
Maximum interpass temperature	(°C)	305				305			
Filler metal size	(mm)	3.25		4		1.0		1.2	
Layer number		All		All		All		All	
Position of groove		All		All		All		All	
Weld progression		Uphill		Uphill		Uphill		Uphill	
Current polarity		DC -ve		DC -ve		DC +ve		DC +ve	
Amperage		104-110		110-125		100-120		105-130	
Volts		24-28		26-30		26-31		28-32	
Travel speed	(mm/min)	125		150		200		175	
Maximum heat input	(kJ/mm)	1.4		1.3		1.1		1.3	
Wire feed speed	(mm/min)	-		-		2.4		2.7	
Arc transfer mode		-		-		Spray		Spray	
Shielding:	Gas type	-		-		75% Argon, 25% CO2		-	
	Flow rate	-		-		15		12	
Trailing:	Gas type	-		-		None		-	
	Flow rate	-		-		-		-	
Backing:	Gas type	-		-		None		-	
	Flow rate	-		-		-		-	
Slitting or groove		Slit/groove				Slit/groove/V groove			
Critical gas cusp size		-				15mm			
C.T.W.D.	(mm)	-				18			
Multi/Single pass per side		Multiple passes				Multiple passes			
Maximum pass thickness	(mm)	3				3			
Weld deposit chemistry		-				-			
Notes		-				-			

WPS printout sample (page 2)












		XYZ Fabrications Ltd Grantham Park, Great Abington, Cambridge, CB1 6AL, UK ASME IX - WPS - Page 2 Weldspec	
WPS record number Date	WPS101 28/07/2003	Revision 0	Classified to Company name ASME Section IX XYZ Fabrications Ltd
JOINTS (QW-402) Typical joint(s). See actual production drawings and engineering specifications for details.			
			
			
PREHEAT TABLE Applicable standard			
ASME B31.1	80 °C for thickness over 25 mm and specified maximum carbon content over 0.25% 16 °C for all other materials		
ASME D31.3	16 °C for thickness less than 25.4 mm and specified minimum tensile strength not over 490 MPa 86 °C for 25.4 mm and greater thickness, or if specified minimum tensile strength is over 490 MPa		
ASME Section VIII Div. 1	70 °C for thickness over 25 mm and specified maximum carbon content over 0.25% 16 °C for all other materials		
POST WELD HEAT TREATMENT (QW-401)			
Temperature (°C)	450	Time (hrs)	1hr(25 mm)
Heating rate (°C/hr)	200	Method	Remove
Cooling rate (°C/hr)	200	Method	Still air
Type	Stress relief		
Notes			
TECHNIQUES (QW-410)			
Peening	Not used		
Surface preparation	Brushing		
Interpass cleaning	Not applicable		
Back gouging method	Not applicable		
NOTES			




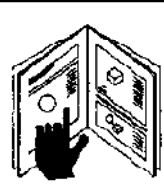


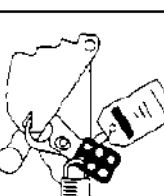
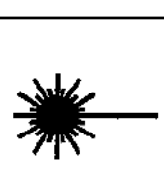
Prepared by		Reviewed by	
Name	Signature	Name	Signature
SYS			
Date		Date	
28/07/2003			
Approved by			
Name	Signature		
Date			


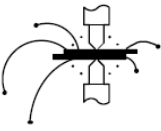
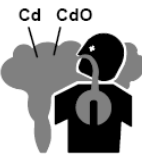






ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β





ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται σχηματικά όλοι οι κίνδυνοι που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια των συγκολλήσεων^[49]. Για την αποφυγή αυτών των κινδύνων είναι απαραίτητη η εφαρμογή κανόνων Υγιεινής και Ασφάλειας^[50].

	Fumes and Gases	
	Radiation	
	Noise	
	Chromium and Nickel in Welding Fume	
		Burn Protection
		Mechanical Hazards
		Tripping and Falling
	Hot Work in Confined Spaces	

	Contact Lens Wear
	Ergonomics in the Welding Environment
	GRAPHIC SYMBOLS FOR PRECAUTIONARY LABELS
	STYLE GUIDELINES FOR SAFETY AND HEALTH DOCUMENTS
	PACEMAKERS AND WELDING
	ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (EMF)
	LOCKOUT/TAGOUT
	LASER WELDING AND CUTTING SAFETY

	<p>THERMAL SPRAYING SAFETY</p>
	<p>RESISTANCE SPOT WELDING</p>
	<p>CADMIUM EXPOSURE FROM WELDING AND ALLIED PROCESSES</p>
	<p>California Proposition 65</p>
	<p>FLUXES FOR ARC WELDING AND BRAZING: SAFE HANDLING AND USE</p>
	<p>METAL FUME FEVER</p>
	<p>Arc Viewing Distance</p>
	<p>Thoriated Tungsten Electrodes</p>
	<p>Oxyfuel Safety: Check Valves and Flashback Arrestors</p>

	Grounding of Portable and Vehicle Mounted Welding Generators
	Cylinders: Safe Storage, Handling, and Use
	Eye and Face Protection for Welding and Cutting Operations
	Personal Protective Equipment (PPE) for Welding and Cutting
	Coated Steels: Welding and Cutting Safety Concerns
	Ventilation for Welding and Cutting
	Selecting Gloves for Welding and Cutting
	Electrical Hazards
	Fire and Explosion Prevention

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εισαγωγή στη Ναυπηγική και Θαλάσσια Τεχνολογία – Σημειώσεις, Β. Παπάζογλου, ΕΜΠ – Αθήνα 1995
2. Ναυπηγική Τεχνολογία – Σημειώσεις, Β. Παπάζογλου, ΕΜΠ – Αθήνα 1995
3. Επιστήμη και τεχνική των συγκολλήσεων – Σημειώσεις, Β. Παπάζογλου, Γ. Παπαδημητρίου – Αθήνα 1994
4. Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, Δ. Παντελής, Γ. Χρυσουλάκης, ΕΜΠ, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996
5. Συγκολλήσεις Μετάλλων, Θ.Α. Διαμαντούδης – Θεσσαλονίκη 2000
6. Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά, Δ. Παντελής – εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996
7. Ship Production – 2nd Edition, R.L. Storch, C.P. Hammon, H.M. Bunch, R.C. Moore, Cornell Maritime Press – Centreville, Maryland
8. Κανόνες για την κατασκευή και κατάταξη χαλύβδινων πλοίων, American Bureau of Shipping
9. Ship Construction – 5th Edition, DJ EYRES
10. Guide for Steel Hull Welding, ANSI/AWS D3.5-93R, An American National Standard, American Welding Society, INC – April 29, 1992
11. Modern Welding Technology, 2nd Edition, H.B. Cary , Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632
12. Modern Welding Technology, 6th Edition, H.B. Cary, S.C. Helzer, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
13. Welding Principles and Applications, 3rd Edition, Larry Jeffus
14. Mitrowski Welding Equipment LTD, www.mitrowskiwelding.com/oclock-welding-machine-p-3380.html
15. Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding, AWS - A5.17.89, An American National Standard, American Welding Society, INC
16. Specification for Bare Low-Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding, AWS - A5.23, An American National Standard, American Welding Society, INC
17. Welding Consumables – Solid wire electrodes, tubular cored electrodes and electrode / flux combinations for submerged arc welding of non alloy and fine grain steels – Classification, BS EN ISO 14171:2010
18. Recycling SAW slag proves Reliable and Repeatable, H.P. Beck & A.R. Jackson, Welding Journal/p.51-54, June 1996

19. ESAB Welding Handbook 5th Edition, Filler materials for manual and automatic welding, K.H. KIM, ESAB
20. Submerged Arc Welding, Miller Electric Mfg. Co
21. Minimized Defects in Submerged Arc Welding, Welding Journal/p.78-79, September 2009
22. Four-wire electrode Submerged arc Welding process for production of longitudinally welded pipes, U. Dilthey – Japan-German Colloquium/p.114-123, Welding Technology and Economics, 17th May, 1983, Tokyo
23. Effect of electrochemical Reactions on Submerged Arc Weld Metal Compositions by Kim, Frost, Olson, Blander, Annual AWS Meeting, 1987
24. Precalculation of Weld Metal Composition in Submerged Arc Welding, Herman Their – Japan-German Colloquium/p.104-113, Welding Technology and Economics, 17th May, 1983, Tokyo
25. Slag-metal reactions in Submerged Arc Welding, Belton, Moore, Tankins - Welding Journal 42(7)
26. Slag-metal equilibrium during submerged arc welding, Chai, Eagar – Metall Trans B 12B
27. Effect of submerged arc welding parameters and fluxes on element transfer behavior and weld metal chemistry, Pandey, Bharti – Journal of Material Processing Technology
28. Role or retained ferrite on the Thermal Fatigue Cracking resistance in martensitic stainless steel weldment, material Science and Engineering, A339(2003)
29. Effect of residual stress on thermal fatigue in a type 420 martensitic stainless steel weldment, Journal of Materials Processing Technology, 138(2003)
30. ESAB, Technical Handbook, Submerged Arc Welding, ESAB AB, 2008
31. Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio 44117
32. Electroslag Welding & Surfacing, B.E. Paton, Volume I & II
33. Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Electroslag Welding, ANSI/AWS A5.25/A5.25M-97 (R2009), American Welding Society
34. Welding consumables. Fluxes for Submerged Arc Welding and Electroslag Welding. Classification, BS EN ISO 14174:2012
35. Structural Welding Code-Steel, ANSI/AWS D1.1-96, American Welding Society, Miami
36. Bridge Welding Code, AWS/AASHTO D15-95, American Welding Society
37. Electroslag Welding Speeds Shipbuilding, Parrot, Ward, Utrachi, 1974, Welding Journal 53(4)-218-222
38. Joining Technology and Quality Control, R.A.Manley, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Ship Structure Symposium, 6-8/10/1975

39. Applications and trends in Electroslag Welding in the United States. Proceedings of Electroslag Processing for Marine Applications, Report EW-20-85, United States Naval Academy
40. Consumable Guide Electroslag Welding of 4 to 24 Inch thick Carbon Steel Castings. The National Shipbuilding Research Program, US Department of Transportation – Maritime Administration in Cooperation with Newport News Shipbuilding, 1986
41. Electroslag Welding of an Advanced Double-Hull Design Ship, Welding Journal/p.49-52 Aug 1997
42. Heat Generation Patterns and Temperature Profiles in Electroslag Welding, Metallurgical Transactions, Volume 11B, Dec 1980
43. A Parametric Study of the Electroslag Welding Process, Welding Research Supplement, Dec 1982
44. Recommended Practices for Electroslag Welding, AWS C5.7:2000 R(2006), American Welding Society
45. Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Electrodes for Electroslag Welding ANSI/AWS A5.26/A5.26M-97 R(2009), American Welding Society
46. Consumables for Electroslag & Electroslag Welding, Rules and Regulations for the Classification of Ship, Part 2. Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Material
47. Electroslag Welding of Advanced Double-Hull Subassemblies, Juers, McConnell, Welding Journal 75(1), January 1996
48. BS EN ISO 15609-1, www.scribd.com/doc/48260819/BS-EN-ISO-15609-1
49. AWS SAFETY & HEALTH FACT SHEETS www.aws.org/w/a/technical/facts/index.html
50. SAFETY IN WELDING, CUTTING AND ALLIED PROCESSES. ANSI Z49.1:2012 An American National Standard