



ΕΜΠΟΡΙΚΟ &
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ
ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ
ΠΕΙΡΑΙΩΣ



Τεχνικός Συγκολλήσεων





ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Γενική Γραμματεία Δημοσίων Επενδύσεων - ΕΣΠΑ
Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης
Ε.Π. "Ανταγωνιστικότητα & Επιχειρηματικότητα"

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΕΘΝΙΚΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΩΝ»

ΕΘΝΙΚΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013

«Διάχυση αποτελεσμάτων αξιοποίησης του εκπαιδευτικού υλικού»

της Πράξης «Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα για ανέργους και επαπειλούμενους ανέργους των βιομηχανικών κλάδων της ευρύτερης περιοχής τους Πειραιά, μέσω της παροχής υπηρεσιών επαγγελματικής συμβουλευτικής, κατάρτισης/ επανακατάρτισης με στόχο την αναβάθμιση των επαγγελματικών τους δεξιοτήτων»

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
1. Μέταλλα - Κράματα	3
1.1. Φυσικές ιδιότητες των μετάλλων	3
1.2. Η δομή των μετάλλων	4
1.3. Ο μεταλλικός δεσμός	4
1.4. Η κοκκώδης δομή των μετάλλων	5
1.5. Η επίδραση της κοκκώδους δομής στις μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων	7
1.6. Η επίδραση της συγκόλλησης στην κοκκώδη δομή των μετάλλων και στην αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων τους.....	7
1.7. Η σημασία των προσμίξεων.....	8
1.8. Τα μέταλλα	9
1.9. Ο σίδηρος και οι χάλυβες	9
1.9.1. Η παραγωγή του χάλυβα	9
1.9.2. Κατηγοριοποίηση και ονοματολογία χαλύβων.....	13
1.9.3. Οι ανθρακούχοι χάλυβες.....	17
1.9.4. Οι κραματούχοι χάλυβες.....	18
1.9.5. Οι χυτοσίδηροι	19
1.9.6. Η δημιουργία φυσαλίδων κατά τη συγκόλληση	20
1.10. Μη σιδηρούχα κράματα	21
1.10.1. Τα κράματα χαλκού (Cu)	21
1.10.2. Τα κράματα του αλουμινίου (Al).....	21
1.10.3. Οι ονομασίες των κραμάτων αλουμινίου και χαλκού	22
2. Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων - συγκολλήσεων	24
2.1. Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας των συγκολλήσεων	24
2.2. Η τεχνολογία συνδέσεων - συγκολλήσεων	25
2.3. Είδη συγκολλήσεων	26
2.4. Αυτογενείς συγκολλήσεις	28
2.5. Ετερογενείς συγκολλήσεις	29
2.6. Συγκολλήσεις πίεσης.....	30
2.7. Ονοματολογία και συμβολισμός συγκολλήσεων	30
2.7.1. Κωδικοποίηση για τις κυριότερες μεθόδους συγκόλλησης.....	30
2.7.2. Θέσεις Συγκόλλησης	31
2.7.3. Προετοιμασία των άκρων πριν την συγκόλληση και συμβολισμός.....	33
3. Κοπή και διαμόρφωση άκρων συγκόλλησης	39
3.1. Εισαγωγή.....	39
3.2. Κοπή με χρήση φλόγας	39
3.2.1. Ιδιότητες των αερίων που χρησιμοποιούνται.....	41
.....	43
3.2.2. Διατάξεις ασφαλείας.....	43
3.2.3. Εργαλεία	48
3.3. Κοπή με δέσμη πλάσματος	51

3.3.1. Περιδίνηση του αερίου	52
3.3.2. Η Εκκίνηση του Τόξου Πλάσματος	54
3.3.3. Διπλό Τόξο	55
3.3.4. Οι μεταβλητές της διαδικασίας κοπής	56
3.4. Κοπή με δέσμη λέιζερ	59
3.4.1. Βασικές αρχές	59
3.4.2. Μέθοδοι κοπής με λέιζερ	61
3.4.3. Ποιότητα κοπής με λέιζερ	61
3.5. Κοπή με ηλεκτρόδιο άνθρακα (γραφίτη)	62
3.6. Κοπή με επενδυμένο ηλεκτρόδιο κοπής	64
3.7. Υδροκοπή	64
3.7.1. Εφαρμογές υδροκοπής	65
3.7.2. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα	66
4. Μέθοδοι συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο – Εξοπλισμός - Πηγές	67
4.1. Εισαγωγή	67
4.2. Βασικό ηλεκτρικό κύκλωμα συγκόλλησης	68
4.3. Προστασία του τόξου	69
4.4. Φυσική του τόξου	71
4.5. Μέθοδοι έναυσης τόξου	71
4.6. Φύσημα τόξου και τρόποι αντιμετώπισης	73
4.7. Παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του τόξου	74
4.8. Τα είδη των συγκολλήσεων τόξου	75
4.9. Ηλεκτρικές πηγές συγκολλήσεων τόξου	75
4.9.1. Βασικά στοιχεία των πηγών συγκόλλησης	76
4.9.2. Δυναμικά χαρακτηριστικά των πηγών συγκόλλησης	79
4.9.3. Ψύξη και προστασία των πηγών συγκόλλησης	80
4.9.4. Κωδικοποίηση βαθμού προστασίας από εξωτερικούς παράγοντες	81
4.10. Πότε χρησιμοποιείται η κάθε μορφή ηλεκτρικού ρεύματος	81
5. Μέθοδος συγκόλλησης με επενδυμένο ηλεκτρόδιο	83
5.1 Εισαγωγή	83
5.2. Αρχή λειτουργίας	84
5.3. Κύρια Χαρακτηριστικά	86
5.4. Συμπεριφορά του τόξου συγκόλλησης	88
5.5. Χαρακτηριστικά επικάλυψης Ηλεκτροδίων	90
5.5.1. Βαθμός Επικάλυψης	91
5.5.2. Ηλεκτρόδια υψηλής απόδοσης	91
5.5.3. Τύποι Επικάλυψης	93
5.6. Σκοπός της επικάλυψης	93
5.6.1. Σχηματισμός πάστας	94
5.6.2. Ιονισμός	94
5.6.3. Δημιουργία αερίων προστασίας	94
5.6.4. Αποξείδωση	95
5.6.5. Επιβελτίωση μέσω κραμάτωσης	95
5.7. Περιγραφή των διάφορων τύπων επικάλυψης	96

5.7.1. Όξια Ηλεκτρόδια (Σύμβολο, “A”).....	96
5.7.2. Ηλεκτρόδια Ρουτιλίου (Σύμβολο, “R-RR”)	97
5.7.3. Βασικά Ηλεκτρόδια (Σύμβολο, “B”)	97
5.7.4. Ηλεκτρόδια Σελουλόζης (Σύμβολο, “C”)	99
5.7.5. Σύγκριση των διαφορετικών τύπων ηλεκτροδίου	100
5.8. Επίδραση των διαφόρων παραμέτρων συγκόλλησης	101
5.9. Συσκευασία & Συντήρηση ηλεκτροδίων	103
5.9.1. Συσκευασία σε κουτιά.....	103
5.9.2. Βασικά Ηλεκτρόδια	103
5.10. Κριτήρια επιλογής ηλεκτροδίου	104
5.11. Κωδικοποίηση Ηλεκτροδίων.....	105
6. Μέθοδος συγκόλλησης με παρουσία προστατευτικού αερίου	112
6.1. Εισαγωγή.....	112
6.2. Προστατευτικά αέρια συγκόλλησης	116
6.2.1. Ειδικά χαρακτηριστικά των αερίων συγκόλλησης	119
6.3. Ημιαυτόματη μέθοδος συγκόλλησης με σύρμα (MIG/MAG).....	123
6.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου	125
6.3.2. Εξοπλισμός συγκολλήσεων MIG/MAG.....	126
6.3.3. Πηγές ρεύματος	126
6.3.4. Τύπος ρεύματος και πολικότητα.....	128
6.3.5. Πυρσός (όπλο) συγκόλλησης	128
6.3.6. Σύστημα τροφοδοσίας σύρματος	131
6.3.7. Υλικά πλήρωσης	132
6.3.8. Τρόποι μεταφοράς τηγμένου υλικού πλήρωσης (transfer modes)	133
6.3.9. Μίγματα προστατευτικών αερίων για τις συγκολλήσεις MIG/MAG	135
6.3.10. Παράμετροι λειτουργίας.....	136
6.4. Ημιαυτόματη μέθοδος συγκόλλησης με παραγεμιστό σύρμα (FCAW).....	138
6.4.1. Εισαγωγή.....	138
6.5. Η μέθοδος συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο βολφραμίου (TIG)	140
6.5.1. Εισαγωγή.....	140
6.5.2. Περιορισμοί της μεθόδου	141
6.5.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου συγκόλλησης TIG.....	142
6.5.4. Εξοπλισμός συγκολλήσεων TIG.....	143
6.5.5. Ηλεκτρικές πηγές.....	143
6.5.6. Πυρσός (όπλο) συγκόλλησης	144
6.5.7. Τύποι ρεύματος.....	145
6.5.8. Το ηλεκτρόδιο του βολφραμίου	146
6.5.9. Προστασία της ρίζας	154
7. Συγκολλήσεις βυθισμένου τόξου	156
7.1. Εισαγωγή.....	156
7.2. Πλεονεκτήματα, περιορισμοί και κύριες εφαρμογές της μεθόδου	158
7.3. Εξοπλισμός συγκολλήσεων βυθισμένου τόξου	159
7.4. Αναλώσιμα συγκόλλησης βυθιζόμενου τόξου	161
7.4.1. Ηλεκτρόδια - σύρματα	162

7.4.2. Σκόνες συγκόλλησης	162
7.4.3. Συνδυασμός σκόνης σύρματος	164
7.5. Παράμετροι λειτουργίας.....	164
8. Σχεδιασμός και μεταλλουργία των συγκολλήσεων	166
8.1. Σχεδιασμός Συγκολλήσεων	166
8.1.1. Προετοιμασία των άκρων συγκόλλησης.....	166
8.1.2. Οι εσωραφές ή βυθισμένες ραφές	168
8.1.3. Οι εξωραφές ή γωνιακές ραφές.....	170
8.1.4. Ο συμβολισμός των συγκολλήσεων.....	171
8.1.5. Οι θέσεις ηλεκτροσυγκόλλησης.....	175
8.2. Μεταλλουργία συγκολλήσεων	176
8.2.1 Η κοκκώδης δομή των μετάλλων	176
8.2.2. Η επίδραση της κοκκώδους δομής στις μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων ..	178
8.2.3. Η επίδραση της συγκόλλησης στην κοκκώδη δομή των μετάλλων και στην αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων τους	178
8.2.4. Η σημασία των προσμίξεων	179
8.2.5. Τα μέταλλα	180
8.2.6. Ο σίδηρος και οι χάλυβες.....	180
9. Συγκολλήσεις Ανοξειδωτων χαλύβων, χυτοσιδήρων και μη-σιδηρούχων υλικών.....	184
9.1. Ανοξειδωτοι χάλυβες	184
9.1.1. Επίδραση των κραματικών στοιχείων	185
9.1.2. Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες	185
9.1.3. Φερριτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	189
9.1.4. Διφασικοί (duplex) ανοξειδωτοι χάλυβες	190
9.1.5. Μαρτενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες	191
9.2. Τα κράματα αλουμινίου.....	191
9.2.1. Εισαγωγή - Ιδιότητες	191
9.2.2. Κατηγοριοποίηση κραμάτων αλουμινίου	194
9.2.3. Συγκολλήσεις αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου	196
9.3. Κράματα χαλκού	200
9.3.1. Ορείχαλκος	201
9.3.2. Μπρούντζος.....	202
9.3.3. Ταξινόμηση κραμάτων χαλκού	204
9.3.4. Συγκολλήσεις χαλκού και κραμάτων χαλκού	204
9.4. Τα κράματα νικελίου.....	208
9.4.1. Σύσταση και ταξινόμηση των κραμάτων νικελίου	208
9.4.2. Συγκολλήσεις νικελίου και κραμάτων νικελίου	210
9.4.3. Τεχνικές συγκόλλησης.....	210
9.5. Χυτοσίδηροι	213
9.5.1. Λευκοί χυτοσίδηροι.....	214
9.5.2. Γκριζοί χυτοσίδηροι.....	216
9.5.3. Σφαιροειδείς χυτοσίδηροι.....	217
9.5.4. Συγκόλληση χυτοσιδήρων	217
10. Ελαττώματα συγκολλήσεων και ποιοτικός έλεγχος αυτών.....	221

10.1. Παραμορφώσεις	222
10.2 Ρηγματώσεις	226
10.3. Η παρουσία πόρων και λοιπών ελαττωμάτων	229
10.4. Η προθέρμανση.....	230
10.5. Ο ποιοτικός έλεγχος της ηλεκτροσυγκόλλησης	231
10.5.1. Η αποδοχή της ηλεκτροσυγκόλλησης μετά από τον έλεγχο.....	231
10.5.2. Η οπτική επιθεώρηση.....	232
10.5.3. Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές.....	233
10.5.4. Οι καταστρεπτικές δοκιμές.....	236
11. Πιστοποίηση προσωπικού συγκολλήσεων και θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης.....	237
11.1. Πιστοποίηση προσωπικού συγκολλήσεων	237
11.1.1. Έγκριση διαδικασιών συγκόλλησης και η πιστοποίηση καταλληλότητας συγκολλητών	238
11.2. Θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης.....	240
11.2.1. Η προστασία της όρασης και του προσώπου με τη μάσκα	243
Βιβλιογραφία	248

Εισαγωγή

Οι συγκολλήσεις ανήκουν στην κατηγορία των μόνιμων συνδέσεων ανάμεσα σε τεμάχια. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της θερμότητας, είναι σύνδεση κρυσταλλική και έχει στόχο το τελικό τεμάχιο να έχει την ίδια αντοχή με τα αρχικά κομμάτια.

Από την εποχή της αρχαιότητας εμφανίζονταν διαδικασίες συγκόλλησης, που βασιζόνταν κυρίως στη μέχρι τότε γνώση των υλικών. Έτσι, η συγκόλληση με χύτευση καθιερώθηκε από τους αρχαίους χρόνους ως η κύρια μορφή σύνδεσης και επισκευής σπασμένων κατασκευών από μπρούντζο ή χυτοσίδηρο. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η συγκόλληση σε κάμνο (καμινοσυγκόλληση), η κασσιτεροκόλληση, που χρησιμοποιείται μέχρι τις μέρες μας, ιδιαίτερα στη λευκοσιδηρουργία, η μπρουτζοκόλληση κ.λπ..

Η πιο κλασική μέθοδος συγκόλλησης, που είναι η συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη, εμφανίστηκε στην αρχή του εικοστού αιώνα. Από τότε πολλές διαφορετικές μέθοδοι έχουν ανακαλυφθεί και προσφέρονται για την πραγματοποίηση πολύπλοκων προϊόντων. Η λίστα με τα αντικείμενα ή προϊόντα, που έχουν συγκολλητά μέρη είναι ατελείωτη και περιλαμβάνει από στοιχεία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μέχρι πλοία, μηχανές αεριοθούμενων, αυτοκίνητα, γέφυρες, μεταλλικά έπιπλα, κτίρια με μεταλλικό σκελετό κ.λπ..

Μία κατηγοριοποίηση των συγκολλήσεων τις κατατάσσει σε δύο κατηγορίες, τις αυτογενείς συγκολλήσεις και τις ετερογενείς συγκολλήσεις.

Στις αυτογενείς συγκολλήσεις απαιτείται τοπικά λιώσιμο των προς συγκόλληση τεμαχίων και τοποθέτηση ή όχι ενός συγκολλητικού μέσου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συγκολλήσεων είναι η οξυγονοσυγκόλληση, η ηλεκτροσυγκόλληση, η συγκόλληση με αντίσταση, με Laser κ.λπ..

Στις ετερογενείς συγκολλήσεις δε χρειάζεται τοπική τήξη των αντικειμένων, που θα συγκολληθούν, παρά μόνο θέρμανση και εναπόθεση λιωμένου συγκολλητικού υλικού. Τέτοιες συγκολλήσεις είναι η κασσιτεροκόλληση, η μπρουτζοκόλληση κ.λπ..

Οι συγκολλήσεις ως μέσο σύνδεσης αντικατέστησαν όλες τις μεθόδους λυόμενων συνδέσεων (κοχλιοσυνδέσεις, ηλώσεις), εκεί βέβαια που δε χρειαζόταν η σύνδεση να είναι

λυόμενη. Για την παραγωγή σύνθετων κατασκευών, οι συγκολλήσεις αντικατέστησαν την πολύ δαπανηρότερη χύτευση.

Τα πλεονεκτήματα των συγκολλήσεων απέναντι στη χύτευση είναι: οικονομία στο υλικό, μικρότερο κόστος και πραγματοποίηση σύνθετων κατασκευών, που με τη χύτευση είναι αδύνατες ή πολύ δύσκολες. Μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι συγκολλήσεις σχετίζονται κυρίως με τη συγκολλητικότητα των υλικών, δηλαδή την ιδιότητα ενός υλικού να μπορεί να συγκολληθεί.

1. Μέταλλα - Κράματα

1.1. Φυσικές ιδιότητες των μετάλλων

Τα μέταλλα παρουσιάζουν χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες. Αυτές είναι:

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

Επίσης:

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

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

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

Κατά συνέπεια, για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ως μέταλλο, θα πρέπει να δούμε αν έχει όλες μαζί τις ιδιότητες που προαναφέραμε.

Ο βαθμός που παρουσιάζει ένα μέταλλο την κάθε ιδιότητά του ποικίλλει. Π.χ.:

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

1.2. Η δομή των μετάλλων

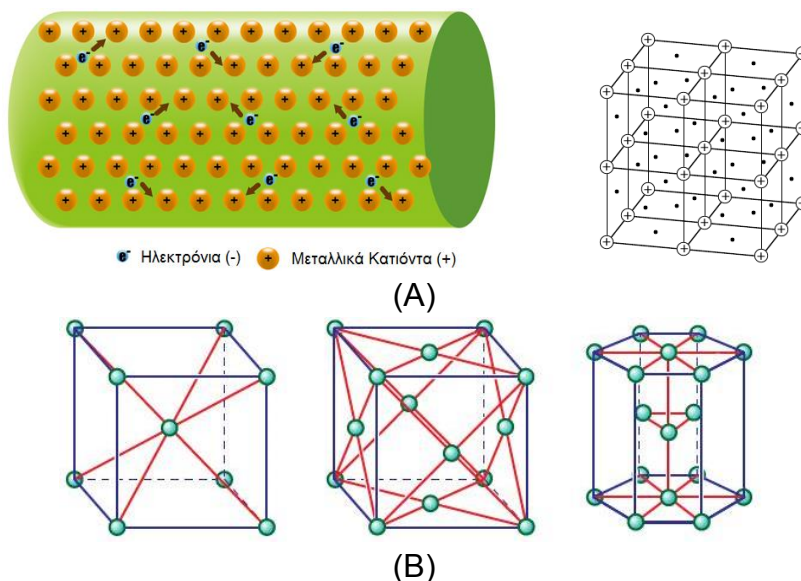
Η δομή των μετάλλων παρουσιάζει τις εξής δύο χαρακτηριστικές ιδιότητες:

- Το μεταλλικό δεσμό
- Η μάζα τους αποτελείται από κόκκους κρυστάλλων

Στη συνέχεια αναπτύσσονται αυτά τα δύο χαρακτηριστικά της δομής των μετάλλων.

1.3. Ο μεταλλικός δεσμός

Στα μέταλλα, οι πυρήνες των ατόμων είναι διατεταγμένοι σε κανονικές πολυεδρικές μορφές, που ονομάζονται «κρυσταλλικά πλέγματα». Στην Εικόνα 1 βλέπουμε μία απλή περίπτωση τέτοιας διάταξης. Οι μορφές αυτές ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του κάθε μετάλλου και τη θερμοκρασία του.



Εικόνα 1: Παράδειγμα διάταξης των ατόμων εντός των μετάλλων.
(A) Το κρυσταλλικό πλέγμα, (B) Η κυψελίδες του κρυσταλλικού πλέγματος

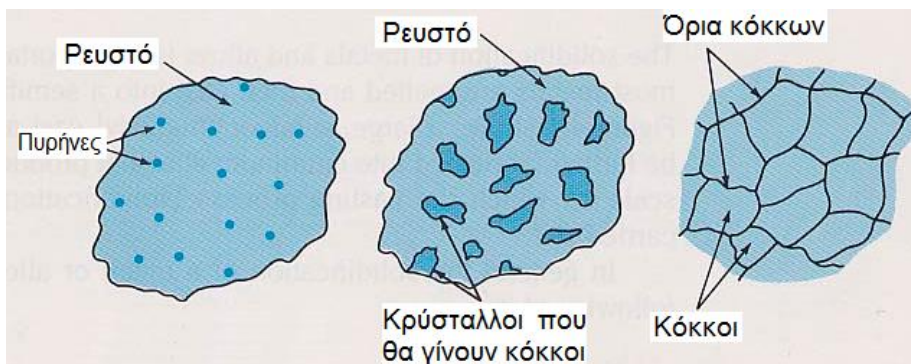
Το ερώτημα που τίθεται είναι «πού βρίσκονται τα ηλεκτρόνια;». Η απάντηση βρίσκεται σ' αυτό που αποκαλείται μεταλλικός δεσμός. Τα ηλεκτρόνια μπορούμε να τα φανταστούμε ως περιπλανώμενα ελεύθερα μέσα στη μάζα του μετάλλου και όχι γύρω από συγκεκριμένους πυρήνες, όπως γίνεται στους χημικούς δεσμούς. Υπάρχει δηλαδή ένα

«νέφος ηλεκτρονίων» που μετακινείται εύκολα κάτω από την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Για το λόγο αυτό τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

1.4. Η κοκκώδης δομή των μετάλλων

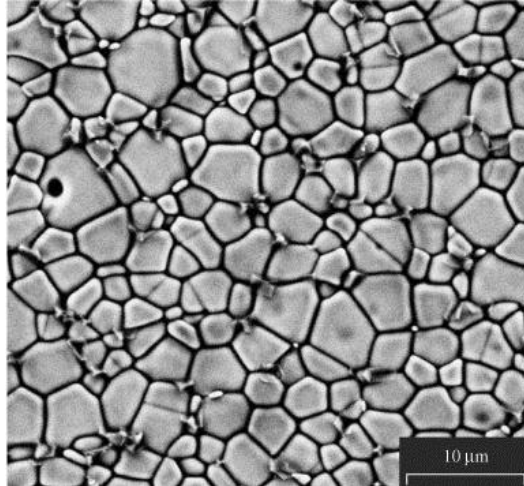
Η μάζα ενός μεταλλικού τεμαχίου αποτελείται από πολλούς κρυστάλλους που τους ονομάζουμε «κόκκους» και που στον κάθε ένα από αυτούς τα άτομα είναι διατεταγμένα με μία γεωμετρική μορφή, όπως αυτή που είδαμε στην Εικόνα 1. Ο σχηματισμός των κόκκων οφείλεται στον τρόπο που παράγονται τα μέταλλα. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στις διαδοχικές φάσεις της Εικόνας 2.

Στην αρχή το μέταλλο βρίσκεται σε υγρή μορφή, κάτω από υψηλή θερμοκρασία. Ενώ η θερμοκρασία αρχίζει να ελαττώνεται, αρχίζει η στερεοποίηση. Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα φαίνονται στο Σχήμα και μπορούν να περιγραφούν ως εξής:



Εικόνα 2: Οι διαδοχικές φάσεις στερεοποίησης του μετάλλου και ο σχηματισμός των κόκκων

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



Εικόνα 3: Φωτογραφία από μικροσκόπιο στην οποία φαίνεται η κοκκώδης δομή των μετάλλων. Διακρίνονται σαφώς τα όρια των κόκκων

Στα σημεία επαφής των κόκκων, η πολυεδρική διάταξη της Εικόνας 3 έχει διαταραχτεί. Τα άτομα βρίσκουν τις θέσεις ισορροπίας τους αλλά με ακανόνιστες μορφές.

Η παραπάνω διαδικασία στερεοποίησης του μετάλλου καταλήγει σε μία δομή στην οποία έχουμε:

- Τους κόκκους του μετάλλου με την κανονική κρυσταλλική δομή τους
- Τις επιφάνειες που ενώνονται οι κόκκοι μεταξύ τους, οι οποίες αποτελούν περιοχές ακαταστασίας της κρυσταλλικής δομής.

Τους κόκκους μπορούμε να τους δούμε κάτω από μικροσκόπιο, αφού γίνει η κατάλληλη επεξεργασία στην επιφάνεια του μετάλλου. Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται μία φωτογραφία της κοκκώδους δομής ενός μετάλλου.

Η πρώτη εντύπωση, που ίσως σχηματίζεται στον αναγνώστη, είναι ότι η ανομοιομορφία στα όρια των κόκκων είναι ανεπιθύμητη. Αυτό όμως δεν είναι αληθές. Επιδιώκουμε ακριβώς το αντίθετο, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

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

Ένα μέταλλο, που θα αποτελείτο από ένα και μοναδικό κρύσταλλο, θα έσπαγε πολύ εύκολα. Οι καλές μηχανικές ιδιότητες (αντοχή, ελαστικότητα) οφείλονται στην αντοχή που παρουσιάζουν τα σημεία που ενώνονται οι κόκκοι μεταξύ τους. Ο κανόνας που πρέπει να γνωρίζουμε είναι:

Όσο μικρότεροι είναι οι κόκκοι ενός μεταλλικού τεμαχίου, τόσο καλύτερες είναι οι μηχανικές του ιδιότητες.

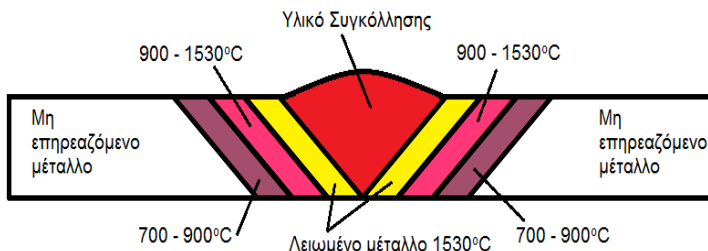
Το μέγεθος των κόκκων ποικίλλει. Για να δοθεί μία ιδέα για το μέγεθός τους, αναφέρουμε ότι η μέση διάμετρος στους χάλυβες κυμαίνεται από 0,022 mm μέχρι 0,25 mm. Οι χάλυβες με μέσο μέγεθος κόκκου μικρότερο από 0,088 mm ονομάζονται λεπτόκοκκοι, ενώ πάνω από αυτό το όριο ονομάζονται χοντρόκοκκοι.

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

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

(α) Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ)

Η συγκόλληση των μετάλλων γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την ψύξη γίνεται ανακρυστάλλωση γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Η ζώνη επιρροής επεκτείνεται μέχρι το σημείο που η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από ένα όριο που αποτελεί προϋπόθεση για την εμφάνιση της ανακρυστάλλωσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Η περιοχή αυτή ονομάζεται **Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη** και συμβολίζεται ως **ΘΕΖ**.



Εικόνα 4: Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ) σε έναν ανθρακούχο χάλυβα.

Στη ΖΕΘ η δομή του μετάλλου μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συγκόλληση.

Το αποτέλεσμα είναι, σχεδόν πάντοτε, να έχουμε μείωση της αντοχής γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Ο κανόνας είναι:

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

(β) Ανόπτηση- Βαφή - Επαναφορά

Δύο βασικές έννοιες που έχουν σχέση με τη δημιουργία της κοκκώδους μορφής ενός μετάλλου είναι η ανόπτηση και η βαφή. Πρόκειται για δύο θερμικές κατεργασίες που συνήθως γίνονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Αλλά, κατά τη συγκόλληση, αυτές γίνονται άθελά μας και επηρεάζουν άμεσα τις μηχανικές ιδιότητες.

Ανόπτηση είναι η θέρμανση ενός μετάλλου σε μία θερμοκρασία τέτοια που να αρχίζει η ανακρυστάλλωσή του. Με την εφαρμογή ενός ελεγχόμενου ρυθμού ψύξης μπορούμε να έχουμε μέταλλο με την επιθυμητή κρυσταλλική δομή και το επιδιωκόμενο μέγεθος κόκκου.

Βαφή είναι η απότομη ψύξη του μετάλλου, η οποία, συνήθως, γίνεται όταν ρίχνουμε το μέταλλο σε νερό. Το αποτέλεσμα είναι να μην υπάρχει χρόνος για την ομαλή ανακρυστάλλωση και να προκύπτει μέταλλο σκληρό, αλλά συγχρόνως εύθραυστο. Όταν ο ηλεκτροσυγκολλητής, μετά τη συγκόλληση, ρίχνει το καυτό τεμάχιο στο νερό, για να το ψύξει ταχύτερα, του προκαλεί βαφή, δηλαδή το κάνει σκληρό και εύθραυστο.

Ένα μεταλλικό τεμάχιο που υπεβλήθη σε βαφή, αν υποστεί ανόπτηση, θα γίνει πάλι ελαστικό, αλλά θα χάσει τη σκληρότητά του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επαναφορά.

1.7. Η σημασία των προσμίξεων

Η κρυσταλλική μορφή μέσα στον κάθε κόκκο διαταράσσεται εξ αιτίας ξένων προσμίξεων. Δεν υπάρχει τρόπος παραγωγής απόλυτα καθαρού μετάλλου. Τα άτομα των προσμίξεων εισέρχονται στην κρυσταλλική δομή των κόκκων και την ανατρέπουν. Συχνά, επίσης, δημιουργούν χημικές ενώσεις οι οποίες διασπείρονται μέσα στη μάζα του μετάλλου.

Σημαντική επισήμανση: Εδώ θα μπορούσε να δημιουργηθεί η εσφαλμένη εντύπωση ότι η παρουσία των προσμίξεων είναι ανεπιθύμητη. Αυτό όμως δεν είναι αληθές. Αν και υπάρχουν επιβλαβείς προσμίξεις, υπάρχουν και άλλες που είναι χρήσιμες και βελτιώνουν τις ιδιότητες των μετάλλων, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

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

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

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

1.8. Τα μέταλλα

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

- Ο σίδηρος
- Το αλουμίνιο
- Ο χαλκός

Αρκετά, ακόμη, μέταλλα, αλλά και ορισμένα αμέταλλα, συμμετέχουν υπό μορφή προσμίξεων, σε μικρά κυρίως ποσοστά, για τη διαμόρφωση κραμάτων με βελτιωμένες ιδιότητες (π.χ. με μεγάλη μηχανική αντοχή).

Οι κυριότερες προσμίξεις που υπάρχουν στα κράματα είναι οι εξής:

- Στα κράματα σιδήρου: ο άνθρακας (C) και το πυρίτιο (Si) που είναι αμέταλλα, καθώς και τα μέταλλα χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni).
- Στα κράματα αλουμινίου: Το πυρίτιο (Si), το μαγνήσιο (Mg) και ο χαλκός (Cu).
- Στα κράματα χαλκού: Ο ψευδάργυρος (Zn) και ο κασσίτερος (Sn).

Η περιεκτικότητα ενός στοιχείου συμβολίζεται για συντομία με το π. π.χ. $\pi(C)=0,12\%$, $\pi(Si)=0,5\%$ κτλ.

1.9. Ο σίδηρος και οι χάλυβες

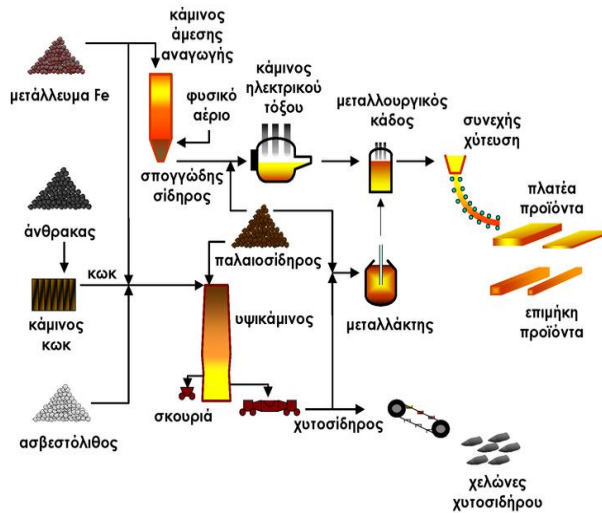
1.9.1. Η παραγωγή του χάλυβα

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

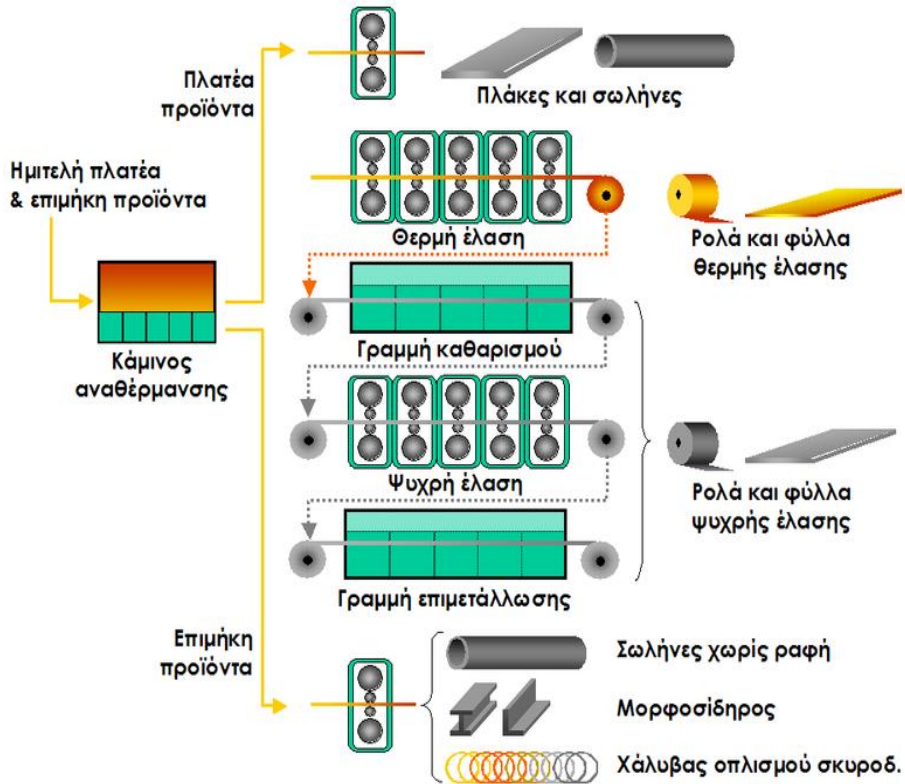
1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου·
2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (Direct

reduced iron ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου· και

- με την ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).

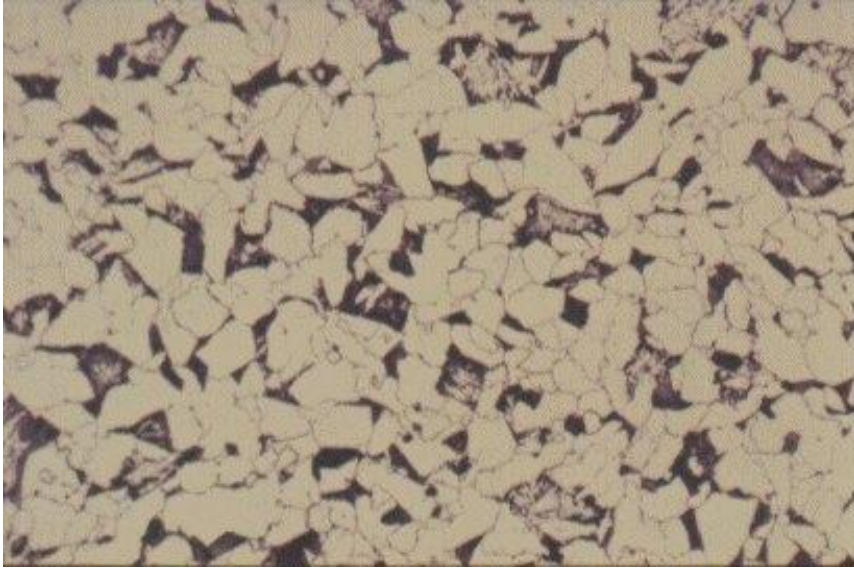


Εικόνα 5: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα



Εικόνα 6: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα

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



Εικόνα 7: Φωτογραφία από μικροσκόπιο στην οποία φαίνονται οι κόκκοι ανθρακούχου χάλυβα

Ανάλογα με το είδος των βασικών προσμίξεων διακρίνουμε τις εξής ομάδες υλικών που έχουν ως βάση το σίδηρο:

- Ανθρακούχοι χάλυβες: Τα μέταλλα που αποτελούνται κυρίως από σίδηρο και άνθρακα με $\pi(C) \leq 2\%$, ονομάζονται χάλυβες. Συνήθως όμως $\pi(C) < 0,80\%$.
- Κραματούχοι χάλυβες: Στους χάλυβες μπορεί να έχουμε και μη σιδηρούχες προσμίξεις, κυρίως νικέλιο (Ni) και χρώμιο (Cr), οπότε έχουμε τους κραματούχους ή κραματικούς χάλυβες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι ανοξείδωτοι χάλυβες.
- Χυτοσίδηροι: Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα άνθρακα και συγκεκριμένα $\pi(C) = 3-4\%$.

Ως «σίδηρο» χαρακτηρίζεται το υλικό που έχει $\pi(C) \leq 0,008\%$, που ουσιαστικά σημαίνει σχεδόν πλήρης απουσία άνθρακα («σίδηρος» είναι το χημικό στοιχείο).

Με βάση τα παραπάνω, είναι σαφές ότι ο τεχνικός όρος «σίδηρο» δε θα έπρεπε να υπάρχει στην αγορά των υλικών. Θα έπρεπε να υπάρχει μόνο ο όρος χάλυβας. Όμως ο όρος «σίδηρο» συνυπάρχει με τον όρο «χάλυβας» και χρησιμοποιείται ευρέως μεταξύ των τεχνικών.

1.9.2. Κατηγοριοποίηση και ονοματολογία χαλύβων

1.9.2.1. Ταξινόμηση Χαλύβων

- Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση: Διακρίνονται σε κοινούς ή ανθρακούχους και σε κραματωμένους χάλυβες.
- Ανάλογα με τον προορισμό τους: Διακρίνονται σε χάλυβες διαμόρφωσης και χυτοχάλυβες.
- Ανάλογα με τη χρήση τους: Διακρίνονται σε χάλυβες κατασκευών, εργαλειοχάλυβες, ανοξείδωτους χάλυβες, πυρίμαχους χάλυβες και χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.

1.9.2.2 Τυποποίηση κατά το Αμερικάνικο σύστημα

Ο χάλυβας δηλώνεται με έναν τετραψήφιο αριθμό ΧΥΖΖ, τα ψηφία του οποίου σημαίνουν:

- Χ: οικογένεια χάλυβα (βλ. Πίν. 1α)
- Υ: ποσοστό κυρίων στοιχείων κραμάτωσης στον χάλυβα (βλ. Πίν. 1β).
- ΖΖ: π(С) πολλαπλασιασμένη επί 100%.

Μπροστά από τον κωδικό του χάλυβα μπορεί να υπάρχει ένα κεφαλαίο γράμμα της λατινικής αλφαβήτου που δηλώνει τη μεταλλουργική διαδικασία για την παραγωγή του χάλυβα:

Σειρά χάλυβα	Οικογένεια χάλυβα
1ΥΖΖ	Κοινοί ή Μαγγανιούχοι χάλυβες
2ΥΖΖ	Νικελιούχοι χάλυβες
3ΥΖΖ	Νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες
4ΥΖΖ	Μολυβδαινούχοι ή Χρωμομολυβδαινούχοι ή Νικελιομολυβδαινούχοι ή Ni-Cr-Mo χάλυβες
5ΥΖΖ	Χρωμιούχοι χάλυβες
6ΥΖΖ	Χρωμοβαναδιούχοι χάλυβες
7ΥΖΖ	Χάλυβες Βολφραμίου-Χρωμίου
8ΥΖΖ	Χάλυβες Ni-Cr-Mo
9ΥΖΖ	Μαγγανιοπυριτιούχοι ή Ni-Cr-Mo χάλυβες

Σειρά χάλυβα	Οικογένεια χάλυβα
10ZZ	Κοινοί χάλυβες
11ZZ	Κοινοί χάλυβες ελεύθερης κοπής (free-cutting) με S
12ZZ	Κοινοί χάλυβες ελεύθερης κοπής (free-cutting) με S και P
13ZZ	Χαλυβοκράματα μαγγανίου [$\pi(\text{Mn})=1.60-1.90\%$]
23ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου [$\pi(\text{Ni})=3.5\%$]
25ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου [$\pi(\text{Ni})=5\%$]
31ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-χρωμίου [$\pi(\text{Ni})=1.25\%$, $\pi(\text{Cr})=0.60\%$]
32ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-χρωμίου [$\pi(\text{Ni})=1.75\%$, $\pi(\text{Cr})=1\%$]
33ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-χρωμίου [$\pi(\text{Ni})=3.50\%$, $\pi(\text{Cr})=1.50\%$]
40ZZ	Χαλυβοκράματα μολυβδανίου [$\pi(\text{Mo})=0.25\%$]
41ZZ	Χαλυβοκράματα χρωμίου-μολυβδανίου [$\pi(\text{Cr})=1\%$, $\pi(\text{Mo})=0.20\%$]
43ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-χρωμίου-μολυβδανίου
46ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-μολυβδανίου [$\pi(\text{Ni})=1.75\%$, $\pi(\text{Mo})=0.25\%$]
48ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-μολυβδανίου [$\pi(\text{Ni})=3.5\%$, $\pi(\text{Mo})=0.25\%$]
51ZZ	Χαλυβοκράματα χρωμίου [$\pi(\text{Cr})=0.80\%$]
52ZZ	Χαλυβοκράματα χρωμίου [$\pi(\text{Cr})=1.5\%$]
61ZZ	Χαλυβοκράματα χρωμίου-βαναδίου
86ZZ	Χαλυβοκράματα νικελίου-χρωμίου-μολυβδανίου [$\pi(\text{Ni})=0.55\%$, $\pi(\text{Cr})=0.50\%$, $\pi(\text{Mo})=0.20\%$]
92ZZ	Χαλυβοκράματα μαγγανίου-πυριτίου [$\pi(\text{Mn})=0.80\%$, $\pi(\text{Si})=2\%$]
94ZZ	Χαλυβοκράματα μαγγανίου-πυριτίου- νικελίου-χρωμίου-μολυβδανίου

1.9.2.3 Τυποποίηση κατά το Ευρωπαϊκό σύστημα

Τα σύμβολα των χαλύβων διακρίνονται στις δύο ακόλουθες κύριες Κατηγορίες:

- Κατηγορία 1 και
- Κατηγορία 2

Η Κατηγορία 1 περιλαμβάνει σύμβολα τα οποία περιέχουν υποδείξεις για τη χρήση και τις μηχανικές ή φυσικές ιδιότητες των χαλύβων. Τα κύρια σύμβολα της Κατηγορίας 1 υποδεικνύουν τη χρήση του θεωρούμενου χάλυβα με ένα γράμμα π.χ. για

- τους κατασκευαστικούς χάλυβες (σιδηρές κατασκευές): S (structural) και
- τους χάλυβες για εξοπλισμό υπό πίεση (π.χ. δοχεία πίεσης): P (pressure).

Τα σύμβολα ακολουθούνται από ένα αριθμό ο οποίος αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή του ορίου διαρροής σε MPa ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$), π.χ. S235, P355.

Η Κατηγορία 2 περιλαμβάνει σύμβολα τα οποία περιέχουν υποδείξεις για τη χημική σύσταση των χαλύβων.

Τα σύμβολα της Κατηγορίας 2 υποδιαιρούνται περαιτέρω σε 4 Υποκατηγορίες.

Υποκατηγορία 2.1: Μη κραματωμένοι χάλυβες με μέση περιεκτικότητα Mn < 1% κατά μάζα.

Τα σύμβολα μη κραματωμένων χαλύβων (με εξαίρεση τους χάλυβες αυτομάτων) με μέση περιεκτικότητα σε μαγγάνιο Mn κάτω του 1% κατά μάζα σχηματίζονται με:

- το γράμμα C (για τον άνθρακα) και
- έναν αριθμό, ο οποίος αντιστοιχεί στο εκατονταπλάσιο (x100) της μέσης περιεκτικότητας % σε άνθρακα. Π.χ. C35 (μέση περιεκτικότητα C: 0,35%).

Υποκατηγορία 2.2: Μη κραματωμένοι χάλυβες με Mn ≥ 1 %, χάλυβες αυτομάτων καθώς και κραματωμένοι χάλυβες με περιεκτικότητες των επί μέρους στοιχείων κραμάτωσης < 5% κατά μάζα

Για μη κραματωμένους χάλυβες με μέση περιεκτικότητα σε μαγγάνιο Mn ≥ 1 %, τους μη κραματωμένους χάλυβες αυτομάτων καθώς και τους κραματωμένους χάλυβες (με εξαίρεση τους χάλυβες ταχείας κατεργασίας) με μέσες περιεκτικότητες των επί μέρους στοιχείων κραμάτωσης κάτω του 5% κατά μάζα, δεν χρησιμοποιείται αρχικό γράμμα, αλλά το σύμβολο σχηματίζεται από:

- ένα αριθμό, ο οποίος αντιστοιχεί στο εκατονταπλάσιο (x100) της μέσης περιεκτικότητας % σε άνθρακα,
- τα χημικά σύμβολα για τα στοιχεία κραμάτωσης τα χαρακτηριστικά για το είδος του χάλυβα και
- αριθμούς, οι οποίοι με τη σειρά των χαρακτηριστικών στοιχείων κραμάτωσης υποδεικνύουν την περιεκτικότητά τους.

Οι μέσες περιεκτικότητες κραμάτωσης, για να επιτευχθεί επαρκής διάκριση, πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή (ίδιο με εκείνο του συστήματος κατά DIN)

4:	για χρώμιο Cr, κοβάλτιο Co, μαγγάνιο Mn, νικέλιο Ni, πυρίτιο Si και βολφράμιο W
10:	για αργίλιο Al, βηρύλλιο Be, χαλκό Cu, μολυβδαίνιο Mo, νιόβιο Nb, μόλυβδο Pb, ταντάλιο Ta, τιτάνιο Ti, βανάδιο V και ζιρκόνιο Zr
100:	για φωσφόρο P, θείο S, άζωτο N και δημήτριο Ce
1000:	για βόριο B

Παράδειγμα : 28Mn6: περιεκτικότητα C περίπου 0,28%, περιεκτικότητα Mn 6/4=1,5%

Υποκατηγορία 2.3: Κραματωμένοι χάλυβες (πλην χαλύβων ταχείας κατεργασίας), όταν τουλάχιστον για ένα στοιχείο κραμάτωσης η μέση περιεκτικότητα είναι $\geq 5\%$ κατά μάζα. Το σύμβολο ανοξείδωτων και άλλων κραματωμένων χαλύβων (με εξαίρεση τους χάλυβες ταχείας κατεργασίας), στους οποίους τουλάχιστον για ένα στοιχείο κραμάτωσης η μέση περιεκτικότητα κατά μάζα είναι $\geq 5\%$, σχηματίζεται από:

- το γράμμα Χ
- ένα αριθμό, ο οποίος αντιστοιχεί στο εκατονταπλάσιο ($\times 100$) της μέσης περιεκτικότητας % σε άνθρακα,
- τα χημικά σύμβολα για τα στοιχεία κραμάτωσης τα χαρακτηριστικά για το είδος του χάλυβα και
- αριθμούς, μη κωδικοποιημένους (δηλαδή πολλαπλασιασμένους με κάποιο συντελεστή, όπως ισχύει στην Υποομάδα 2), διαχωριζόμενους με παύλες, οι οποίοι με τη σειρά των χαρακτηριστικών στοιχείων κραμάτωσης υποδεικνύουν την περιεκτικότητά τους (στρογγυλεμένοι στον πλησιέστερο ακέραιο).

Π.χ. X10CrNi18-8: περιεκτικότητες περίπου, C 0,10%, Cr 18%, Ni 8%

Υποκατηγορία 2.4: Χάλυβες ταχείας κατεργασίας

Το σύμβολο των χαλύβων ταχείας κατεργασίας σχηματίζεται από:

- τα γράμματα HS και
- αριθμούς, οι οποίοι υποδεικνύουν σε σειρά (ίδια πάντοτε) την περιεκτικότητα σε βολφράμιο W, μολυβδαίνιο Mo, βανάδιο V και κοβάλτιο Co σε πλήρεις στρογγυλεμένους αριθμούς.

Π.χ. HS2-9-1-8: W 2%, Mo 9%, V 1%, Co 8%.

Πρόσθετα σύμβολα

Τα πρόσθετα σύμβολα προστίθενται στα κύρια σύμβολα. Π.χ στον κατασκευαστικό χάλυβα με κύριο σύμβολο S235 προστίθενται τα πρόσθετα σύμβολα J2 και G3 (τα οποία θα επεξηγηθούν στη συνέχεια) και λαμβάνεται το ολικό σύμβολο S235J2G3.

Τα πρόσθετα σύμβολα διακρίνονται σε δύο Ομάδες, την Ομάδα 1 και την Ομάδα 2.

Όταν τα πρόσθετα σύμβολα της Ομάδας 1 δεν επαρκούν για την πλήρη περιγραφή του χάλυβα, τότε μπορούν να προστεθούν σύμβολα της Ομάδας 2. Τα σύμβολα της Ομάδας 2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνον σε συνδυασμό με σύμβολα της Ομάδας 1 και ακολουθούν αυτά.

Τα πρόσθετα σύμβολα της Ομάδας 1 δίνονται σε πίνακες. Τα πρόσθετα σύμβολα των πινάκων της Ομάδας 1 αφορούν ομάδες ποιότητας και καθορίζουν ελάχιστη τιμή του έργου κρουστικής δοκιμής σε δοκίμια με εγκοπή Charpy-V για διάφορες θερμοκρασίες καθώς και ιδιαίτερες κατεργασίες και ιδιότητες των χαλύβων, όπως σκλήρυνση, έλαση, ανόπτηση, επιβελτίωση, δυαδική φάση, σύμπλοκη φάση, καταλληλότητα π.χ. για φιάλες,

σωλήνες, δοχεία πίεσης, καθώς και καταλληλότητα π.χ. για σύρματα, ελατήρια, εργαλεία, σύρματα συγκόλλησης κλπ.

Τα πρόσθετα σύμβολα της Ομάδας 2 αφορούν ιδιαίτερες κατεργασίες και απαιτήσεις των χαλύβων, όπως δυνατότητα ψυχρής διαμόρφωσης, καταλληλότητα για ψυχρή έλαση, χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες, επικαλύψεις (εμβάπτιση, επισμάλτωση) κλπ. Μπορούν, αν πρέπει, να χρησιμοποιηθούν και περαιτέρω πρόσθετα σύμβολα (πέραν των προσθέτων συμβόλων των Ομάδων 1 και 2), τα οποία αφορούν προϊόντα χάλυβα δηλαδή:

- ιδιαίτερες απαιτήσεις σε προϊόντα χάλυβα,
- το είδος τις επικάλυψης σε προϊόντα χάλυβα,
- την κατάσταση επεξεργασίας σε προϊόντα χάλυβα

Αυτά τα πρόσθετα σύμβολα για τα προϊόντα διαχωρίζονται από τα προηγούμενα με το σύμβολο συν (+)

Και για τις δύο ομάδες ισχύουν

- Για τους χυτοχάλυβες προτάσσεται στο σύμβολο το γράμμα G.
- Για τους χάλυβες οι οποίοι θα παράγονται με μεταλλουργία σκόνης θα προτάσσεται στο σύμβολο το γράμμα PM.

1.9.3. Οι ανθρακούχοι χάλυβες

Οι ανθρακούχοι χάλυβες με $\pi(C) < 0,4\%$, είναι το πλέον σημαντικό υλικό στην τεχνολογία των συγκολλήσεων. Εκτός από τον άνθρακα περιέχουν και άλλες προσμίξεις που κυρίως είναι οι εξής:

- Οι ακαθαρσίες, όπως είναι το θείο (S), ο φώσφορος (P), το άζωτο (N), το υδρογόνο (H) και το οξυγόνο (O). Αυτές επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα των συγκολλήσεων. Οι ακαθαρσίες είναι υπεύθυνες για τη ρηγμάτωση των χαλύβων και ιδίως των συγκολλήσεων.
- Το πυρίτιο (Si): Σε ποσοστά 0,03-0,35% βελτιώνει τη συγκόλληση. Σε ποσοστά άνω του 1% τη δυσχεραίνει.
- Το μαγγάνιο (Mn): Συνήθως δεν υπερβαίνει το 1% και βελτιώνει τη συγκόλληση, επειδή δεσμεύει το S.

Σχετικά με τους ανθρακούχους χάλυβες χρήσιμο είναι να γνωρίζουμε τα εξής:

- Κατά την ψύξη του χάλυβα στον αέρα, η κρυσταλλική δομή στη ΘΕΖ αρχίζει σταδιακά να αποκαθίσταται. Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες της ΘΕΖ, μετά την ολοκλήρωση της ψύξης, ο κανόνας είναι:

- Η αποκατάσταση των μηχανικών ιδιοτήτων στη ΘΕΖ, είναι σχεδόν πλήρης, όταν η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα δεν υπερβαίνει το 0,2 % και ο ρυθμός της ψύξης είναι αργός.
- Όταν όμως η ταχύτητα ψύξης είναι μεγάλη, π.χ. όταν εμβαπτίζουμε το χάλυβα σε νερό για να κρυώσει γρήγορα, τότε προκαλείται βαφή. Ακόμη και αν ο χάλυβας έχει $\pi(C) < 0,2 \%$, θα έχουμε αλλοίωση των ιδιοτήτων στη ΘΕΖ.
- Όταν η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα υπερβαίνει το 0,2 %, τότε η αποκατάσταση των ιδιοτήτων της ΘΕΖ δεν είναι πλήρης. Όταν όμως έχουμε χάλυβα με $\pi(C) > 0,4\%$, τότε πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι:
 - Όταν η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα υπερβαίνει το 0,4%, η συγκόλληση θεωρείται ανασφαλής.
 - Όμως και σ' αυτή την περίπτωση, οι μηχανικές ιδιότητες της ΘΕΖ, μετά τη συγκόλληση, μπορούν να αποκατασταθούν με κατάλληλες θερμικές επεξεργασίες.

1.9.4. Οι κραματούχοι χάλυβες

Ο λόγος ύπαρξης των κραματούχων χαλύβων βρίσκεται στο ότι βελτιώνουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα, δηλαδή τη σκληρότητα, τη μηχανική αντοχή και την ελαστικότητα. Οι κραματούχοι χάλυβες διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Στους ελαφρά κεκραμένους, όταν το ποσοστό της βασικής πρόσμιξης είναι κάτω του 5%.
- Στους ισχυρά κεκραμένους, όταν το ποσοστό της βασικής πρόσμιξης είναι τουλάχιστον 5%.

Ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν οι προσμίξεις, τις διακρίνουμε σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Στις προσμίξεις που δεν ενώνονται με τον άνθρακα, δηλαδή δε δημιουργούν καρβίδια. Αυτές βελτιώνουν την αντοχή και την ελαστικότητα του χάλυβα.
- Στις προσμίξεις που μπορούν να σχηματίσουν καρβίδια, με συνέπεια να αυξάνουν τη σκληρότητα του χάλυβα, χωρίς όμως να αυξάνεται σημαντικά και η ευθραυστότητα. Όταν δε σχηματίζουν καρβίδια, βελτιώνουν την αντοχή, όπως οι προηγούμενες.

Η πλέον γνωστή πρόσμιξη που δημιουργεί καρβίδια (ενώσεις με τον άνθρακα) είναι το χρώμιο (Cr). Η προσθήκη χρωμίου αυξάνει τη σκληρότητα και την αντοχή. Η πλέον διαδεδομένη πρόσμιξη που δε δημιουργεί καρβίδια, είναι το Νικέλιο (Ni), το οποίο γίνεται αιτία να δημιουργείται μικρό μέγεθος κόκκου, οπότε προκύπτει μία ανθεκτική και ελαστική δομή.

Το Cr και το Ni, σε μεγάλες περιεκτικότητες, βελτιώνουν πολύ την ανθεκτικότητα του χάλυβα στην οξείδωση. Ο συνδυασμός χρωμίου (Cr) και νικελίου(Ni) χρησιμοποιείται στους χάλυβες του τύπου 18/8 ή 18/10, δηλαδή με $\pi(\text{Cr})=18\%$ Cr και $\pi(\text{Ni})=8-10\%$. Συγχρόνως, αυτοί οι χάλυβες παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή και σκληρότητα.

Σημαντικό τεχνικό ενδιαφέρον παρουσιάζει ο χάλυβας με μεγάλη περιεκτικότητα Μαγγανίου (Mn). Το Mn δημιουργεί και αυτό καρβίδια όπως το χρώμιο. Όταν $\pi(\text{Mn})=12-14\%$, τότε ο χάλυβας διαθέτει μία πολύ σημαντική ιδιότητα: τη **μεγάλη αντοχή στην κρούση**. Όσο πιο πολύ χτυπάμε αυτόν το χάλυβα, τόσο πιο σκληρός και ανθεκτικός γίνεται.

Εκτός από το Cr, το Ni και το Mn, υπάρχουν πολλά ακόμη χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις στους κραματούχους χάλυβες. Τα συνηθέστερα είναι:

- Από αυτές που σχηματίζουν καρβίδια: το μολυβδαίνιο (Mo) και το βανάδιο (V).
- Από αυτές που δε σχηματίζουν καρβίδια: το πυρίτιο (Si) και το κοβάλτιο (Co).

Σχετικά με τη συγκόλληση των κραματούχων χαλύβων:

Η συγκόλληση των ισχυρά κεκραμένων χαλύβων είναι δύσκολη και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Συνήθως η ΘΕΖ, μετά την ψύξη του μετάλλου, έχει κατώτερες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με την υπόλοιπη μάζα του μετάλλου.

Ο βαθμός δυσκολίας στη συγκόλληση των ελαφρά κεκραμένων χαλύβων εξαρτάται από την περιεκτικότητα των προσμίξεων.

Η συγκόλληση χαλύβων με μεγάλη περιεκτικότητα σε νικέλιο (Ni) παρουσιάζει τον κίνδυνο δημιουργίας ρηγματώσεων.

Η συγκόλληση των χαλύβων που περιέχουν μεγάλες ποσότητες σε χρώμιο (Cr) παρουσιάζει πολύ σοβαρά προβλήματα, εξαιτίας του φαινομένου της κατακρήμνισης των καρβιδίων. Όταν η θερμοκρασία του χάλυβα ανέλθει σημαντικά (περί τους 600°C), τότε το χρώμιο σχηματίζει καρβίδια που συγκεντρώνονται στα όρια των κόκκων. Οι συνέπειες του φαινομένου είναι οι εξής:

- Μειώνεται η αντοχή στη ΘΕΖ και ο χάλυβας γίνεται εύθραυστος.
- Ο χάλυβας παύει να είναι ανοξείδωτος στη ΖΕΘ, επειδή αφαιρείται χρώμιο από τους κόκκους.

1.9.5. Οι χυτοσίδηροι

Η θεωρητικά μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα του σιδήρου σε άνθρακα είναι 6,67%. Όμως δεν υπάρχει κανένα τεχνικό ενδιαφέρον, όταν $\pi(\text{C})>4\%$. Επίσης, τεχνικό ενδιαφέρον δεν υπάρχει, όταν $\pi(\text{C})=2-3\%$.

Όταν $\pi(C)=3-4\%$, τότε έχουμε το χυτοσίδηρο ή μαντέμι. Το ενδιαφέρον που παρουσιάζει αυτή η περιοχή οφείλεται στις πολύ καλές χυτευτικές ιδιότητες του χυτοσιδήρου. Υπάρχουν δύο είδη χυτοσιδήρου:

- Ο φαιός χυτοσίδηρος, ο οποίος εμπεριέχει τον άνθρακα υπό μορφή γραφίτη. Είναι μαλακός και κατεργάζεται εύκολα. Χρησιμοποιείται πολύ για την κατασκευή του κυρίου σώματος μηχανημάτων. Παρουσιάζει μεγάλη ευθραυστότητα και εμφανίζει το φαινόμενο της δημιουργίας εγκοπών.
- Ο λευκός χυτοσίδηρος, που περιέχει τον άνθρακα υπό μορφή σεμεντίτη. Είναι εξαιρετικά σκληρός και η κατεργασία του πολύ δύσκολη. Χρησιμοποιείται, όταν απαιτείται μεγάλη αντοχή στην τριβή.

Από τους παραπάνω χυτοσιδήρους παράγονται οι εξής χυτοσίδηροι:

- Ο μαλακός χυτοσίδηρος, που προέρχεται από κατάλληλη θερμική κατεργασία του λευκού χυτοσιδήρου, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η διάσπαση του σεμεντίτη και η δημιουργία γραφίτη. Προκύπτουν αντικείμενα μεγάλης αντοχής τα οποία όμως είναι δυνατόν να κατεργαστούν.
- Οι χυτοσίδηροι σφαιροειδούς γραφίτη, οι οποίοι δημιουργούνται από το φαιό χυτοσίδηρο. Δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα των φαιών χυτοσιδήρων, δηλαδή δεν είναι εύθραυστοι και δεν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της δημιουργίας εγκοπών.

Σχετικά με τη συγκόλληση των χυτοσιδήρων:

Ο λευκός χυτοσίδηρος δε μπορεί να συγκολληθεί. Όσον αφορά τη δυνατότητα συγκόλλησης των άλλων χυτοσιδήρων, οι απόψεις δίστανται. Υπάρχουν πολλοί τεχνικοί οι οποίοι δηλώνουν ευθέως «το μαντέμι, όταν σπάσει δεν κολλάει».

Στην αγορά υπάρχουν υλικά συγκόλλησης του φαιού χυτοσιδήρου, του μαλακού και του χυτοσιδήρου σφαιροειδούς γραφίτη. Ο κανόνας όμως που πρέπει να γνωρίζουμε είναι:

Η συγκόλληση του χυτοσιδήρου, ουδέποτε θεωρείται ασφαλής, ως προς τη μηχανική αντοχή της.

Σε περιπτώσεις που δεν εφαρμόζονται ισχυρές δυνάμεις στο τεμάχιο, μπορεί να γίνει συγκόλληση, η οποία όμως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Θα ήταν αδιανόητο όμως, αν δοκίμαζε κάποιος να κολλήσει, π.χ., το σώμα μιας σπασμένης πρέσας.

1.9.6. Η δημιουργία φυσαλίδων κατά τη συγκόλληση

Μεταξύ των ακαθαρσιών του χάλυβα είναι το οξυγόνο και το άζωτο. Το οξυγόνο υπάρχει κυρίως υπό τη μορφή οξειδίου του σιδήρου.

Το οξυγόνο αντιδρά με τον άνθρακα και σχηματίζει διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) το οποίο συγκεντρώνεται με τη μορφή φυσαλίδων (πόροι). Οι φυσαλίδες (πόροι) δημιουργούν αδύνατα σημεία στην κατασκευή και μπορεί από αυτές να αρχίσει η θραύση. Το οξυγόνο απομακρύνεται, κατά την παραγωγή του χάλυβα, με την προσθήκη πυριτίου (Si) και μαγγανίου (Mn). Ο χάλυβας, στον οποίο έχει γίνει πλήρης απομάκρυνση του O_2 , ονομάζεται καθησυχασμένος, ενώ, αν έχει γίνει μερική απομάκρυνση, ονομάζεται ημικαθησυχασμένος. Οι χάλυβες με $\pi(\text{C}) > 0,15\%$ παράγονται, συνήθως, καθησυχασμένοι ή ημικαθησυχασμένοι.

Προβλήματα δημιουργίας φυσαλίδων δημιουργεί και το άζωτο που εξουδετερώνεται με την προσθήκη μικρής ποσότητας αλουμινίου (Al) σε ποσοστό 0,02-0,1%. Το άζωτο σχηματίζει σταθερές χημικές ενώσεις με το αλουμίνιο και, έτσι, δεσμεύεται και δεν προκαλεί προβλήματα. Οι χάλυβες, στους οποίους, εκτός από το οξυγόνο, έχει εξουδετερωθεί και το άζωτο, ονομάζονται πλήρως καθησυχασμένοι.

1.10. Μη σιδηρούχα κράματα

1.10.1. Τα κράματα χαλκού (Cu)

Το ενδιαφέρον του χαλκού (Cu) στην κατασκευή των αμαξωμάτων είναι περιορισμένο. Χρησιμοποιείται καθαρός σχεδόν μόνο στην κατασκευή χαλκοσωλήνων. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα κράματά του είναι ο μπρούντζος και ο ορείχαλκος.

Ο μπρούντζος είναι κράμα Cu και κασσίτερου (Sn) σε ποσοστό 5-20%. Στον μπρούντζο συναντάμε και άλλα μέταλλα, όπως τον ψευδάργυρο (Zn) και το μόλυβδο (Pb). Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή αντιτριβικών εξαρτημάτων (π.χ. εδράνων) και στην κατασκευή χυτών αντικειμένων, καθόσον έχει πολύ καλές χυτευτικές ιδιότητες.

Ο ορείχαλκος είναι κράμα Cu και Zn σε ποσοστό 20 – 50%. Παρουσιάζει καλή μηχανική αντοχή και χρησιμοποιείται για άξονες, σύρματα κτλ.

1.10.2. Τα κράματα του αλουμινίου (Al)

Το τεχνικό ενδιαφέρον του αλουμινίου (Al) είναι ακόμη σχετικά περιορισμένο στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας, αλλά αναμένεται ότι θα αυξηθεί, επειδή η κατασκευή ελαφρών αμαξωμάτων οδηγεί στη χρήση του αλουμινίου. Επίσης, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση.

Αν και η μηχανική αντοχή του καθαρού αλουμινίου είναι σχετικά μικρή, η αντοχή των κραμάτων του είναι μεγάλη και μπορεί, ακόμη, και να υπερβαίνει την αντοχή των ανθρακούχων χαλύβων. Η μεγάλη αντοχή των κραμάτων του, σε συνδυασμό με το μικρό τους βάρος, είναι η αιτία που τα ελάσματα αλουμινίου εκτοπίζουν συνεχώς τα χαλυβδοελάσματα, ιδίως στα μικρά πάχη. Υπάρχουν και κράματα με άριστες χυτευτικές

ιδιότητες και το σώμα των περισσότερων κινητήρων των αυτοκινήτων είναι από κατάλληλο κράμα αλουμινίου.

Το μειονέκτημα του αλουμινίου και των κραμάτων του είναι, κυρίως, στη συγκόλλησή του. Η συγκόλληση του αλουμινίου είναι σχετικά εύκολη, όταν γίνεται σε βιομηχανική παραγωγή και είναι ακόμη ευκολότερη, όταν χρησιμοποιούνται αυτόματες μηχανές. Αλλά είναι πιο δύσκολη, όταν πρόκειται να γίνουν επισκευές ή μετατροπές σε ένα μικρό συνεργείο. Η συγκόλληση του αλουμινίου απαιτεί πολύ μεγαλύτερη τεχνογνωσία από αυτήν που απαιτείται για τη συγκόλληση του χάλυβα.

Οι κυριότερες προσμίξεις στα κράματα αλουμινίου είναι το πυρίτιο (Si), το μαγνήσιο (Mg) και ο ψευδάργυρος (Zn). Οι θερμοκρασίες τήξης τους είναι στην περιοχή 530-650°C και το ειδικό τους βάρος, συνήθως, 2,7 - 2,9 g/cm³. Είναι πολύ ελαφρύτερα από τους χάλυβες (ειδικό βάρος περίπου 7,8 g/cm³).

1.10.3 Οι ονομασίες των κραμάτων αλουμινίου και χαλκού

(α) Κράματα χαλκού

Τα κράματα χαλκού συμβολίζονται με έναν τριψήφιο αριθμό, π.χ. «127», «211». Ο πρώτος αριθμός δείχνει το είδος του κράματος και οι δύο επόμενοι καθορίζουν τις άλλες ιδιότητες. Για να βρούμε τις ιδιότητες από τους δύο επόμενους αριθμούς, πρέπει να ανατρέξουμε σε σχετικούς πίνακες. Έτσι, ανάλογα με το είδος του κράματος, έχουμε την ονομασία που αναφέρεται στην Εικόνα 8.

Συμβολισμός	Περιγραφή
1xx	Χαλκοί χωρίς προσμίξεις
2xx	Ορείχαλκοι (Cu+Zn)
3xx	Ορείχαλκοι μολύβδου (Cu+Zn+Pb)
4xx	Ορείχαλκοι κασσίτερου (Cu+Zn+Pb)
5xx	Μπρούντζοι φωσφόρου (Cu+Sn+P)
6xx	Διάφορα κράματα χαλκού (με Al ή Si ή Zn)
7xx	Κράματα χαλκού - νικελίου
8xx	Διάφοροι άλλοι μπρούντζοι και ορείχαλκοι
9xx	Διάφοροι άλλοι μπρούντζοι και κράματα Cu-Ni

Εικόνα 8: Πίνακας σημασίας του πρώτου αριθμού στο τριψήφιο σύστημα συμβολισμού των κραμάτων του χαλκού

(β) Κράματα αλουμινίου

Τα κράματα αλουμινίου συμβολίζονται με ένα τετραψήφιο αριθμό, π.χ. «1060», «6061». Ο πρώτος αριθμός δείχνει τη βασική πρόσμιξη του κράματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9. Οι τρεις επόμενοι καθορίζουν τις άλλες ιδιότητες τις οποίες, για να βρούμε πρέπει να ανατρέξουμε σε πίνακες.

Τα κράματα αλουμινίου που προορίζονται για χύτευση συμβολίζονται με μία τελεία πριν από το τελευταίο ψηφίο, π.χ. 1xx.x. Τα κράματα των σειρών 2xxx και 7xxx δεν είναι συγκολλησίμα (πλην ελαχίστων εξαιρέσεων). Εύκολη είναι η συγκόλληση των κραμάτων 1xxx και 6xxx. Τα κράματα της σειράς 6xxx επιδέχονται θερμικές κατεργασίες όπως οι χάλυβες.

Συμβολισμός	Περιγραφή της κύριας πρόσμιξης
1xxx	Σχεδόν καθαρό αλουμίνιο (άνω του 99%)
2xxx	Κράματα αλουμινίου-χαλκού (Al+Cu)
3xxx	Κράματα αλουμινίου-μαγγανίου (Al+Mn)
4xxx	Κράματα αλουμινίου-πυριτίου (Al+Si)
5xxx	Κράματα αλουμινίου-μαγνησίου (Al+Mg)
6xxx	Κράματα αλουμινίου-μαγνησίου-πυριτίου (Al+Mg+Si)
7xxx	Κράματα αλουμινίου-ψευδαργύρου (Al+Zn)
8xxx	Άλλα στοιχεία

Εικόνα 9: Πίνακας σημασίας του πρώτου αριθμού στο τριψήφιο σύστημα συμβολισμού των κραμάτων αλουμινίου

2. Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων - συγκολλήσεων

2.1. Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας των συγκολλήσεων

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

Το 1881 ο Ρώσος Bernardos ήταν ο πρώτος που ξεκίνησε συγκολλήσεις με την χρήση ηλεκτρικού τόξου. Χρησιμοποίησε ένα ηλεκτρόδιο άνθρακα και μια βέργα με υλικό πλήρωσης. Ένας άλλος Ρώσος, ο Slavyanov, το 1891 χρησιμοποίησε μια μεταλλική ράβδο η οποία δημιουργούσε το τόξο και αποτελούσε ταυτόχρονα και το υλικό πλήρωσης. Έτσι γεννήθηκε η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο. Στην αρχή τα ηλεκτρόδια ήταν γυμνά, αλλά μετά από κάποιο καιρό, αυτά εμβαπτίζοταν σε λουτρό από ορυκτά, για καλύτερες ιδιότητες. Η πρώτη πατέντα δημιουργίας και χρήσης επικαλυμμένων ηλεκτροδίων έγινε το 1907 από τον Σουηδό μηχανικό O. Kjellberg. Η μέθοδος με την οποία εφαρμοζόταν η επικάλυψη στα ηλεκτρόδια ήταν η διέλαση.

Η εισαγωγή των μεθόδων συγκόλληση με χρήση προστατευτικής ατμόσφαιρας, άρχισε να γίνεται δυνατή από τη στιγμή που ξεκίνησε η κατασκευή καρβιδίων του ασβεστίου. (Wilson 1882) και με την ανάπτυξη της πρώτης χρηστικής σιμπίδας, η οποία μπορούσε να προστατεύει με αέριο την συγκόλληση, από τον Heinrich Draeger το 1896.

2.2. Η τεχνολογία συνδέσεων - συγκολλήσεων

Στην καθημερινή πρακτική των διαφόρων τεχνολογικών εφαρμογών (αμαξώματα, δεξαμενές, μεταλλικές γέφυρες κτλ.), χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι σύνδεσης μεταλλικών κομματιών. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι:

- Οι ηλώσεις (καρφωτές ή περτσινωτές)
- Οι κοχλιωτές συνδέσεις (βιδωτές)
- Οι συγκολλήσεις (διάφορες μέθοδοι)

Καθεμία από τις παραπάνω μεθόδους σύνδεσης μεταλλικών κομματιών έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μέθοδος της συγκόλλησης παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων μεθόδων, γι' αυτό προτιμάται στη σύνδεση μεταλλικών τεμαχίων, εκτός ειδικών περιπτώσεων που δεν μπορεί να εφαρμοστεί.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της συγκόλλησης έναντι των άλλων μεθόδων:

- Δημιουργεί συνδέσεις αντοχής
- Η σύνδεση είναι μικρότερου βάρους (ελαφρότερη).
- Οι συσκευές και τα υλικά συγκολλήσεως είναι μικρού κόστους.
- Το κόστος της σύνδεσης, συνήθως, είναι πολύ μικρότερο σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους (είναι η φθηνότερη μέθοδος).
- Στις σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις συγκόλλησης, οι διαδικασίες των συγκολλήσεων γίνονται αυτόματα, με ρομποτισμό. Έτσι, κατεβαίνει σημαντικά το κόστος παραγωγής, ενώ προκύπτει άριστη ποιότητα. Απαιτεί όμως υψηλού επιπέδου εκπαίδευση του προσωπικού.

Υπάρχουν όμως πολλές περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της συγκόλλησης.

Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι:

- Η σύνδεση κομματιών τα οποία θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να αποσυνδέονται και να επανασυνδέονται (λυόμενες κατασκευές).
- Όταν η συγκόλληση δεν είναι τεχνικά δυνατή, ή όταν το αποτέλεσμα της δεν είναι ασφαλές.
- Όταν οι συνδέσεις είναι τέτοιες, ώστε η εφαρμογή της συγκόλλησης να απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις και την αγορά συσκευών μεγάλου κόστους, η απόσβεση των οποίων ανεβάζει πολύ το κόστος των συγκολλήσεων που πραγματοποιούνται. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, προτιμούνται άλλες μέθοδοι σύνδεσης, εκτός και αν υπάρχουν ειδικοί λόγοι που επιβάλλουν τη συγκόλληση.

- Γενικά, η συγκόλληση προϋποθέτει μεταλλικά τεμάχια από το ίδιο ή από παρεμφερές υλικό. Έτσι, σε περιπτώσεις σύνδεσης ελασμάτων από διαφορετικό υλικό (π.χ. σίδηρο με αλουμίνιο), δεν μπορεί να εφαρμοστεί η συγκόλληση.

Σήμερα, οι μέθοδοι της συγκόλλησης και τα συγκολλητικά υλικά έχουν αναπτυχθεί τόσο, ώστε να πραγματοποιούνται κατασκευές με ποιότητα, αξιοπιστία και αντοχή, που η παλαιότερη τεχνολογία δεν το επέτρεπε. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα της συγκόλλησης ήταν πάντα ο έλεγχος της ποιότητάς της, ειδικότερα, όταν επρόκειτο για συνδέσεις με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας.

Όμως οι σύγχρονες ηλεκτρονικές μέθοδοι ελέγχου (χρήση ακτίνων-Χ ή -Γ, υπέρηχοι κτλ.), έχουν τη δυνατότητα πλήρους, συνεχούς και, κυρίως, γρήγορου και άκρως αξιόπιστου ελέγχου της ποιότητας των συγκολλήσεων. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος αλλά και των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι να γενικεύεται, όλο και περισσότερο, η χρήση της συγκόλλησης, ως μεθόδου σύνδεσης μεταλλικών κομματιών στις κατασκευές αλλά και στις επισκευές.

2.3. Είδη συγκολλήσεων

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

Οι μέθοδοι συγκόλλησης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με:

- α. Τον τρόπο μεταφοράς της ενέργειας από τις εξωτερικές πηγές ενέργειας. Δηλαδή συγκόλληση με στερεό, υγρό ή αέριο μέσο, με πλάσμα, με ακτινοβολία ή με ηλεκτρικό ρεύμα.
- β. Τον τύπο του μετάλλου βάσης. Δηλαδή συγκόλληση μεταξύ μετάλλων, συγκόλληση πλαστικών ή άλλων υλικών, συγκόλληση ανόμοιων υλικών.
- γ. Τον σκοπό της συγκόλλησης. Δηλαδή συγκόλληση/συνένωση δύο άκρων ή αναγόμευση επιφανειών.
- δ. Τον τρόπο μεταφοράς ενέργειας. Δηλαδή συγκολλήσεις με εφαρμογή πίεσης ή συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου.
- ε. Τον βαθμό αυτοματοποίησης.

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

- Τις συγκολλήσεις τήξης
- Τις συγκολλήσεις πίεσης

- Τις ειδικές συγκολλήσεις

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

Η συγκόλληση τήξης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

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

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

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

Οι συγκολλήσεις πίεσης διακρίνονται σε:

- Ψυχρές συγκολλήσεις
- Συγκολλήσεις τριβής
- Καμινοσυγκολλήσεις
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης

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

- Τις αυτογενείς κολλήσεις
- Τις ετερογενείς κολλήσεις

Κάθε είδος από τις αναφερόμενες πιο πάνω συγκολλήσεις έχει τα δικά της τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία προσδιορίζουν και τις περιπτώσεις χρήσης τους.

2.4. Αυτογενείς συγκολλήσεις

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

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

Ενδεικτικά δίνονται πιο κάτω οι θερμοκρασίες τήξης μερικών γνωστών μας μετάλλων:

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

Για να επιτύχουμε τόσο υψηλές θερμοκρασίες τήξης, θα πρέπει να διαθέτουμε ισχυρές πηγές θερμότητας. Τέτοιες πηγές θερμότητας μπορούμε να έχουμε είτε με καύση αερίου, είτε με ηλεκτρική ενέργεια. Η συνηθέστερη πηγή θερμότητας στις αυτογενείς συγκολλήσεις είναι η καύση ασετιλίνης. Στην περίπτωση αυτή η καύση της ασετιλίνης συντελείται με τη βοήθεια καθαρού οξυγόνου. Γι' αυτό και η συσκευή συγκόλλησης ονομάζεται και συσκευή οξυγονοασετιλίνης και το είδος της συγκόλλησης οξυγονοσυγκόλληση.

Στις περιπτώσεις που οι απαιτούμενες θερμοκρασίες συγκόλλησης εξασφαλίζονται από ηλεκτρική πηγή, οι συγκολλήσεις ονομάζονται ηλεκτροσυγκολλήσεις και οι συσκευές με τις οποίες πραγματοποιούνται ονομάζονται συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης.

2.5. Ετερογενείς συγκολλήσεις

Ετερογενείς ονομάζονται οι συγκολλήσεις στις οποίες τα προς συγκόλληση μεταλλικά κομμάτια είναι διαφορετικής χημικής σύστασης από τη χημική σύσταση τη κόλλησης. Η θερμοκρασία τήξης της κόλλησης που χρησιμοποιείται είναι πάντα μικρότερη από εκείνη των προς συγκόλληση κομματιών. Όταν η θερμοκρασία φθάσει στο σημείο τήξης της κόλλησης, η κόλληση λειώνει και απλώνεται στις επιφάνειες που θα συγκολληθούν. Έτσι, στην περιοχή της συγκόλλησης δημιουργείται ένα κράμα από στοιχεία της κόλλησης και των μεταλλικών κομματιών. Όταν το κράμα αυτό στερεοποιηθεί, πραγματοποιείται κρυσταλλική σύνδεση των κομματιών, με αποτέλεσμα τη συγκόλλησή τους.

Η σύνδεση των κομματιών στις ετερογενείς κολλήσεις ενισχύεται και από τη διείσδυση της ρευστής κόλλησης μέσα στους πόρους των επιφανειών συγκόλλησης, δημιουργώντας, έτσι, ένα είδος αγκίστρωσης στην επιφάνεια των μεταλλικών κομματιών. Γι' αυτό στις ετερογενείς συγκολλήσεις οι επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν πρέπει να καθαρίζονται σχολαστικά με ειδικά υλικά καθαρισμού, πράγμα που δεν είναι απαραίτητο στις αυτογενείς συγκολλήσεις. Στην κατηγορία των ετερογενών συγκολλήσεων ανήκουν οι ασημοκολλήσεις, οι μπρουντζοκολλήσεις, οι κασιτεροκολλήσεις κτλ.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αναφερόμενα για τις ετερογενείς συγκολλήσεις, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τα ακόλουθα:

- Η κόλληση είναι πάντα διαφορετικής χημικής σύστασης από το υλικό των κομματιών που θα συγκολληθούν.
- Η θερμοκρασία τήξης της κόλλησης είναι αρκετά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης του υλικού των μεταλλικών κομματιών.
- Οι προς συγκόλληση επιφάνειες θα πρέπει να είναι σχολαστικά καθαρές.
- Τα υλικά καθαρισμού των προς συγκόλληση επιφανειών θα πρέπει να είναι κατάλληλα για κάθε περίπτωση ετερογενούς συγκόλλησης.

Οι ετερογενείς συγκολλήσεις χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την απαιτούμενη θερμοκρασία τήξης της κόλλησης που χρησιμοποιείται. Έτσι έχουμε:

- Τις μαλακές ετερογενείς συγκολλήσεις
- Τις σκληρές
- Τις συγκολλήσεις με χύτευση

Οι κολλήσεις που χρησιμοποιούνται στις μαλακές συγκολλήσεις έχουν θερμοκρασία τήξης μικρότερη των 500°C, ενώ οι σκληρές κολλήσεις έχουν θερμοκρασία τήξης άνω των 500°C.

2.6. Συγκολλήσεις πίεσης

Στις συγκολλήσεις πίεσης, τα μεταλλικά κομμάτια που θα κολληθούν θερμαίνονται στη θέση της συγκόλλησής τους σε θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης τους και, ταυτόχρονα, ασκείται επάνω τους μεγάλη πίεση.

Η θερμοκρασία και η πίεση που απαιτεί μία συγκόλληση πίεσης εξαρτάται από το είδος των μετάλλων που θα συγκολληθούν. Στις συγκολλήσεις πίεσης δεν απαιτείται συγκολλητικό υλικό (κόλληση). Με τη θέρμανση των μετάλλων που θα συγκολληθούν και την εξάσκηση ισχυρής πίεσης, τα μέταλλα έρχονται σε πολύ στενή επαφή μεταξύ τους και τα μόρια του ενός εισχωρούν στα μόρια του άλλου, δημιουργώντας, έτσι, την κρυσταλλική σύνδεση των κομματιών.

Οι συγκολλήσεις πίεσης διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες, ανάλογα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται, για να εξασφαλιστεί η θέρμανση και η πίεση που απαιτείται στη θέση της συγκόλλησης. Έτσι έχουμε:

A) Τις Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης

Κατά σημεία. Οι μηχανές που εκτελούν αυτού του είδους τη συγκόλληση ονομάζονται ηλεκτροπόντες και είναι από τα πλέον διαδεδομένα μηχανήματα στην τεχνολογία των συγκολλήσεων.

- Ραφής
- Κατά άκρα
- Με προεκβολές

B) Καμινοσυγκολλήσεις

Γ) Συγκολλήσεις τριβής

Δ) Ψυχρές συγκολλήσεις

2.7. Ονοματολογία και συμβολισμός συγκολλήσεων

2.7.1. Κωδικοποίηση για τις κυριότερες μεθόδους συγκόλλησης

Παρακάτω, φαίνεται η κωδικοποίηση για τις κυριότερες μεθόδους συγκόλλησης, σύμφωνα με το πρότυπο EN24063.

111 Συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια(MMA / SMAW)

- 114** Συγκόλληση με παραγεμιστό σύρμα χωρίς προστασία αερίου (FCAW-NG)
- 121** Συγκόλληση βυθιζόμενου τόξου (SAW)
- 122** Συγκόλληση βυθιζόμενου τόξου με ηλεκτρόδιο σε μορφή λωρίδας (SAW-StripElectrode)
- 131** Συγκόλληση σύρματος με αδρανές αέριο (MIG / GMAW) π.χ. αλουμίνιο
- 135** Συγκόλληση σύρματος με δραστικό αέριο (MAG / GMAW) π.χ. χάλυβας
- 136** Συγκόλληση με παραγεμιστό σύρμα και προστασία δραστικού αερίου (FCAW-AG)
- 137** Συγκόλληση με παραγεμιστό σύρμα και προστασία αδρανούς αερίου (FCAW-IG)
- 141** Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου (TIG / GTAW)
- 151** Συγκόλληση με δέσμη πλάσματος (Plasmaarcwelding– PAW)
- 751** Συγκόλληση με δέσμη λέιζερ (Laserbeamwelding– LBW)
- 76** Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων (Electronbeamwelding– EBW)

2.7.2.Θέσεις Συγκόλλησης

Οι θέσεις συγκόλλησης κωδικοποιούνται σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Οι κυριότεροι κώδικες οι οποίοι εφαρμόζονται όσον αφορά την κωδικοποίηση των θέσεων συγκόλλησης είναι το EN ISO 6947 και το Αμερικάνικο πρότυπο ASME Section IX.

Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων-
συγκολλήσεων

			
ASME :1G EN :PA	ASME :1F EN :PA	ASME :1G EN :PA	ASME :2F EN :PB
Πλάκα	Πλάκα	Πλάκα	Οριζόντιο
			
ASME :2G EN :PC	ASME :2F EN :PB	ASME :2G EN :PC	ASME :2F EN :PB
Οριζόντιο	Οριζόντιο	Οριζόντιο	Οριζόντιο
			
ASME :3G EN :PG (down) PF (up)	ASME :3F EN :PG (down) PF (up)	ASME :3G EN :PG (down) PF (up)	ASME :3F EN :PG (down) PF (up)
Κατεβατό Ανεβατό	Κατεβατό Ανεβατό	Κατεβατό Ανεβατό	Κατεβατό Ανεβατό
			
ASME :4G EN :PE	ASME :4F EN :PD	ASME :6G EN :J-L045 (down) H-L045 (up)	ASME :4F EN :PD
Ουρανό	Γωνιακό Ουρανό	Γωνία 45°	Γωνιακό Ουρανό

2.7.3 Προετοιμασία των άκρων πριν την συγκόλληση και συμβολισμός

Η προετοιμασία των άκρων πριν την συγκόλληση, αποτελεί μια από τις πλέον σημαντικές φάσεις στην διαδικασία της συγκόλλησης και έχει σαν στόχο την όσο το δυνατόν καλύτερη και χωρίς ελαττώματα συγκόλληση των δύο στοιχείων.

Ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται, ανάλογα με την διάμετρο του ηλεκτροδίου, τις διαστάσεις της τσιμπίδας, την προσβασιμότητα που υπάρχει, τα φυσικά χαρακτηριστικά των προς συγκόλληση μετάλλων, αλλά και του υλικού συγκόλλησης, και την αυτοματοποίηση ή μη της μεθόδου που θα εφαρμοσθεί, επιλέγονται οι καταλληλότερες παράμετροι και χαρακτηριστικά της προετοιμασίας των άκρων συγκόλλησης.


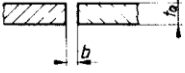

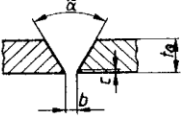

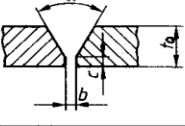
Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται κωδικοποιημένοι όλοι οι τύποι προετοιμασίας των άκρων, όπως αυτοί έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με το πρότυπο EN 29692.

Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων -
συγκολλήσεων

Ref. No. (*)	Designation	Illustration	Cross section	Parameters to be specified	Remarks
1.2	Square butt weld			Gap Thickness (b) (t ₀)	With backing strip
1.3	Single-V butt weld			Angle of bevel (α) Gap (b) Thickness of root face (c) Thickness (t ₀)	c ≤ 2 mm
1.14	Steep-flanked single-V butt weld			Angle (β) Gap (b) Thickness (t ₀)	With backing strip
1.5	Single-V butt weld with broad root face			Angle of bevel (α) Gap (b) Thickness of root face (c) Thickness (t ₀)	c > 2 mm
1.3.7	Single-U butt weld with V root			Angle of bevel (α) Angle (β) Gap (b) Depth of preparation (h) Radius (R) Thickness (t ₀)	
1.3.3	Single-V butt weld with V root			Angle of bevel (α) Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Thickness (t ₀)	
1.7	Single-U butt weld			Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Radius (R) Thickness (t ₀)	

(*) the reference number is in accordance with EN 29692

Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων -
συγκολλήσεων

Ref. No. (*)	Designation	Illustration	Cross section	Parameters to be specified	Remarks	
2.2	Square butt weld			Gap Thickness	(b) (t ₀)	
2.3.9	Single-V butt weld with run sealing			Angle of bevel Gap Thickness of root face Thickness	(α) (b) (c) (t ₀)	c ≤ 2 mm
2.5.9	Single-V butt weld with root face and sealing run			Angle Gap Thickness of root face Thickness	(β) (b) (c) (t ₀)	c > 2 mm

(*) the reference number is in accordance with EN 29692

Γενική εισαγωγή στην τεχνολογία συνδέσεων -
συγκολλήσεων

Ref. No. (*)	Designation	Illustration	Cross section	Parameters to be specified	Remarks
2.5.5	Double-V butt weld with broad root face			Angle of bevel (α_1, α_2) Gap (b) Thickness of root face (c) Depth of preparation (h_1, h_2) Thickness (t_0)	
2.3.3	Double-V butt weld			Angle of bevel (α_1, α_2) Gap (b) Thickness of root face (c) Depth of preparation (h) Thickness (t_0)	$h = t/2$
2.3.3 A	Asymmetrical double-V butt weld			Angle of bevel (α_1, α_2) Gap (b) Thickness of root face (c) Depth of preparation (h) Thickness (t_0)	
2.7.9	Single-U butt weld with sealing run			Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Radius (R) Thickness (t_0)	
2.7.7	Double-U butt weld			Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Depth of preparation (h) Radius (R) Thickness (t_0)	It can also be asymmetrical
2.4.9	Single bevel butt weld with sealing run			Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Thickness (t_0)	

Ref. No. (*)	Designation	Illustration	Cross section	Parameters to be specified	Remarks
2.4.4	Double bevel butt weld			Angle (β_1, β_2) Gap (b) Thickness of root face (c) Depth of preparation (h) Thickness (t_a)	It can also be asymmetrical
2.8.9	Single-J butt weld with sealing run			Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Radius (R) Thickness (t_a)	
2.8.8	Double-J butt weld			Angle (β) Gap (b) Thickness of root face (c) Radius (R) Thickness (t_a)	It can also be asymmetrical

Table 2.1 Part 3: Joint preparation for fillet welds

Ref. No. (*)	Designation	Illustration	Cross section	Parameters to be specified	Remarks
3.10A	Fillet weld, T-joint			Angle (α) Gap (b) Thicknesses (t_{a1}, t_{a2})	
4.10.10 C	Double fillet weld,			Gap (b) Thicknesses (t_{a1}, t_{a2})	

(*) the reference number is in accordance with EN 29692

Αντίστοιχα ο συμβολισμός της προετοιμασίας των άκρων στα σχέδια συγκόλλησης φαίνεται παρακάτω:

Ονομασία	Σύμβολο	Απεικόνιση	Συμβολική Παράσταση	Ονομασία	Σύμβολο	Απεικόνιση	Συμβολική Παράσταση
Ραφή με αναδιπλούμενες άκρες				Ραφή Υ	Υ		
Ραφή Ι				Ραφή ΗΥ	Υ		
Ραφή V	V			Ραφή U	U		
Ραφή ΗV	V			Εξωραφή			
Ραφή σπής				Επιφανειακή μεταποραφή			
Σημειακή Ραφή				Επιφανειακή Ραφή			
Γραμμική Ραφή				Πλάγια Ραφή			
Ισοσκελής τραπεζοειδής ραφή				Ραφή με αναδιπλούμενες άκρες 180°			

Συνοψίζοντας την εισαγωγή στην τεχνολογία των συγκολλήσεων, η εφαρμογή της καταλληλότερης μεθόδου συγκόλλησης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία της συγκόλλησης. Μερικοί από τους παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιτυχημένη επιλογή της μεθόδου είναι οι ακόλουθοι:

- Η γεωμετρία της κατασκευής
- Το προς συγκόλληση υλικό
- Η προσβασιμότητα που υπάρχει στα άκρα της συγκόλλησης
- Ο αριθμός των συγκολλήσεων που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν
- Ο διατιθέμενος εξοπλισμός συγκόλλησης
- Η θέση συγκόλλησης
- Οι προδιαγραφές / απαιτήσεις της κατασκευής
- Άλλοι οικονομικοί παράγοντες

3. Κοπή και διαμόρφωση άκρων συγκόλλησης

3.1. Εισαγωγή

Η προετοιμασία των άκρων της συγκόλλησης είναι ένα απαραίτητο στάδιο για την επιτυχημένη εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου. Ακόμα και σε περιπτώσεις όπου δεν γίνεται κάποια λοξοτομή, απαιτείται μια καθαρή επιφάνεια που έχει προέρθει από κάποια μέθοδο κοπής.

Οι μέθοδοι κοπής που χρησιμοποιούν μια πηγή θερμότητας είναι οι :

- Κοπή με χρήση φλόγας οξυγόνου (οξυγονοκοπή)
- Κοπή με χρήση τόξου και ηλεκτρόδιο άνθρακα (arccair)
- Κοπή με πλάσμα
- Κοπή με laser
- Κοπή με Electronbeam

Υπάρχουν όμως και μέθοδοι κοπής που δεν χρησιμοποιούν κάποια πηγή θερμότητας αλλά η κοπή γίνεται με μηχανικό τρόπο. Τέτοιες μέθοδοι είναι η υδροκοπή (Water Jet) και φυσικά η οποιαδήποτε μηχανουργική κατεργασία.

3.2. Κοπή με χρήση φλόγας

Η οξυγονοκοπή είναι ο πλέον κλασικός τρόπος κοπής ελασμάτων, μορφοσιδήρων αλλά και σωλήνων στις βιομηχανικές κατασκευές. Χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην προετοιμασία των ακμών για τη συγκόλληση και εφαρμόζεται για τις κυριότερες μεθόδους συγκόλλησης.

Ο χάλυβας «καίγεται» δηλαδή οξειδώνεται πάρα πολύ γρήγορα όταν θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία 1.100 C και έρχεται σε επαφή με καθαρό οξυγόνο. Το οξυγόνο αντιδρά εξώθερμα με τον σίδηρο σχηματίζοντας ένα οξείδιο (Fe_3O_4) δίνοντας ταυτόχρονα μια σημαντικά μεγάλη ποσότητα θερμότητας. Αυτή η θερμότητα που παράγεται είναι ικανή να λειώσει το οξείδιο του σιδήρου καθώς και λίγο από το καθαρό μέταλλο με αποτέλεσμα καινούρια επιφάνεια καθαρού μετάλλου να έρχεται σε επαφή με το ρεύμα του καθαρού οξυγόνου. Η ασετυλίνη αλλά και το προπάνιο χρησιμοποιούνται ως αέρια καύσης ενώ το οξυγόνο θα πρέπει να είναι μεγάλης καθαρότητας για να επιτυγχάνονται μεγάλες ταχύτητες κοπής.

Για να λειτουργεί η ανωτέρω διαδικασία και να επιτυγχάνεται κοπή με χρήση οξυγόνου, θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες:

1. Το υλικό που θα κοπεί θα πρέπει να καίγεται (οξειδώνεται βίαια) με ένα ρεύμα οξυγόνου. Συνήθως αυτή η απαίτηση ικανοποιείται από όλα τα μέταλλα που σχηματίζουν οξείδια με το οξυγόνο, με πιο χαρακτηριστικά τα σιδηρούχα υλικά.

2. Η θερμοκρασία οξείδωσης θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης. Στους χάλυβες κατασκευών αυτή η θερμοκρασία είναι περίπου 1.200°C, ενώ η θερμοκρασία τήξης τους είναι 1.500°C. Όσο το ποσοστό του άνθρακα μεγαλώνει, τόσο μειώνεται η θερμοκρασία τήξης και αυξάνεται η θερμοκρασία οξείδωσης. Αυτή λοιπόν η συνθήκη παύει να ικανοποιείται για ποσοστό άνθρακα μεγαλύτερο του 1,6% και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κοπή με οξυγόνο να μην βρίσκει εφαρμογή στους χυτοσιδήρους και στους εργαλειοχάλυβες.

3. Η θερμοκρασία τήξης των οξειδίων που σχηματίζονται θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης του μετάλλου. Μερικά κράματα σχηματίζουν δύστηκτα οξείδια. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι το Αλουμίνιο. Το σημείο τήξης του αλουμινίου είναι 660°C και το σημείο τήξης των κραμάτων του είναι 2.050°C. Για τον λόγο αυτό το αλουμίνιο δεν μπορεί να κοπεί με οξυγόνο.

Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει με τα οξείδια του χρωμίου και αυτό έχει σαν συνέπεια την μη εφαρμοσιμότητα της κοπής με φλόγα οξυγόνου στους ανοξειδωτους χάλυβες.

4. Τα σχηματιζόμενα οξείδια πρέπει να έχουν μεγάλη ρευστότητα. Εφόσον η σκουριά που σχηματίζεται δεν είναι αρκετά ρευστή έτσι ώστε να απομακρύνεται εύκολα από την επιφάνεια κοπής με το ρεύμα του οξυγόνου, τότε η μέθοδος εφαρμόζεται δύσκολα. Αυτό το χαρακτηριστικό της σκουριάς επηρεάζεται από στοιχεία όπως το χρώμιο αλλά και το πυρίτιο.

5. Η θερμική αγωγιμότητα του υλικού δεν πρέπει να είναι μεγάλη. Εάν η θερμική αγωγιμότητα του υλικού είναι τόσο μεγάλη ώστε η θερμότητα που διαχέεται είναι μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται μέσω της εξώθερμης αντίδρασης, τότε η κοπή δεν προχωράει με αποτέλεσμα η μέθοδος να μην μπορεί να εφαρμοσθεί. Τέτοιο παράδειγμα είναι ο χαλκός.

3.2.1. Ιδιότητες των αερίων που χρησιμοποιούνται

3.2.1.1.Οξυγόνο

Το οξυγόνο που απαιτείται για την συγκεκριμένη μέθοδο παράγεται από τον διαχωρισμό του ατμοσφαιρικού αέρα, ο οποίος περιέχει 21% οξυγόνο. Συνήθως η καθαρότητα του είναι 99,5 %. Μπορεί να υπάρχει σε αέρια ή σε υγρή μορφή. Συνήθως και για συνηθισμένες καταναλώσεις βρίσκεται σε αέρια μορφή σε χαλύβδινες φιάλες χωρητικότητας 40 ή 50 λίτρων με αντίστοιχη πίεση 150 ή 200 bar.

Σύμφωνα με το ισχύον πρότυπο EN 1089 το χρώμα της φιάλης που περιέχει οξυγόνο είναι λευκό.

Το οξυγόνο είναι ένα άχρωμο, άοσμο και μη τοξικό αέριο. Δεν καίγεται από μόνο του αλλά είναι απαραίτητο σε κάθε διαδικασία καύσης και μάλιστα ενισχύει θεαματικά την θερμική απόδοση οποιασδήποτε φλόγας.

Ανάλογα με τον τύπο της φιάλης οι όγκοι αερίου οξυγόνου που περιέχονται σε αυτές είναι:

Φιάλη 50 lt περιέχει 10,7 m3 αερίου, στα 200 bar πίεση

Φιάλη 40 lt περιέχει 6,6 m3 αερίου, στα 150 bar πίεση

Γενικότερα για σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης περιβάλλοντος στο 1 bar, ισχύει ότι ο όγκος του αερίου που περιέχεται στη φιάλη (σε λίτρα) είναι ίσος με την πίεση πλήρωσης της φιάλης (σε bar) επί τον όγκο της φιάλης (σε λίτρα)

3.2.1.2.Ασετυλίνη

Στην κοπή με χρήση φλόγας, στις περισσότερες των περιπτώσεων, το αέριο καύσης που χρησιμοποιείται είναι η ασετυλίνη (C_2H_2) και έτσι η μέθοδος ονομάζεται μέθοδος τήξης με οξυακετυλινική φλόγα. Θεωρητικά και άλλοι υδρογονάνθρακες όπως το προπάνιο (C_3H_8) και το μεθάνιο (CH_4) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως αέρια καύσης, αλλά η ασετυλίνη δίνει την μεγαλύτερης θερμότητας φλόγα, όταν καίγεται με οξυγόνο, σε σχέση με όλα τα άλλα αέρια και αυτό όχι εξαιτίας της πολύ μεγαλύτερης θερμιδογόνου τιμής της, αλλά λόγω της μεγάλης ταχύτητας έναυσης και καύσης.

Η ασετυλίνη είναι ένα άχρωμο αέριο, ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει μια χαρακτηριστική οσμή.

Αν και η ασετυλίνη είναι σταθερή σε χαμηλή πίεση, εν τούτοις σε πιέσεις πάνω από 1 bar γίνεται ασταθής λόγω διάσπασης του μορίου της σε άνθρακα και υδρογόνο και επομένως με θέρμανση ή με κτύπημα μπορεί να εκραγεί. Για τον λόγο αυτό οι φιάλες ασετυλίνης θα πρέπει να είναι μακριά από εστίες θέρμανσης και να αποφεύγεται οποιοδήποτε χτύπημα σε αυτές.

Για την αποφυγή του παραπάνω φαινομένου, η ασετυλίνη φυλάσσεται σε φιάλες που είναι γεμάτες με ένα πορώδες υλικό. Χρησιμοποιείται ακετόνη, ένα άχρωμο εύφλεκτο υγρό, η οποία γεμίζει τους πόρους του παραπάνω υλικού (μέχρι περίπου το 40%). Το πορώδες υλικό δρα σαν σφουγγάρι που απορροφά την ακετόνη, η οποία απορροφά με τη σειρά της την ασετυλίνη. Για κάθε λίτρο όγκου φιάλης, απαιτούνται 0,32 κιλά ακετόνης.

Για παράδειγμα σε πίεση 1 bar, 1 λίτρο ακετόνης μπορεί να απορροφήσει 24 λίτρα ασετυλίνης. Κατ' αυτόν τον τρόπο η πίεση στη φιάλη μπορεί να φθάσει στα 18 bar χωρίς να υπάρξει έκρηξη.

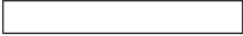
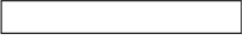


















Το περιεχόμενο μιας φιάλης ασετυλίνης μπορεί να προσδιορισθεί με ζύγιση, δεδομένου ότι η εσωτερική πίεση εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ότι σε μια φιάλη 50 lt περιέχονται 16 Kg ακετόνης και 10 kg αερίου (9.090 lt).

Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι η χρήση απλών φιαλών ασετυλίνης, συμφέρει εφόσον υπάρχει μια μέγιστη κατανάλωση της τάξης των 100 κιλών ανά μήνα. Για μεγαλύτερες καταναλώσεις προτιμούνται συστοιχίες φιαλών ή ακόμα και δεξαμενές.

Είναι πολύ σημαντικό να μην αδειάζει ποτέ η φιάλη της ασετυλίνης κάτω από το 1/7 της χωρητικότητας της.

Οι φιάλες που περιέχουν τα διάφορα αέρια καύσης, θα πρέπει για λόγους ασφαλείας, να ξεχωρίζουν μεταξύ τους με χαρακτηριστικά χρώματα. Μέχρι το 2004 ήταν σε ισχύ το πρότυπο UNI 4045, αλλά σήμερα το ισχύον πρότυπο είναι το EN 1089-3. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρότυπο τα χρώματα των φιαλών που περιέχουν αέρια θα πρέπει να είναι αυτά που παρουσιάζονται στην Εικόνα 10:

Cylinders colours

UNI 4045*		EN 1089-3
	OXYGEN	
	ACETYLENE	
	HYDROGEN	
	HELIUM	
	ARGON	
	CO₂	
	COMPR. AIR	
	NITROGEN	
	GAS MIXTURES	
	NON BREATHABLE	
	FLAMABLE	

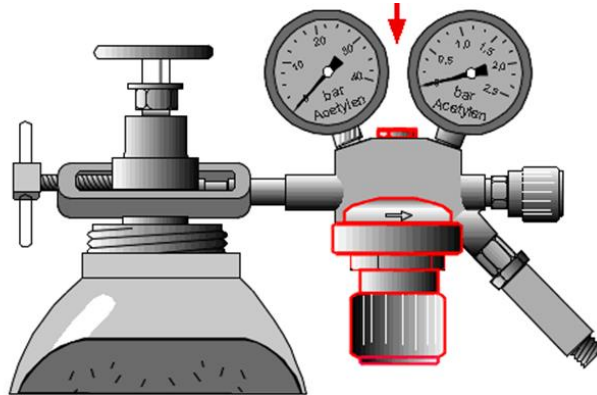
Σε ισχύ έως 31/12/2004

Εικόνα 10: Χρωματική κωδικοποίηση των φιαλών

3.2.2. Διατάξεις ασφαλείας

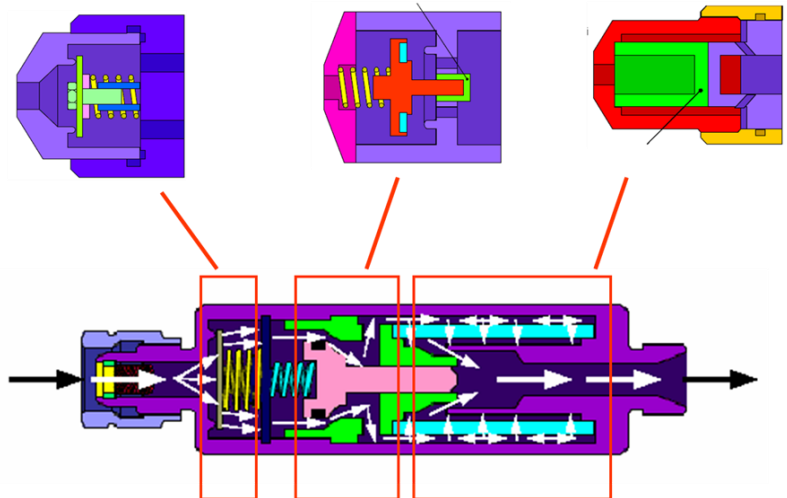
Βασικό στοιχείο κάθε φιάλης ασετυλίνης είναι ο ρυθμιστής πίεσης. Σε αυτόν ρυθμίζεται η πίεση του αερίου προς το εργαλείο συγκόλλησης, αλλά μπορεί κανείς να παρακολουθήσει και την πίεση πλήρωσης της κάθε φιάλης. Η ρυθμιζόμενη πίεση εργασίας είναι ανεξάρτητη από την πίεση του αερίου μέσα στη φιάλη αλλά και από τη ροή του αερίου η οποία ρυθμίζεται από το εργαλείο συγκόλλησης.

Κάθε ρυθμιστής πίεσης ασετυλίνης θα πρέπει να έχει ορισμένες διατάξεις ασφαλείας έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η ροή φωτιάς ή αερίου προς την φιάλη. Αυτές οι διατάξεις δίνονται σχηματικά στα επόμενα Σχήματα.

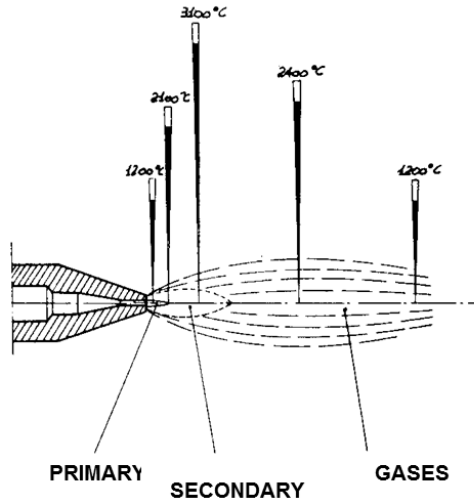


Εικόνα 11: Ρυθμιστής πίεσης φιάλης ασετυλίνης

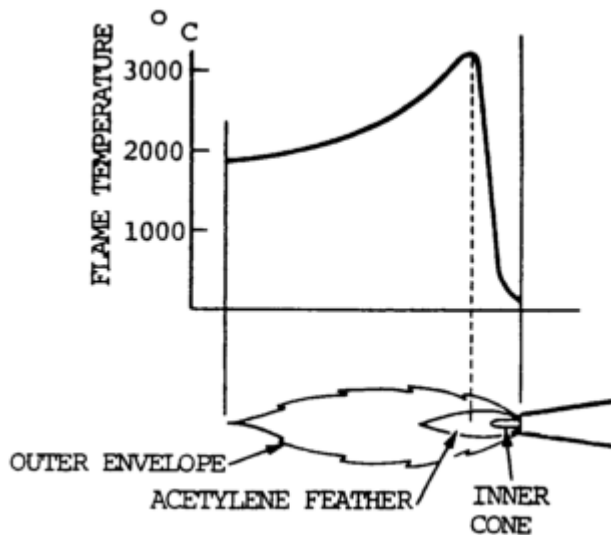
Η αντεπίστροφη βαλβίδα είναι σχεδιασμένη να απαγορεύει την ανάποδη ροή αέρα, οξυγόνου ή ασετυλίνης, και να εμποδίζει επίσης την χαμηλή πίεση αερίου στο εργαλείο συγκόλλησης.



Εικόνα 12: Λειτουργία αντεπίστροφης βαλβίδας



Εικόνα 13: Οξυακετυλινική φλόγα. Στάδια καύσης



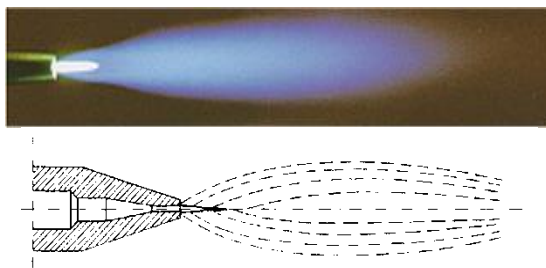
Εικόνα 14: Θερμοκρασία κατά μήκος της φλόγας

Ο εσωτερικός κώνος ο οποίος είναι φωτεινός και έχει ένα έντονα μπλε χρώμα είναι ο κώνος εργασίας. Όσο πιο κοντά βρίσκεται αυτός ο κώνος στην επιφάνεια εργασίας τόσο περισσότερο μεταφέρεται η θερμότητα της φλόγας στο μέταλλο.

Η φλόγα μπορεί να γίνεται σκληρή ή μαλακή, ρυθμίζοντας τη ροή των αερίων. Μικρή ροή αερίου μέσα από ένα μεγάλο μπεκ, δίνει μια μαλακή αναποτελεσματική φλόγα, ευαίσθητη σε σβήσιμο. Όταν η ροή του αερίου είναι πολύ υψηλή, τότε η φλόγα είναι σκληρή, δύσκολα ελέγξιμη και θα σπρώχνει το λιωμένο μέταλλο έξω από τη συγκόλληση. Ρυθμίζοντας την αναλογία οξυγόνου/ασετυλίνης δημιουργούνται διαφορετικές συνθήκες. Συνήθως οι περισσότερες συγκολλήσεις γίνονται με αναλογία 1:1. Οξειδωτική φλόγα δημιουργείται με την αύξηση της ροής του οξυγόνου και αναγωγική φλόγα με αύξηση της ροής της ασετυλίνης. Η ρύθμιση αυτών των παραμέτρων είναι σημαντική για την επιτυχημένη διαδικασία συγκόλλησης.

3.2.2.1. Ουδέτερη φλόγα

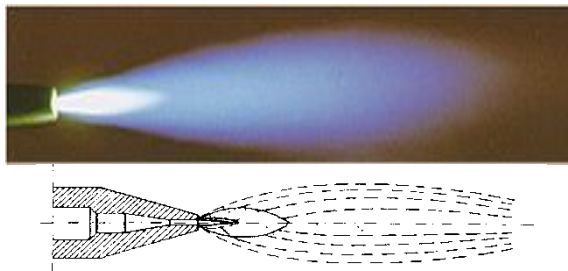
Η ουδέτερη φλόγα χαρακτηρίζεται από τη στοιχειομετρική αναλογία οξυγόνου-ασετυλίνης (1:1). Επιτυγχάνεται ξεκινώντας με περίσσεια ασετυλίνης, όπου η φλόγα σχηματίζει «φτερό». Όταν μειώνεται η ροή της ασετυλίνης ή αυξάνεται η ροή του οξυγόνου τότε το «φτερό» εξαφανίζεται και αυτό είναι ένδειξη ότι η φλόγα έγινε ουδέτερη. Όταν πρόκειται για συγκολλήσεις, αυτού του τύπου η φλόγα χρησιμοποιείται στις περισσότερες συγκολλήσεις, διότι δίνει ένα λιωμένο μέταλλο χωρίς αναταράξεις, πιτσιλίσματα και βρασμό. Στην ουδέτερη φλόγα η θερμοκρασία του εσωτερικού κώνου είναι περίπου 3.232°C, ενώ στο τέλος της φλόγας κατεβαίνει έως τους 1260°C. Αυτό δίνει μια δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας που θα μεταφερθεί στο μέταλλο βάσης, ανάλογα με το σημείο της φλόγας που έρχεται σε επαφή με αυτό.



Εικόνα 15: Ουδέτερη φλόγα

3.2.2.2. Αναγωγική φλόγα

Αυτή η φλόγα επιτυγχάνεται αφού πρώτα δημιουργηθεί μια ουδέτερη φλόγα. Στη συνέχεια με αύξηση της ροής της ασετυλίνης (άνοιγμα βαλβίδας) σχηματίζονται στην άκρη του κώνου «φτερά» πράγμα που δηλώνει την περίσσεια ασετυλίνης. Είναι χαρακτηριστικό της αναγωγικής φλόγας, το ότι είναι πάντα ευδιάκριτες 3 διαφορετικές ζώνες.



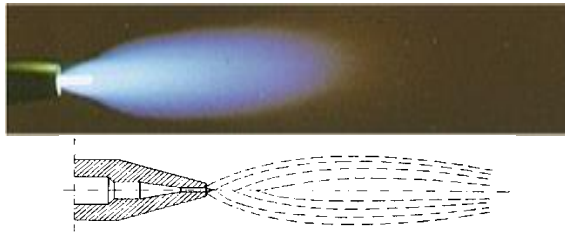
Εικόνα 16: Αναγωγική φλόγα

Διακρίνεται ο εσωτερικός κώνος, ένας λευκός ενδιάμεσος κώνος που δηλώνει την περίσσεια της ασετυλίνης και ένας ανοιχτός μπλε εξωτερικός κώνος. Αυτός ο τύπος της φλόγας συνοδεύεται και από ένα χαρακτηριστικό ήχο. Ο εσωτερικός κώνος έχει θερμοκρασία 3150°C.

Με την αναγωγική φλόγα το μέταλλο βράζει και δεν είναι καθαρό. Όταν πρόκειται για συγκολλήσεις, η αναγωγική φλόγα χρησιμοποιείται κυρίως σε χάλυβες υψηλού άνθρακα, σε σκληρές αναγομώσεις και σε μη σιδηρούχα κράματα όπως αυτά του Νικελίου. Όταν χρησιμοποιείται για μπρουτσοκόλληση ή ασημοκόλληση, θα πρέπει να έρχεται σε επαφή με το μέταλλο μόνο το εξωτερικό μέρος της φλόγας.

3.2.2.3 Οξειδωτική φλόγα

Η οξειδωτική φλόγα επιτυγχάνεται με αύξηση της ροής του οξυγόνου, έως ότου ο εσωτερικός κώνος να γίνει το 1/10 του αρχικού του μήκους. Ο εσωτερικός κώνος είναι μικρός, αιχμηρός και ελαφρά μωβ. Η θερμοκρασία της οξειδωτικής φλόγας είναι περίπου 3450°C. Όταν εφαρμόζεται στο χάλυβα προκαλεί αναταράξεις στο λουτρό συγκόλλησης και δίνει αρκετά πιτσιλίσματα, για τον λόγο αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για συγκόλληση χαλύβων διότι σχηματίζονται πολλοί πόροι, το λουτρό συγκόλλησης οξειδώνεται και η συγκόλληση γίνεται ψαθυρή. Με περισσότερο οξειδωτική φλόγα γίνονται μπρουτσοκολλήσεις σε μπρούτζο ή ορείχαλκο.

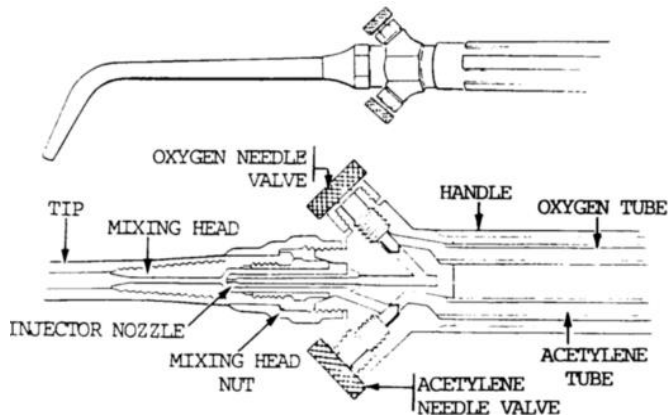


Εικόνα 17: Οξειδωτική φλόγα

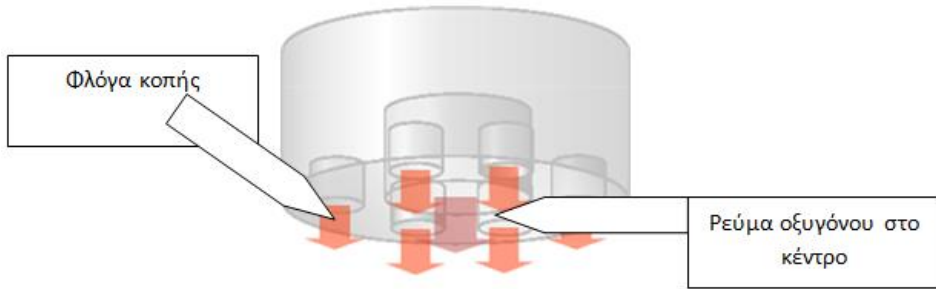
3.2.3. Εργαλεία

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των εργαλείων κοπής με χρήση φλόγας, είναι η μέθοδος μίξης των αερίων. Σήμερα ο τύπος εργαλείου συγκόλλησης που χρησιμοποιείται είναι ο injector type.

Το οξυγόνο, το οποίο ρυθμίζεται σε μια μεγαλύτερη πίεση (2,5 bar), τρέχει μέσα στην ασετυλίνη που έχει μικρότερη πίεση (0,5 bar). Δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο ένα «ρούφηγμα» της ασετυλίνης από το οξυγόνο και τα δύο αέρια αναμιγνύονται στο θάλαμο του εργαλείου με την καύση γίνεται ακριβώς έξω από το μπεκ. Οποιαδήποτε αλλαγή στη ροή του οξυγόνου θα δημιουργήσει μια αντίστοιχη αλλαγή στη ροή της ασετυλίνης έτσι ώστε να διατηρηθούν περίπου οι ίδιες συνθήκες.

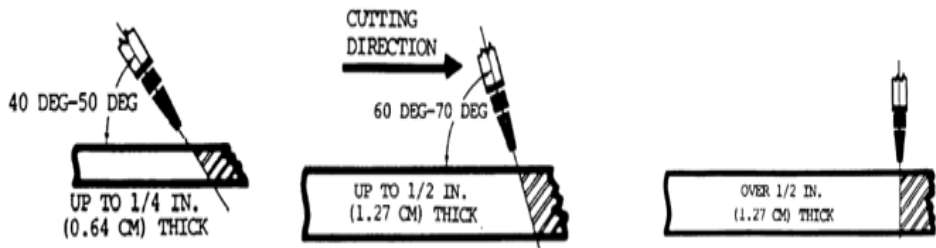


Εικόνα 18: Εργαλείο κοπής



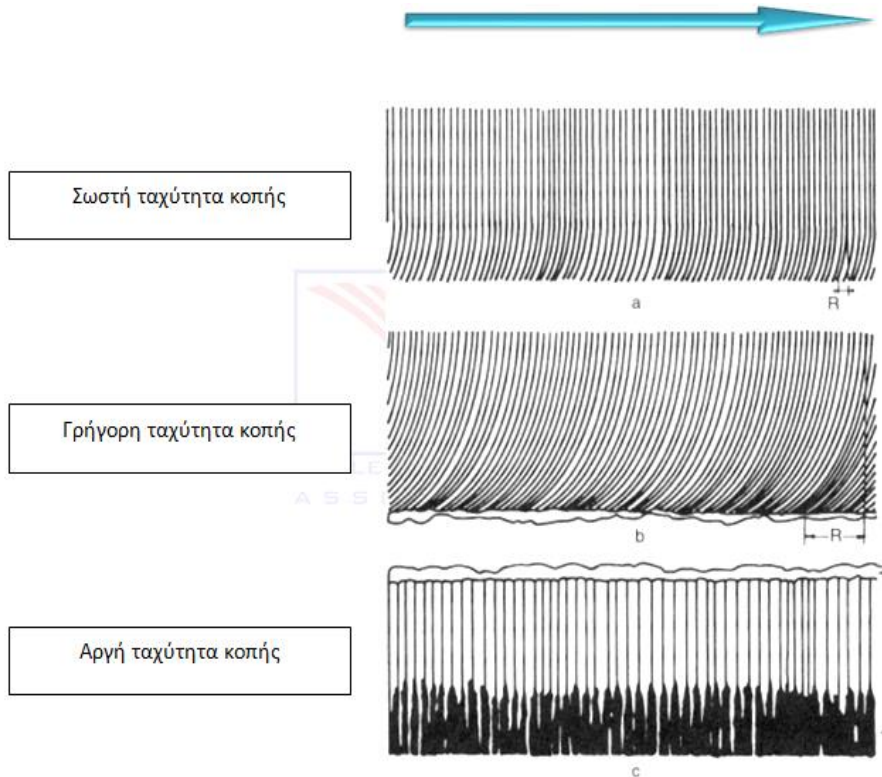
Εικόνα 19: Τυπικό μπεκ κοπής

Σχετικά με την τεχνική κοπής με οξυγόνο, σε περιπτώσεις κοπής λεπτών ελασμάτων (έως 0,64 cm πάχους), το εργαλείο πρέπει να κοιτάει προς την κατεύθυνση κοπής και να έχει μια γωνία 40-50 μοίρες. Για πιο χονδρά ελάσματα (μέχρι και πάχους 1,27 cm) η γωνία που σχηματίζει το εργαλείο με την επιφάνεια του μετάλλου πρέπει να είναι μεταξύ 60 – 70 μοίρες, ενώ για ακόμα μεγαλύτερα πάχη, το εργαλείο πρέπει να κόβει κάθετα προς την επιφάνεια του μετάλλου. Η παραπάνω τεχνική παρουσιάζεται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20: Τεχνικές χειρονακτικής οξυγονοκοπής

Η ταχύτητα κοπής, όταν η μέθοδος είναι χειρονακτική, συνεχώς αλλάζει. Επομένως μεγαλύτερη σημασία έχουν οι ρυθμίσεις της φλόγας και η επιλογή του κατάλληλου μπεκ καθώς και της κατάλληλης πίεσης των αερίων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή επιφάνεια κοπής. Στον παρακάτω πίνακα δίδονται ενδεικτικές τιμές παραμέτρων για την οξυγονοκοπή διαφόρων παχών χαλύβων.



Εικόνα 21: Επιφάνεια τομής οξυγονοκοπής για διαφορετικές ταχύτητες κοπής

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στους υψηλά κραματωμένους χάλυβες, κατά τη διάρκεια της κοπής, υπάρχει ο κίνδυνος σκλήρυνσης (βαφής) του μετάλλου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που δίδεται στο μέταλλο σε συνδυασμό με τη γρήγορη απόψυξη. Έτσι μπορεί να δημιουργηθούν ανεπιθύμητες φάσεις στην επιφάνεια κοπής οι οποίες στη συνέχεια να δημιουργήσουν πρόβλημα κατά την διαδικασία συγκόλλησης. Για αυτούς τους χάλυβες θα πρέπει να εφαρμόζεται μια διαδικασία προθέρμανσης στους 250 με 300°C, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μείωση του ρυθμού ψύξης μετά την οξυγονοκοπή.

Σήμερα σταθερές μηχανές κοπής (παντογράφοι) έχουν κατακλύσει την αγορά και προσφέρουν υψηλής ποιότητας κοπές και πολλούς αυτοματισμούς. Οι CNC μηχανές κοπής προγραμματίζονται είτε στην οθόνη ελέγχου που έχουν πάνω στον κορμό της μηχανής, είτε σε ξεχωριστό υπολογιστή γραφείου. Εκεί παράγεται το πρόγραμμα κοπής το οποίο μεταφέρεται ηλεκτρονικά στη μηχανή. Οι μηχανές αυτές έχουν κάποια έτοιμα προγράμματα (macros) πάνω στα οποία μπορούν να αλλαχθούν οι διαστάσεις ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής. Σημαντικές είναι οι δυνατότητες που δίνουν για «φώλιασμα» των διαφόρων κομματιών με σκοπό την ελαχιστοποίηση της φύρας.

Η πολύ καλή ποιότητα κοπής που οφείλεται στις σταθερές παραμέτρους κοπής (ταχύτητα, φλόγα, πίεση αερίων) ενισχύεται από μια σειρά αυτοματισμούς με τους οποίους είναι εξοπλισμένες τέτοιου είδους μηχανές. Μερικοί από αυτούς τους αυτοματισμούς είναι οι ακόλουθοι:

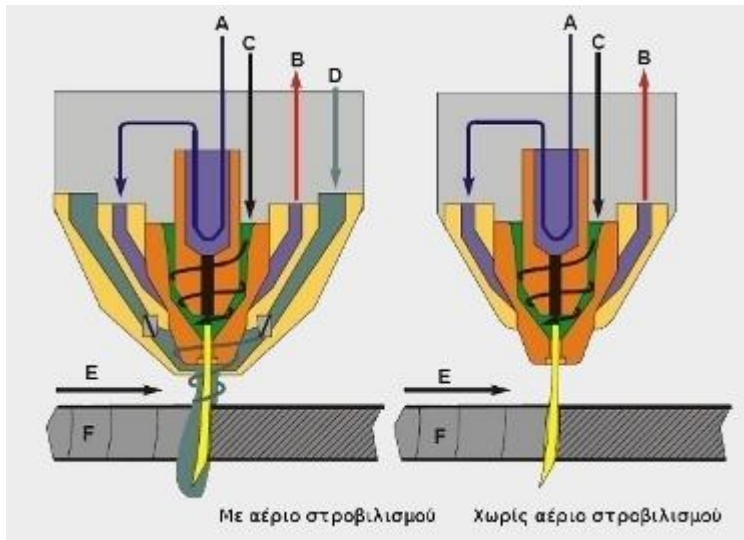
- Αυτόματο πρόγραμμα ξετρυπήματος στη μέση του κομματιού
- Καθυστέρηση στην κοπή της γωνίας για να βγει κάθετη η επιφάνεια
- Αυτόματο σύστημα ελέγχου του ύψους του εργαλείου κοπής από τη λαμαρίνα
- Σημάδεμα και εγγραφή ταυτότητας σε κάθε κομμάτι που κόβεται (marking)
- Αυτόματο σύστημα έναυσης και ρύθμισης της φλόγας
- Μεγάλη ακρίβεια στην κίνηση
- Τραπέζι κοπής με σύστημα απαγωγής καπναερίων κλπ

3.3. Κοπή με δέσμη πλάσματος

Το Πλάσμα ορίζεται ως σύνολο από φορτισμένα σωματίδια που περιέχει περίπου ίσο αριθμό θετικών ιόντων και ηλεκτρονίων και που εμφανίζει κάποιες από τις ιδιότητες των αερίων. Με το πλάσμα γίνονται κοπές και λοξοτομές σε όλα τα μέταλλα, επειδή κόβει, λιώνοντας το μέταλλο και το απομακρύνει με αέριο υπό πίεση. Όμως οι συσκευές πλάσματος κοστίζουν. Κατά τα λοιπά, ο τρόπος κοπής με το πλάσμα δε διαφέρει πολύ από του οξυγόνου. Ο Πυρσός (τσιμπίδα) πλάσματος χρησιμοποιεί ένα ακροφύσιο (μπεκ) από κάποιο κράμα χαλκού για να περιορίσει το ρεύμα του ιονισμένου αερίου και να εστιάζει την ενέργειά του σε μία πολύ μικρή περιοχή.

Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος που βγαίνει με ορμή από το μπεκ μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα στην προς κοπή λαμαρίνα την οποία και τήκει με ταυτόχρονη απομάκρυνση του τηγμένου μετάλλου από την ίδια τη ροή του πλάσματος.

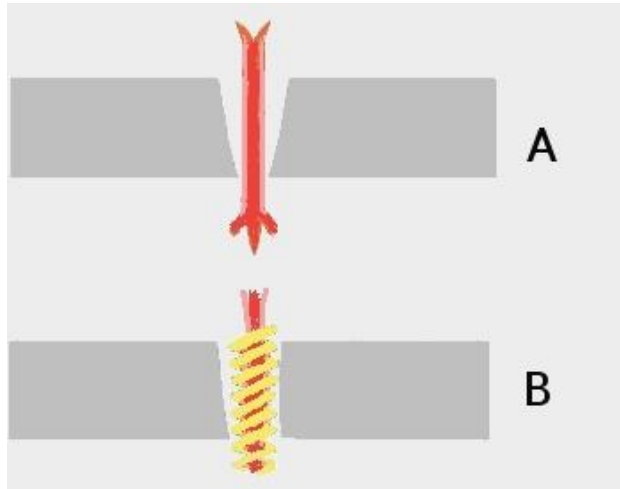
Στην Εικόνα 22, επεξηγηματική τομή μιας τσιμπίδας πλάσματος με και χωρίς αέριο περιδίνησης (Swirl Gas), για το οποίο θα μιλήσουμε αμέσως παρακάτω: **A.** Είσοδος ψυκτικού, **B.** Έξοδος ψυκτικού, **C.** Αέριο Πλάσματος, **D.** Αέριο περιδίνησης [Swirl Gas], **E.** Κατεύθυνση κοπής και **F.** Επιφάνεια κοπής.



Εικόνα 22: Τομή μιας τσιμπίδας πλάσματος

3.3.1. Περιδίνηση του αερίου

Η εισαγωγή της τεχνολογίας περιδίνησης του αερίου υποβοηθά την κοπή με πολλούς τρόπους. Πρώτα-πρώτα, η περιδίνηση αυξάνει την ψύξη. Τα μη ιονισμένα άτομα του αερίου είναι βαρύτερα και μικρότερης θερμοκρασίας από τα ιονισμένα, και καθώς αναγκάζονται σε περιδίνηση κατανέμονται στο εξωτερικό της περιδινούμενης στήλης του αερίου. Αυτό το ψυχρότερο φράγμα προστατεύει το χάλκινο μπεκ. Όσο αυξάνει η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, τόσο μεγαλώνει το ποσοστό ιονισμένων ατόμων, αλλάζοντας τον "ιδανικό λόγο" 30%/70% (30% πλάσμα, 70% ψυχρό αέριο), και η ψύξη μειώνεται, μικραίνοντας τη ζωή του μπεκ. Τα μπεκ σχεδιάζονται για να λειτουργούν σε συγκεκριμένο φάσμα έντασης ρεύματος.



Εικόνα 23: Η περιδίνηση του αερίου στο πλάσμα

Η περιδίνηση του αερίου βελτιώνει την ποιότητα κοπής. Αν το αέριο του πλάσματος δεν έμπαινε σε περιστροφή, το αποτέλεσμα θα ήταν κοπή "φρεζαριστή" και στις δύο πλευρές του αυλακιού κοπής Αναγκάζοντας το αέριο να περιδινείται, το τόξο κατανέμεται ομοιόμορφα στην μία πλευρά της "κολώνας", οπότε η κοπή από εκεί είναι "κάθετη". Εάν αλλάξει η φορά της περιδίνησης (ανάποδα από τη φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού, αν πριν ήταν σύμφωνη με αυτήν), η κάθετη πλευρά θα αλλάξει αντιδιαμετρικά. Καθώς το ιονισμένο αέριο (το τόξο του πλάσματος) στριφογυρίζει, το ηλεκτρικό τόξο προσβάλλει κάθετα και σε όλο της το πλάτος την πλευρά του φύλλου που θα κόψουμε. Όταν γίνεται αυτό η ενέργεια κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το πάχος της κοπής του αντικειμένου εργασίας. Αυτή η ισοκατανομή της ενέργειας έχει αποτέλεσμα πιο "τετράγωνη" κοπή, ενώ από την αντίθετη πλευρά η επιφάνεια κοπής έχει μία γωνία κλίσης 5 μέχρι 8 μοιρών.

Η εισαγωγή αερίου προστασίας περιορίζει ακόμα περισσότερο το τόξο και ψύχει το μπεκ. Αυτό το αέριο εισάγεται μετά τον ιονισμό του αερίου του πλάσματος, στην άκρη του μπεκ.

3.3.2. Η Εκκίνηση του Τόξου Πλάσματος

Υπάρχουν τρία κύρια εξαρτήματα στο εσωτερικό μιας τσιμπίδας:

- Το Ηλεκτρόδιο
- Ο Ελεγκτής Περιδίνησης Αερίου (Gas ή SwirlBaffle)
- Το Ακροφύσιο (Μπεκ)

Αυτά τα εξαρτήματα λέγονται αναλώσιμα. Φθείρονται με τη λειτουργία της μηχανής και πρέπει να αντικαθίστανται. Το ηλεκτρόδιο συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του συνεχούς ρεύματος που παράγει η Γεννήτρια Ισχύος του Πλάσματος. Το ακροφύσιο (μπεκ) συνδέεται στον θετικό πόλο αλλά είναι ηλεκτρικά μονωμένο μέσω ενός ανοιχτού ρελέ. Όταν δίνουμε στο σύστημά μας εντολή Έναυσης του Τόξου, συμβαίνουν τα ακόλουθα:

1. Το κεντρικό ρελέ στην Πηγή Ισχύος ενεργοποιείται στέλνοντας ισχυρή αρνητική τάση στο Ηλεκτρόδιο
2. Το Αέριο αρχίζει να ρέει προς την τσιμπίδα και υποχρεώνεται σε περιδίνηση από τον Ελεγκτή Περιδίνησης (Swirl Baffle ή Swirl Control)
3. Οι συνήθως ανοικτές επαφές στο κύκλωμα του μπεκ κλείνουν, συνδέοντάς το με τον θετικό πόλο της γεννήτριας
4. Μία γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων παρέχει υψηλής τάσης και συχνότητας δυναμικό ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και το μπεκ. Αυτό προκαλεί τη δημιουργία μικρού σπινθήρα ανάμεσα στο μπεκ και το ηλεκτρόδιο που ιονίζει το αέριο που τα περιβάλλει
5. Η δημιουργία αυτού του ιονισμένου "διαδρόμου" προκαλεί την έκλυση μεγαλύτερου τόξου συνεχούς ρεύματος ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και το μπεκ. Είναι αυτό που ονομάζουμε Πιλοτικό Τόξο.
6. Το πιλοτικό τόξο ωθείται έξω από το μπεκ, παρασυρόμενο από το ρεύμα του αερίου, και έρχεται σε επαφή με τη λαμαρίνα.
7. Το κύριο τόξο παράγεται όταν το πιλοτικό τόξο έρχεται σε επαφή με τη λαμαρίνα (με την προϋπόθεση πως η τσιμπίδα είναι στην αρκετά κοντά). Το ρελέ του μπεκ ανοίγει βγάζοντας το μπεκ από το κύκλωμα. Έχουν δημιουργηθεί οι συνθήκες για τη δημιουργία τόξου.
8. Το κύριο τόξο ενισχύεται με παροχή ρεύματος μεγαλύτερης έντασης, μετά την απομόνωση του μπεκ από το κύκλωμα με το άνοιγμα του ρελέ.

3.3.3. Διπλό Τόξο

Εάν υπάρξουν ειδικές συνθήκες και το μπεκ παραμένει μέσα στο κύκλωμα, τότε έχουμε τη δημιουργία διπλού τόξου. Όπως περιγράψαμε προηγουμένως, το μπεκ πρέπει να παραμένει μέσα στο κύκλωμα μόνο κατά τη φάση του πιλοτικού τόξου. Αν μείνει στο κύκλωμα και στη φάση του τόξου κοπής, θα καταστραφεί γιατί θα δεχτεί υψηλές εντάσεις κοπής.

Το διπλό τόξο παράγεται από:

- **Διάρτηση με ακίνητο πυρσό.** Η τσιμπίδα πρέπει να τοποθετείται αρκετά κοντά στη λαμαρίνα ώστε να επιτρέψει στο πιλοτικό τόξο να έλθει σε επαφή μαζί της, για να μπορέσει να ξεκινήσει το κυρίως τόξο. Τα "πιτσιλίσματα" λιωμένου μετάλλου, στα αρχικά στάδια της διάρτησης τινάζονται προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά προς τα πλάγια. Καθώς η διάρτηση προχωρά βαθύτερα, το ρεύμα αερίου "φυσάει" μέσα στο κοίλωμα, και ανακλάται προς τα επάνω, παρασύροντας κατακόρυφα προς τα επάνω και το τηγμένο υλικό. Αν αυτό το υλικό συγκεντρωθεί ανάμεσα στο μπεκ και την λαμαρίνα, αφού είναι καλός αγωγός του ρεύματος, θα κρατήσει το μπεκ μέσα στο κύκλωμα, ακόμα και όταν το ρελέ του ανοίξει προσπαθώντας να το απομονώσει. Ένα τέτοιο σενάριο μπορεί να καταστρέψει ολόκληρο το εμπρόσθιο άκρο του πυρσού.
- **Τσιμπίδα σε επαφή με το έλασμα.** Κοπή λεπτού υλικού. Όλα τα συστήματα αυτόματης τοποθέτησης της τσιμπίδας κάνουν χρήση κάποιας μεθόδου ανίχνευσης του ύψους της από τη λαμαρίνα ώστε να τοποθετήσουν την τσιμπίδα στο σωστό ύψος από αυτήν. Μία μέθοδος είναι η μέθοδος επαφής και απομάκρυνσης. Η τσιμπίδα κατεβαίνει αργά μέχρι να αποκτήσει επαφή με τη λαμαρίνα και ανυψώνεται στο σωστό αρχικό ύψος κάνοντας χρήση κάποιου χρονισμού ή κάποιας κωδικοποίησης. Αν η επαφή δεν γίνει αντικείμενο σωστής επεξεργασίας, η τσιμπίδα μπορεί να παραμείνει σε επαφή με τη λαμαρίνα λόγω αναπηδήσεων της λαμαρίνας ή στρεβλώσεών της. Το μπεκ θα παραμείνει στο κύκλωμα και θα δεχτεί εντάσεις κοπής για τις οποίες δεν είναι προορισμένο, με αποτέλεσμα να καταστραφεί.
- **Δυσλειτουργία του πιλοτικού τόξου.** Μερικές φορές μπορεί να συμβεί και το ρελέ του μπεκ να μην το απομονώνει. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται σε βραχυκύκλωση του ρελέ ή σε κάποια βραχυκυκλωμένη αντίσταση. Και σε αυτή την περίπτωση το μπεκ το διατρέχει ρεύμα μεγαλύτερης έντασης από τις προδιαγραφές του, και καταστρέφεται.

Το διπλό τόξο συνήθως συμβαίνει κατά τη διαδικασία της διάρτησης. Μερικές τεχνικές που μπορούν να μας βοηθήσουν να το αποφύγουμε είναι οι ακόλουθες:

Η αργή κίνηση της τσιμπίδας. Η μηχανή προγραμματίζεται έτσι ώστε στη φάση της δημιουργίας του κυρίως τόξου να κινεί την τσιμπίδα αργά. Η ταχύτητα της κίνησης είναι μικρή, περίπου στο 5 μέχρι 10% της κανονικής ταχύτητας κοπής, και διαρκεί μόνο για περιορισμένο χρόνο.

Το πιτσίλισμα του τηγμένου υλικού κατά τη διάτρηση δεν μπορεί να εκτοξευθεί πάνω στο μπεκ αφού αυτό κινείται, έτσι μειώνεται η πιθανότητα διπλού τόξου.

Ανύψωση της ακίνητης τσιμπίδας κατά τη διάτρηση. Όταν δημιουργείται το κυρίως τόξο, η τσιμπίδα αρχίζει να απομακρύνεται από τη λαμαρίνα, οπότε το λιωμένο υλικό δεν μπορεί εύκολα να πλήξει το μπεκ. Η ανύψωση συνεχίζεται για το χρονικό διάστημα που είναι προγραμματισμένο και μετά η τσιμπίδα κατεβαίνει στο σωστό ύψος κοπής αφού η μηχανή έχει αρχίσει να την κινεί με την ταχύτητα κοπής

Ύψος αρχικής διάτρησης μεγαλύτερο από το κανονικό (διάτρηση με ακίνητο πυρσό). Το μεγαλύτερο ύψος κάνει πιο δύσκολο στο τηγμένο υλικό που εκτοξεύεται προς τα επάνω να δημιουργήσει "γέφυρα" ανάμεσα στο μπεκ και τη λαμαρίνα, μειώνοντας τις πιθανότητες για τη δημιουργία διπλού τόξου. Αυτή η μέθοδος προφύλαξης είναι η λιγότερο αποτελεσματική.

3.3.4. Οι μεταβλητές της διαδικασίας κοπής

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν τη διαδικασία κοπής πρέπει να ελέγχονται όλες πολύ προσεκτικά για να επιτυγχάνουμε μέγιστη ποιότητα κοπής, μέγιστη διάρκεια ζωής των αναλωσίμων (ηλεκτρόδιο και μπεκ) και μέγιστη παραγωγικότητα της μηχανής. Πρέπει να διατηρείται μία ισορροπία ανάμεσα σε αυτές.

3.3.4.1. Η Καθαρότητα του Αερίου

Η καθαρότητα του αερίου είναι θεμελιώδης παράγοντας για την καλή ποιότητα κοπής και τη μεγάλη διάρκεια ζωής των αναλωσίμων. Ελάχιστες απαιτήσεις καθαρότητας του Αζώτου είναι το 99,995% και για το Οξυγόνο το 99,5%. Αν τα επίπεδα καθαρότητας είναι χαμηλότερα από τα ελάχιστα συνιστώμενα μπορούν αν συμβούν τα παρακάτω:

- Αδυναμία του τόξου να διεισδύσει σε λεπτά υλικά ανεξάρτητα από την ένταση του ρεύματος
- Αυξομειώσεις στην ποιότητα κοπής, ανάλογα με τον βαθμό μόλυνσης του αερίου.
- Εξαιρετικά μικρή διάρκεια ζωής του ηλεκτροδίου

Όταν κόβουμε με άζωτο(N_2), εμφάνιση ενός λεπτού μαύρου στρώματος καταλοίπων στο ηλεκτρόδιο και το στόμιο του μπεκ. Όσο μεγαλύτερη η μόλυνση, τόσο εντονότερο το στρώμα των καταλοίπων. Όταν το αέριο είναι καθαρό, το ηλεκτρόδιο και το εσωτερικό του μπεκ θα αποκτούν όψη σαν να έχουν περάσει από διαδικασία αμμοβολής

3.3.4.2. Η Πίεση και η Ταχύτητα Ροής του αερίου

Κάθε μπεκ είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί με μια βέλτιστη ένταση ρεύματος σε συνδυασμό με μία δοσμένη πίεση/ροή αερίου. Αυξάνοντας την πίεση προκαλούμε μείωση της διάρκειας ζωής του ηλεκτροδίου. Το καταλαβαίνουμε από τη διάτρητη όψη του πυρήνα του ηλεκτροδίου, που αποτελείται από το δύστηκτο μέταλλο του νγκοστένιο. Αν δουλεύουμε με Άζωτο θα έχουμε πρόβλημα με την έναυση του τόξου. Αν η τσιμπίδα δεν σκάει σπινθήρα σε συνθήκες υψηλής πίεσης, μπορεί να παρατηρηθεί πιλοτικό τόξο που έρχεται με διακοπές. Ενώ η υψηλή πίεση του αερίου συνήθως προκαλεί προβλήματα, η χαμηλή του ταχύτητα ροής προκαλεί το πρόβλημα του διπλού τόξου.

3.3.4.3. Το Αυλάκι Κοπής (Kerf)

Το αυλάκι Κοπής είναι το πλάτος του υλικού (κάθετα στον πυρσό και τον άξονα κοπής) που αφαιρείται κατά την διαδικασία κοπής.

Το αυλάκι κοπής επηρεάζεται από τρεις μείζονες μεταβλητές:

- **Ταχύτητα κοπής.** Αυξάνοντας την ταχύτητα κοπής και κρατώντας τις άλλες μεταβλητές σταθερές παίρνουμε στενότερο αυλάκι κοπής. Το αυλάκι κοπής θα συνεχίσει να στενεύει μέχρι που σε κάποιο σημείο θα χάσουμε την ικανότητα διείδυσης στο υλικό. Χαμηλότερες ταχύτητες κίνησης της τσιμπίδας θα έχουν αποτέλεσμα πλατύτερο αυλάκι κοπής μέχρι που θα συμβεί απώλεια του τόξου.
- **Ένταση του ρεύματος κοπής.** Αυξάνοντας την ένταση του ρεύματος και κρατώντας τις άλλες μεταβλητές σταθερές παίρνουμε πλατύτερο αυλάκι κοπής. Αν συνεχίσουμε να αυξάνουμε την ένταση του ρεύματος το αυλάκι κοπής θα συνεχίσει να μεγαλώνει μέχρι τη στιγμή που θα καταστραφεί το μπεκ. Μειώνοντας την ένταση, θα στενέψει το αυλάκι κοπής και θα έχουμε πιο θετική γωνία κοπής, μέχρι που θα χαθεί η ικανότητα διείδυσης στο υλικό.
- **Ύψος κοπής.** Το ύψος κοπής είναι η απόσταση ανάμεσα στην τσιμπίδα και την επιφάνεια του υλικού που δουλεύουμε όσο κόβουμε, αφού τελειώσει η φάση της διάτρησης. Τα περισσότερα μοντέρνα συστήματα χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα αισθητήρων με ανάδραση τάσης τόξου. Αυξάνοντας την τάση του τόξου αυξάνει το ύψος κοπής και διευρύνεται το αυλάκι κοπής. Αν συνεχίσουμε να αυξάνουμε το ύψος κοπής θα χάσουμε κάποια στιγμή την ικανότητα κοπής. Μειώνοντας το ύψος κοπής θα οδηγηθούμε σε στενότερο αυλάκι κοπής και, τελικά, σε απώλεια της ικανότητας κοπής.

3.3.4.4. Η Τάση του Τόξου

Η τάση του τόξου δεν είναι ανεξάρτητη μεταβλητή. Εξαρτάται από:

- Την ένταση του ρεύματος
- Την διάμετρο του στομίου του μπεκ
- Το ύψος κοπής
- Την ταχύτητα ροής του αερίου
- Την ταχύτητα κοπής

Τα αέρια που απαιτούνται για τις περισσότερες περιπτώσεις είναι το αέριο έναυσης, το αέριο προστασίας και το αέριο κοπής. Σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται και ένα επιπλέον αέριο προστασίας. Διαφορετικά αποτελέσματα παίρνουμε με διαφορετικούς συνδυασμούς Αζώτου, Οξυγόνου, αέρα, μεθανίου, και Η-35 (ένα μίγμα που αποτελείται από 35% Υδρογόνο και 65% Αργόν). Το Αργόν χρησιμοποιείται και για την χάραξη με τσιμπίδα πλάσματος.

Οι μεταβλητές που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας όταν αποφασίζουμε τον συνδυασμό των αερίων που θα χρησιμοποιήσουμε είναι:

- Ο τύπος και το πάχος του υλικού
- Η επιθυμητή ποιότητα κοπής
- Η ταχύτητα και
- Το κόστος παραγωγής

Δεν είναι όλα τα αέρια κατάλληλα για όλες τις δουλειές και όλες τις τσιμπίδες. Για περισσότερες πληροφορίες συμβουλευτείτε τα σχετικά εγχειρίδια λειτουργίας.

3.3.4.5 Γενικά, σε ότι αφορά στα αέρια που χρησιμοποιούνται στην κοπή με πλάσμα

Το πιο συνηθισμένο και φτηνό αέριο για την κοπή και την χάραξη με πλάσμα είναι ο πεπιεσμένος αέρας. Δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με τα περισσότερα μέταλλα σε πάχη μέχρι 25mm. Επειδή περιέχει οξυγόνο αφήνει την επιφάνεια κοπής οξειδωμένη. Ο πεπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται πολύ συχνά και για χάραξη με Πλάσμα του ανθρακούχου χάλυβα λάθος και για κοπή αλουμινίου.

Το Οξυγόνο χρησιμοποιείται στον ανθρακούχο χάλυβα πάχους μέχρι 60mm και μας δίνει επιφάνειες κοπής πολύ υψηλής ποιότητας. Με οξυγόνο δουλεύεται επίσης και ανοξείδωτο, όπως και το αλουμίνιο αλλά οι επιφάνειες κοπής είναι κάπως χαμηλότερης ποιότητας.

Όταν το υλικό μας έχει πάχος μεγαλύτερο, μέχρι 75mm, τότε χρειαζόμαστε συστήματα με ισχυρότερες πηγές, όπου χρησιμοποιούμε κυρίως το Άζωτο. Αυτό δίνει υψηλής ποιότητας επιφάνεια κοπής, χωρίς οξειδωση και κρέμαση (γρέζι).

Το ανοξειδωτο και το αλουμίνιο δουλεύονται συνήθως με μίγματα Αργού-Υδρογόνου, ειδικά όταν το υλικό είναι πάχους μεγαλύτερου από 75mm. Η ποιότητα κοπής είναι υψηλή. Τα μίγματα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης και όταν θέλουμε να χαράξουμε μεγάλη ποικιλία μετάλλων.

3.4. Κοπή με δέσμη λέιζερ

Η κοπή με λέιζερ υπήρξε η πρώτη βιομηχανική διεργασία στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τα λέιζερ και σήμερα αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές τους στη βιομηχανία. Οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στην πληθώρα εφαρμογών κοπής με λέιζερ είναι η ταχύτητα και η ποιότητα κοπής. Αναλυτικότερα, τα πλεονεκτήματα της κοπής λέιζερ σε σχέση με συμβατικές τεχνικές κοπής είναι:

α) το πλάτος κοπής είναι πολύ μικρό που συνεπάγεται οικονομία υλικού. Οι άκρες είναι καλά τετραγωνισμένες, ομαλές και καθαρές γεγονός που αφενός αποτρέπει την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας. Επιπλέον, μπορεί να ακολουθήσει άμεσα συγκόλληση αν χρειαστεί. Τέλος η ζώνη που επηρεάζεται από τη θερμότητα είναι πολύ μικρή επομένως οι παραμορφώσεις του γειτονικού υλικού ελάχιστες.

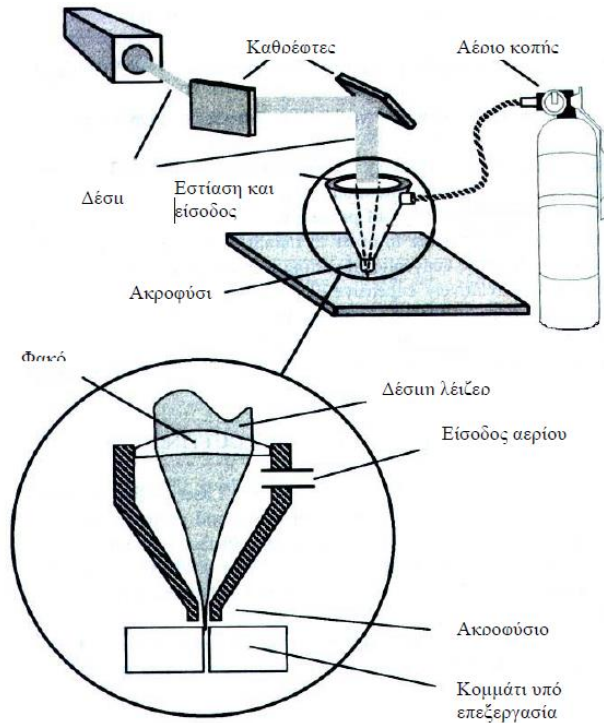
β) η διαδικασία είναι ταχύτατη, με ελάχιστο θόρυβο, μπορεί εύκολα να αυτοματοποιηθεί, η επιλογή και η αλλαγή διεύθυνσης είναι πανεύκολη και δεν απαιτούνται επιπλέον εργαλεία.

γ) απαιτείται μόνο οπτική επαφή με το υλικό και σχεδόν όλα τα υλικά μπορούν να κοπούν με λέιζερ.

3.4.1. Βασικές αρχές

Οι βασικές αρχές κοπής με λέιζερ φαίνονται στην Εικόνα 24. Τα βασικά τμήματα της διάταξης είναι το λέιζερ, ένα οπτικό σύστημα καθοδήγησης-εστίασης της δέσμης και ένα σύστημα ελεγχόμενης μετακίνησης είτε της δέσμης είτε του δείγματος που υπόκειται σε επεξεργασία. Συστήματα λέιζερ που χρησιμοποιούνται στην κοπή είναι τα διοξείδιο του άνθρακα και νιοβίου (CO₂, Nd) και λέιζερ διεγερμένων διμερών. Το σύστημα καθοδήγησης της δέσμης αποτελείται από κάτοπτρα υψηλής ανακλαστικότητας ή ειδικά για τα Nd λέιζερ μπορεί να είναι οπτική ίνα. Το σύστημα εστίασης μπορεί να αποτελείται από διαπερατά ή ανακλαστικά οπτικά. Τα διαπερατά οπτικά είναι φακοί κουάρτς στην περίπτωση των λέιζερ

Nd και διεγερμένων διμερών και φακοί από ZnSe, GaAs ή CdTe για το CO₂ λέιζερ. Αντίστοιχα, τα ανακλαστικά οπτικά αποτελούνται από παραβολικά κάτοπτρα.



Εικόνα 24: Οι βασικές αρχές κοπής με λέιζερ

Η εστιασμένη δέσμη οδηγείται στο υλικό συνήθως ομοαξονικά με κάποιο αέριο. Ανάλογα με το υλικό υπό κοπή, το λέιζερ υπό χρήση και τη διαδικασία που ακολουθείται, το αέριο μπορεί να λειτουργεί είτε για ενίσχυση της διαδικασίας είτε για αδρανοποίηση του υλικού που κόβεται. Η ενίσχυση της διαδικασίας κοπής επιτυγχάνεται είτε με αδρανές είτε με ενεργό αέριο. Στην πρώτη περίπτωση, το αέριο είναι πεπιεσμένος αέρας/αέριο που μέσω της ισχυρής ροής απομακρύνει από το σημείο κοπής το λειωμένο υλικό και τους δημιουργούμενους ατμούς, ενισχύοντας αφενός την απορρόφηση και βοηθώντας αφετέρου την ευκολότερη είσοδο της δέσμης στα βαθύτερα στρώματα. Στη δεύτερη περίπτωση, η οποία εφαρμόζεται σε μεταλλικά δείγματα όπως σίδηρο, η χρήση οξυγόνου έχει σαν αποτέλεσμα την ενίσχυση της θερμικής διαδικασίας και κατ' επέκταση της ταχύτητας κοπής λόγω της δημιουργούμενης εξώθερμης αντίδρασης.

Η αδρανοποίηση του υλικού είναι επιθυμητή στα μεταλλικά δείγματα και σχετίζεται με τη ελαχιστοποίηση των οξειδώσεων. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται αργό ή άζωτο.

Τέλος η ροή αερίου σε κάθε περίπτωση λειτουργεί προστατευτικά για τα οπτικά εστίασης καθώς απομακρύνει από αυτά τους ατμούς και το πλάσμα.

3.4.2. Μέθοδοι κοπής με λέιζερ

Ανάλογα με το υπό κοπή υλικό και το λέιζερ υπό χρήση, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι κοπής των υλικών. Αυτές είναι κυρίως θερμικές όπως η εξάτμιση, το λιώσιμο σε συνδυασμό με απομάκρυνση του λειωμένου υλικού και το λιώσιμο σε συνδυασμό με καύση και απομάκρυνση του λειωμένου υλικού. Επιπλέον, σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να εφαρμοστεί η κοπή με σπάσιμο λόγω θερμικής τάσης, η χάραξη και η «κρύα κοπή». Αναλυτικότερα η κάθε μέθοδος κοπής λειτουργεί ως εξής:

- ✓ Κοπή με εξάτμιση
- ✓ Κοπή με λιώσιμο και απομάκρυνση
- ✓ Κοπή με λιώσιμο, καύση και απομάκρυνση
- ✓ Κοπή με θραύση λόγω θερμικής τάσης
- ✓ Κοπή με χάραξη
- ✓ Κρύα κοπή

3.4.3. Ποιότητα κοπής με λέιζερ

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των τομών από θερμική κοπή με λέιζερ είναι η ύπαρξη γραμμώσεων στην τομή. Πολλά μοντέλα έχουν προταθεί για να εξηγηθεί η ύπαρξη τους όμως δεν είναι ακόμα γνωστός ο ακριβής μηχανισμός της δημιουργία τους. Σε κάθε περίπτωση όμως η δομή των γραμμώσεων σχετίζεται στενά με την ποιότητα κοπής, την τραχύτητα της επιφάνειας και την ύπαρξη οξειδίων.

Η τραχύτητα της τομής είναι συνήθως ελάχιστη κυρίως για υλικά μικρού πάχους. Για παράδειγμα, στο σίδηρο η τραχύτητα κυμαίνεται από 20 μm έως 60 μm για πάχος υλικού 1 mm έως 8 mm αντίστοιχα. Γενικά, για υλικά πάχους λίγων mm η τραχύτητα δεν υπερβαίνει τα 20 μm . Όμως παρουσιάζεται αρκετά ενισχυμένη κατά την κοπή με συνεχές λέιζερ παρουσία οξυγόνου. Σχετικά με την περιοχή του υλικού που επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, αυτή εξαρτάται από το υλικό και την ισχύ της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Γενικά όμως είναι σχετικά μικρή (για τον σίδηρο είναι έως 0.25 mm).

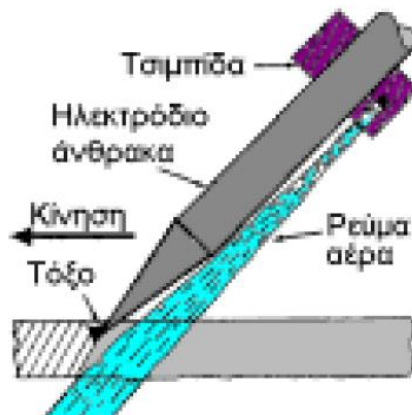
Τέλος, σχετικά με τις δυνατότητες του λέιζερ σε κοπή διαφόρων υλικών, στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται μία σειρά αποτελεσμάτων κοπής από λέιζερ CO₂ όπου όσο περισσότεροι σταυροί υπάρχουν σε ένα υλικό τόσο ευκολότερα κόβεται με λέιζερ. Όπως φαίνεται σχεδόν όλα τα υλικά κόβονται με το λέιζερ με πολύ καλή έως ικανοποιητική απόδοση.

υλικό	Δυνατότητα κοπής	πάχος (mm)	Ταχύτητα κοπής για πάχος 2 mm (m/min)
Σίδηρος	+++++	<15	6
Ατσάλι	++++	<10	5
Αλουμίνιο	++	<6	3.5
Τιτάνιο	+++	<10	8
Νικέλιο	++	<3	2
Χαλκός	+	<3	0.5
Κεραμικά	+++++	<5	-
Ακρυλικά	+++++	<25	5
Νάυλον	+++++	<20	-
Ξύλο	++++	<25	2
Γυαλί	++++	<5	2
Λάστιχο	+++	<5	3.5
Δέρμα	+++++	<12	-
Χαρτί	+++++	<6	25

Εικόνα 25: Πίνακας κοπής λέιζερ διαφόρων υλικών

3.5. Κοπή με ηλεκτρόδιο άνθρακα (γραφίτη)

Η τεχνική φαίνεται στην Εικόνα 26. Το μέταλλο λιώνει κάτω από τη θερμότητα του τόξου και απομακρύνεται με ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα υπό πίεση. Η τσιμπίδα μοιάζει πολύ με τις τσιμπίδες MMA, αλλά, έχει επιπλέον αναμονή σύνδεσης με τον αεροσυμπιεστή. Διαθέτει μπεκ εξόδου του αέρα και μπουτόν ανοίγματος της βαλβίδας του αέρα. Το άκρο του ηλεκτροδίου του άνθρακα πρέπει να είναι αιχμηρό.



Εικόνα 26: Κοπή με ηλεκτρόδιο άνθρακα

Η κοπή με ηλεκτρόδιο άνθρακα (γραφίτη) γίνεται με μηχανές MMA, αλλά υπάρχει ένα σημείο που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Συγκεκριμένα, το ηλεκτρόδιο του άνθρακα είναι ελάχιστα αναλώσιμο, οπότε η λειτουργία της μηχανής δε διακόπτεται καθόλου και μπορεί να υπερθερμανθεί. Οι μηχανές MMA είναι κατασκευασμένες με την πρόβλεψη ότι γίνονται συνεχώς διακοπές (για αλλαγή του ηλεκτροδίου, εκ νέου έναυση του τόξου, αφαίρεση της πάστας κτλ.), οπότε δίνεται ο χρόνος στη μηχανή να κρυώσει. Δηλαδή, η κάθε μηχανή MMA, έχει ένα συντελεστή χρήσης (duty cycle) που εκφράζεται ως ποσοστό επί του ολικού χρόνου λειτουργίας. Αν η πινακίδα μιας μηχανής MMA αναφέρει ότι είναι κατάλληλη για ρεύμα 400 A, με συντελεστή χρήσης 50%, τότε το μέγιστο ρεύμα που μπορεί αυτή η μηχανή να φορτωθεί σε συνεχή λειτουργία είναι $0,5 \times 400 = 200$ A. Δηλαδή για κοπή με ηλεκτρόδιο του άνθρακα, δεν επιτρέπεται αυτή η μηχανή να ρυθμιστεί για ρεύμα πάνω από 200 A. Γενικότερα, οι μηχανές MMA, ικανότητας μικρότερη από 400 A, δεν είναι κατάλληλες για κοπή με ηλεκτρόδιο άνθρακα.

Για να αποφευχθεί η μεγάλη υπερθέρμανση του ηλεκτροδίου και η πρόωρη καταστροφή του, το άκρο του ηλεκτροδίου δεν πρέπει να προεξέχει περισσότερο από 15 cm από την τσιμπίδα. Μεγαλύτερη αντοχή στη φθορά έχουν τα ηλεκτρόδια άνθρακα που είναι επενδυμένα με χαλκό. Στα γυμνά ηλεκτρόδια το ρεύμα πρέπει να είναι DCEN (DC-), ενώ στα ηλεκτρόδια με επένδυση χαλκού πρέπει να είναι AC.

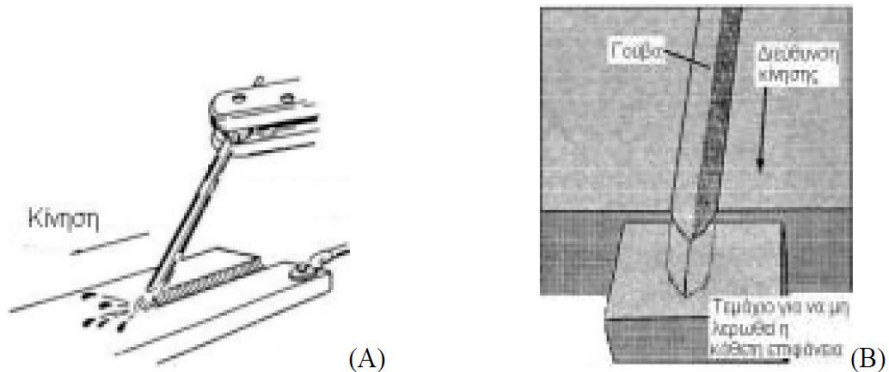
Τα ηλεκτρόδια άνθρακα υπάρχουν σε διάμετρο από 4 mm μέχρι 25,4 mm, αλλά τα πλέον χρήσιμα είναι με διαμέτρους 4, 5, 6,4 και 8 mm. Με διάμετρο 4 mm χρησιμοποιούν κυρίως για κοπή (σπάνια για γουβώματα). Οι επιτρεπόμενες εντάσεις του ρεύματος φαίνονται στον Πίνακα 4. Στα ηλεκτρόδια με επένδυση χαλκού επιτρέπονται εντάσεις κατά 10% μεγαλύτερες.

mm	4	5	6,4	8
Ίντσες (")	5/32	3/16	1/4	5/16
Ένταση ρεύματος (A)	90 - 150	150 - 200	200 - 400	250 - 450
Πλάτος γουβώματος (mm)	-	~6,5	~8	~9,5
Μέγιστο βάθος γουβώματος (mm)	-	~8	~9,5	~12,5

Εικόνα 27: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών των ηλεκτροδίων του άνθρακα

Η μέθοδος είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την κοπή χυτοσιδήρου, ή για το γουβώμα μιας επιφάνειας, δηλαδή για την αφαίρεση υλικού. Η τεχνική του γουβώματος φαίνεται στην Εικόνα 28 και χρησιμοποιείται σε διάφορες περιπτώσεις (π.χ. ξήλωμα ελαττωματικής ραφής, αφαίρεση υλικού από τη ρίζα της συγκόλλησης ή από την περιοχή ενός ρήγματος

κτλ.). Η περιοχή του γουβώματος, συνήθως, γεμίζεται με μέταλλο. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος γουβώματος, ενώ το πλάτος είναι σχεδόν σταθερό.



Εικόνα 28: Ξήλωμα ελαττωματικής ραφής

3.6. Κοπή με επενδυμένο ηλεκτρόδιο κοπής

Όλα τα επενδυμένα ηλεκτρόδια εκτελούν κοπή, αν αυξηθεί η ένταση του ρεύματος πάνω από ένα όριο. Ιδιαίτερα κατάλληλα είναι τα ηλεκτρόδια με επένδυση κυτταρίνης, που θα δούμε παρακάτω, επειδή παράγουν μεγάλη ποσότητα αερίων που απομακρύνουν το λιωμένο μέταλλο.

Η κοπή με τα συνηθισμένα επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι λύση ανάγκης. Υπάρχουν τα ειδικά ηλεκτρόδια κοπής. Η διαφορά τους είναι ότι έχουν παχιά πάστα, ειδικού τύπου, η οποία καταναλώνεται πιο αργά από το μεταλλικό πυρήνα του ηλεκτροδίου και, έτσι, δημιουργείται κοιλότητα. Στο εσωτερικό της κοιλότητας παράγονται αέρια που εξακοντίζονται με πίεση από το άνοιγμα, διώχνοντας το λιωμένο μέταλλο.

Με τα ειδικά ηλεκτρόδια κοπής μπορεί να γίνει και γούβωμα. Το λιωμένο μέταλλο που πετάγεται από κάθε μία από τις δύο πλευρές του γουβώματος, όταν θα στερεοποιηθεί, θα παρουσιάζει πολύ χαλαρή πρόσφυση με το υπόλοιπο μέταλλο, λόγω της πάστας με την οποία έχει αναμιχτεί. Γι' αυτό απομακρύνεται πολύ εύκολα με το ματσακώνι.

3.7. Υδροκοπή

Εκτός από τις «θερμικές» μεθόδους κοπής ελασμάτων υπάρχει και μια μηχανική μέθοδος για κοπές ελασμάτων υψηλών απαιτήσεων και αυτή είναι η υδροκοπή. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει ακριβείς και ποιοτικές κοπές σε περιπτώσεις κοπής δύσκολα κατεργάσιμων

υλικών αλλά και ελασμάτων ιδιαίτερα μεγάλου πάχους. Η κοπή του περιγράμματος του ελάσματος που επιδιώκεται να αφαιρεθεί με την υδροκοπή γίνεται με την εκτόξευση μιας πολύ λεπτής δέσμης νερού με πολύ μεγάλη ταχύτητα στα σημεία του υλικού που θέλουμε να κόψουμε. Για να μπορέσει όμως να διαμορφωθεί αυτή η δέσμη αλλά και να εφαρμοστεί με ακρίβεια στο υπό κοπή περίγραμμα, χρειάζεται αφενός μεν το νερό που θα εκτοξευθεί να βρεθεί σε συνθήκες πολύ υψηλής πίεσης (της τάξεως χιλιάδων ατμοσφαιρών), αφετέρου δε να υποχρεωθεί να διέλθει μέσα από ένα κατάλληλα διαμορφωμένο ακροφύσιο. Η υψηλή πίεση εξασφαλίζει την πολύ μεγάλη ταχύτητα που είναι μια από τις προϋποθέσεις για να αναπτυχθεί τοπικά η αναγκαία δύναμη αποβολής του υλικού. Το ακροφύσιο εξασφαλίζει τη διαμόρφωση της δέσμης που είναι αφενός μεν είναι κι αυτή απαραίτητη συνιστώσα του μηχανικού σχεδιασμού της κοπής, αφετέρου δε εξασφαλίζει μια πολύ μεγάλη ακρίβεια κοπής. Για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά μια μηχανή υδροκοπής πρέπει να διαθέτει παράλληλα διάταξη ασφαλούς απορρόφησης και διασκορπισμού της ενέργειας της δέσμης του νερού, μετά την αφαίρεση τμήματος του ελάσματος.

Η υψηλή πίεση του νερού επιτυγχάνεται με αντλίες υψηλής πίεσης, οι οποίες είναι πάντοτε αντλίες θετικού εκτοπίσματος. Συνήθως είναι εμβολοφόρες και λειτουργούν με πίεση λαδιού και μπορούν να επιτύχουν πιέσεις μέχρι 4000 ατμόσφαιρες. Ο έλεγχος της πίεσης του νερού γίνεται μέσω του ελέγχου της πίεσης του λαδιού. Οι μηχανές υδροκοπής όταν πρέπει να κατεργαστούν σκληρά υλικά, συχνά χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν μια δέσμη νερού εμπλουτισμένη με λειαντικό υλικό σε κόκκους.

3.7.1. Εφαρμογές υδροκοπής

Οι μηχανές υδροκοπής είναι κατάλληλες για κοπή πολλών υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός ευρύτατου φάσματος τελικών προϊόντων, όπως χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας, αλλά και γυαλί, μάρμαρο, ξύλο, ελαστικό κλπ. Η τεχνολογία μηχανών υδροκοπής έχει εξελιχθεί σημαντικά ώστε να προσφέρει ποιότητα κατασκευής σε συνδυασμό με αυξημένη λειτουργικότητα. Οι διαστάσεις των μηχανών μπορούν να κατασκευάζονται κατά παραγγελία και η δυναμικότητα τους να προσαρμόζεται στην εκάστοτε ζητούμενη κατεργασία. Οι διαστάσεις του τραπεζιού κοπής μπορούν διαμορφώνονται ανάλογα με τη ζήτηση, η αντλία υψηλής πίεσης που διαθέτουν μπορεί να έχει μεγάλη ιπποδύναμη (30 ίππων ή και μεγαλύτερη), ενώ η καθοδήγηση του τραπεζιού μπορεί να γίνεται ψηφιακά από εξωτερικό control (CNC). Η ακρίβεια θέσης που επιτυγχάνεται μπορεί να φτάσει τα $\pm 0,035$ mm, η ταχύτητα κίνησης τα 25 m/min και το πάχος κοπής τα 300mm. Οι σύγχρονες μηχανές υδροκοπής επιτυγχάνουν κοπές με δέσμη νερού σε συνδυασμό με ειδική πούδρα (abrasive), καθώς και κοπές τριών αξόνων ψηφιακά καθοδηγούμενες από CNC control. Στις σύγχρονες μηχανές υδροκοπής έχουν

δοθεί πρωτοπόρες λύσεις, τόσο στο σύστημα κίνησης και οδήγησης των μηχανών, όσο και στις κεφαλές κοπής και τις πνευματικές βαλβίδες. Σε ειδικές πατέντες μηχανών υδροκοπής έχουμε υψηλής απόδοσης κεφαλές κοπής που αποτελούνται συνολικά από 3 στοιχεία. Αυτό έχει σαν συνέπεια να υπάρχουν λιγότερα υλικά εκτεθειμένα σε φθορά, μικρότεροι χρόνοι καθυστέρησης για αλλαγές, αλλά και υψηλότερη ποιότητα κοπής.

3.7.2. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

- Χαμηλή θερμοκρασία επεξεργασίας και συνεπώς ελάχιστη θερμική καταπόνηση
- Δεν απαιτούνται ειδικά εργαλεία
- Ποικιλία υλικών σε διάφορα πάχη στρώματος
- Μεγάλη ποικιλία υλικών μέταλλα, μάρμαρο, πέτρα, ελαστικά κ.α.

Μειονεκτήματα

- Σε κοπή μεγάλου βάθους πιθανόν να υπάρξει μετακίνηση της δέσμης και σφάλματα
- Οικονομικά αποδοτική για σχετικά μικρές ποσότητες



Εικόνα 29: Υδροκοπή

4. Μέθοδοι συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο – Εξοπλισμός - Πηγές

4.1. Εισαγωγή

Η ηλεκτροσυγκόλληση τόξου είναι μία από τις πολλές μεθόδους συγκόλλησης τήξης που χρησιμοποιούνται για την συνένωση των μετάλλων. Διά της εφαρμογής έντονης θερμότητας, το μεταλλικό υλικό στην περιοχή της σύνδεσης ανάμεσα σε δύο μέρη τήκεται, και προκαλείται ανάμειξη των δύο μερών, είτε απ' ευθείας, είτε – συνηθέστερα – μέσω ενδιάμεσου, τηκόμενου, μεταλλικού υλικού πλήρωσης. Μετά την ψύξη και στερεοποίηση της τηγμένης περιοχής, προκύπτει ισχυρή μεταλλουργική σύνδεση. Λόγω του ότι η σύνδεση προέρχεται από την ανάμειξη του υλικού του ενός μέρους με υλικό του δεύτερου μέρους, με ή χωρίς τη χρήση ενδιάμεσου παρόμοιου υλικού, η τελική συγκολλητή σύνδεση έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες, στην περιοχή της συγκόλλησης, με αυτές του μετάλλου βάσης των δύο προς συγκόλληση μερών. Το γεγονός αυτό έρχεται σε πλήρη αντίθεση με ότι συμβαίνει στις μεθόδους σύνδεσης χωρίς τήξη, όπως ασημοκόλληση, μπρουτζοκόλληση, κόλληση με ειδικές κολλητικές ουσίες (soldering, brazing, adhesivebonding), κλπ, όπου οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των μετάλλων βάσης δεν μπορεί να αναπαραχθούν στην περιοχή της σύνδεσης.



Εικόνα 30: Το τόξο

Στην ηλεκτροσυγκόλληση τόξου (Εικόνα 30), η απαραίτητη έντονη θερμότητα που απαιτείται για την τήξη των μετάλλων, παράγεται με την βοήθεια ηλεκτρικού τόξου. Το τόξο δημιουργείται ανάμεσα στα μέρη που πρόκειται να συνδεθούν, και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο κινείται, κατά μήκος της σύνδεσης, είτε χειροκίνητα, είτε μηχανικά (ή μπορεί τα μέρη προς συγκόλληση να κινούνται ώστε η περιοχή της σύνδεσης να βρίσκεται διαρκώς κάτω από ένα στάσιμο ηλεκτρόδιο). Το ηλεκτρόδιο μπορεί να είναι μια ράβδος άνθρακα ή βολφραμίου, μοναδικός σκοπός της οποίας ράβδου είναι να μεταφέρει το ρεύμα και να διατηρεί το ηλεκτρικό τόξο ανάμεσα στο άκρο της και τα προς συγκόλληση μέρη. Ή μπορεί και να είναι μια ειδικά παρασκευασμένη ράβδος ή σύρμα, τα οποία όχι μόνο άγουν το ρεύμα και διατηρούν το τόξο αλλά επίσης τήκονται και παρέχουν μέταλλο πλήρωσης στην περιοχή της συγκόλλησης. Στην περίπτωση που το ηλεκτρόδιο είναι ράβδος άνθρακα ή βολφραμίου (μη αναλίσκόμενη), και στην περιοχή της σύνδεσης απαιτείται υλικό πλήρωσης, αυτό το υλικό παρέχεται από ξεχωριστή ράβδο ή σύρμα μεταλλικού υλικού πλήρωσης. Το μεγαλύτερο μέρος εργασιών συγκόλλησης στα έργα μεταλλικών συγκολλητών κατασκευών όπου απαιτείται υλικό πλήρωσης, πάντως, διεξάγεται με τον δεύτερο τύπο ηλεκτροδίων – αυτών που παρέχουν υλικό πλήρωσης και ταυτόχρονα αποτελούν των αγωγό μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος.

4.2. Βασικό ηλεκτρικό κύκλωμα συγκόλλησης



Εικόνα 31: Το βασικό κύκλωμα ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου

Το βασικό κύκλωμα ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου εμφανίζεται στην Εικόνα 31. Μία ηλεκτρική πηγή ικανή να παράγει εναλλασσόμενο (AC) ή συνεχές (DC) ρεύμα, εξοπλισμένη με όλα τα απαραίτητα χειριστήρια ελέγχου, συνδέεται μέσω καλωδίου γείωσης στα προς συγκόλληση μέρη και μέσω καλωδίου ικανού να μεταφέρει ρεύμα υψηλής έντασης με ένα

ακροδέκτη που συγκρατεί το ηλεκτρόδιο και επιφέρει την ηλεκτρική επαφή με το ηλεκτρόδιο συγκόλλησης. Όταν το ηλεκτρικό κύκλωμα ενεργοποιείται και το άκρο του ηλεκτροδίου έρχεται σε επαφή με τα προς συγκόλληση γειωμένα μέρη, και κατόπιν απομακρύνεται αλλά συγκρατείται κοντά στο σημείο της επαφής, δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο στο υπάρχον διάκενο. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και με αυτόν τον τρόπο το τόξο παράγει υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 3500 °C) στο άκρο του ηλεκτροδίου, θερμοκρασία υπέρ αρκετή για να προκαλέσει τήξη των περισσότερων μετάλλων. Η παραγόμενη θερμότητα προκαλεί την τήξη του μετάλλου που βρίσκεται στην περιοχή πλησίον του τόξου, καθώς και οποιουδήποτε μεταλλικού υλικού πλήρωσης που παρέχεται είτε από το ίδιο το ηλεκτρόδιο είτε από ράβδο ή σύρμα που προστίθενται ξεχωριστά. Προκύπτει έτσι, ένα κοινό λουτρό τηγμένου μετάλλου, που αποκαλείται και “κρατήρας”. Αυτός ο κρατήρας στερεοποιείται πίσω από το ηλεκτρόδιο καθώς αυτό μετακινείται κατά μήκος της συγκολλητής σύνδεσης που πραγματοποιείται. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια σύνδεση τήξης και η μεταλλουργική ενοποίηση των προς συγκόλληση μερών.

4.3. Προστασία του τόξου

Η χρήση της θερμότητας που παράγεται από ένα ηλεκτρικό τόξο, για τη συγκόλληση μετάλλων, πάντως, προϋποθέτει περισσότερα από την απλή μετακίνηση του ηλεκτροδίου σε σχέση με τα προς συγκόλληση μέρη. Τα μέταλλα σε υψηλές θερμοκρασίες αντιδρούν χημικά με τα βασικά συστατικά του αέρα, δηλαδή με το οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο. Στην περίπτωση που το μέταλλο στο τηγμένο λουτρό έρθει σε επαφή με τον αέρα, θα σχηματιστούν οξείδια και νιτρίδια, τα οποία μετά την στερεοποίηση του τηγμένου λουτρού θα καταστρέψουν τις ιδιότητες της συγκολλητής σύνδεσης. Για αυτό τον λόγο, στις διάφορες μεθόδους ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου παρέχονται μέσα προστασίας και κάλυψης του τόξου και του τηγμένου λουτρού μέσω προστατευτικής ατμόσφαιρας που δημιουργείται από κατάλληλα αέρια, ατμοποιημένες ουσίες, ή συλλιπάσματα (πάστες).

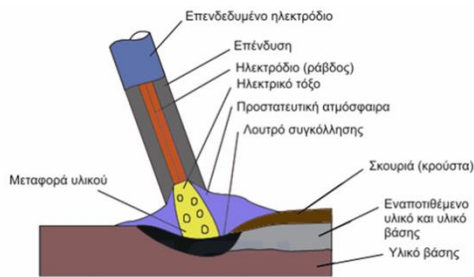
Αναφερόμαστε στην προστασία του τόξου, η οποία επιτυγχάνεται με διάφορες τεχνικές, όπως με χρήση κατάλληλης επικάλυψης (πάστας) στα ηλεκτρόδια (επικάλυψη που παράγει τους ατμούς της προστατευτικής ατμόσφαιρας), με απ' ευθείας κάλυψη του τόξου και του τηγμένου λουτρού μέσω ξεχωριστά παρεχόμενου ειδικού αδρανούς αερίου ή ειδικής κοκκώδους σκόνης (συλλίπασμα), ή με τη χρήση υλικών μέσα στον πυρήνα κατάλληλα διαμορφωμένων ηλεκτροδίων, τα οποία υλικά παράγουν προστατευτικούς ατμούς.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο δημιουργίας προστατευτικής ατμόσφαιρας, ο στόχος της είναι να αποτρέψει ή να ελαχιστοποιήσει την επαφή του τηγμένου μετάλλου με τον

περιβάλλοντα αέρα. Επί πλέον, η μέθοδος προστασίας του τόξου επηρεάζει τη σταθερότητα του τόξου καθώς και άλλα χαρακτηριστικά του. Στην περίπτωση που η προστατευτική ατμόσφαιρα δημιουργείται από την επικάλυψη (πάστα) των ηλεκτροδίων, από υλικά στον πυρήνα ηλεκτροδίων, ή από ξεχωριστά παρεχόμενη κοκκώδη σκόνη, προκύπτει επί πλέον μία επιβελτιωτική λειτουργία για την περιοχή της συγκόλλησης. Δηλαδή, τα υλικά στον πυρήνα των ηλεκτροδίων μπορεί να προκαλούν αποξειδωτική επίδραση, ταυτόχρονα με την προστασία του τόξου, και τα υλικά από την επικάλυψη των ηλεκτροδίων ή από την ξεχωριστά παρεχόμενη σκόνη (όπως στη συγκόλληση βυθισμένου τόξου) μπορεί να προσθέτουν χρήσιμα κραματικά στοιχεία στην περιοχή της συγκόλλησης, προστατεύοντας ταυτόχρονα, πάντα, το τόξο και το λουτρό τήξης.

Στην Εικόνα 32, εμφανίζεται η διαδικασία προστασίας του τόξου συγκόλλησης και του λουτρού τήξης στη μέθοδο συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, μέθοδος που χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις χειρονακτικής (όχι ημιαυτόματης ή αυτόματης) συγκόλλησης. Η εξωτερική επικάλυψη της ράβδου του ηλεκτροδίου, κάτω από την επίδραση της θερμότητας του τόξου, διασπάται, εξαχνώνεται και παράγει μία προστατευτική ατμόσφαιρα αερίων η οποία αποτρέπει την επαφή του αέρα με το τηγμένο μέταλλο. Παρέχει επίσης συστατικά τα οποία αντιδρούν με επιβλαβή στοιχεία στο μέταλλο, όπως οξείδια και άλατα, και δεσμεύει χημικά αυτά τα επιβλαβή στοιχεία σε μια φάση σκουριάς που όντας ελαφρύτερη από το τηγμένο μέταλλο, ανέρχεται στην επιφάνεια του λουτρού τήξης και κατόπιν δημιουργεί μια “κρούστα” πάνω στο πρόσφατα στερεοποιημένο μέταλλο. Αυτή η φάση σκουριάς, ακόμα και μετά την στερεοποίηση, παίζει προστατευτικό ρόλο: ελαχιστοποιεί την επαφή του αέρα με το στερεοποιημένο μέταλλο (το οποίο βρίσκεται ακόμα σε υψηλή θερμοκρασία) μέχρι η θερμοκρασία του μετάλλου να πέσει σε βαθμό που η αντίδραση του μετάλλου με τον αέρα δεν ευνοείται.

Ενώ η πρωτεύουσα αποστολή του τόξου είναι να παρέχει την απαραίτητη για τη συγκόλληση θερμότητα, το τόξο επιτελεί και άλλες λειτουργίες που είναι σημαντικές για την επιτυχή διεξαγωγή των μεθόδων ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου. Μπορεί να ρυθμιστεί ή/και να ελέγχεται έτσι ώστε να μεταφέρει ομαλά το τηγμένο μέταλλο από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό συγκόλλησης, να απομακρύνει επιφανειακά στρώματα επικαλύψεων (films – συνήθως οξείδια κλπ), και να επιτελέσει πολύπλοκες αντιδράσεις αερίου – φάσης σκουριάς – μετάλλου και διάφορες μεταλλουργικές διεργασίες. Και κυρίως βέβαια, η σωστή ρύθμιση των παραμέτρων του, καθώς και ο σωστός χειρισμός του, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διεξαγωγή μιας σωστής, χωρίς ελαττώματα συγκολλητής σύνδεσης. Το τόξο, αυτό καθ' εαυτό, αποτελεί ένα αρκετά σύνθετο και περίπλοκο φαινόμενο το οποίο έχει μελετηθεί εκτεταμένα. Παρακάτω περιγράφονται μερικά γενικά χαρακτηριστικά της φυσικής του τόξου.



Εικόνα 32: Προστασία του τόξου και του λουτρού τήξης κατά τη μέθοδο συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια

4.4. Φυσική του τόξου

Το τόξο είναι ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια μέσω μιας στήλης ιονισμένου αερίου, το οποίο αποκαλείται “πλάσμα”. Ο χώρος μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων – ή στην περίπτωση του τόξου ηλεκτροσυγκόλλησης ο χώρος μεταξύ του ηλεκτροδίου και των βασικών μετάλλων – μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές παραγωγής θερμότητας: τη κάθοδο, την άνοδο, και το πλάσμα τόξου.

Το τόξο ηλεκτροσυγκόλλησης χαρακτηρίζεται σαν ένα τόξο ρεύματος υψηλής έντασης, χαμηλής διαφοράς δυναμικού το οποίο απαιτεί υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρονίων που θα μεταφέρουν το ρεύμα. Τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από τη κάθοδο και ρέουν (μαζί με τα ανιόντα του πλάσματος) προς τη θετικά φορτισμένη άνοδο. Τα θετικά φορτισμένα κατιόντα ρέουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τα ανιόντα, δηλαδή τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα, είναι άτομα τα οποία έχουν προσλάβει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, επιπλέον από τα ηλεκτρόνια που απαιτούνται για να εξισορροπήσουν το θετικό φορτίο των σωματιδίων του πυρήνα των ατόμων, κι έτσι προκύπτει το αρνητικό φορτίο των ανιόντων. Τα κατιόντα αντίστοιχα, δηλαδή τα θετικά φορτισμένα ιόντα, είναι άτομα τα οποία έχουν χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, κι έτσι προκύπτει το θετικό φορτίο. Σε κάθε περίπτωση, όπως ακριβώς συμβαίνει και στους στερεούς αγωγούς ρεύματος, το ρεύμα μεταφέρεται κυρίως μέσω της κίνησης των ηλεκτρονίων.

4.5. Μέθοδοι έναυσης τόξου

Εφ’ όσον είναι απαραίτητη η ύπαρξη ιονισμένου μέσου για να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσω ενός κενού, η απλή έναρξη του ρεύματος συγκόλλησης με την επαφή ενός ψυχρού ηλεκτροδίου πάνω στο προς συγκόλληση μέταλλο δεν θα προκαλέσει έναυση του τόξου

συγκόλλησης. Πρέπει πρώτα να προηγηθεί το “άναμμα” του τόξου. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την ύπαρξη μιας αρχικής διαφοράς δυναμικού αρκετά υψηλής ώστε να προκαλέσει εκκένωση, είτε με σύντομη επαφή του ηλεκτροδίου και των βασικών μετάλλων, ακολουθούμενη από απομάκρυνση του ηλεκτροδίου, σε κοντινή πάντα απόσταση, καθώς έχει προκύψει θέρμανση της περιοχής της επαφής (λόγω βραχυκυκλώματος), και σχηματισμός της υγρής φάσης και ατμών μετάλλου.

Οι σχηματισμοί αυτοί ευνοούν την άμεση έναρξη διαδικασίας ιονισμού που περιγράφηκε παραπάνω. Το τόξο στη συνέχεια επεκτείνεται έως ότου σταθεροποιηθεί και προκύψει θερμοδυναμική ισορροπία. Συχνά χρησιμοποιείται και υψίσυχο ρεύμα (μέθοδος συγκόλλησης TIG) που προκαλεί εκκένωση μέσω σπινθήρων, για συγκολλήσεις τόξου υπό προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, αλλά η κοινότερη μέθοδος έναυσης ηλεκτρικού τόξου είναι η μέθοδος της “επαφής και απομάκρυνσης”.

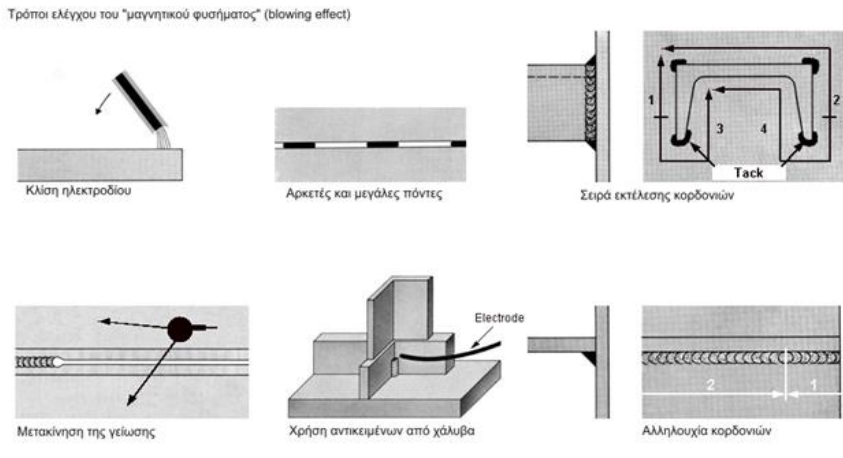
Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε με εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα είτε με συνεχές (DC). Το συνεχές ρεύμα επίσης, μπορεί να είναι είτε σταθερό είτε παλμικό. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα, η πολικότητα μπορεί να είναι είτε ορθή (straight polarity), που σημαίνει ότι το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικό, αποτελεί δηλαδή την κάθοδο, είτε ανάστροφη (reverse polarity), που σημαίνει αντίστοιχα, ότι το ηλεκτρόδιο είναι θετικό και αποτελεί την άνοδο. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα, η πολικότητα, και κατά συνέπεια η κατεύθυνση του ρεύματος μεταβάλλονται σύμφωνα με τη δεδομένη συχνότητα της πηγής. Αυτό συνεπάγεται ότι το ρεύμα στιγμιαία μηδενίζεται κατά τη μετάβαση από τη μία πολικότητα στην άλλη. Στιγμιαία τότε, εκμηδενίζεται (“σβήνει”) και το τόξο. Η συγκόλληση είναι εφικτή μόνο αν στην περιοχή υπάρχει ατμόσφαιρα σωματιδίων που ιονίζονται εύκολα, και η άμεση επανέναυση του τόξου είναι δυνατή. Εδώ συνεισφέρουν τα ήδη ιονισμένα σωματίδια από την προηγούμενη φάση λειτουργίας του τόξου. Θετικά επίσης συνεισφέρουν τετραγωνικές κυματομορφές εναλλασσόμενου ρεύματος καθώς και υψηλές τιμές διαφοράς δυναμικού (τάσης συγκόλλησης). Η επιλογή του τύπου ρεύματος καθώς και της πολικότητας που θα χρησιμοποιηθεί σε μία συγκόλληση, εξαρτάται από τη μέθοδο συγκόλλησης που θα εφαρμοστεί, τον τύπο του ηλεκτροδίου, την προστατευτική ατμόσφαιρα του τόξου, και τα βασικά μέταλλα που πρόκειται να συγκολληθούν. Εξαρτάται επίσης από παράγοντες όπως ο σχεδιασμός της συγκολλητής σύνδεσης, η θέση συγκόλλησης, και το είδος της συγκόλλησης που θα πραγματοποιηθεί (συγκόλληση μετωπική ή γωνιακή, μερικής ή πλήρους διείδυσης, εκτελούμενη από τη μία ή και από τις δύο πλευρές της κλπ). Ανεξάρτητα από τον τύπο του ρεύματος, και κατά συνέπεια και του τόξου συγκόλλησης, οι ρυθμίσεις πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ακολουθούνται οι προδιαγραφόμενες από τις διαδικασίες συγκόλλησης παράμετροι (ένταση και τάση ρεύματος).

4.6. Φύσημα τόξου και τρόποι αντιμετώπισης

Το “φύσημα” του τόξου είναι το φαινόμενο που παρατηρείται, συχνά, κατά τη διάρκεια συγκόλλησης με συνεχές ρεύμα (DC), και έγκειται στο ότι το ηλεκτρικό τόξο συγκόλλησης δεν ακολουθεί, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, το συντομότερο δρόμο από το ηλεκτρόδιο προς τα προς συγκόλληση μέρη, αλλά παρεκτρέπεται, συνήθως εμπρός ή πίσω από την επιθυμητή θέση του λουτρού τήξης, ή σπανιότερα αριστερά ή δεξιά της. Αν δεν αντιμετωπιστεί, προκαλεί διάφορα προβλήματα και κυρίως σφάλματα συγκόλλησης που προκύπτουν από την αδυναμία χειρισμού του λουτρού τήξης και της παραγόμενης φάσης σκουριάς (όπου υπάρχει), καθώς και σημαντικές καθυστερήσεις. Τα πιθανά σφάλματα συγκόλλησης που μπορεί να προκύψουν είναι υπερβολικά “πιτσιλίσματα” (spatter), ατελής τήξη (lack of fusion), ατελής διείσδυση (incomplete penetration), πόροι (porosity), μη επιθυμητή εμφάνιση και εξωτερικό συγκόλλησης, κλπ, και σε κάθε περίπτωση προκύπτουν συγκολλήσεις υποβιβασμένης ποιότητας. Το φύσημα του τόξου μπορεί να διακριθεί σε δύο τύπους, ανάλογα με την αιτία που το προκαλεί.

Γενικότερα, υπάρχουν κάποια μέτρα (Σχήμα 4.4) που μπορεί να ληφθούν ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του φυσήματος του τόξου:

- Χρήση, όπου αυτό είναι δυνατό, εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Συγκόλληση με χρήση όσο το δυνατό κοντότερου τόξου.
- Χρήση χαμηλών τιμών έντασης ρεύματος.
- Εφαρμογή κατάλληλης κλίσης στο ηλεκτρόδιο συγκόλλησης.
- Συγκόλληση μεγάλων ποντών (tackwelds) στα δύο άκρα της προς συγκόλληση ραφής. Μεγάλες πόντες και στο υπόλοιπο μήκος της ραφής, ειδικά αν το μοντάρισμα (fitup) της ραφής δεν είναι σωστό, βοηθάει επί πλέον.
- Εφαρμογή κατάλληλης σειράς συγκόλλησης.
- Κατάλληλη τοποθέτηση της γείωσης. Πιθανό η γείωση να μετακινηθεί πριν την ολοκλήρωση της συγκόλλησης. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η τοποθέτηση των καλωδίων της γείωσης σε σχέση με τα προς συγκόλληση αντικείμενα.



Εικόνα 33: Τρόποι αντιμετώπισης φυσήματος

4.7. Παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του τόξου

Συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούμε να επισημαίνουμε κάποιους από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του τόξου, κατά τη χρήση του στις εργασίες ηλεκτροσυγκόλλησης:

- Ο τύπος προστατευτικής ατμόσφαιρας. Τα χαρακτηριστικά του τόξου μεταβάλλονται ανάλογα αν η προστατευτική ατμόσφαιρα είναι κάποιο αέριο, ατμοί που προέρχονται από επικάλυψη ηλεκτροδίων, ή από σκόνη συγκόλλησης. Επίσης η σύσταση της προστατευτικής ατμόσφαιρας παίζει σημαντικό ρόλο.
- Τα βασικά υλικά. Ανάλογα με το είδος και την ποιότητα των βασικών υλικών προκύπτουν διαφορές στις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες, άρα και στη συμπεριφορά τους κατά τη συγκόλληση, και κατά συνέπεια και στη χρήση του τόξου για τη συγκόλληση τους.
- Τύπος ηλεκτροδίων. Η χρήση αναλίσκωμενων ή μη ηλεκτροδίων, καθώς και ο τύπος του κάθε ηλεκτροδίου, επηρεάζουν σημαντικά το τόξο. Για παράδειγμα, το τόξο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερη σταθερότητα στη μέθοδο TIG, όπου το ηλεκτρόδιο είναι μη αναλίσκωμενο.
- Μήκος τόξου. Εξαρτάται από τη τάση συγκόλλησης, και έχει άμεσο αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του τόξου.

- Τύπος ρεύματος και πολικότητα. Επίσης, εδώ, ο αντίκτυπος είναι άμεσος, καθώς οι διάφορες κυματομορφές ρεύματος και πολικότητες που χρησιμοποιούνται παράγουν και αντίστοιχα, διαφορετικά τόξα.

4.8. Τα είδη των συγκολλήσεων τόξου

Ονομασία (προφορά)	Προσθήκη υλικού με:	Προστασία από την ατμόσφαιρα με:	Επεξηγηματική ονομασία
MMA (εμ-εμ-έι)	Αναλώσιμο ηλεκτρόδιο	Πάστα, εξωτερικά του ηλεκτροδίου	Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια
MIG/MAG (μίγκ-μάγκ)	Αναλώσιμο ηλεκτρόδιο	Προστατευτικό αέριο	Συγκόλληση σωματιούχου σύρματος σε προστατευτική ατμόσφαιρα
FCAW (εφ-σι-άου)	Αναλώσιμο ηλεκτρόδιο	Πάστα εσωτερικά του ηλεκτροδίου + (ενδεχομένως) προστατευτικό αέριο	Συγκόλληση σωληνωτού σύρματος γεμισμένου με πάστα
TIG (τίγκ)	Ράβδος	Προστατευτικό αέριο	Συγκόλληση με μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο σε προστατευτική ατμόσφαιρα
SAW ³ (ζάου)	Αναλώσιμο ηλεκτρόδιο	Πάστα, σε μορφή χύμα, που πέφτει πάνω στο λουτρό συγκόλλησης	Συγκόλληση βυθισμένου τόξου
PAW ⁴ (πάου)	Ράβδος	Προστατευτικό αέριο, μέρος του οποίου είναι σε ιονισμένη μορφή (πλάσμα)	Συγκόλληση πλάσματος

Εικόνα 34: Είδη των συγκολλήσεων τόξου

4.9. Ηλεκτρικές πηγές συγκολλήσεων τόξου

Τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε πηγής συγκόλλησης, εμφανίζονται σε μία χαρακτηριστική πινακίδα, η οποία είναι τοποθετημένο πάνω στην πηγή συγκόλλησης και είναι σχεδιασμένη βάση του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 60974-1. Σε αυτήν την ταμπέλα δίδονται όλα τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει η πηγή, καθώς και οι προδιαγραφές της. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας πινακίδας δίδεται στη παρακάτω Εικόνα 35.

1 Produttore	2				
3 Tipo	4 Numero di matricola				
5 Tipologia costruttiva	6 Norma di prova				
7 Caratteristica	9	Campo di regolazione			
	10	12	12a	12b	12c
8 Procedimento	11	13	13a	13b	13c
		14	14a	14b	14c
15 Allacciamento alla rete	Valori di allacciamento				
16	18	19	19a	19b	19c
17					
Classe d'isolamento					
20	21 Tipo di protezione		22		23

Πληροφορίες σχετικά με την παροχή ενέργειας και άλλες πληροφορίες

Πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά απόδοσης της πηγής

Τύπος πηγής, όνομα κατασκευαστή, πωλητή, εισαγωγέα και τυποποίηση

Εικόνα 35: Πινακίδα πηγής συγκόλλησης και πληροφορίες που αναγράφονται σε αυτή

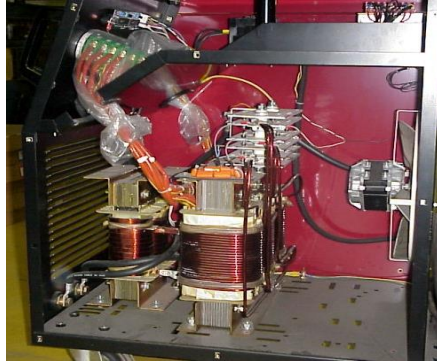
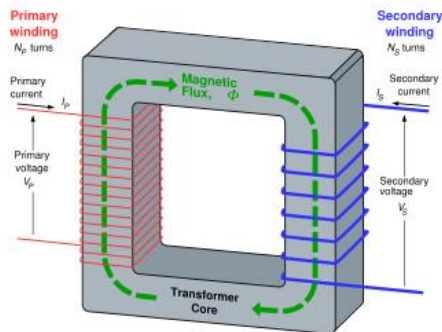
4.9.1. Βασικά στοιχεία των πηγών συγκόλλησης

Οι πηγές συγκόλλησης αποτελούνται από κάποια βασικά στοιχεία, το καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του τόξου.

4.9.1.1. Μετασχηματιστές

Το ρεύμα που παρέχεται από το δίκτυο ηλεκτρισμού, είναι ρεύμα υψηλής τάσης (220V ή 380V) και χαμηλού ρεύματος. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι απαγορευτικά για την συγκόλληση. Η συγκολλήσεις με την χρήση τόξου απαιτούν χαρακτηριστικά ρεύματος με χαμηλή τάση και υψηλή ένταση ρεύματος. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη σε κάθε πηγή συγκόλλησης η παρουσία του μετασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής είναι απαραίτητο στοιχείο και εγγυάται την σωστή και ομαλή λειτουργία του τόξου, για παράδειγμα την καλή έναυση, λιγότερα πιτσιλίσματα κλπ. αλλά και την ασφάλεια των

εργαζομένων εφόσον μετατρέπει το υψηλής τάσης ρεύμα του δικτύου σε χαμηλής τάσης ρεύμα εργασίας. Στην Εικόνα 36, παρουσιάζεται ένας τυπικός μετασχηματιστής.



Εικόνα 36: Μετασχηματιστής

Η ιδιαίτερη ρύθμιση του μετασχηματιστή, κατά τη διάρκεια της εργασίας έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτής (διάμετρος ηλεκτροδίου, εύρος έντασης ρεύματος και τάσης που απαιτεί μια συγκεκριμένη εργασία συγκόλλησης, γίνεται με 3 διαφορετικούς τρόπους:

- Αλλαγή του αριθμού των σπειρών που είναι σε λειτουργία μέσω ενός διακόπτη με σκάλες.
- Χρήση ενός δευτερεύοντος πηνίου που σκοπό έχει την ρύθμιση της τάσης και της έντασης
- Μεταβάλλοντας τις μαγνητικές ιδιότητες του βασικού πηνίου του μετασχηματιστή.

4.9.1.2. Ανορθωτής

Ο ανορθωτής, σαν πηγή συγκόλλησης αποτελείται από έναν μετασχηματιστή και μια συστοιχία ανόρθωσης, η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Η ανόρθωση του ρεύματος γίνεται με τη χρήση διόδων, οι οποίες επιτρέπουν μόνο την διέλευση των θετικών αρμονικών του ρεύματος, και κόβουν τις αρνητικές. Υπάρχουν διάφοροι τύποι διόδων. Ειδικά για τις πηγές συγκόλλησης χρησιμοποιούνται δίοδοι πυριτίου λόγω της μεγάλης πυκνότητας έντασης ρεύματος που μπορούν να φέρουν.

Το συνεχές ρεύμα που παράγεται ομαλοποιείται από τη χρήση ενός πηνίου ρύθμισης το οποίο δίνει στο συνεχές ρεύμα την ομοιομορφία την οποία χρειάζεται. Ειδικά στο τριφασικό ρεύμα με την χρήση διόδων μπορούμε να πάρουμε συνεχές ρεύμα εξαιρετικής σταθερότητας.

Το πηνίο ρύθμισης εξομαλύνει τα rics των θετικών αρμονικών και είναι υπεύθυνο για όλα τα χαρακτηριστικά συγκόλλησης (σταθερότητα του τόξου, καλή έναυση, μειωμένα πιτσιλίσματα κλπ).

4.9.1.3. Πηγές Συνεχούς ρεύματος

Στις περισσότερες των μεθόδων συγκόλλησης χρησιμοποιούνται πηγές συνεχούς ρεύματος. Στη σημερινή εποχή οι πηγές αυτές ανήκουν σε κάποια από τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- 1. Ανορθωτές :** Συνδυάζουν μετασχηματιστή – ανορθωτή και τον ρυθμιστή του ρεύματος. Μετασχηματιστές που χρησιμοποιούν τριφασικό ρεύμα δίνουν σαν αποτέλεσμα μια χαμηλής τάσης κυματομορφή. Κάποια μικρή κυματομορφή είναι αναπόφευκτη, αλλά σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιούνται φίλτρα εξομάλυνσης στο τελικό κύκλωμα. Χρησιμοποιώντας έναν εσωτερικό διακόπτη, ο οποίος απομονώνει τον μετασχηματιστή είναι δυνατόν αυτές οι πηγές να παράγουν και συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Λόγω της ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών η πηγή συγκόλλησης πρέπει να συνοδεύεται από σχετικό σύστημα ψύξης, είτε με αέρα είτε με νερό.
- 2. Πηγές Ηλεκτρονικής τεχνολογίας:** Η χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων έδωσε μεγάλες δυνατότητες στις πηγές συγκόλλησης και ιδιαίτερα σε ότι αφορά την πολύ σημαντική μείωση του μεγέθους αυτών. Thyristors και transistors χρησιμοποιούνται πλέον ευρύτατα στις πηγές συγκόλλησης και επιτρέπουν σε αυτές να δίδουν πολύ σταθερό συνεχές ρεύμα, αλλά και παλμικό συνεχές ρεύμα. Επίσης δίνουν τη δυνατότητα εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος με χαρακτηριστικά τετραγωνικής κυματομορφή. Τέτοιου είδους πηγές χρησιμοποιούνται ευρύτατα για συγκολλήσεις με τη μέθοδο TIG, MIG και SMAW. Μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των πηγών σε σχέση με τις συμβατικές πηγές μετασχηματιστή / ανορθωτή είναι η εξαιρετική σταθερότητα του ρεύματος που παρέχουν. Το ρεύμα που δίνουν αυτές οι πηγές είναι ανεξάρτητο από τις μεταβολές της τάσης του δικτύου οι οποίες και δεν μεταφέρονται στην τάση με

την οποία γίνεται η συγκόλληση. Αυτή είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος που βοηθάει την ποιότητα των συγκολλήσεων.

3. **Inverters:** Η χρήση της τεχνολογίας των inverter επέτρεψε την μεγάλη μείωση του μεγέθους, του βάρους αλλά και του κόστους των πηγών συγκόλλησης. Έγινε πλέον δυνατή η χρήση φορητών πηγών που είναι σε θέση να παράγουν συνεχές ρεύμα εξαιρετικής ποιότητας και επομένως να μπορούν να εκτελούν εξαιρετικής ποιότητας συγκολλήσεις. Η αρχή λειτουργίας και η ιδιαιτερότητα των inverters, είναι ότι παίρνουν το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου και μέσω ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος το μετατρέπουν σε συνεχές. Στη συνέχεια το συνεχές ρεύμα το μετατρέπουν ξανά σε εναλλασσόμενο, βελτιστοποιώντας όμως και διαμορφώνοντας κατάλληλα τα χαρακτηριστικά του. Το κυριότερο από τα χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν είναι η συχνότητα, η οποία γίνεται πλέον πολύ μεγάλη με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται. Στο τέλος της διαδικασίας το χαμηλής τάσης υψηλής συχνότητας ρεύμα, ανορθώνεται παράγοντας το συνεχές ρεύμα που απαιτεί η συγκόλληση.
4. **Συnergieιακές μηχανές :** Οι συnergieιακές μηχανές έχουν την δυνατότητα προγραμματισμού των παραμέτρων συγκόλλησης και αποθήκευση αυτών σε ξεχωριστές μνήμες, έτσι ώστε να γίνεται πολύ εύκολα η αλλαγή των συνθηκών συγκόλλησης από το ένα κομμάτι στο άλλο. Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι μηχανές έχουν ήδη προγραμματισμένα σεντ παραμέτρων ανά υλικό και διάμετρο ηλεκτροδίου, έτσι ώστε να είναι σε θέση ο οποιοσδήποτε συγκολλητής να ξεκινήσει την συγκόλληση (ειδικά σε αλουμίνιο) χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.

4.9.2. Δυναμικά χαρακτηριστικά των πηγών συγκόλλησης

Τα χαρακτηριστικά των πηγών συγκόλλησης και οι δυνατότητες τις οποίες έχουν, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τα στατικά χαρακτηριστικά των πηγών και τα δυναμικά χαρακτηριστικά αυτών. Τα στατικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που αφορούν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των πηγών σε δεδομένες συνθήκες απαιτήσεων. Με άλλα λόγια είναι αυτά που μας λένε κατά πόσο μπορούμε να συγκολλήσουμε με αυτές τις πηγές συγκεκριμένα υλικά χρησιμοποιώντας συγκεκριμένης διαμέτρου ηλεκτρόδια. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που επηρεάζουν τη σταθερότητα στο τόξο συγκόλλησης και επομένως και την ποιότητα των συγκολλήσεων. Στη σημερινή εποχή και

ιδιαίτερα σε πηγές συγκόλλησης τύπου inverter, τα δυναμικά χαρακτηριστικά των πηγών ρυθμίζονται μέσα από ελεγκτές (controllers) και software.

4.9.2.1. Κύκλος εργασίας (duty cycle)

Οι πηγές συγκόλλησης αναπτύσσουν πάντα αυξημένες θερμοκρασίες στο εσωτερικό τους λόγω των μαγνητικών πεδίων και των ηλεκτρικών αντιστάσεων που υπάρχουν. Τέτοιες θερμοκρασίες είναι ανεπιθύμητες και μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες ζημιές στα ηλεκτρονικά κυκλώματα των πηγών. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου καθιερώθηκε η έννοια του κύκλου εργασίας. Η μέγιστη ένταση ρεύματος που χαρακτηρίζει την πηγή συγκόλλησης δεν μπορεί να παράγεται για απεριόριστο χρονικό διάστημα. Αυτό το χαρακτηριστικό γίνεται αποδεκτό λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι και η λειτουργία του τόξου έχει αρκετά σταματήματα. Η έννοια του κύκλου εργασίας ορίζεται από το χρονικό ποσοστό που το τόξο είναι αναμμένο και γίνεται συγκόλληση, μέσα σε 10 λεπτά λειτουργίας της πηγής συγκόλλησης.

$$DC = \frac{\sum \text{χρόνος με αναμένο ττόξ στα } 10 \text{ min}}{10 \text{ λεπτά}} \cdot 100$$

4.9.2.2. Τάση ανοιχτού κυκλώματος

Τάση ανοιχτού κυκλώματος ονομάζεται η διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων της πηγής συγκόλλησης, όταν δεν υπάρχει τόξο. Για λόγους ασφαλείας η συγκεκριμένη διαφορά δυναμικού θα πρέπει να είναι πάντα μικρότερη από μια μέγιστη τιμή, η οποία μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας. Εάν η πηγή συγκόλλησης λειτουργεί σε περιβάλλοντα αυξημένου κινδύνου ηλεκτροπληξίας (πολύ υγρασία, αγωγιμότητα, κλπ), η μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτρέπεται είναι 113 V DC ή 48 V rms AC. Πηγές ρεύματος που ικανοποιούν αυτές τις συνθήκες έχουν την σήμανση “S”.

4.9.3. Ψύξη και προστασία των πηγών συγκόλλησης

Οι πηγές συγκόλλησης λόγω των θερμοκρασιών που αναπτύσσουν απαιτούν να ψύχονται κατά τη λειτουργία τους. Όταν σε μια πηγή συγκόλλησης αναγράφεται ο κωδικός “AF” αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία που απαρτίζουν την πηγή (δίοδοι, τρανζίστορ κλπ) χρειάζονται ψύξη με ανεμιστήρα. Σε κάθε περίπτωση και ανάλογα με το περιβάλλον

λειτουργίας, οι πηγές συγκόλλησης χρειάζονται τακτικό καθαρισμό από σκόνες και βρωμιές για να μπορούν να δουλεύουν σωστά. Μια άλλη κατηγορία πηγών συγκόλλησης είναι αυτή όπου ο τύπος της ψύξης χαρακτηρίζεται από το γράμμα “S”, και σε αυτή την κατηγορία ανήκουν πηγές που έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος, άρα μεγάλο μέγεθος και μεγάλες επιφάνειες ψύξης για τα επιμέρους στοιχεία της πηγής και φυσικά μεγαλύτεροι ανεμιστήρες .

4.9.4. Κωδικοποίηση βαθμού προστασίας από εξωτερικούς παράγοντες

Οι πηγές συγκόλλησης χαρακτηρίζονται με συγκεκριμένο κωδικό προστασίας ανάλογα με την ικανότητα τους να συνεχίζουν την ασφαλή λειτουργία τους μετά από χτυπήματα ή επαφή με το νερό. Ποιο συγκεκριμένα η κωδικοποίηση των μηχανών μπορεί να είναι **IP 21** ή **IP 23**. Το πρώτο νούμερο στον κωδικό (το 2) σημαίνει ότι η πηγή έχει προστασία από την εισχώρηση σε αυτή συμπαγούς ξένου σώματος με διάμετρο που ξεπερνά τα 12 mm. Το δεύτερο νούμερο όταν είναι το 1 (21) σημαίνει ότι η πηγή είναι προστατευμένη από την είσοδο νερού το οποίο πέφτει κάθετα στην πηγή. Όταν το δεύτερο νούμερο είναι το 3 (IP 23) τότε σημαίνει ότι η πηγή είναι προστατευμένη από νερό που πέφτει με οποιαδήποτε γωνία (από 60 έως 90ο) σε αυτή. Είναι κατανοητό ότι πηγές συγκόλλησης που λειτουργούν στο ύπαιθρο θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον βαθμό προστασίας IP 23.

4.10. Πότε χρησιμοποιείται η κάθε μορφή ηλεκτρικού ρεύματος

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

A) Επιλογή της κατάλληλης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος

- Το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα είναι κατάλληλο για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις.
- Το εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται κατά τη MMA, όταν επιδιώκουμε μεγάλη εναπόθεση μετάλλου ή όταν η επένδυση των ηλεκτροδίων περιέχει σιδηρόσκονη.

- Εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που παρουσιαστεί μαγνητικό φύσημα (θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο).
- Παλμικό ρεύμα χρησιμοποιείται στην TIG αλλά το συναντάμε και στη MIG/MAG.

B) Επιλογή της πολικότητας, όταν έχουμε ρεύμα DC

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

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

5. Μέθοδος συγκόλλησης με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο

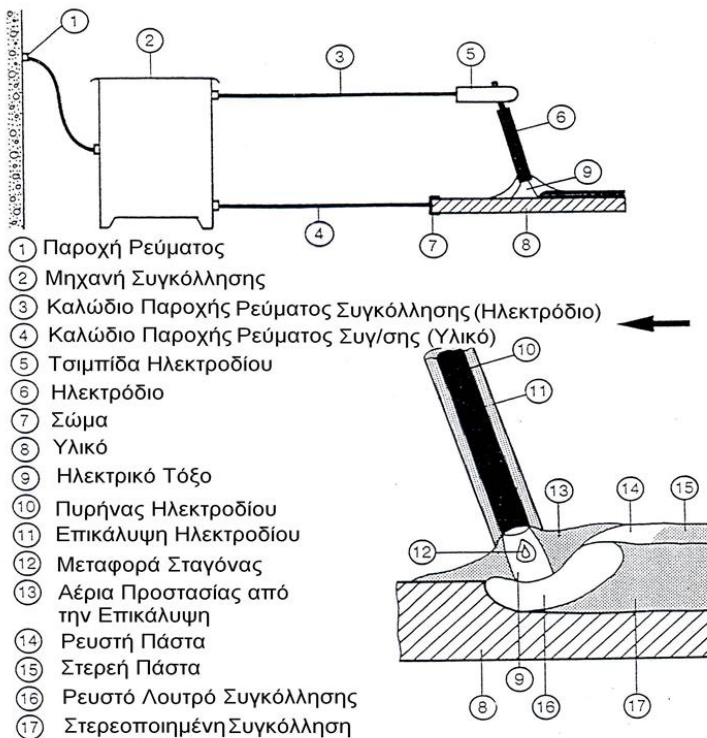
5.1 Εισαγωγή

Η συγκόλληση με επικαλυμμένα ηλεκτρόδια είναι μια χειροκίνητη μέθοδος συγκόλλησης κατά την οποία χρησιμοποιείται ένα αναλώσιμο ηλεκτρόδιο που τηκόμενο δημιουργεί το λουτρό συγκόλλησης.

Χρησιμοποιείται ένα συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα από μια συσκευή συγκόλλησης, προκειμένου να σχηματιστεί ηλεκτρικό τόξο μεταξύ του ηλεκτροδίου και των προς συγκόλληση υλικών. Ενώ εναποτίθεται η συγκόλληση, αποσυντίθεται η επικάλυψη του ηλεκτροδίου, παρέχοντας αέρια που προστατεύουν το λουτρό συγκόλλησης, καθώς και πάστα που πέραν του προστατευτικού ρόλου παρέχει πληθώρα άλλων στοχευμένων δράσεων που αναλύονται στην συνέχεια. Λόγω της απλότητας της μεθόδου, η συγκόλληση με επικαλυμμένα ηλεκτρόδια είναι μια από τις πλέον δημοφιλείς διαδικασίες. Κυριαρχεί στην συντήρηση και επισκευή βιομηχανικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων, καθώς και στην συγκόλληση κατασκευών στο εργοτάξιο.

5.2. Αρχή λειτουργίας

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ (E)



Πεδίο Εφαρμογής

Συγκολλήσεις σε όλες τις θέσεις, Αναγομώσεις

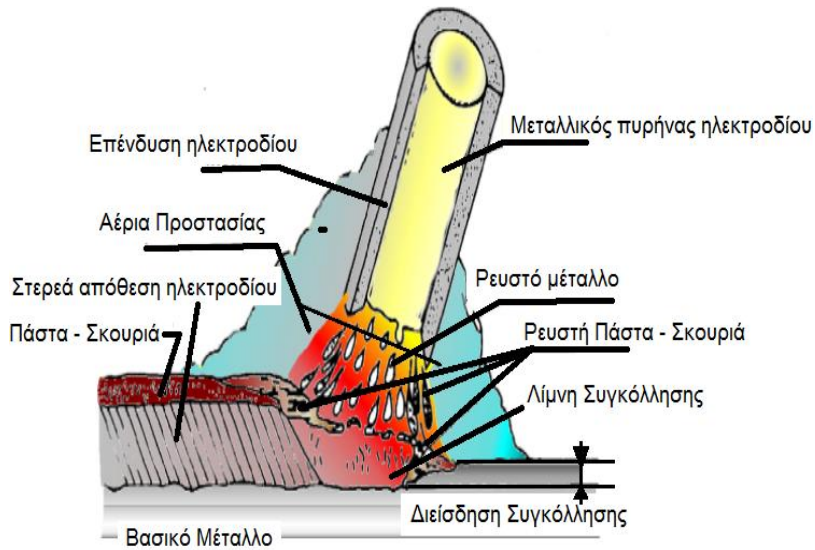
Υλικά

Μη κραματούχα, ελαφρά και υψηλά κραματούχοι χάλυβες, χυτοσίδηροι

Πάχη

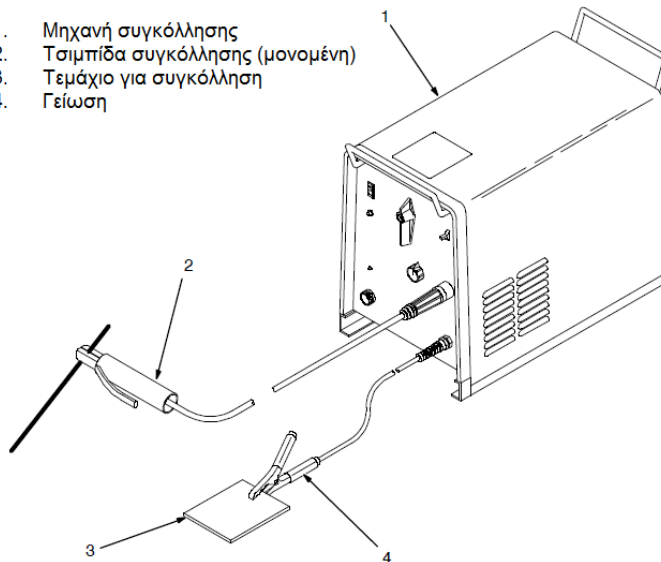
Πάνω από 3mm

Εικόνα 37: Αρχές λειτουργίας συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια



Εικόνα 38: Χαρακτηριστικά περιοχής συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια

1. Μηχανή συγκόλλησης
2. Τσιμπίδα συγκόλλησης (μονομένη)
3. Τεμάχιο για συγκόλληση
4. Γείωση



Εικόνα 39: Απλή Διάταξη συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια

5.3. Κύρια Χαρακτηριστικά

Στη συγκόλληση τόξου με επικαλυμμένο ηλεκτρόδιο, το ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από μεταλλικό πυρήνα και εξωτερική επικάλυψη. Το τόξο σχηματίζεται μεταξύ της μίας άκρης του ηλεκτροδίου και του υλικού προς συγκόλληση. Ο πυρήνας λιώνει και σχηματίζει το λουτρό συγκόλλησης που ψυχόμενο αποτελεί την ραφή.

Κατά τη ταυτόχρονη καύση της επικάλυψης εκλύονται αέρια και παράγεται «πάστα» για την προστασία του τόξου και του λουτρού της συγκόλλησης αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο απομονώνεται το λουτρό από την ατμόσφαιρα.

Τα ηλεκτρόδια έχουν μικρό σχετικά μήκος με αποτέλεσμα η συγκόλληση να διακόπτεται συστηματικά. Ο χρόνος κατά τον οποίο χρησιμοποιούνται ενεργά τα ηλεκτρόδια αποτελεί μόνον το 25-60% του συνολικού χρόνου εργασίας.

Το μήκος των ηλεκτροδίων είναι περίπου 350 – 450 mm. Αν ήταν μεγαλύτερου μήκους θα είχαμε μεγαλύτερη αντίσταση στο ρεύμα συγκόλλησης και δυσκολότερο χειρισμό του ηλεκτροδίου. Συγκολλήσεις με ηλεκτρόδια μεγάλου μήκους δε διευκολύνουν το συγκολλητή καθώς δε μπορεί να τα κρατήσει σταθερά κυρίως στην αρχή της συγκόλλησης.



Εικόνα 40: Επενδεδυμένα ηλεκτρόδια

Η «πάστα» η οποία παράγεται κατά το λιώσιμο της επικάλυψης επικάθεται στην επιφάνεια της συγκόλλησης προστατεύοντας και μορφοποιώντας τη συγκόλληση κατά τη διάρκεια στερεοποίησης. Η «πάστα» πρέπει να απομακρύνεται μετά το τέλος κάθε γαζιού. Η συγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο χειρός χρησιμοποιείται για συγκολλήσεις χάλυβα χαμηλής, μέσης ή και υψηλής κραμάτωσης σε πάχη από 2mm και άνω σε εφαρμογές όπως οι μεταλλικές κατασκευές, τα δοχεία πίεσης και στη ναυτιλία.

Για την διατήρηση του τόξου απαιτείται συγκεκριμένη ελάχιστη διαφορά τάσης αλλά και έντασης ρεύματος. Επιπλέον, το διάκενο ανάμεσα στην άκρη του ηλεκτροδίου και των υλικών προς συγκόλληση στο οποίο αναπτύσσεται το τόξο πρέπει να είναι αγωγίμο. Ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν είναι αγωγίμος. Πρέπει να υπάρξουν ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα στη περιοχή που θα αναπτυχθεί το τόξο. Ο ατμοσφαιρικός αέρας πρέπει να ιονιστεί.



Εικόνα 41: Επενδεδυμένα ηλεκτρόδια: Τιμπίδα, Ηλεκτρόδια και καλώδιο συγκόλλησης

5.4. Συμπεριφορά του τόξου συγκόλλησης

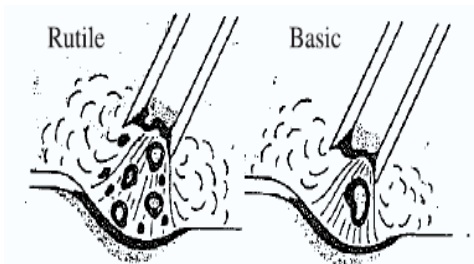
Τα περισσότερα ηλεκτρόδια χειρός μπορούν να συνδεθούν στον θετικό + (DCEP/DCRP) ή στον αρνητικό – (DCEN/DCSP) πόλο της μηχανής συγκόλλησης.

Συνήθως όμως τα όξινα ηλεκτρόδια και τα ηλεκτρόδια ρουτιλίου συνδέονται στην αρνητική πολικότητα της μηχανής και το δοκίμιο προς συγκόλληση στη θετική.

Τα βασικά ηλεκτρόδια συνήθως συνδέονται στη θετική πολικότητα της μηχανής.

Οι κατασκευαστές των ηλεκτροδίων παρέχουν στη συσκευασία τους την συνιστώμενη πολικότητα των ηλεκτροδίων.

Ο μεταλλικός πυρήνας σχηματίζει καθώς λιώνει το υλικό συγκόλλησης. Κατά τη διαδικασία αυτή ο πυρήνας λιώνει γρηγορότερα από την επικάλυψη και δημιουργείται ένας κρατήρας στον οποίο συγκεντρώνονται τα παραγόμενα από τη καύση της επικάλυψης αέρια. Επιπλέον εξασφαλίζεται ότι οι σταγόνες του υλικού συγκόλλησης κατευθύνονται σε αυτόν τον κρατήρα.



Εικόνα 42: Μορφές μεταφοράς υλικού σε ρουτιλιούχα (Αριστερά) και βασικά (δεξιά) ηλεκτρόδια

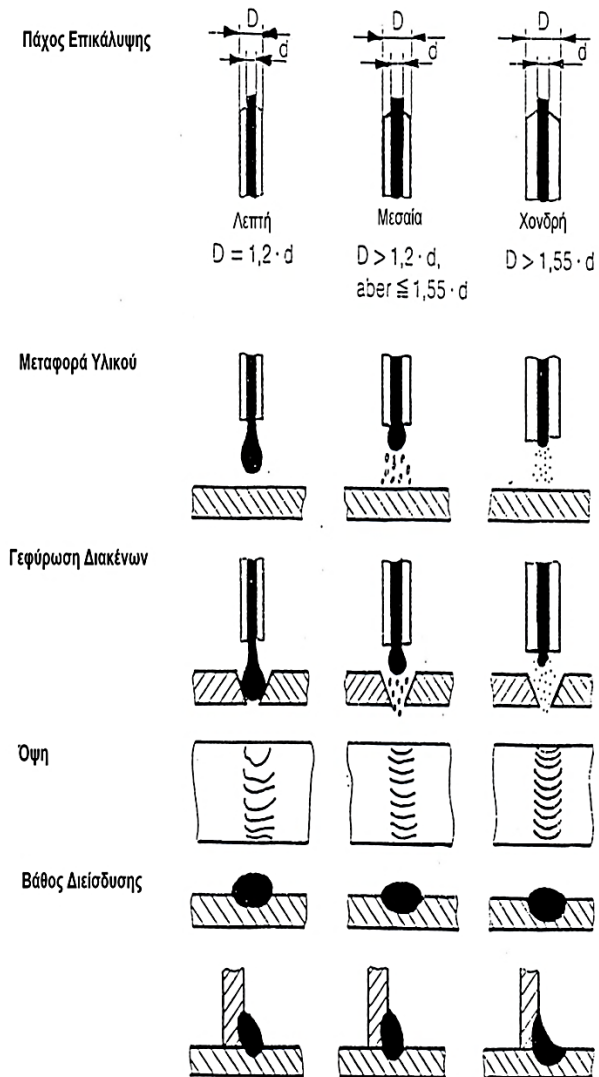
Η ροή αερίων είναι πολύ μεγάλη έτσι ώστε σε συνδυασμό με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται - pinch effect – οι σταγόνες του υλικού συγκόλλησης συγκρατούνται ισχυρά ακόμα και στη θέση «ουρανός». Το μέγεθος και ο αριθμός των σταγόνων εξαρτάται από τον τύπο και το πάχος της επικάλυψης.

Παχύ στρώμα επικάλυψης δημιουργεί μικρές σταγόνες «spray transfer», ενώ λεπτό στρώμα επικάλυψης δημιουργεί μεγάλες σταγόνες υλικού συγκόλλησης.

Η πάστα μεταφέρεται είτε ως ένα λεπτό στρώμα γύρω από τις σταγόνες του υλικού συγκόλλησης είτε ως ξεχωριστές σταγόνες. Λόγω υψηλής θερμοκρασίας του τόξου ποσοστό του υλικού συγκόλλησης εξατμίζεται (welding fumes).

Οι σταγόνες υλικού συγκόλλησης που βρίσκονται στο κρατήρα της συγκόλλησης έρχονται σε επαφή με το στρώμα ή τις σταγόνες της επικάλυψης. Αν υπάρχουν υλικά κραμάτωσης στην επικάλυψη τότε αυτά διοχετεύονται στο υλικό συγκόλλησης άρα και στη τελική ραφή.

5.5. Χαρακτηριστικά επικάλυψης Ηλεκτροδίων



Εικόνα 43: Επίδραση του πάχους της επικάλυψης στη συγκόλληση

Κατασκευαστικά υπάρχουν απεριόριστοι συνδυασμοί υλικών για το τύπο των επικαλύψεων των ηλεκτροδίων.

5.5.1. Βαθμός Επικάλυψης

Ο βαθμός της επικάλυψης υπολογίζεται ως ο **λόγος** μεταξύ της συνολικής διαμέτρου του ηλεκτροδίου προς τη διάμετρο του πυρήνα (D/d).

- ✓ Λεπτής επικάλυψης < 1.2
- ✓ Μέσης επικάλυψης 1.2 - 1.55
- ✓ Χονδρής επικάλυψης > 1.55

Τα περισσότερα ηλεκτρόδια σήμερα είναι χονδρής επικάλυψης.

5.5.2. Ηλεκτρόδια υψηλής απόδοσης

Η απόδοση ενός ηλεκτροδίου εκφράζεται σαν ποσοστό του βάρους του μεταλλικού πυρήνα:

Εάν διαβάζουμε σε κάποιο κατάλογο ότι ένα ηλεκτρόδιο έχει απόδοση 125%, σημαίνει ότι η ραφή ζυγίζει 1,25 φορές το βάρος του μεταλλικού πυρήνα.

Το επιπλέον βάρος σιδήρου προέρχεται από την μεταλλική σκόνη που περιέχεται στην επικάλυψη του ηλεκτροδίου και μεταφέρεται μαζί με τον μεταλλικό πυρήνα στην τελική ραφή. Η μεταλλική σκόνη τήκεται από την θερμότητα του τόξου. Ηλεκτρόδια υψηλής απόδοσης καλούνται και ηλεκτρόδια σκόνης σιδήρου. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 115 έως 185%. Υψηλής απόδοσης ηλεκτρόδια με απόδοση έως και 300% χρησιμοποιούνται για γέμισμα κατακόρυφων γωνιακών ραφών ή συγκόλληση κατεβατού (προσοχή στην εμφάνιση ατελούς τήξης !!)

Το πλεονέκτημα των ηλεκτροδίων υψηλής απόδοσης είναι ο υψηλός ρυθμός εναπόθεσης υλικού (ως και 3 φορές μεγαλύτερος) σε σχέση με κοινά ηλεκτρόδια, λόγω της χονδρότερης επικάλυψης.

Η τάση συγκόλλησης αυξάνει αναλογικά με το πάχος της επικάλυψης. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερο ρυθμό εναπόθεσης. Αυτός είναι και ο λόγος που η συγκόλληση με ηλεκτρόδια υψηλής εναπόθεσης είναι ανταγωνιστικά συγκρινόμενα με τις υψηλά παραγωγικές μεθόδους αυτόματης ή ημιαυτόματης συγκόλλησης.

ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

E-RR6

∅ 4 mm x 450 mm



Ο πυρήνας ζυγίζει περίπου 40g

E-RR11 180

∅ 4 mm x 450 mm



Ο πυρήνας ζυγίζει περίπου 40g

Η επικάλυψη περιέχει σίδηρο σε σκόνη

$$\text{Απόδοση \%} = \frac{\text{Βάρος της συγκόλλησης}}{\text{Βάρος του λιωμένου πυρήνα}} \cdot 100$$

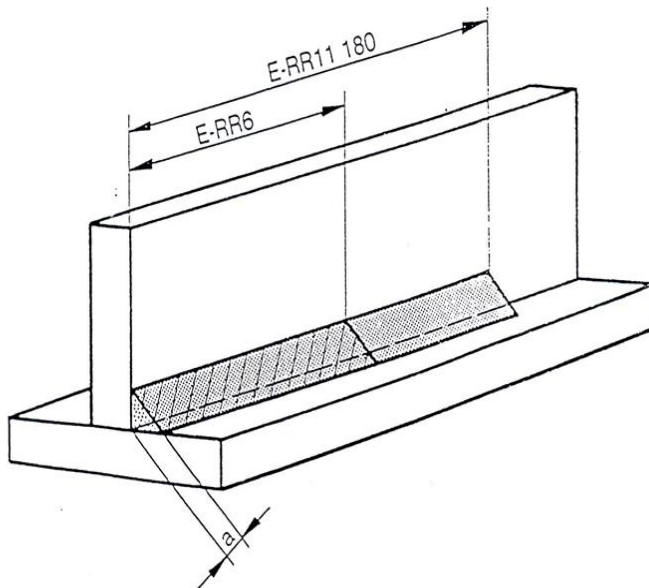
$$\text{Απόδοση : } \frac{40}{40} \cdot 100 = 100 \%$$

$$\frac{70}{40} \cdot 100 = 175 \%$$

Χρόνος Συγκόλλησης: περίπου 70sec

περίπου 70sec

Μήκος Εναπόθεσης:



5.5.3. Τύποι Επικάλυψης

Τέσσερις (4) είναι οι κύριες κατηγορίες των ηλεκτροδίων.

- ✓ C - ΣΕΛΟΥΛΟΖΗΣ
- ✓ A - ΟΞΙΝΑ
- ✓ R - ΡΟΥΤΙΛΙΟΥ
- ✓ B – ΒΑΣΙΚΑ

Σε συγκολλήσεις με λουτρό σχετικά κρύο χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια λεπτής επικάλυψης (μεγάλες σταγόνες υλικού συγκόλλησης). Σε συγκολλήσεις με ζεστό σχετικά λουτρό χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια υψηλής επικάλυψης (μικρές σταγόνες υλικού συγκόλλησης).

Τα όξινα, τα βασικά και τα ηλεκτρόδια ρουτιλίου προσφέρονται και με επιπλέον ποσότητα μεταλλικής σκόνης στην επικάλυψη τους.

Αυτά ονομάζονται ηλεκτρόδια με επικάλυψη μεταλλικής σκόνης ή καλύτερα ηλεκτρόδια υψηλής απόδοσης

Η τάση του τόξου εξαρτάται από τον τύπο και το πάχος της επικάλυψης

Τυπικές τάσεις τόξου είναι οι εξής:

- ✓ Κοινά ηλεκτρόδια 20-30 V
- ✓ Ηλεκτρόδια υψηλής απόδοσης 30-50 V
- ✓ Ηλεκτρόδια υψηλής διείδυσης 60-70 V

Εκτός από αυτούς τους τύπους ηλεκτροδίων σήμερα υπάρχει και ποικιλία ηλεκτροδίων με ανάμειξη των κυρίως στοιχείων των επικαλύψεων όπως π.χ. όξινα – ρουτιλίου. Συγκεκριμένα για ηλεκτρόδια ρουτιλίου με χονδρό πάχος επικάλυψης χρησιμοποιείται ο όρος διπλού ρουτιλίου (RR).

5.6. Σκοπός της επικάλυψης

- ✓ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΣΤΑΣ
- ✓ ΑΠΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟ ΜΕΣΟ
- ✓ ΙΟΝΙΣΜΟΣ
- ✓ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
- ✓ ΚΡΑΜΑΤΩΣΗ

5.6.1. Σχηματισμός πάστας

Τα λιωμένα στοιχεία της επικάλυψης επικάθονται σε κάθε σταγόνα υλικού συγκόλλησης με αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτής μονωτικής στρώσης που εξασφαλίζει προστασία από το οξυγόνο, το άζωτο και τους υδρατμούς.

Η περιεκτικότητα οξυγόνου στην επικάλυψη επηρεάζει την επιφανειακή τάση αλλά και το μέγεθος των σταγόνων του υλικού συγκόλλησης. Στα μη βασικά ηλεκτρόδια υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα σε οξυγόνο στο λουτρό συγκόλλησης, ενώ στα βασικά μικρή. Λόγω αυτού του στοιχείου, η μεταλλουργική διαφορά μεταξύ των δυο τύπων επικάλυψης είναι να υπάρχουν πολλές εγκλείσεις οξειδίων στο λουτρό συγκόλλησης (στα μη βασικά ηλεκτρόδια) και συνεπώς επηρεασμός της στερεοποίησης του λουτρού, της δομής της ραφής, της μηχανικής αντοχής, της ασφάλειας έναντι θερμορωγμών και της συμπεριφοράς κατά την συγκόλληση.

- Βασικές ενώσεις επικάλυψης είναι: Ενώσεις οξειδίων του βαρίου (Ba) του ασβεστίου (Ca), του καλίου (K), του μαγνησίου (Mg), του νατρίου (Na), του σιδήρου (Fe) αλλά και άλλες που δεν είναι οξείδια.
- Όξινες ενώσεις επικάλυψης είναι: οξείδια του αλουμινίου (Al), του πυριτίου (Si), του τιτανίου (Ti), του ψευδαργύρου (Zr).

Ο σχηματισμός της πάστας καθορίζει τον χώρο μέσα στον οποίο στερεοποιείται το υλικό συγκόλλησης (δρα ως καλούπι) διαμορφώνοντας την τελική μορφή της ραφής (ομαλή, τραχεία). Επιπλέον η πάστα μονώνει θερμικά το λουτρό, με αποτέλεσμα να αποτρέπει την γρήγορη απόψυξη και συνεπώς τον σχηματισμό σκληρών δομών.

5.6.2. Ιονισμός

Βελτίωση της αγωγιμότητας του περιβάλλοντος στο οποίο σχηματίζεται το τόξο, με τη χρήση στοιχείων που εύκολα εξατμίζονται και ιονίζονται. Αυτό σημαίνει:

- Ευκολότερη έναυση και,
- Βελτίωση των ιδιοτήτων της συγκόλλησης

Προς τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως ενώσεις Καλίου (K).

5.6.3. Δημιουργία αερίων προστασίας

Τα προστατευτικά αέρια παράγονται από την καύση των οργανικών στοιχείων της επικάλυψης όπως η σελουλόζη ή από τη διάσπαση ενώσεων που απελευθερώνουν συνήθως διοξείδιο του άνθρακα.

Η υπερβολική προσθήκη ενώσεων του ασβεστίου (όπως το ανθρακικό ασβέστιο) δεν είναι επιθυμητή γιατί το παραγόμενο ασβέστιο (Ca) αποξειδώνει υπερβολικά το λουτρό συγκόλλησης με συνέπεια την δυσμενή επίδραση στην αντοχή κρούσης αφενός και στην δημιουργία παχύρρευστου και δυσκολο-δούλευτου λουτρού συγκόλλησης αφετέρου.

5.6.4. Αποξείδωση

Σχεδόν όλοι οι τύποι επικάλυψης περιέχουν κραματικές ενώσεις του σιδήρου. Οι ανωτέρω ενώσεις διασπώνται και δεσμεύουν ποσοστά οξυγόνου που υπάρχουν στο λουτρό συγκόλλησης. Δημιουργούνται και ενώσεις στην μικροδομή του λουτρού συγκόλλησης που επηρεάζουν την στερεοποίηση και την μεταλλουργική δομή της ραφής.

Μετά την αποξείδωση του λουτρού συγκόλλησης σε λογικά πλαίσια, παραμένει μικρό ποσοστό αδέσμευτου ποσοστού οξυγόνου στο λουτρό συγκόλλησης. Εφόσον το παραμένον ποσοστό οξυγόνου είναι πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό, προκύπτει ανεπιθύμητη δομή που συνεπάγεται χαμηλή αντοχή κρούσης και μεγάλο κίνδυνο θερμωργιών. Επιθυμητή περιεκτικότητα σε αδέσμευτο οξυγόνο 0,02%-0,03%. Άλλα αποξειδωτικά στοιχεία είναι τα αλουμίνιο (Al), μαγνήσιο (Mg), τιτάνιο (Ti). Ειδικά το τιτάνιο (Ti) - στην μορφή TiO_2 - είναι ισχυρό αποξειδωτικό ακόμα και σε μικρές ποσότητες.

Από την άλλη πλευρά χρειαζόμαστε το οξυγόνο επίσης και κατά την διαδικασία της συγκόλλησης, δεδομένου ότι συντελεί στην δημιουργία λεπτών σταγόνων μεταφοράς υλικού. Για τον λόγο αυτό, τα όξινα ηλεκτρόδια παρέχουν λεπτή σταγόνα κατά την μεταφορά υλικού συγκόλλησης. Για τον ίδιο λόγο, χρησιμοποιούμε την παραπάνω τεχνική και στην συγκόλληση GMAW (Μέθοδος 135) των υψηλά κραματωμένων χαλύβων: δεν συγκολλούμε με καθαρό Argon αλλά με **μείγμα Argon με 1-3% Οξυγόνο ή διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)**, με σκοπό να επιτύχουμε λεπτή σταγόνα μεταφοράς υλικού συγκόλλησης.

Συνεπώς είναι επιθυμητή η παρουσία λίγου οξυγόνου με σκοπό :

- Την αύξηση της αντοχής κρούσης
Την αύξηση της ασφάλειας για θερμωργιές.
- Την ομαλοποίηση της διαδικασίας συγκόλλησης (λεπτή σταγόνα μεταφοράς υλικού συγκόλλησης).

5.6.5. Επιβελτίωση μέσω κραμάτωσης

Στην επικάλυψη πιθανόν να προστίθενται και κραματικά στοιχεία με σκοπό τον επηρεασμό προς το επιθυμητό της μηχανικής αντοχής ή της χημικής σύστασης της τελικής ραφής. Τα

στοιχεία μαγγάνιο (Mn) και πυρίτιο(Si) θα αποτελέσουν στοιχεία της ραφής, δεδομένου ότι τα επιθυμούμε να υπάρχουν σε ενώσεις για λόγους αποξειδωτικούς.

Άλλα, πολύ κοινά στοιχεία είναι τα: Μολυβδαίνιο (Mo), νικέλιο (Ni), χρώμιο (Cr).

Στην συγκόλληση χαλύβων υψηλής αντοχής, συνήθως η επικάλυψη περιέχει τα κραματικά στοιχεία που επιθυμούμε να διοχετευθούν στην ραφή. Στην συγκόλληση χαλύβων υψηλών θερμοκρασιών, συνήθως τα κραματικά στοιχεία περιέχονται στον πυρήνα του ηλεκτροδίου.

5.7. Περιγραφή των διάφορων τύπων επικάλυψης

5.7.1. Όξινα Ηλεκτρόδια (Σύμβολο, “A”)

Τα όξινα ηλεκτρόδια είναι μέσης ή χονδρής επικάλυψης. Εκτός από τα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου η επικάλυψη περιέχει σχετικά μεγάλο ποσοστό αποξειδωτικών στοιχείων. Η στερεοποιημένη πάστα απομακρύνεται εύκολα.

Τα όξινα ηλεκτρόδια έχουν μεγάλο ρυθμό εναπόθεσης υλικού συγκόλλησης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με υψηλές τιμές ρεύματος. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί υψηλή διείδυση. **Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ρεύμα συνεχές (DC) ή εναλλασσόμενο (AC).** Τα όξινα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται σε βασικά υλικά υψηλής συγκολλησιμότητας. Σε αντίθετη περίπτωση η συγκόλληση είναι επιρρεπής στη ρηγμάτωση. Η ευαισθησία στο σχηματισμό ρωγμών είναι έντονη στις γωνιακές συγκολλήσεις, όταν η περιεκτικότητα σε άνθρακα (C) ξεπερνά το 0,24%. Ομοίως, η τάση προς ρηγμάτωση αυξάνει όταν η περιεκτικότητα θείου (S) ξεπερνά το 0,05% σε πλήρως καθησυχασμένους χάλυβες και το 0,06% σε μη καθησυχασμένους χάλυβες.

Όξινα ηλεκτρόδια λεπτής επικάλυψης δημιουργούν κρύο λουτρό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν χρησιμοποιηθούν σε μεγάλα διάκενα. Όξινα ηλεκτρόδια χονδρής επικάλυψης δημιουργούν ζεστό λουτρό, έχουν υψηλό ρυθμό εναπόθεσης υλικού, απελευθερώνουν εύκολα την επίστρωση πάστας, δημιουργούν πολύ ομαλή συγκόλληση (καπάκι) αλλά λόγω των πολύ μικρών σταγόνων υλικού συγκόλλησης δεν χρησιμοποιούνται σε συγκόλληση δύσκολων θέσεων (πχ ουρανό). Λόγω της σχετικά μεγάλης περιεκτικότητας σε οξείδια οι μηχανικές ιδιότητες είναι περιορισμένες και η συγκόλληση είναι επιρρεπής στη ρηγμάτωση. Λόγω της ιδιαίτερα υγρής μορφής του λουτρού δημιουργούνται εύκολα υποκοπές. Λόγω των παραπάνω μειονεκτημάτων έχουν αντικατασταθεί σε μεγάλο βαθμό από τα ρουτιλιούχα-όξινα ηλεκτρόδια.

5.7.2. Ηλεκτρόδια Ρουτιλίου (Σύμβολο, “R-RR”)

Τα ηλεκτρόδια Ρουτιλίου περιέχουν περισσότερο από 50% Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO₂). Αυτός ο τύπος διαφέρει από τα ηλεκτρόδια AR (rutile-acidic) έχοντας μεγαλύτερη ποσότητα επικάλυψης. Σε ηλεκτρόδια μέσης επικάλυψης είναι δύσκολο να ανιχνευτεί αυτή η διαφορά. Λόγω των διαφορετικών τους εφαρμογών αλλά και των μηχανικών ιδιοτήτων η υποκατηγοριοποίηση γίνεται με βάση το πάχος της επικάλυψης.

- **R:** Η επικάλυψη είναι μεσαίου πάχους.
 - Μπορεί να περιέχεται ως και 15% σελλουλόζη.
 - Αυτά τα ηλεκτρόδια είναι κατάλληλα για θέσης συγκόλλησης «κατεβατό» και «ουρανό».
- **RR:** Η επικάλυψη είναι μεγάλου πάχους.
 - Μπορεί να περιέχεται ως και 5% σελλουλόζη.
 - Η πάστα είναι πυκνή αλλά αυτοαφαιρούμενη.
 - Η διεύθυνση είναι μικρή. Αυτά τα ηλεκτρόδια συνήθως χρησιμοποιούνται για οριζόντιες και κατακόρυφες γωνιακές συγκολλήσεις και για το γέμισμα φρεζών τύπου V.

Η τάση για ρηγμάτωση είναι λιγότερη από ότι στα ηλεκτρόδια AR (Όξινα - Ρουτιλιούχα). Η μέγιστη ένταση ρεύματος είναι μικρότερη από ότι στα ηλεκτρόδια AR (Όξινα - Ρουτιλιούχα). Αμέσως μετά τη συγκόλληση με ηλεκτρόδια υψηλού Ρουτιλίου η συγκόλληση περιέχει σημαντικές ποσότητες Υδρογόνου. Δοκιμή κάμψης σε υψηλής αντοχής χάλυβες μπορεί να δείξουν θραύση πριν τις 180°. Όμως, με το πέρασμα δύο εβδομάδων όταν το Υδρογόνο έχει μειωθεί είτε μέσω διάχυσης είτε με θερμική κατεργασία η ολκιμότητα βελτιώνεται.

5.7.3. Βασικά Ηλεκτρόδια (Σύμβολο, “B”)

Τα βασικά ηλεκτρόδια έχουν συνήθως παχύ στρώμα επικάλυψης που περιέχει σημαντικές ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) ή άλλα οξείδια βάσεων και Φθόριο (CaF₂). Έτσι, η μεταλλουργική τους φύση είναι βασική. Προκειμένου να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά συγκόλλησης χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) συχνά προστίθενται σημαντικές ποσότητες μη βασικών στοιχείων όπως Ρουτίλιο ή/και Πυρίτιο (χαλαζίας) στην επικάλυψη. Η πάστα είναι πυκνή και συχνά το χρώμα της έχει σκούρα καφέ και

γυαλιστερή απόχρωση. Απομακρύνεται σχετικά δύσκολα ειδικά σε στενές φρέζες ή συνδέσεις-T με εσωραφή. Αυτός ο τύπος ηλεκτροδίου παρέχει τόσο μέσης διεισδυτικής ικανότητας και είναι κατάλληλο για όλες τις θέσεις συγκόλλησης. Αμιγώς βασικά ηλεκτρόδια δεν είναι κατάλληλα για συγκόλληση με ρεύμα AC αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται με ρεύμα DC+. Συστήνονται για συγκολλήσεις τόσο χαμηλά κραματωμένων όπως και για χάλυβες με μεγαλύτερα ποσοστά Άνθρακα ή και Θείου.

Οι ραφές που έχουν παραχθεί με χρήση βασικών ηλεκτροδίων έχουν πολύ μεγάλη αντοχή στη κρούση ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Επιπλέον, δεν εμφανίζεται τάση για ρηγμάτωση (εν θερμώ ή εν ψυχρώ): Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε συγκολλήσεις μεγάλων παχών, ή μεγάλου βαθμού ακαμψίας.

Τα βασικά ηλεκτρόδια εξασφαλίζουν:

- Υψηλή αντοχή σε κρούση σε χαμηλές θερμοκρασίες (μικρή περιεκτικότητα σε οξυγόνο)
- Ασφάλεια σε θερμωγμές (δέσμευση θείου)
- Ασφάλεια σε Ψυχρωγμές (μικρή περιεκτικότητα σε υδρογόνο)

Θερμωγμές δημιουργούνται:

- Λόγω πολύ μικρής ή πολύ μεγάλης περιεκτικότητας σε οξυγόνο στο λουτρό συγκόλλησης.
- Λόγω σχηματισμού ενώσεων θειούχου σιδήρου (που στερεοποιούνται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τον χάλυβα).
- Στα βασικά ηλεκτρόδια καθαρίζεται μεταλλουργικά το λουτρό από το θείο, μέσω της χημικής ένωσης CaF_2 και συνεπώς αποτρέπεται ο σχηματισμός της επικίνδυνης ένωσης FeS και ο κίνδυνος θερμωγμών.

Ψυχρωγμές δημιουργούνται:

- Λόγω της παρουσίας Υδρογόνου κατά την συγκόλληση.
- Λόγω ύπαρξης σκληρής μεταλλουργικής δομής (πχ μαρτενιτικής)
- Λόγω της ύπαρξης εξωτερικών (λόγω φορτίων) ή και εσωτερικών τάσεων (λόγω συγκόλλησης).

Οι παραπάνω 3 συνθήκες πρέπει να παρευρίσκονται ταυτόχρονα για την πιθανή εκδήλωση ρηγματώσεων υδρογόνου. Η ρηγμάτωση υδρογόνου ενδέχεται να εκδηλωθεί και μετά από ημέρες μετά το πέρας της συγκόλλησης και ονομάζεται επίσης *hydrogendelayedcracking*.

5.7.4. Ηλεκτρόδια Σελουλόζης (Σύμβολο, “C”)

Τα ηλεκτρόδια αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικών στοιχείων που καίγονται εύκολα και κατά τη διάσπαση τους παράγουν προστατευτικά αέρια. Η ποσότητα της πάστας είναι μικρή και αφαιρείται εύκολα. Τα ηλεκτρόδια αυτά χαρακτηρίζονται για την υψηλή τους διείδυση και για τη μέση έως μεγάλη ταχύτητα εναπόθεσης υλικού. Παράγονται πολλά «spatter» και η όψη της ραφής είναι τραχεία. Τα ηλεκτρόδια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις θέσεις συγκόλλησης. Κυρίως όμως χρησιμοποιούνται σε θέση συγκόλλησης «κατεβατό».

5.7.5. Σύγκριση των διαφορετικών τύπων ηλεκτροδίου

Βασικός Τύπος	Όξινα A	Ρουτιλίου R	Βασικά B	Σελουλόζης C
Ρεύμα/ Πολικότητα	AC/DC ⁻	AC/DC ⁻	DC ⁺ /AC	AC/DC ⁺
Μεταφορά Υλικού	Μικρή Σταγόνα	Μικρή έως Χονδρή Σταγόνα	Μεσαία έως χονδρή Σταγόνα	Μεσαία έως χονδρή Σταγόνα
Γεφύρωση Διακένων	Μειωμένη	Μειωμένη ¹⁾ έως πολύ καλή	Καλή	Πολύ Καλή
Ρευστότητα Πάστας	Υψηλή	Μεσαία	Χαμηλή	- ²⁾
Μεταλλουργική Δράση	Υψηλή Περιεκτικότητα σε O ₂	Μεσαία Περιεκτικότητα σε O ₂	Χαμηλή Περιεκτικότητα σε O ₂	- ²⁾ -
Θέσεις Συγκόλλησης	w, h (s, q, ũ)	w, h, s, q ũ	w, h, s f ³⁾ , q, ũ	f [*] (w, h, s, q, ũ)
Μηχανικές Αντοχές Ραφής	Μέτριες	Μέτριες	Άριστες	Καλές
Επικινδυνότητα Ψυχρορωγμών	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Όψη Ραφής/ Απομάκρυνση Πάστας	Καλή	Άριστη έως καλή	Καλή	Μέτρια

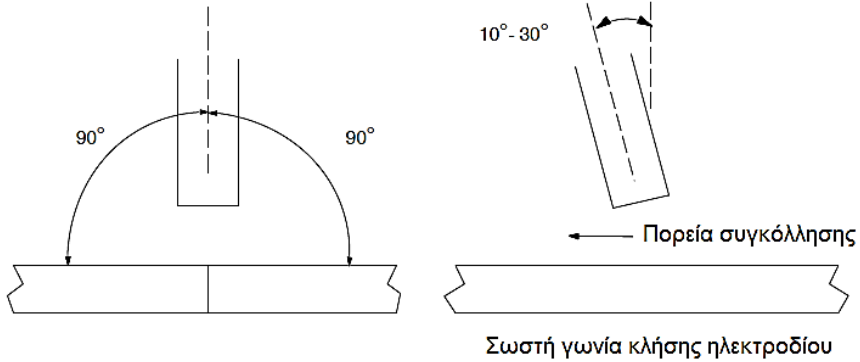
¹⁾ Εξαρτάται από τη διάμετρο του Ηλεκτροδίου

²⁾ Σχεδόν απουσία πάστας

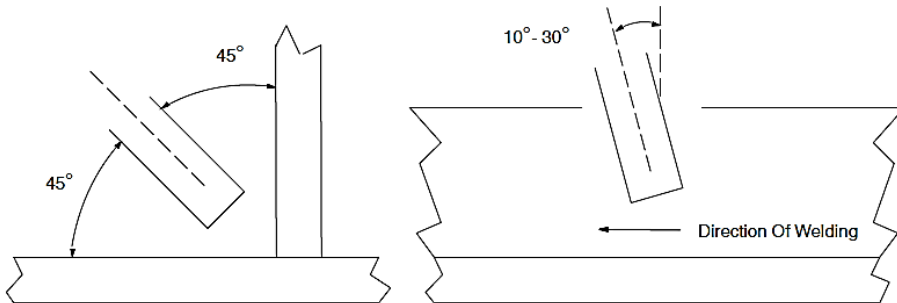
³⁾ Μόνο σε ειδικούς τύπους

5.8. Επίδραση των διαφόρων παραμέτρων συγκόλλησης

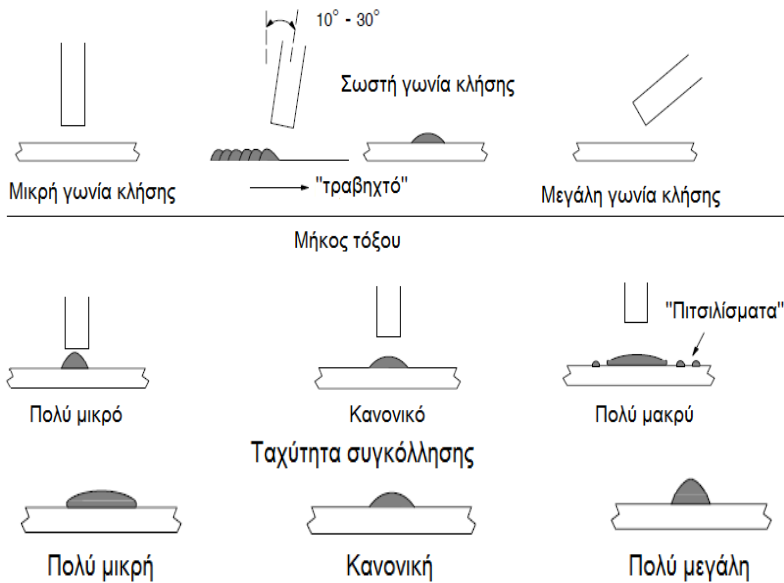
Επίπεδες συγκολλήσεις (Πλάκα)



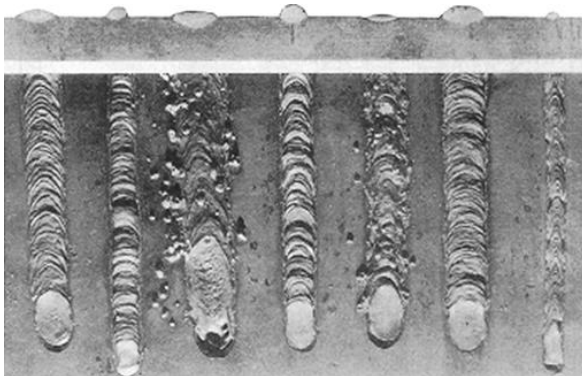
Εικόνα 44: Σωστή γωνία κλίσης του ηλεκτροδίου σε συγκολλήσεις «πλάκα»



Εικόνα 45: Σωστή γωνία κλίσης του ηλεκτροδίου σε γωνιακές συγκολλήσεις



Εικόνα 46: Γωνίες κλήσης, μήκος τόξου και ταχύτητα συγκόλλησης



- Α.** Ρεύμα, Τάση, μήκος τόξου σωστά
- Β.** Χαμηλό ρεύμα
- Γ.** Υψηλό ρεύμα
- Δ.** Πολύ κοντό τόξο
- Ε.** Πολύ υψηλό τόξο
- ΣΤ.** Πολύ χαμηλή ταχύτητα
- Ζ.** Πολύ υψηλή ταχύτητα

Εικόνα 47: Γωνίες κλήσης, μήκος τόξου και ταχύτητα συγκόλλησης

5.9. Συσκευασία & Συντήρηση ηλεκτροδίων

Το ηλεκτρόδια ελεγχόμενου υδρογόνου συχνά συσκευάζονται σε κενό αέρος μετά το ψήσιμο κατά την κατασκευή τους. Συσκευάζονται σε μικρά ανεξάρτητα πακέτα που περιέχουν μια μικρή ποσότητα ηλεκτροδίων, ώστε να ελαχιστοποιήσουν την απορρόφηση υγρασίας. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετούνται αμέσως σε φούρνο συντήρησης (100-120), μετά το άνοιγμα της συσκευασίας τους. Σε περίπτωση που παραμείνουν εκτεθειμένα χωρίς συντήρηση, πρέπει να χειριστούν όπως τα ηλεκτρόδια με κοινή συσκευασία (ξήρανση και ακολούθως συντήρηση)

5.9.1. Συσκευασία σε κουτιά

Τα ηλεκτρόδια μπορεί να συσκευάζονται σε σφραγισμένα κουτιά, τσίγκινα είτε από σκληρό χαρτόνι, με αεροστεγή πλαστική επένδυση. Τα ηλεκτρόδια από κουτιά τοποθετούνται συνήθως σε φούρνους ξήρανσης πριν μεταφερθούν στα ειδικά μικρά κιβώτια/φαρέτρες, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν.

Όλοι οι τύποι ηλεκτροδίων πρέπει να φυλάσσονται σε ξηρό περιβάλλον αλλά κάποια από αυτά έχουν μεγαλύτερη τάση απορρόφησης υγρασίας (κυρίως τα βασικά ηλεκτρόδια). Τα ηλεκτρόδια Ρουτιλίου απορροφούν υγρασία με πολύ μικρό ρυθμό αλλά είναι αδύνατον να ξανά ξηρανθούν χωρίς να επηρεαστεί η επικάλυψη. Τα ηλεκτρόδια Ρουτιλίου θεωρούνται ηλεκτρόδια υψηλού Υδρογόνου. Τα ηλεκτρόδια σελουλόζης δεν πρέπει να ξηραίνονται γιατί καταστρέφεται η λειτουργικότητα της επικάλυψης.

5.9.2. Βασικά Ηλεκτρόδια

Τα βασικά ηλεκτρόδια πρέπει να ξηραίνονται πολύ καλά έτσι ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση Υδρογόνου και πόρων κατά τη συγκόλληση. Επιπλέον πρέπει να φυλάσσονται και σε ξηρό περιβάλλον. Προς τούτο, οι περισσότεροι κατασκευαστές συνιστούν αποθήκευση σε κατάλληλο χώρο με θερμοκρασία άνω των 18°C και σχετική υγρασία το πολύ 60%. Η καμπίνα πρέπει να είναι αεριζόμενη έτσι ώστε να μπορεί να διαφεύγει η υγρασία. Επίσης πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευση πολλών κιβωτίων το ένα πάνω στο άλλο, η επαφή των κιβωτίων με το δάπεδο ή τα εξωτερικά τοιχώματα του χώρου αποθήκευσης, προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση συμπυκνωμάτων υγρασίας, η διάβρωση του μεταλλικού πυρήνα, η αλλοίωση ή καταστροφή της επικάλυψης κλπ.

Εκτός από την συσκευασία κενού (VacPac) τα βασικά ηλεκτρόδια πρέπει να ξηρανθούν πριν την χρήση τους σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (συνήθως στους 300-

350°C για min2 και max 10 ώρες). Μόνο εφόσον τα βασικά ηλεκτρόδια ξηρανθούν στην παραπάνω θερμοκρασία και ακολούθως συντηρηθούν σε θερμοκρασία 100- 120°C, μειώνεται ο κίνδυνος δημιουργίας πορώδους ή ρηγματώσεων υδρογόνου. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η παρουσία εξαιρετικά χαμηλού Υδρογόνου (<5 ml/100 g υλικού συγκόλλησης) και έτσι αποφεύγονται ρηγματώσεις Υδρογόνου στη Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη.



Εικόνα 48: Φουρνάκι ηλεκτροδίων

Η επαναξήρανση άλλων ηλεκτροδίων εκτός των βασικών δεν χρησιμεύει σε κάποιο σκοπό. Πιθανόν να καταστρέφει τα ηλεκτρόδια. Τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια έτσι κι αλλιώς δεν είναι χαμηλού Υδρογόνου και κάποια υγρασία στην επικάλυψη βοηθάει στην ευστάθεια του τόξου. Όξινα και Ρουτιλιούχα ηλεκτρόδια μπορούν να ξηραθούν στους 100°C αν έχουν υγρασία, αλλά η σωστή πρακτική είναι να μην χρησιμοποιηθούν καθόλου.

5.10. Κριτήρια επιλογής ηλεκτροδίου

- Ο σχεδιασμός των παρειών της συγκόλλησης
- Η επιθυμητή αντοχή σε εφελκυσμό
- Η σύσταση του βασικού μετάλλου
- Ο επιθυμητός ρυθμός εναπόθεσης υλικού
- Ο τύπος ρεύματος που θα χρησιμοποιηθεί
- Η επιθυμητή διείδυση

- Το πάχος του μετάλλου
- Η προδιαγραφή της συγκόλλησης

5.11. Κωδικοποίηση Ηλεκτροδίων

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

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

Τα ηλεκτρόδια έχουν χωριστεί σε κατηγορίες και για την καθεμιά από αυτές ισχύουν διαφορετικά πρότυπα. Οι κατηγορίες που θα μας απασχολήσουν είναι:

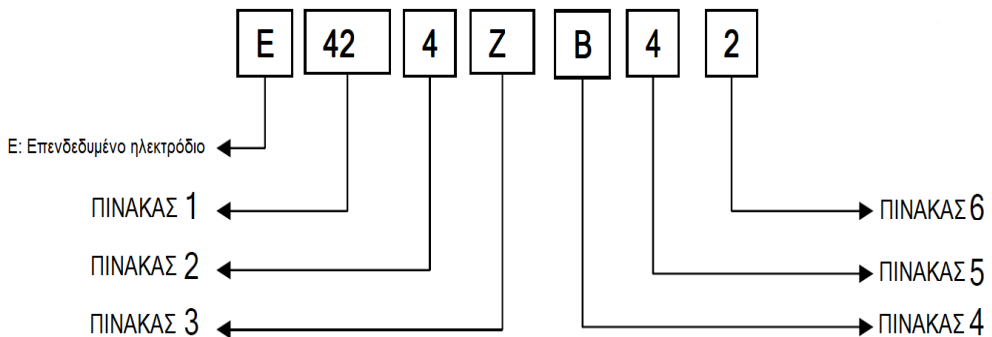
- Ανθρακούχων χαλύβων και ελαφρά κραματικών χαλύβων
- Ανοξειδωτων χαλύβων
- Αλουμινίου
- Χυτοσιδήρου

Λεπτομερώς θα αναπτυχθούν μόνο τα ηλεκτρόδια των ανθρακούχων χαλύβων και των ελαφρά κραματικών χαλύβων, τα οποία, κυρίως, μας ενδιαφέρουν και έχουν πολλές εφαρμογές.

Τα επενδυμένα ηλεκτρόδια ανθρακούχων χαλύβων και των ελαφρά κραματικών χαλύβων είχαν τυποποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Με τα πρότυπα **AWSA5.1** (ανθρακούχων χαλύβων) και **AWSA5.5** (ελαφρά κραματικών χαλύβων) της του οργανισμού συγκολλήσεων των Η.Π.Α. (American Welding Society).
- Με το **ISO2560**, (παρόμοιο με το Ευρωπαϊκό **ENELOT 499**).

Τυπικό παράδειγμα κατά EN 499:



Όπου,

- Ο **Πίνακας 1**, που αφορά στο παράδειγμα το σύμβολο **'42'**, αναφέρεται στην αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης
- Ο **Πίνακας 2**, που αφορά στο παράδειγμα το σύμβολο **'4'**, αναφέρεται στην αντοχή σε θραύση σε χαμηλές θερμοκρασίες του μετάλλου συγκόλλησης
- Ο **Πίνακας 3**, που αφορά στο παράδειγμα το σύμβολο **'Z'**, αναφέρεται στη χημική σύσταση του μετάλλου συγκόλλησης
- Ο **Πίνακας 4**, που αφορά στο παράδειγμα το σύμβολο **'B'**, αναφέρεται στον τύπο της επένδυσης του ηλεκτροδίου (B, A, C, R, RR, RC, RA, RA)
- Ο **Πίνακας 5**, που αφορά στο παράδειγμα το σύμβολο **'4'**, αναφέρεται στην απόδοση και στον τύπο του ρεύματος που απαιτεί το ηλεκτρόδιο (AC, DC)
- Ο **Πίνακας 6**, που αφορά στο παράδειγμα το σύμβολο **'2'**, αναφέρεται στις θέσεις συγκόλλησης για τις οποίες ενδείκνυται το ηλεκτρόδιο

Επιπλέον, στο τέλος του συμβολισμού υπάρχει χαρακτηριστικός κωδικός ο οποίος δηλώνει την περιεκτικότητα σε υδρογόνο του μετάλλου συγκόλλησης μετά από χρήση του συγκεκριμένου ηλεκτροδίου (H5, H10, H15 κλπ)

Η λογική αυτή ακολουθείται σε όλα τα Ευρωπαϊκά πρότυπα που αφορούν στα ηλεκτρόδια για όλα τα υλικά (χάλυβες, ανοξείδωτα, αλουμίνια κλπ)

Αντίθετα, σύμφωνα με τα Διεθνή και Αμερικάνικα πρότυπα, τα ηλεκτρόδια συμβολίζονται με έναν κυρίαρχο τετραψήφιο αριθμό (EXXXX-HXX, όπου E: ηλεκτρόδιο, π.χ. **E7018-H10**) στον οποίο, τα δύο πρώτα ψηφία (το '70' στο E7018) δείχνουν την αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης ενώ τα δύο επόμενα (το '18' στο E7018) προκύπτουν από Πίνακες και αφορούν στο είδος της επένδυσης, τον τύπο του ρεύματος (AC, DC), τις επιτρεπτές θέσεις συγκόλλησης ('ουρανό', 'ανεβατό', 'οριζόντιο' κλπ).

Μέθοδος συγκόλλησης με επενδεδυμένο
ηλεκτρόδιο

3 ^ο +4 ^ο ψηφίο (1)	Είδος επένδυ- σης (2)	θέσεις συ- γκόλλησης (3)	Είδος ρεύ- ματος (4)	Διείσ- δυση ¹⁰ (5)	Επιφά- νεια ⁸ (6)	Πάχος σκουριάς ⁸ (7)
03	Βασική + Ρουτίλιου	Όλες πλην της PG ¹¹	AC, DC+, DC-	Ρηχή	Κυρτή	Λεπτή
10	Κυτταρίνης - Νατρίου	Όλες	DC+	Πολύ βαθιά	Κοίλη	Λεπτή
11	Κυτταρίνης - Καλίου	Όλες	AC, DC+, DC-	Βαθιά	Κοίλη	Λεπτή
12	Ρουτίλιου - Νατρίου	Όλες πλην της PG ⁹	AC, DC-	Μέτρια	Κυρτή	Μέτρια
13	Ρουτίλιου - Καλίου	Όλες πλην της PG ⁹	AC, DC+, DC-	Ρηχή	Κυρτή	Μέτρια
14	Ρουτίλιου + Σιδηρόσκονη	Όλες πλην της PG ⁹	AC, DC+, DC-	Μέτρια	Επίπεδη	Παχιά
15	Βασική - Νατρίου	Όλες πλην της PG ⁹	DC+	Μέτρια	Κυρτή	Λεπτή
16	Βασική - Καλίου	Όλες πλην της PG ⁹	AC, DC+	Ρηχή	Κυρτή	Λεπτή
18	Βασική + Σιδηρόσκονη	Όλες πλην της PG ⁹	AC, DC+	Μέτρια	Κυρτή	Μέτρια
19	Ρουτίλιου + Οξειδίου	Όλες πλην της PG ⁹	AC, DC+, DC-	Μέτρια	Κυρτή	Μέτρια
20	Οξειδίου Fe	PA, PB	AC, DC-	Μέτρια	Επίπεδη	Παχιά
24	Ρουτίλιου + Σιδηρόσκονη	PA, PB	AC, DC+, DC-	Μέτρια	Επίπεδη	Πολύ παχιά
27	Οξειδίου Fe + Σιδηρόσκονη	PA, PB	AC, DC-	Μέτρια	Επίπεδη	Πολύ παχιά
28	Βασική + Σιδηρόσκονη	PA, PB, PC	AC, DC+	Μέτρια	Κυρτή	Παχιά
48	Βασικό	Όλες	AC, DC+	Μέτρια	Κυρτή	Λεπτή

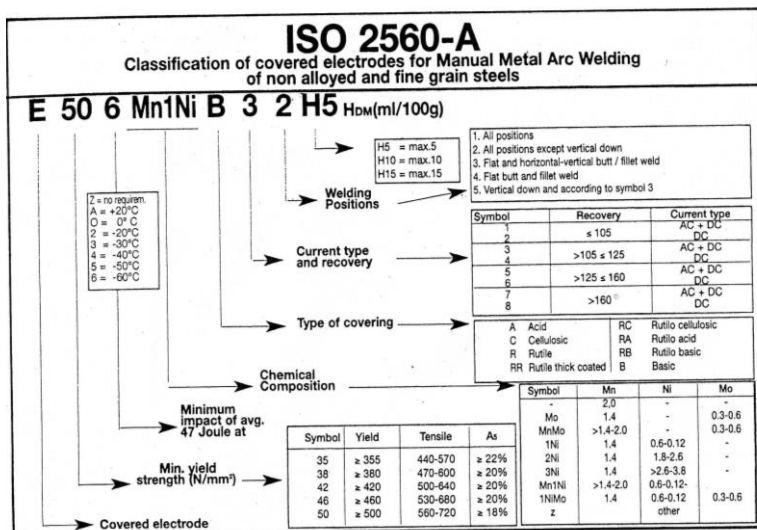
Εικόνα 49: Πίνακας της σημασίας του 3^{ου} και 4^{ου} ψηφίου στην ονομασία κατά ISO-2560-B

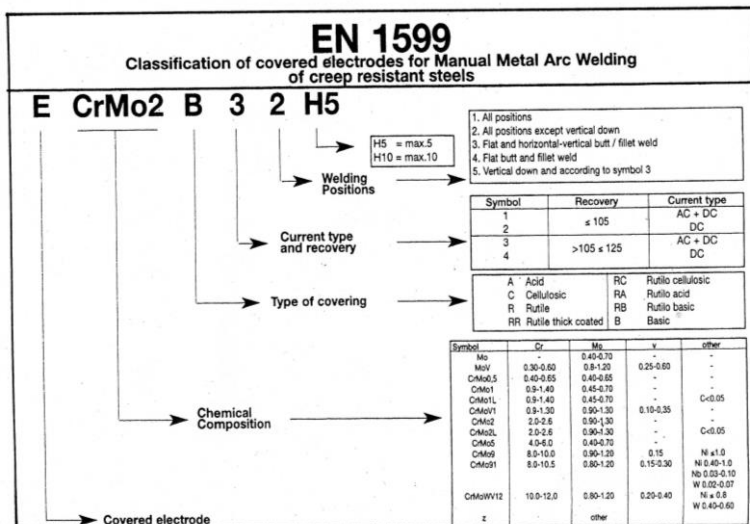
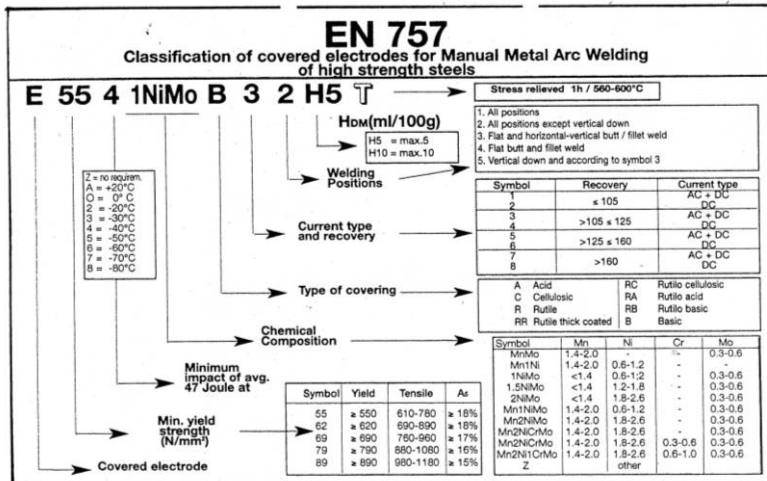
Είδος επένδυσης	4 ^ο ψηφίο	Προσθήκη	Είδος ρεύματος	Διείσδυση	Επιφάνεια	Πάχος σκουριάς
Κυτταρίνης	0	Νάτριο	DC+	Πολύ βαθιά	Κοίλη	Λεπτή
	1	Κάλιο	AC,DC+,DC-	Βαθιά		
Ρουτίλιου	2	Νάτριο	AC,DC-	Μέτρια	Κυρτή	Μέτρια
	3	Κάλιο	AC,DC+,DC-	Ρηχή		
	4	Σιδηρόσκονη	AC,DC+,DC-	Μέτρια	Επίπεδη	Παχιά
Βασική	5	Νάτριο	DC+	Μέτρια	Κυρτή	Λεπτή
	6	Κάλιο	AC,DC+	Ρηχή		
	8	Σιδηρόσκονη	AC,DC+	Μέτρια	Κυρτή	Μέτρια

Εικόνα 50: Η σημασία του 4^{ου} ψηφίου στην ονομασία κατά ISO-2560-B

Σημειώνουμε και πάλι ότι στην κωδικοποίηση των βασικών ηλεκτροδίων, στο τέλος του κωδικού υπάρχει σύμβολο του τύπου H5, H10, H15 κλπ που δείχνει την περιεκτικότητα σε υδρογόνο του μετάλλου συγκόλλησης. Για παράδειγμα:

H10: Το υδρογόνο είναι μικρότερο από 10 cm³ ανά 100 gr εναποτιθέμενου μετάλλου. Άλλα παραδείγματα κωδικοποίησης ηλεκτροδίων φαίνονται παρακάτω:





EN 1600
Classification of covered electrodes for Manual Metal Arc Welding
of stainless and heat-resisting steels

E 19 12 3 L R 1 2

Welding Positions

Current type and recovery

Covered electrode

Chemical Composition

Type of covering

1. All positions
2. All positions except vertical down
3. Flat and horizontal-vertical butt / fillet weld
4. Flat butt and fillet weld
5. Vertical down and according to symbol 3

Symbol	Recovery	Current type
1	≤ 105	AC + DC
2		DC
3	>105 ± 125	AC + DC
4		DC
5	>125 ± 160	AC + DC
6		DC

	R Rutile	B Basic
Symbol		

Symbol	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Other	Symbol	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Others
Martensitic/ferritic							20 25 5 Cu/NL	0.04	1-4	19-22	24-27	4-7	
13	0.12	1.5	11-14				20 16 3 Mn/NL	0.04	5-8	18-21	15-18	2-3	0.20N ⁵
13 4	0.06	1.5	11-14	3-5	0.4-1		25 22 2 N/L	0.04	1-5	24-27	20-23	2-3	0.20N ⁵
17	0.12	1.5	16-18				27 31 4 Cu/L	0.04	2-5	26-29	30-33	3-4	
Austenitic							Special						
19 9	0.08	2.0	18-21	9-11			18 9 Mn	0.20	45-75	17-20			
19 9 L	0.04	2.0	18-21	9-11			18 9 MnMo	0.04-1.4	3-5	18-21	9-11	0.5-1	
19 9 Nb	0.08	2.0	18-21	9-11		Nb	20 10 3	0.10	2.5	18-21	9-12	1-3	
19 12 2	0.08	2.0	17-20	10-13			23 12 L	0.04	2.5	22-25	11-14		
19 12 3 L	0.04	2.0	17-20	10-13			23 12 Nb	0.10	2.5	22-25	11-14		Nb
19 12 3 Nb	0.08	2.0	17-20	10-13		Nb	23 12 2 L	0.04	2.5	22-25	11-14	2-3	
19 13 4 N/L	0.04	1-5	17-20	12-15		0.20N	29 9	0.15	2.5	27-31	8-12		
Austenitic/Ferritic, high corrosion resistance							Heat resisting						
22 9 3 N/L	0.04	2.5	21-24	7-10	2-4		16 8 2	0.08	0.08	14-16	7-9		1-2 ³
25 7 2 N/L	0.04	2.0	24-28	6-8	1-3	0.20N	19 9 H	0.04-0.08	2.0	18-21	9-11		
25 9 3 Cu/NL	0.04	2.5	24-27	7-10	2-4		25 4	0.15	2.5	24-27	4-6		0.06-0.20N
25 9 4 N/L	0.04	2.5	24-27	6-10	2-4		22 12	0.08-0.20	1-5	20-23	10-13		0.10-0.20N, 1.5-3.0Cu
Fully austenitic, high corrosion resistance							25 20	0.06-0.20	1-5	23-27	18-22		0.20-0.30N, 1.50Cu, 1.0W
16 15 3 L	0.04	1-4	16-19	14-17	2-3		25 20 H	0.35-0.45	2.5	23-27	18-22		0.20Cu, 0.20N
16 15 5 N/L	0.04	1-4	17-20	15-19	3-5	0.20N ⁴	18 36	0.25	2.5	14-18	33-37		0.6-1.5Cu

AWS A5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding
ELECTRODE CLASSIFICATION

AWS Classification	Type of Covering	Welding Position ^a	Type of Current ^b
E6010	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E6011	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E6012	High titania sodium	F, V, OH, H	ac or dcep
E6013	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep or dcep
E6019	Iron oxide titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep or dcep
E6020	High iron oxide	{ H-fillets F	ac or dcep ac, dcep or dcep
E6022 ^c	High iron oxide	F, H	ac or dcep
E6027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcep ac, dcep or dcep
E7014	Iron powder, titania	F, V, OH, H	ac, dcep or dcep
E7015 ^d	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E7016 ^d	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018M	Low hydrogen iron powder	F, V, OH, H	dcep
E7024 ^d	Iron powder, titania	H-fillets, F	ac, dcep or dcep

AWS A5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding

E7027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7028 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	H-fillets, F	ac or dcep
E7048 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H, V-down	ac or dcep

Notes:

a. The abbreviations indicate the welding positions as follows:

- F = Flat
- H = Horizontal
- H-fillets = Horizontal fillets
- V-down = Vertical with downward progression

V = Vertical } { For electrodes $\frac{3}{16}$ in. (4.8 mm) and under, except $\frac{5}{32}$ in. (4.0 mm)
OH = Overhead } { and under for classifications E7014, E7015, E7016, E7018, and E7018M.

b. The term "dcep" refers to direct current electrode positive (dc, reverse polarity). The term "dcen" refers to direct current electrode negative (dc, straight polarity).

c. Electrodes of the E6022 classification are intended for single-pass welds only.

d. Electrodes with supplemental elongation, notch toughness, absorbed moisture, and diffusible hydrogen requirements may be further identified as shown in Tables 2, 3, 10, and 11.

AWS A5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding

E7027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7028 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	H-fillets, F	ac or dcep
E7048 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H, V-down	ac or dcep

Notes:

a. The abbreviations indicate the welding positions as follows:

- F = Flat
- H = Horizontal
- H-fillets = Horizontal fillets
- V-down = Vertical with downward progression

V = Vertical } { For electrodes $\frac{3}{16}$ in. (4.8 mm) and under, except $\frac{5}{32}$ in. (4.0 mm)
OH = Overhead } { and under for classifications E7014, E7015, E7016, E7018, and E7018M.

b. The term "dcep" refers to direct current electrode positive (dc, reverse polarity). The term "dcen" refers to direct current electrode negative (dc, straight polarity).

c. Electrodes of the E6022 classification are intended for single-pass welds only.

d. Electrodes with supplemental elongation, notch toughness, absorbed moisture, and diffusible hydrogen requirements may be further identified as shown in Tables 2, 3, 10, and 11.

AWS A5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding

AWS Classification	Electrode Designation	Charpy V-Notch Impact Requirements, Limits for 3 out of 5 specimens (Refer to Note a above)	
		Average, Min.	Single Value, Min.
E7016 E7018	E7016-1 } E7018-1 }	20 ft-lb at -50°F (27 J at -46°C)	15 ft-lb at -50°F (20 J at -46°C)
E7024	E7024-1	20 ft-lb at 0°F (27 J at -18°C)	15 ft-lb at 0°F (20 J at -18°C)

c. All five values obtained shall be used in computing the average. Four of the five values shall equal, or exceed, 50 ft-lb (67 J).

6. Μέθοδος συγκόλλησης με παρουσία προστατευτικού αερίου

6.1. Εισαγωγή

Στις ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου είναι απαραίτητη η παρουσία προστατευτικής ατμόσφαιρας. Ο ρόλος της είναι να προστατεύσει το λουτρό τήξης και το ηλεκτρόδιο συγκόλλησης από τις βλαβερές συνέπειες της επαφής με τον ατμοσφαιρικό αέρα (κυρίως οξείδωση), και να προσδώσει στο τόξο σταθερά χαρακτηριστικά λειτουργίας. Η προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου μπορεί να προέρχεται είτε από την εξάχνωση συστατικών της επένδυσης ή του πυρήνα των ηλεκτροδίων, είτε από την εξάχνωση της σκόνης συγκόλλησης, είτε με ξεχωριστή, απευθείας παροχή κατάλληλων αερίων. Στη τελευταία περίπτωση μιλάμε για “Συγκολλήσεις Τόξου με Προστατευτική Ατμόσφαιρα Αερίου (Gas Shielded Arc Welding Processes).

Οι μέθοδοι συγκόλλησης τόξου με προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, διαχωρίζονται ανάλογα με το προστατευτικό αέριο που χρησιμοποιείται, και το είδος του ηλεκτροδίου (αναλυσκόμενο ή μη αναλυσκόμενο). Διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες μεθόδων συγκόλλησης (Σχήμα 6.1.):

- Στη πρώτη (gas shielded metal arc welding), το ηλεκτρόδιο που παράγει το τόξο είναι αναλυσκόμενο και προστίθεται στη συγκόλληση.
- Στη δεύτερη (gas shielded tungsten arc welding), το ηλεκτρόδιο που παράγει το τόξο (ηλεκτρόδιο βολφραμίου) είναι μη αναλυσκόμενο. Για κάθε κατηγορία έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές που έχουν να κάνουν κυρίως με το είδος και το τρόπο παροχής του προστατευτικού αερίου. Οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί είναι:

Ημιαυτόματη συγκόλληση αερίου με σύρμα (Gas metal arc welding), που περεταίρω διαχωρίζεται ανάλογα με το αέριο σε αδρανούς (MIG) και ενεργού αερίου (MAG) – Σχήμα 6.2.

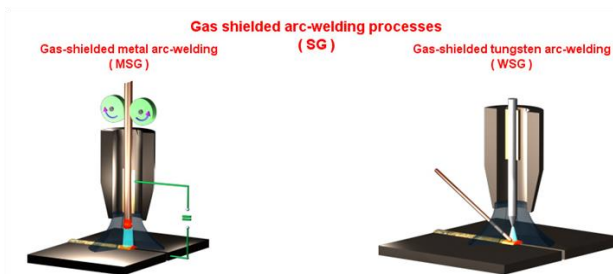
- Η πρώτη έχει εφαρμογή στη συγκόλληση ελαφρών και μη σιδηρούχων κραμάτων και υψηλά κραματωμένων χαλύβων.
- Η δεύτερη, κυρίως σε κατασκευαστικούς αλλά και υψηλά κραματωμένους χάλυβες.

Οι δύο μέθοδοι είναι αυτή τη στιγμή οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες στην Ευρώπη, τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία. Αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1980 και αναμένεται ότι η εξάπλωση

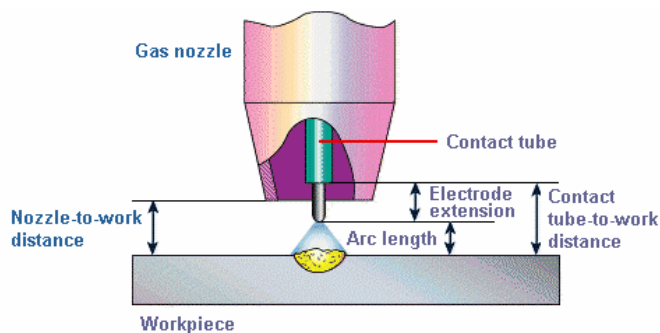
Μέθοδος συγκόλλησης με παρουσία προστατευτικού αερίου

τους θα συνεχιστεί, αν και όχι με τους αρχικούς ρυθμούς. Πρόκειται για μεθόδους υψηλής παραγωγικότητας, που όμως δεν έχει πάντα τα καλύτερα αποτελέσματα από πλευράς ποιότητας.

Η τεχνολογική έρευνα κατά συνέπεια εστιάζεται στη βελτίωση τους προς αυτή τη κατεύθυνση, και ήδη τα αποτελέσματα είναι εμφανή, καθώς οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές υψηλών ποιοτικών απαιτήσεων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 υπήρξε εντατική έρευνα με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας των μεθόδων μέσω αύξησης της ταχύτητας της συγκόλλησης και υψηλών ρυθμών εναπόθεσης τηγμένου υλικού. Η παράλληλη ανάπτυξη της τεχνολογίας των πηγών συγκόλλησης, των “τσιμπίδων” συγκόλλησης και παραγωγής αερίων συγκόλλησης βοήθησε σε αυτή τη κατεύθυνση.

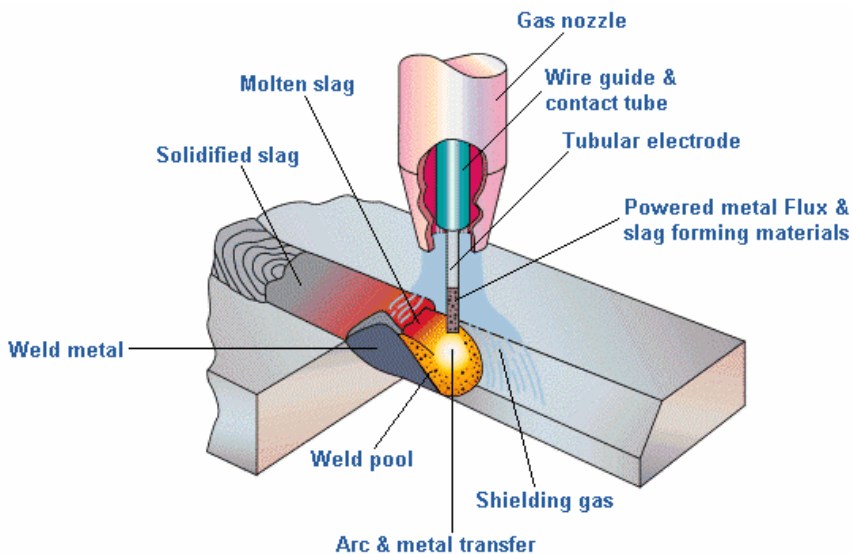


Εικόνα 51: Βασικός διαχωρισμός μεθόδων συγκόλλησης τόξου με προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου



Εικόνα 52: Βασικός Ημιαυτόματη συγκόλληση αερίου με σύρμα

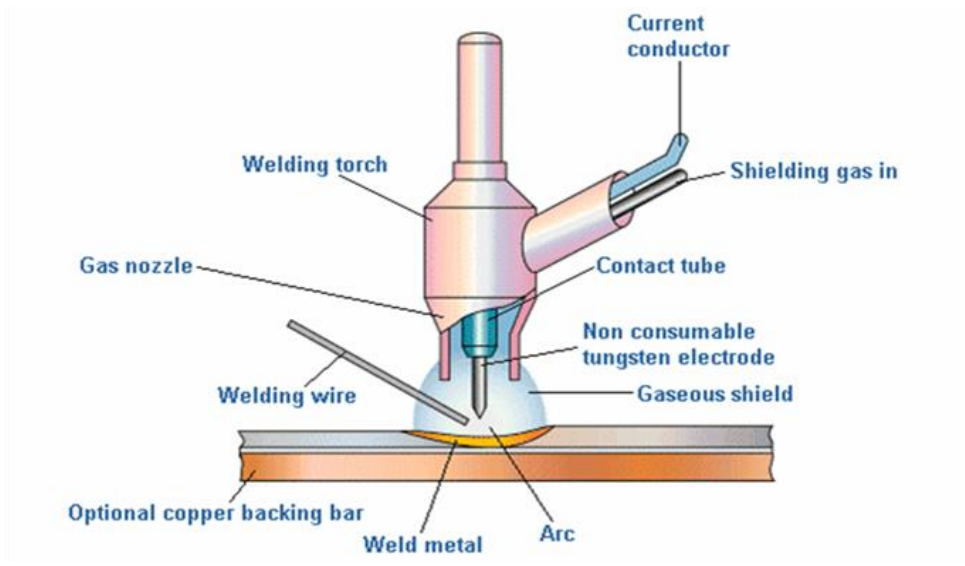
Ημιαυτόματη συγκόλληση αερίου με παραγεμιστό σύρμα (Gas shielded flux cored arc welding) – Εικόνα 53. Πρόκειται για μία μέθοδο που αναπτύσσεται ταχύτατα, τάση που αναμένεται να συνεχιστεί καθώς συνδυάζει πλεονεκτήματα τόσο της αντίστοιχης μεθόδου με απλό σύρμα όσο και της μεθόδου συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (π.χ. συγκόλληση υψηλής παραγωγικότητας σε συγκολλήσεις που εκτελούνται σε δύσκολες θέσεις συγκόλλησης). Η εξέλιξη της έγινε δυνατή τη δεκαετία του 1980, καθώς τότε ανακαλύφθηκαν τα παραγεμιστά σύρματα. Πρόκειται για σωληνοειδή σύρματα που στο πυρήνα τους περιέχουν κατάλληλη σκόνη.



Εικόνα 53: Ημιαυτόματη συγκόλληση αερίου με παραγεμιστό σύρμα

Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου (Tungsten Inert Gas - TIG) Arc Welding) – Εικόνα 54. Αυτή η μέθοδος είναι μέθοδος υψηλών δυνατοτήτων όσο αφορά τις ποιοτικές απαιτήσεις της συγκόλλησης και χρησιμοποιείται κυρίως σε ανοξείδωτα και μη σιδηρούχα κράματα.

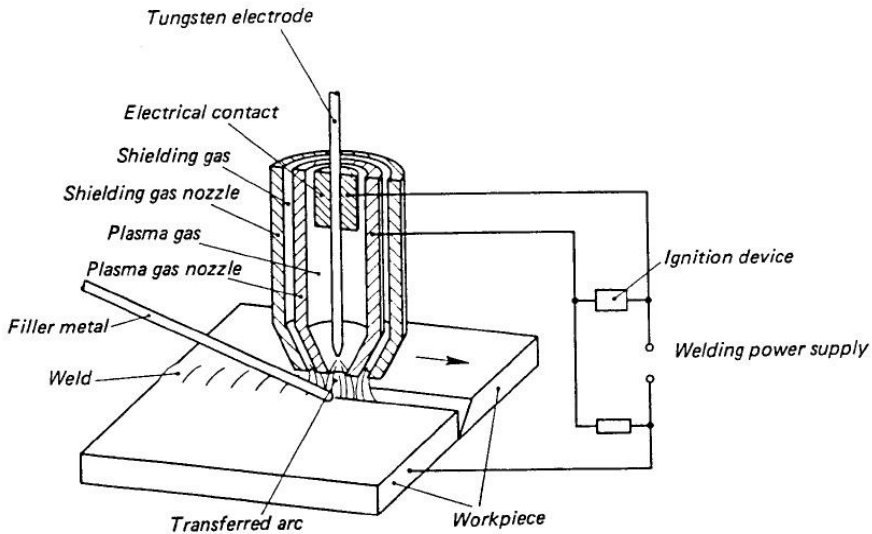
Το πεδίο εφαρμογής της μεγαλώνει καθώς αναπτύσσονται βελτιωτικές τεχνικές για την αύξηση της παραγωγικότητας της (π.χ. προσθήκη προθερμασμένου σύρματος). Επίσης, η ανάπτυξη της τεχνολογίας του σχετικού εξοπλισμού, οδήγησε στην ανάπτυξη ειδικών εφαρμογών (TIG pulse, TIG orbital) πάντα για συγκολλήσεις όπου απαιτούνται υψηλές προδιαγραφές ποιότητας.



Εικόνα 54: Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου

Συγκόλληση πλάσματος (Plasma Arc Welding) – Σχήμα 6.5. Η συγκόλληση πλάσματος είναι παρόμοια με τη μέθοδο TIG, της οποίας άλλωστε θεωρείται εξέλιξη. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων πάχους από 0.5 έως 10 mm, και δεν αναμένεται η εξάπλωση της στη συγκόλληση κοινών ανθρακούχων χαλύβων. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται η χαμηλή θερμική παροχή της, η υψηλή ποιότητα της συγκόλλησης καθώς και το ότι δεν απαιτεί προσεκτική προετοιμασία της ένωσης. Ακόμα, παρουσιάζει χαμηλή ευαισθησία στη μεταβολή του μήκους του τόξου, υψηλή σταθερότητα τόξου και απουσία εγκλεισμάτων βολφραμίου στη παραγόμενη συγκόλληση.

Γενικά, οι εξελίξεις που παρατηρούνται στις διάφορες μεθόδους συγκόλλησης, πλέον, αφορούν μάλλον βελτιώσεις παρά ριζικές αλλαγές και ανάπτυξη καινούργιων μεθόδων.



Εικόνα 55: Συγκόλληση πλάσματος

6.2. Προστατευτικά αέρια συγκόλλησης

Στις συγκολλήσεις τόξου με προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου τα προστατευτικά αέρια παίζουν σημαντικό ρόλο. Η πρωταρχική λειτουργία τους είναι η προστασία του τόξου, του τηγμένου μετάλλου και του στερεού μετάλλου που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, καθώς και του ηλεκτροδίου βολφραμίου όπου αυτό χρησιμοποιείται, από τις καταστρεπτικές συνέπειες που θα είχε η επαφή τους με τον περιβάλλοντα αέρα (κυρίως οξείδωση), και να παρέχουν ιδανικές συνθήκες λειτουργίας του τόξου. Αν ο αέρας ερχόταν σε επαφή με το τηγμένο ή θερμό μέταλλο το οξυγόνο του θα οξειδωνε το μέταλλο ή θα κατέστρεφε το ηλεκτρόδιο βολφραμίου, το άζωτο του αέρα θα προκαλούσε πόρους, ανεπιθύμητες φάσεις ή και ευθραυστοποίηση της ζώνης συγκόλλησης, και η υγρασία του αέρα θα προκαλούσε πόρους ή και το φαινόμενο της ευθραυστοποίησης υδρογόνου. Η χημική σύσταση του προστατευτικού αερίου επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι σταγόνες τηγμένου ηλεκτροδίου μεταφέρονται στο λουτρό τήξης, κάτι που με τη σειρά του επηρεάζει τον αριθμό και το μέγεθος των “πιτσιλισμάτων” (spatter) που προκύπτουν. Επίσης επηρεάζει την εξωτερική εμφάνιση της συγκόλλησης, τη γεωμετρία της, τη

Μέθοδος συγκόλλησης με παρουσία προστατευτικού αερίου

ταχύτητα προώθησης της, και παίζει σημαντικό ρόλο στη πιθανή καύση κραματικών στοιχείων (που επηρεάζει τις ιδιότητες του μετάλλου), και στο πιθανό σχηματισμό οξειδίων στην επιφάνεια της συγκόλλησης.

Τα προστατευτικά αέρια είναι τις περισσότερες φορές, είτε αδρανή (inert) είτε ενεργά (active), και μπορεί να είναι καθαρά, να αποτελούνται δηλαδή από ένα στοιχείο ή μία χημική ένωση, ή μείγματα αερίων. Τα αδρανή δε λαμβάνουν μέρος στις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο τόξο και στο λουτρό τήξης, σε αντίθεση με τα ενεργά. Η ταξινόμηση των προστατευτικών αερίων σύμφωνα με τη χημική τους σύσταση, ακολουθεί το πρότυπο EN 439. Το πρότυπο αναφέρεται ακόμα σε ιδιότητες των αερίων, στη ταξινόμηση τους, τη καθαρότητα τους, το περιεχόμενο υγρασίας τους και στις μορφές παράδοσης τους. Στον Πίνακα, εμφανίζονται οι σχετικές πληροφορίες καθώς και τυπικές εφαρμογές των αερίων.

Symbol ¹⁾	Group	Identifi- cation	Components, % (V/V)					Typical applications	Remarks	
			Oxidizing		Inert		Reducing			Unreactive
			CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂			N ₂
R	1			Balance ²⁾			> 0 to 15	TIG, plasma arc welding, plasma arc cutting, back shielding	Reducing	
	2			Balance ²⁾			> 15 to 35			
I	1			100				MIG, TIG, Plasma arc welding, back shielding	Inert	
	2			Balance	100					
	3				> 0 to 95					
M 1	1	> 0 to 5		Balance ²⁾			> 0 to 5	MAG	Slightly oxidizing ↓ More pronounced oxidierend	
	2	> 0 to 5		Balance ²⁾						
	3		> 0 to 3	Balance ²⁾						
	4	> 0 to 5	> 0 to 3	Balance ²⁾						
M 2	1	> 5 to 25		Balance ²⁾				MAG	Slightly oxidizing ↓ More pronounced oxidierend	
	2		> 3 to 10	Balance ²⁾						
	3	> 0 to 5	> 3 to 10	Balance ²⁾						
	4	> 5 to 25	> 0 to 8	Balance ²⁾						
M 3	1	> 25 to 50		Balance ²⁾				MAG	Slightly oxidizing ↓ More pronounced oxidierend	
	2		> 10 to 15	Balance ²⁾						
	3	> 5 to 50	> 8 to 15	Balance ²⁾						
C	1	100						Plasma arc cutting back shielding	Unreactive Reducing	
	2	Balance	> 0 to 30							
F	1						100	Plasma arc cutting back shielding	Unreactive Reducing	
	2					> 0 to 50	Balance			

1) Where components not listed are added to one of the groups in this table, the gas mixture is designated as a special gas mixture and carries the prefix S.

2) Argon may be replaced by up to 95% helium. The helium content is designated by an additional identification number.

Εικόνα 56: Πίνακας ταξινόμησης αερίων συγκόλλησης

Η ελάχιστη επιτρεπτή καθαρότητα για τη κάθε ομάδα καθορίζεται ως εξής:

- Για την ομάδα **R** 99,95 % κ.ο.,
- για την ομάδα **I** 99,99 % κ.ο.,
- για την ομάδα **M1** τη **M2** και τη **M3** 99,70 % κ.ο.,

- για την ομάδα C 99,70 % κ.ο., και
- για την ομάδα F 99,50 % κ.ο.

Στη συγκόλληση MIG χρησιμοποιείται αδρανές αέριο, αργό, ήλιο ή μείγμα τους. Κλασικές εφαρμογές είναι η συγκόλληση αλουμινίου και των κραμάτων του, και χαλκού και των κραμάτων του.

Η συγκόλληση MAG έχει εφαρμογή κυρίως στους χάλυβες (κοινούς και σπανιότερα ανοξείδωτους). Η μέθοδος χρησιμοποιεί ενεργά μείγματα, όπου ένα ή περισσότερα ενεργά συστατικά προστίθενται στο αργό για βελτιστοποίηση του αποτελέσματος σε θέματα ποιότητας και παραγωγικότητας. Το καθαρό αργό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω σχετικής αστάθειας του τόξου. Τα οξειδωτικά στοιχεία που προστίθενται (O_2 ή CO_2 ή συνδυασμός τους) σταθεροποιούν το τόξο και επιτρέπουν ομαλή μεταφορά των τηγμένων σταγόνων στο λουτρό τήξης. Το ποσοστό τους εξαρτάται από τα βασικά μέταλλα και την χρήση της συγκολλητής κατασκευής. Στους ανοξείδωτους χάλυβες η περιεκτικότητα τους είναι χαμηλή, γύρω στο 1 %, ενώ στους ανθρακούχους χάλυβες μπορεί να είναι 5 – 25 % για το CO_2 ή 4 – 12 για το O_2 . Η συγκόλληση κοινών και χαμηλά κραματωμένων χαλύβων είναι δυνατή και με καθαρό CO_2 , το οποίο είναι και αρκετά φθηνό αέριο. Πάντως, γενικά, το κόστος των προστατευτικών αερίων συγκόλλησης είναι αμελητέο σε σύγκριση με το συνολικό κόστος συγκόλλησης, και παράγοντες όπως ποιότητα συγκόλλησης, ταχύτητα συγκόλλησης, απώλειες σε πιτσιλίσματα, και καθαρισμός μετά τη συγκόλληση, που επηρεάζονται άμεσα από την επιλογή του προστατευτικού αερίου, έχουν πολύ σημαντικό αντίκτυπο στο συνολικό κόστος της συγκόλλησης.

Στις συγκολλήσεις πλάσματος και TIG, το συχνότερα χρησιμοποιούμενο αέριο, λόγω της πλήρους αδράνειας του, είναι το αργό. Συχνά, για λόγους καλύτερης παραγωγικότητας και ποιότητας μπορεί να προστίθενται ήλιο ή και υδρογόνο, που αυξάνουν τη θερμική παροχή στο βασικό μέταλλο λόγω αυξημένης θερμικής αγωγιμότητας. Στους ανοξείδωτους χάλυβες μπορεί να προστεθεί υδρογόνο από 1 έως 7 % για αύξηση της ταχύτητας της συγκόλλησης και της επιτυγχανόμενης διεύθυνσης.

Στο αλουμίνιο μπορεί να προστεθεί ήλιο από 30 έως 70 %. Οι περιεκτικότητες εξαρτώνται πάντα και από το πάχος του βασικού μετάλλου.

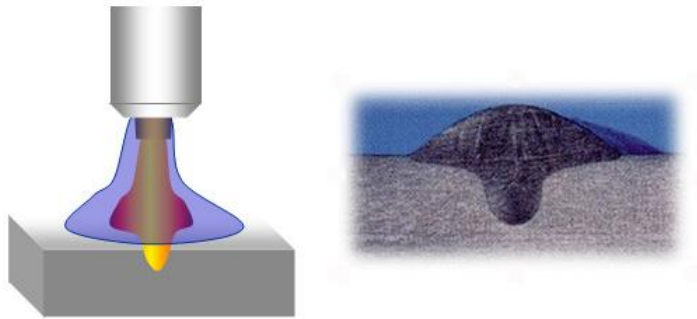
Προσθέτουμε ακόμα, ότι το αργό και το διοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ βαρύτερα από τον αέρα, ενώ το ήλιο το άζωτο και το υδρογόνο ελαφρύτερα. Προκύπτουν έτσι θέματα ασφαλείας κατά τη διεξαγωγή εργασιών συγκόλλησης.

Γενικά, τα αέρια που είναι βαρύτερα από τον αέρα συγκεντρώνονται σε κλειστούς χώρους που βρίσκονται χαμηλά, και μπορεί να παραμένουν εκεί για μεγάλο διάστημα. Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι από τη χρήση των αερίων είναι ο κίνδυνος της φωτιάς και ο κίνδυνος της ασφυξίας. Ο κίνδυνος της φωτιάς δεν αφορά μόνο τα εύφλεκτα αέρια αλλά και τα

οξειδωτικά αέρια αν έρθουν σε επαφή με άλλα εύφλεκτα υλικά. Υλικά που δεν καίγονται στον ατμοσφαιρικό αέρα, μπορούν να αναπτύξουν αυθόρμητα θερμοκρασία ή και να ξεκινήσουν να καίγονται, αν έρθουν σε επαφή με αέρα εμπλουτισμένο σε οξυγόνο ή με καθαρό οξυγόνο. Ο κίνδυνος της ασφυξίας προκύπτει όταν αέρια συγκεντρώνονται σε κλειστούς χώρους και μειώνουν τη περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά τη χρήση υγροποιημένων αερίων σε βαθιά ψύξη καθώς οποιαδήποτε επαφή προκαλεί σοβαρούς τραυματισμούς. Οι φιάλες που περιέχουν τα αέρια πρέπει να επιθεωρούνται τακτικά, να τοποθετούνται σε ασφαλής τοποθεσίες μακριά από οποιαδήποτε εστία φλόγας ή σπινθήρα και να στηρίζονται σωστά. Τέλος, τα αέρια που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις δεν είναι δηλητηριώδη, αλλά οι αναθυμιάσεις που προκύπτουν από τις συγκολλήσεις δεν πρέπει να εισπνέονται. Είναι απαραίτητος λοιπόν ο καλός εξαερισμός της περιοχής όπου εκτελούνται συγκολλήσεις και η απαγωγή των αναθυμιάσεων της συγκόλλησης. Πρέπει να επιβάλλεται επίσης η χρήση κατάλληλης μάσκας για την αναπνοή.

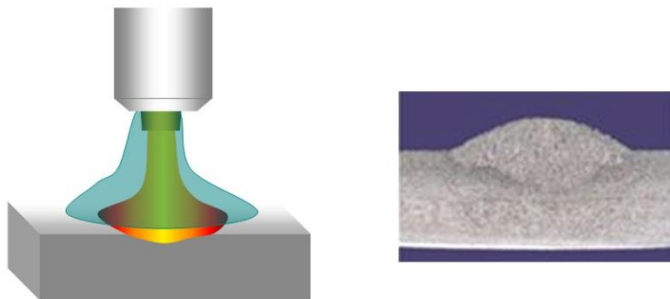
6.2.1. Ειδικά χαρακτηριστικά των αερίων συγκόλλησης

Αργό: Πρόκειται για αέριο που ιονίζεται σχετικά εύκολα, γεγονός που συμβάλει στη σταθερότητα του τόξου και στην εύκολη έναυση (και επανέναυση) του. Αποτελεί τη βάση για τα αέρια που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις. Το τόξο που παράγει είναι “ήπιο” και αρκετά σταθερό. Έχει σχετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, κι έτσι δημιουργεί ένα θερμό πυρήνα στο πλάσμα του τόξου, που οδηγεί σε ισχυρή διείδυση, ιδιαίτερης όμως μορφής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.6. Προκύπτει επίσης χαμηλή τιμή διάλυσης, μέγεθος που εκφράζει το ποσοστό ανάμειξης τηγμένου βασικού μετάλλου στη περιοχή της συγκόλλησης.



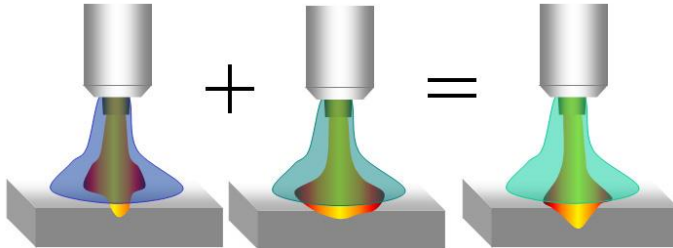
Εικόνα 57: Συγκόλληση με αέριο προστασίας αργό

Ήλιο: Σε σύγκριση με το αργό έχει καλύτερη θερμική αγωγιμότητα κι έτσι η μεταφορά θερμότητας μέσω του τόξου του είναι πιο ομαλή. Το δυναμικό ιονισμού του είναι μεγαλύτερο, κάτι που συνεπάγεται τη χρήση υψηλότερων τιμών τάσης από τη πηγή. Το λουτρό τήξης είναι έτσι πλατύτερο (Σχήμα 6.7), θερμότερο και ρευστότερο, επιτρέποντας καλύτερη απομάκρυνση των όποιων ποσοτήτων αερίου έχουν διαλυθεί μέσα του. Ακόμα, το τόξο είναι πιο ασταθές και δύσκολο στο χειρισμό του. Με βάση τα παραπάνω το ήλιο προτείνεται (καθαρό ή ως πρόσμιξη στο αργό) για τη συγκόλληση υλικών με μεγάλη θερμική διαχυσιμότητα όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός. Επίσης, επιφέρει αύξηση της ταχύτητας συγκόλλησης. Λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του, η κατανάλωσή του είναι μεγαλύτερη κάτι που πρέπει να υπολογίζεται όπως και η ανάγκη διαφορετικών ρυθμίσεων στη παροχή του.



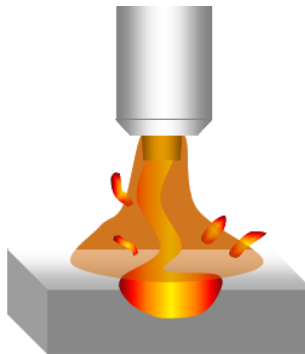
Εικόνα 58: Συγκόλληση με αέριο προστασίας ήλιο

Προσθέτοντας ήλιο στο αργό συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα και των δύο και το αποτέλεσμα είναι συγκολλήσεις τόξου μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας, ομαλής θερμοκρασιακής κατανομής, αυξημένης παραγωγικότητας, καλής διείσδυσης αλλά και πλάτους λουτρού (μειωμένη πιθανότητα σφαλμάτων). Στο Σχήμα 6.8, εμφανίζονται σχηματικά τα παραπάνω.



Εικόνα 59: Συνδυασμός χαρακτηριστικών αργού και ηλίου

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

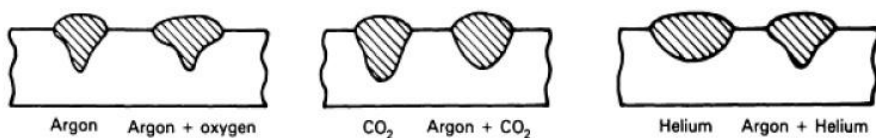


Εικόνα 60: Συγκόλληση με αέριο διοξείδιο του άνθρακα

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

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

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

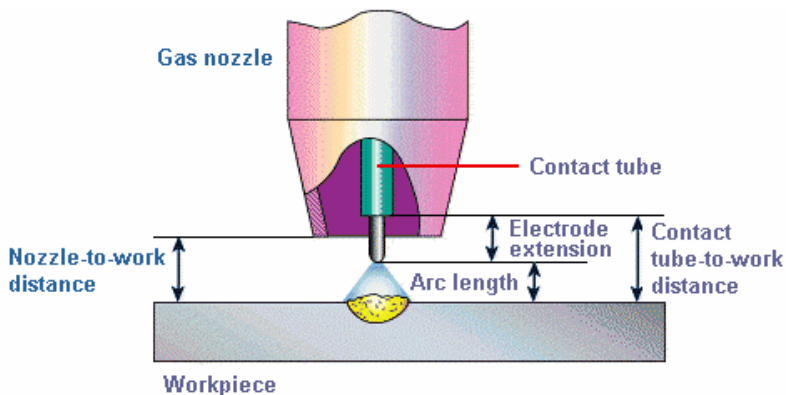


Εικόνα 61: Επίδραση προστατευτικού αερίου στη μορφή συγκόλλησης

6.3. Ημιαυτόματη μέθοδος συγκόλλησης με σύρμα (MIG/MAG)

Η μέθοδος συγκόλλησης MIG/MAG, είναι η ημιαυτόματη μέθοδος συγκόλλησης με σύρμα, σε προστατευτική ατμόσφαιρα αδρανούς (MIG) ή ενεργού (MAG) αερίου.

Κατά την εκτέλεση των συγκολλήσεων MIG/MAG, στις περισσότερες περιπτώσεις, η τροφοδοσία του ηλεκτροδίου – σύρματος επιτελείται μηχανικά, ενώ η προώθηση της κεφαλής της συγκόλλησης (όπλο συγκόλλησης), επιτελείται χειρωνακτικά. Για το λόγο αυτό η μέθοδος χαρακτηρίζεται ως ημιαυτόματη. Ωστόσο, μπορεί η μέθοδος να εκτελεστεί και μηχανικά, δηλαδή η κεφαλή της συγκόλλησης να κινείται μηχανικά σε σχέση με το βασικό μέταλλο, οπότε χαρακτηρίζεται ως πλήρως μηχανοποιημένη, ή και αυτοματοποιημένα, οπότε και τα αντικείμενα προς συγκόλληση τροφοδοτούνται με μηχανικό τρόπο, και τότε χαρακτηρίζεται ως αυτόματη. Το βέβαιο είναι ότι ο ρυθμός τροφοδοσίας του σύρματος πρέπει να αντιστοιχεί στο ρυθμό τήξης του, κάτι το οποίο δεν μπορεί να εξασφαλιστεί χειρωνακτικά, κι έτσι η μέθοδος δε μπορεί να εκτελεστεί με τρόπο τέτοιο που να χαρακτηριστεί χειρωνακτική.



Εικόνα 62: Βασικός Ημιαυτόματη συγκόλληση αερίου με σύρμα

Η μέθοδος είναι κατάλληλη για τη συγκόλληση όλων των ευρέως χρησιμοποιούμενων βιομηχανικών κραμάτων, όπως, αλουμινίου και των κραμάτων του, μαγνησίου και των κραμάτων του, κοινών και ελαφρά κραματωμένων χαλύβων, ανοξείδωτων και πυρίμαχων χαλύβων, χαλκού, μπρούντζου, κ.λ.π., σε όλες τις θέσεις συγκόλλησης, με τη σωστή, για

κάθε εφαρμογή, επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης, υλικού πλήρωσης και προστατευτικού αερίου.

6.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο υψηλός ρυθμός εναπόθεσης (deposition rate) του υλικού πλήρωσης, λόγω της αντίστοιχα μεγάλης ταχύτητας τήξης του σύρματος, σε σχέση με τη μέθοδο συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια ή τη μέθοδο συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο βολφραμίου σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου (TIG). Το ηλεκτρόδιο – σύρμα τροφοδοτείται αδιάκοπα, γεγονός που επίσης συμβάλλει στην επίτευξη υψηλού ρυθμού εναπόθεσης. Στην αυξημένη παραγωγικότητα της μεθόδου συμβάλλει και η απουσία σκουριάς που θα σχηματίζονταν σε κάθε κορδόνι και θα απαιτούσε καθαρισμό, όπως, για παράδειγμα, στη περίπτωση της συγκόλλησης βυθισμένου τόξου. Η απουσία σκουριάς απαλλάσσει τη μέθοδο και από τον κίνδυνο εμφάνισης ενός πολύ συχνού σε άλλες μεθόδους σφάλματος συγκόλλησης, των εγκλεισμάτων σκουριάς (slag inclusion). Επιπλέον, ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλή και εύκολη ρύθμιση του τρόπου μεταφοράς του τηγμένου ηλεκτροδίου μέσω του τόξου στο λουτρό τήξης. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις θέσεις συγκόλλησης, με τη σωστή ρύθμιση παραμέτρων, κάτι που δεν ισχύει για τη μέθοδο συγκόλλησης βυθισμένου τόξου για παράδειγμα. Ακόμα, οι υψηλές τιμές πυκνότητας ρεύματος που επιτυγχάνονται, οδηγούν στην επίτευξη μεγαλύτερης διεύθυνσης σε σχέση με τη συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια. Τέλος, η μέθοδος MIG/MAG παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών.

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

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

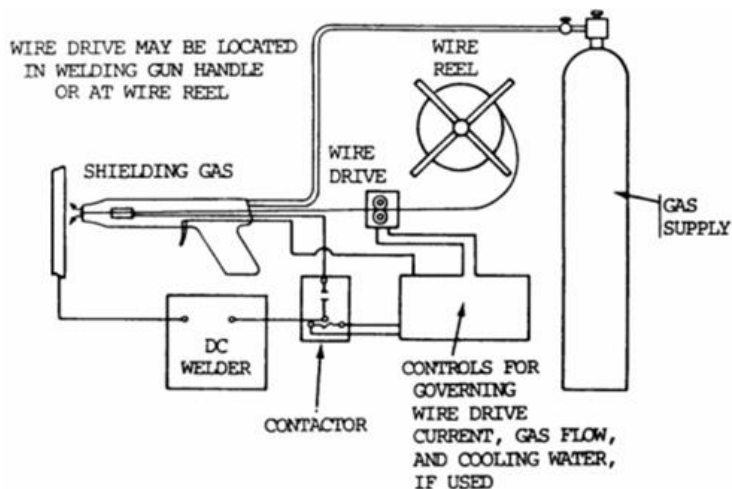
Επίσης, μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί και η ευαισθησία της στο κρίσιμο σφάλμα της ατελούς τήξης. Η συχνή εμφάνιση ατελούς τήξης (lack of fusion) στις συγκεκριμένες συγκολλήσεις οφείλεται στην αυξημένη ταχύτητα προώθησης της συγκόλλησης, στην κατανομή θερμότητας μεταξύ βασικού μετάλλου και ηλεκτροδίου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

Γενικότερα, η προσβασιμότητα στη περιοχή συγκόλλησης, μπορεί να περιορίζεται, λόγω του σχήματος και του μεγέθους του όπλου, σε συνδυασμό με τα διάφορα καλώδια τροφοδοσίας που καταλήγουν σ' αυτό.

Τέλος, σε σύγκριση με τη μέθοδο συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, η μέθοδος MIG/MAG, απαιτεί εξοπλισμό υψηλότερου κόστους, πιο πολύπλοκο, και λιγότερο ευέλικτο.

6.3.2. Εξοπλισμός συγκολλήσεων MIG/MAG

Ο βασικός, απαραίτητος για τη λειτουργία της μεθόδου εξοπλισμός, εμφανίζεται σχηματικά στην Εικόνα 64.



Εικόνα 64: Βασικός εξοπλισμός μεθόδου συγκόλλησης MIG/MAG

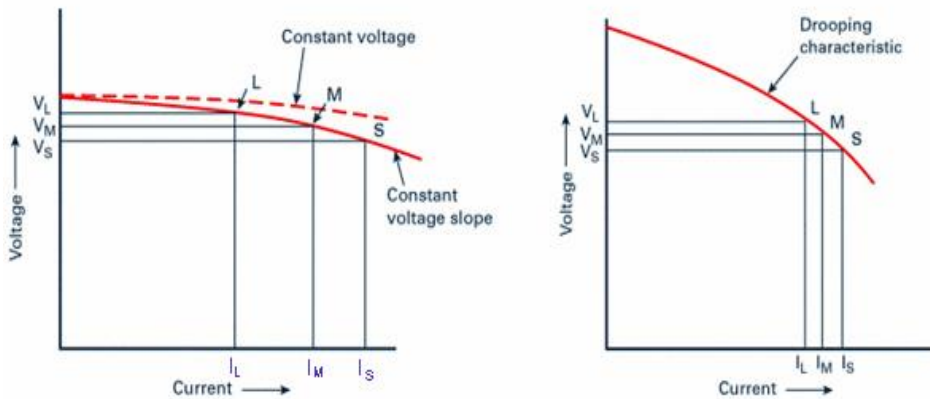
Τα κύρια μέρη που αποτελούν τον εξοπλισμό για την εφαρμογή της μεθόδου, είναι το όπλο της συγκόλλησης, η πηγή ρεύματος, το κύκλωμα παροχής προστατευτικού αερίου, το κύκλωμα παροχής ψυκτικού υγρού (όταν χρησιμοποιείται), και το σύστημα τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου – σύρματος.

6.3.3. Πηγές ρεύματος

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο συγκόλλησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο τύποι πηγών: Τόσο οι πηγές σταθερής τάσης (constant voltage), όσο και οι πηγές σταθερής

έντασης (constant current – drooping characteristic), Εικόνα 65. Ωστόσο, στη μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών χρησιμοποιούνται οι πηγές σταθερής τάσης.

Στις πηγές σταθερής τάσης, η τάση της συγκόλλησης, και κατά συνέπεια το μήκος του τόξου, διατηρούνται σχεδόν σταθερά, ανεξάρτητα από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Πριν το ξεκίνημα της συγκόλλησης ορίζονται στη μηχανή, οι παράμετροι συγκόλλησης. Κατά τη διεξαγωγή της συγκόλλησης, αν για οποιονδήποτε λόγο το μήκος του τόξου μεταβληθεί, και κατά συνέπεια η αντίσταση του τόξου, το ρεύμα θα προσαρμοστεί ανάλογα, με τέτοιο τρόπο που αυξάνοντας ή μειώνοντας το ρυθμό τήξης του σύρματος, με σταθερή πάντα τη ταχύτητα τροφοδοσίας του σύρματος, το μήκος του τόξου θα επανέρθει στη προηγούμενη τιμή του, αυτόματα.



Εικόνα 65: Χαρακτηριστικές καμπύλες πηγών για τις συγκολλήσεις MIG/MAG

Στη περίπτωση που χρησιμοποιηθούν πηγές σταθερής έντασης, θα πρέπει να υπάρχει μηχανισμός ελέγχου του ρυθμού τροφοδοσίας του σύρματος. Σε αυτή τη περίπτωση, οποιαδήποτε μεταβολή του μήκους του τόξου θα οδηγήσει σε ανάλογη μεταβολή της

τάσης της συγκόλλησης. Η πληροφορία αυτή περνάει στο πίνακα ελέγχου της μηχανής, ο οποίος στη συνέχεια επεμβαίνει στο μηχανισμό τροφοδοσίας του σύρματος, που με τη

σειρά του ρυθμίζει ανάλογα το ρυθμό τροφοδοσίας, ώστε το μήκος τόξου να επιστρέψει στην αρχική του τιμή. Οι πηγές αυτού του τύπου δε συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις MIG/MAG. Κυρίως χρησιμοποιούνται στις χειρωνακτικές μεθόδους

συγκόλλησης (TIG και με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια), και σε μεθόδους συγκόλλησης με μηχανική τροφοδοσία σύρματος, μόνο σε πλήρως αυτοματοποιημένες παραλλαγές, όπου επιπλέον, χρησιμοποιούνται μεγάλες διαμέτροι σύρματος (κυρίως κάποιες εφαρμογές της μεθόδου συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο).

6.3.4. Τύπος ρεύματος και πολικότητα

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

6.3.5. Πυρός (όπλο) συγκόλλησης

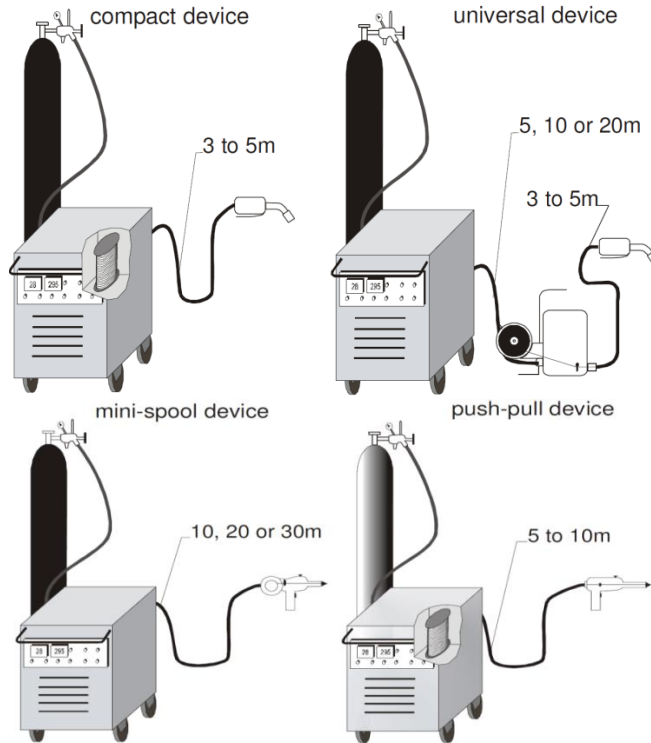
Η μέθοδος συγκόλλησης MIG/MAG χρησιμοποιείται τόσο στη χειρονακτική όσο και στην αυτοματοποιημένη εκδοχή της. Έτσι, αντίστοιχα, υπάρχουν και ειδικά όπλα συγκόλλησης για την κάθε περίπτωση (Εικόνα 66).

6.3.5.1. Αερόψυκτα όπλα συγκόλλησης

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το θερμικό φορτίο το επιτρέπει, καθώς και σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει εύκολη διαθεσιμότητα νερού για να χρησιμοποιηθεί στο κύκλωμα ψύξης. Θεωρητικά, αντέχουν ρεύμα έως 600 A (διακεκομμένου κύκλου

λειτουργίας), με προστατευτικό αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Στη πράξη, δε συνηθίζεται η χρήση τους με περισσότερα από 200 A (ειδικά όταν προστατευτικό αέριο είναι το αργό ή το ήλιο). Συνήθως, η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των υδρόψυκτων δαυλών.

Διακρίνονται, γενικά, τρεις τύποι αερόψυκτων όπλων, ανάλογα με το μηχανισμό τροφοδοσίας του σύρματος συγκόλλησης (Εικόνα 66).



Εικόνα 66: Τύποι όπλου σε σχέση με το μηχανισμό τροφοδοσίας σύρματος

- Στον πρώτο, το σύρμα τροφοδοτείται στο δαυλό, μέσω εύκαμπτου αγωγού, από μηχανισμό τροφοδοσίας (απομακρυσμένο από το δαυλό) που σπρώχνει το σύρμα σε αυτόν. Γενικά, το μήκος του αγωγού τροφοδοσίας είναι μήκους περίπου 3.7 m καθώς η συγκεκριμένη διάταξη θέτει περιορισμούς ως προς την ομαλή τροφοδοσία του σύρματος. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας με το ρολό του σύρματος μπορεί να βρίσκεται είτε πάνω στη μηχανή συγκόλλησης, είτε απομακρυσμένα από αυτή.
- Στο δεύτερο, ο δαυλός έχει ενσωματωμένο μηχανισμό τροφοδοσίας και μικρό ρολό σύρματος. Τα συγκεκριμένα ρολά είναι συνήθως διαμέτρου 102 mm και

βάρους 0.45 ως 1.1 kg. Η συγκεκριμένη διάταξη κάνει χρήση μηχανισμού τροφοδοσίας που τραβάει το σύρμα, και δεν εμφανίζει τον παραπάνω περιορισμό ως προς το μήκος του εύκαμπτου αγωγού τροφοδοσίας.

- Στο τρίτο τύπο, το όπλο έχει ενσωματωμένο μηχανισμό τροφοδοσίας που τραβάει το σύρμα από ρολό που βρίσκεται απομακρυσμένο από αυτό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με μηχανισμό τροφοδοσίας που σπρώχνει το σύρμα (διάταξη “push-pull”), ευρισκόμενο στη περιοχή του ρολού του σύρματος. Εδώ το μήκος του εύκαμπτου αγωγού τροφοδοσίας μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο (για παράδειγμα 15 ή και παραπάνω μέτρα).

6.3.5.2. Υγρόψυκτα όπλα συγκόλλησης

Είναι παρόμοια με τα αερόψυκτα (Σχήμα 6.16). Η μόνη διαφορά τους είναι ότι περιέχουν αγωγούς για τη κυκλοφορία του υγρού ψύξης. Το υγρό ψύξης κυκλοφορεί μέσω των αγωγών και ψύχει κυρίως την ηλεκτρική επαφή και το ακροφύσιο του αερίου. Η υγρόψυξη επιτρέπει τη συνεχόμενη χρήση του όπλου συγκόλλησης, με αυξημένη ικανότητα χρήσης ρεύματος και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Συνήθως, τα υγρόψυκτα όπλα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου το ρεύμα κυμαίνεται από 200 έως 750 A. Οι αγωγοί κυκλοφορίας του υγρού ψύξης, προσθέτουν βάρος και υποβιβάζουν την ευκολία χρήσης του όπλου.



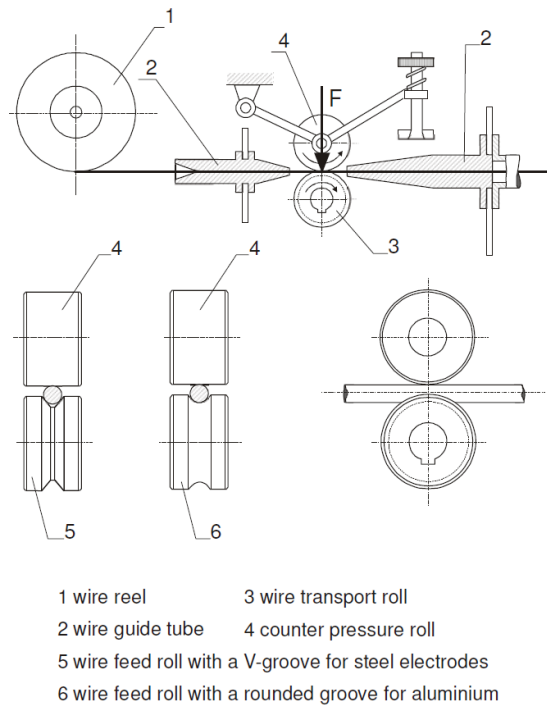
Εικόνα 67: Υγρόψυκτα όπλα συγκόλλησης MIG/MAG

Η επιλογή του τύπου δαυλού συγκόλλησης που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή, και κυρίως αν θα είναι αερόψυκτος ή υγρόψυκτος, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι κυριότεροι από τους οποίους είναι: Ο τύπος του προστατευτικού αερίου, το εύρος τιμών έντασης ρεύματος που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκόλληση, ο τύπος των βασικών υλικών, η προετοιμασία ακμών της συγκολλητής σύνδεσης, ο τύπος και η διάσταση του υλικού πλήρωσης, η προσβασιμότητα της προς συγκόλληση περιοχής, και η διαθέσιμη τεχνογνωσία του συνεργείου που θα εκτελέσει τη συγκεκριμένη εργασία συγκόλλησης. Το βάρος και η ευχρηστία του κάθε υποψήφιου όπλου συγκόλλησης, προφανώς, πρέπει να συυπολογίζονται.

6.3.6. Σύστημα τροφοδοσίας σύρματος

Είναι, όπως αναφέρθηκε, το σύστημα που ευθύνεται για την ομαλή και απρόσκοπτη τροφοδοσία του ηλεκτροδίου – σύρματος στο όπλο συγκόλλησης. Αποτελείται από ράουλα που κινούνται μηχανικά, και σε συνεργασία με άλλα ράουλα που απλά περιστρέφονται και πιέζουν το σύρμα συγκόλλησης, τραβούν ή σπρώχνουν το σύρμα και εξασφαλίζουν την ευθύτητα του και τη σωστή τροφοδοσία του. Στην Εικόνα 68 παρουσιάζει τυπικές διατάξεις τέτοιων μηχανισμών.

Παρατηρούμε ότι τα ράουλα για το αλουμίνιο, για παράδειγμα, πρέπει να είναι διαφορετικά από αυτά του χάλυβα. Γενικά τα ράουλα και όλος ο μηχανισμός, πρέπει να είναι σωστά επιλεγμένα, ανάλογα το τύπο και τη διάμετρο του σύρματος συγκόλλησης, και σωστά συντηρημένα.



Εικόνα 68: Τυπικές διατάξεις μηχανισμών τροφοδοσίας σύρματος

6.3.7. Υλικά πλήρωσης

Στις περισσότερες κοινές εφαρμογές, τα αναλίσκόμενα ηλεκτρόδια επιλέγονται με τρόπο ώστε η χημική τους σύσταση να πλησιάζει, όσο το δυνατό, τη χημική σύσταση των βασικών μετάλλων. Πολλές όμως φορές, για να προκύψει επιτυχής συγκόλληση, και οι ιδιότητες της συγκολλητής σύνδεσης να είναι οι προδιαγραφόμενες, επιλέγονται υλικά πλήρωσης διαφορετικής χημικής σύστασης.

Γενικά, οι διάμετροι των συρμάτων που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις MIG/MAG είναι μάλλον μικρές συγκρινόμενες με αυτές που χρησιμοποιούνται σε άλλες μεθόδους συγκόλλησης. Οι πιο συχνά εμφανιζόμενες είναι από 1.0 έως 1.6 mm, αν και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και διάμετροι ως 3.2 mm προς τα πάνω και ως 0.5 mm προς τα κάτω.

Οι υψηλές τιμές ρεύματος που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο, σε συνδυασμό με τις μικρές διαμέτρους σύρματος, έχουν σαν αποτέλεσμα την επίτευξη πολύ υψηλών ρυθμών τήξης του υλικού πλήρωσης, οι οποίοι κυμαίνονται από 40 έως 340 mm/sec περίπου.

Έτσι τα σύρματα συγκόλλησης πρέπει να παρέχονται σε ειδικά ρολά, που να εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη προώθηση αρκετών μέτρων σύρματος, μέσα από τον εξοπλισμό της συγκόλλησης, χωρίς προβλήματα. Τα χαλύβδινα υλικά πλήρωσης προμηθεύονται, συνήθως με χάλκινη επικάλυψη, που βοηθάει στην αντιδιαβρωτική συμπεριφορά του σύρματος, και βελτιώνει την ηλεκτρική επαφή και αγωγιμότητα του.

Τα κυριότερα ευρωπαϊκά πρότυπα σύμφωνα με τα οποία ταξινομούνται τα υλικά πλήρωσης που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο MIG/MAG, είναι το EN 440, που προδιαγράφει τα ηλεκτρόδια – σύρματα για τη συγκόλληση ανθρακούχων χαλύβων, και το EN 12072 για τους ανοξείδωτους και πυρίμαχους χάλυβες.

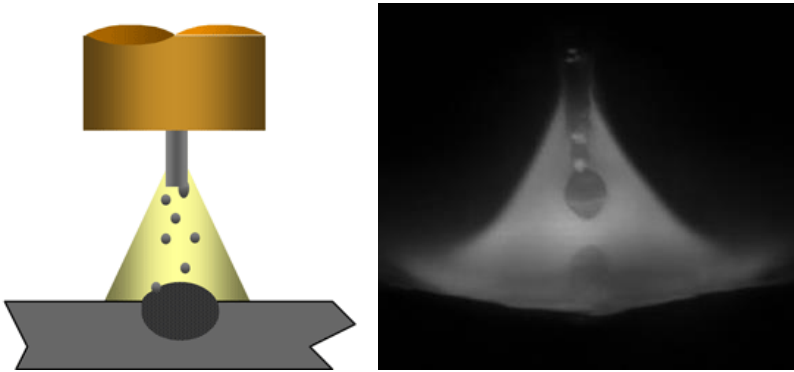
6.3.8. Τρόποι μεταφοράς τηγμένου υλικού πλήρωσης (transfer modes)

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

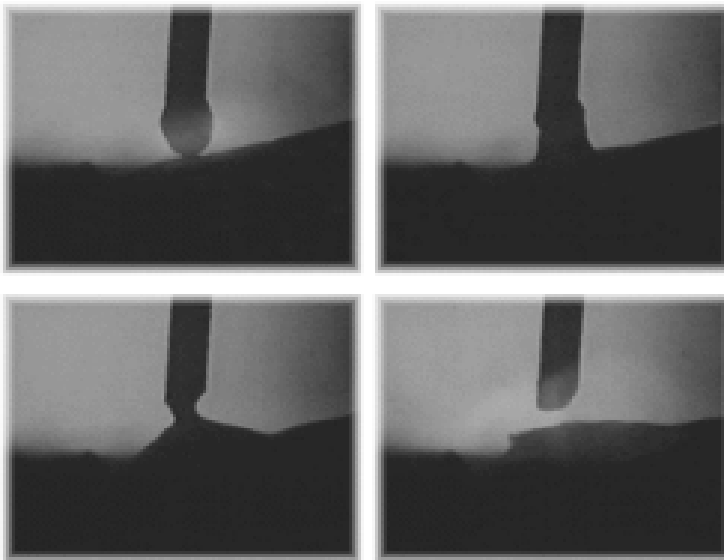
- Όταν το ηλεκτρόδιο έρχεται σε επαφή με το λουτρό τήξης, προκαλώντας έτσι βραχυκύκλωση του ρεύματος συγκόλλησης, επιτελείται μεταφορά που αποκαλείται μεταφορά με τόξο βραχυκύκλωσης.
- Όταν η μεταφορά επιτελείται μέσω διακριτών σταγόνων, που κινούνται κατά μήκος του τόξου συγκόλλησης, κάτω από την επίδραση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

Τότε, διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

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



Εικόνα 69: Μεταφορά σταγόνων με τόξο ψεκασμού



Εικόνα 70: Μεταφορά σταγόνων με τόξο βραχυκύκλωσης

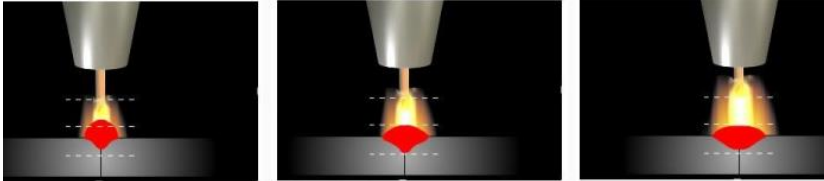
6.3.9. Μίγματα προστατευτικών αερίων για τις συγκολλήσεις MIG/MAG

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

Εικόνα 71: Πίνακας μιγμάτων προστατευτικών αερίων για τις συγκολλήσεις MIG/MAG

6.3.10. Παράμετροι λειτουργίας

- ✓ Τάση του τόξου



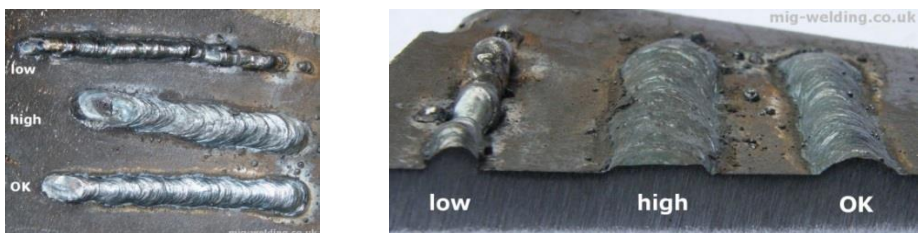
Εικόνα 72: Επίδραση της τάσης στη μορφή της συγκόλλησης

- ✓ Μήκος του τόξου



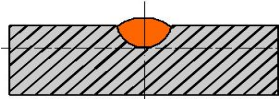
Εικόνα 73: Επίδραση του μήκους του τόξου στη μορφή της συγκόλλησης

- ✓ Ένταση ρεύματος

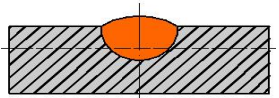


Εικόνα 74: Επίδραση της ταχύτητας προώθησης στη μορφή της συγκόλλησης

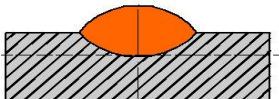
✓ Ταχύτητα προώθησης συγκόλλησης



Πολύ μεγάλη ταχύτητα



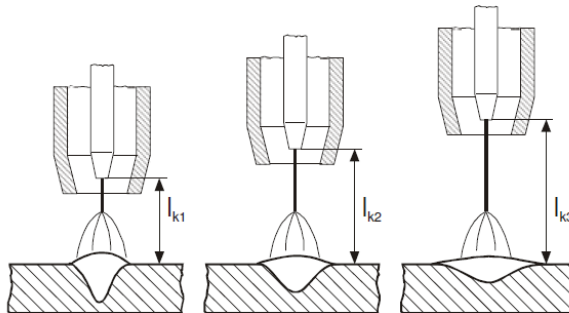
Σωστή ταχύτητα



Πολύ μικρή ταχύτητα

Εικόνα 75: Επίδραση της ταχύτητας προώθησης στη μορφή της συγκόλλησης

✓ Ελεύθερο μήκος ηλεκτροδίου

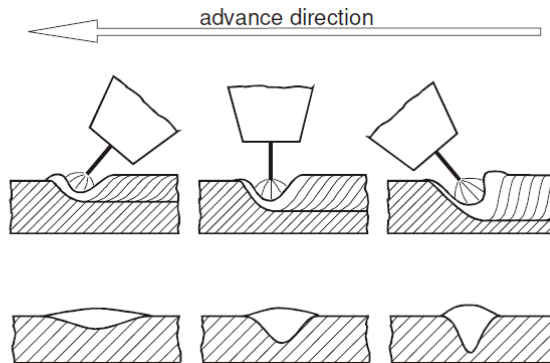


Εικόνα 76: Επίδραση του ελεύθερου μήκους του ηλεκτροδίου στη μορφή της συγκόλλησης

✓ Διάμετρος ηλεκτροδίου

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

✓ Θέση του δαυλού συγκόλλησης



Εικόνα 77: Επίδραση της θέσης του όπλου συγκόλλησης στη μορφή της συγκόλλησης

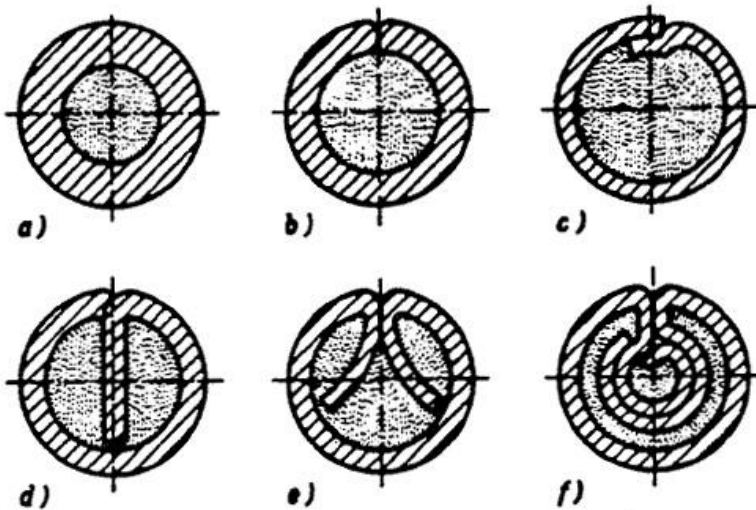
6.4. Ημιαυτόματη μέθοδος συγκόλλησης με παραγεμιστό σύρμα (FCAW)

6.4.1. Εισαγωγή

Η μέθοδος συγκόλλησης FCAW, είναι η ημιαυτόματη μέθοδος συγκόλλησης με παραγεμιστό σύρμα, χωρίς προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, ή σε προστατευτική ατμόσφαιρα αδρανούς ή ενεργού αερίου.

Πρόκειται για μία μέθοδο συγκόλλησης τόξου, όπου η θερμότητα για τη διεξαγωγή της συγκόλλησης, παρέχεται από το τόξο που λειτουργεί ανάμεσα σε διαρκώς τροφοδοτούμενο ηλεκτρόδιο – σύρμα, σωληνοειδούς διατομής, και το αντικείμενο συγκόλλησης. Η όλη διεργασία της συγκόλλησης μπορεί να διεξάγεται υπό τη προστασία ατμόσφαιρας αερίου που παρέχεται εξωτερικά ή όχι. Στη περίπτωση που χρησιμοποιείται προστατευτικό αέριο, αυτό μπορεί να είναι είτε ενεργό είτε αδρανές.

Τα παραγεμιστά σύρματα που χρησιμοποιούνται, έχουν κοίλη, σωληνοειδή διατομή, και στο εσωτερικό τους φιλοξενούν το σχετικό συλλίπασμα, σε μορφή σκόνης. Έτσι προκύπτει και ο όρος παραγεμιστό.



Εικόνα 78: Τυπικές μορφές διατομών παραγεμιστών συρμάτων

Τα συστατικά που περιέχονται στο ηλεκτρόδιο, στο πυρήνα του, εκτελούν, βασικά, τις ίδιες λειτουργίες με τα συστατικά της πάστας επικάλυψης των επενδεδυμένων ηλεκτροδίων. Ο ρόλος τους είναι:

- Σχηματισμός φάσης σκουριάς που επιπλέει στο λουτρό τήξης και προστατεύει το τήγμα στη φάση της στερεοποίησης
- Να παρέχουν αποξειδωτικά και “καθαριστικά” στοιχεία που συμβάλλουν στη καθαρότητα της συγκόλλησης και βοηθούν στη παραγωγή άρτιων συγκολλήσεων
- Να παρέχουν στοιχεία που συμβάλλουν στη σταθεροποίηση του τόξου και κρατούν τα ποσοστά πιτσιλισμάτων στο ελάχιστο δυνατό.

- Να προσθέτουν κραματικά στοιχεία στο μέταλλο της συγκόλλησης, τα οποία θα αυξήσουν την αντοχή της συγκόλλησης και θα βελτιώσουν και άλλες ιδιότητες της.
- Μέσω εξαχνωσης, να παρέχουν προστατευτική ατμόσφαιρα αερίων, που στη παραλλαγή συγκόλλησης και με παροχή εξωτερικού αερίου, ενισχύεται από τα αντίστοιχο μείγμα.

6.5. Η μέθοδος συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο βολφραμίου (TIG)

6.5.1. Εισαγωγή

Η μέθοδος συγκόλλησης TIG, είναι η μέθοδος συγκόλλησης με ηλεκτρόδιο βολφραμίου, σε προστατευτική ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου. Το ακρωνύμιο TIG προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Tungsten (βολφράμιο) Inert (αδρανές) Gas (αέριο). Στις ΗΠΑ, για την ίδια μέθοδο χρησιμοποιείται το ακρωνύμιο GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 4063, το νούμερο για το συμβολισμό της μεθόδου είναι το 141.

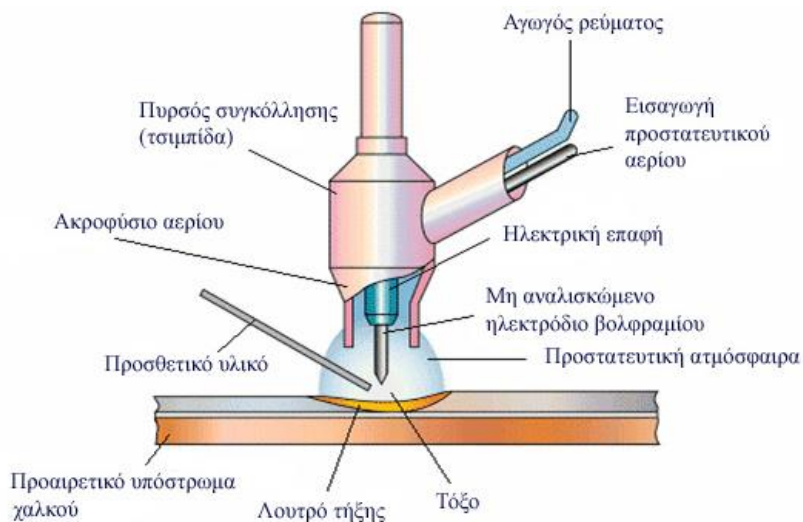
Στη μέθοδο TIG, η απαραίτητη θερμότητα για τη τήξη των βασικών υλικών καθώς και του προσθετικού μετάλλου, όπου αυτό χρησιμοποιείται, προέρχεται από ένα τόξο που διατηρείται ανάμεσα σε ένα μη αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο βολφραμίου και στο βασικό μέταλλο. Η απαραίτητη για συγκολλήσεις τόξου προστατευτική ατμόσφαιρα, προέρχεται από αδρανές αέριο καθώς μόνο έτσι αποφεύγεται η οξειδωση του ηλεκτροδίου βολφραμίου. Προσθήκη προσθετικού υλικού μπορεί να απαιτείται μπορεί και όχι. Το ηλεκτρόδιο που συντηρεί το τόξο, έχει επικρατήσει να είναι από βολφράμιο, λόγω του υψηλού σημείου τήξης του, που φτάνει τους 3370 °C, θερμοκρασία αρκετά υψηλότερη από αυτή των περισσότερων γνωστών μετάλλων.

Η μέθοδος συγκόλλησης TIG, είναι ιδανική για τη σύνδεση ελασμάτων μικρού σχετικά πάχους, καθώς και για τη συγκόλληση του πρώτου κορδονιού (ρίζας) σε συγκολλήσεις πλήρους διείδυσης όπου η πρόσβαση είναι εφικτή μόνο από τη μία πλευρά της συγκόλλησης. Στη περίπτωση που απαιτείται υλικό πλήρωσης, αυτό παρέχεται χειροκίνητα (μέσω ξεχωριστής βέργας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.27, ή και σύρματος από ειδικά διαμορφωμένα ρολά). Στην αυτοματοποιημένη εκδοχή της μεθόδου, το υλικό πλήρωσης (σύρμα από ρολό) παρέχεται από ειδικά τροφοδοτικά. Λόγω του ότι το ηλεκτρόδιο βολφραμίου, που συντηρεί το τόξο, δεν είναι αναλίσκόμενο, είναι η κατάλληλη μέθοδος για συνδέσεις όπου είναι επιθυμητή η τήξη και σύνδεση των βασικών μετάλλων, χωρίς τη

προσθήκη προσθετικού υλικού. Σε αυτή τη περίπτωση μιλάμε για αυτογενείς συγκολλήσεις.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση των περισσότερων μετάλλων, αλλά συνήθως δεν εφαρμόζεται στη συγκόλληση μετάλλων χαμηλού σημείου τήξης, όπως ο μόλυβδος και ο κασσίτερος. Είναι επίσης ιδανική για τη συγκόλληση των μετάλλων που αντιδρούν εύκολα με τον ατμοσφαιρικό αέρα, σχηματίζοντας πολύ σταθερά επιφανειακά οξείδια. Τέτοια μέταλλα είναι το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, το τιτάνιο και το ζirkόνιο.

Θεωρείται ιδιαίτερα ποιοτική μέθοδος συγκόλλησης, και χρησιμοποιείται συχνά για τη σύνδεση των ακριβότερων μετάλλων καθώς και σε κατασκευές που προορίζονται για δύσκολες συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 79: Η μέθοδος συγκόλλησης TIG

6.5.2. Περιορισμοί της μεθόδου

- Η ταχύτητα εκτέλεσης της συγκόλλησης είναι μικρότερη σε σχέση με τη ταχύτητα εκτέλεσης της συγκόλλησης στις περισσότερες μεθόδους συγκόλλησης τόξου.
- Σε περίπτωση που το ηλεκτρόδιο βολφραμίου έρθει σε επαφή με το λουτρό τήξης, προκύπτει το χαρακτηριστικό σφάλμα για τη μέθοδο, τα εγκλείσματα βολφραμίου.

- Τα αδρανή αέρια που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο (αργό, ήλιο ή μίγμα τους) είναι σχετικά ακριβά.

6.5.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου συγκόλλησης TIG

Παρακάτω παρατίθενται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου συγκόλλησης:

6.5.3.1. Πλεονεκτήματα της μεθόδου

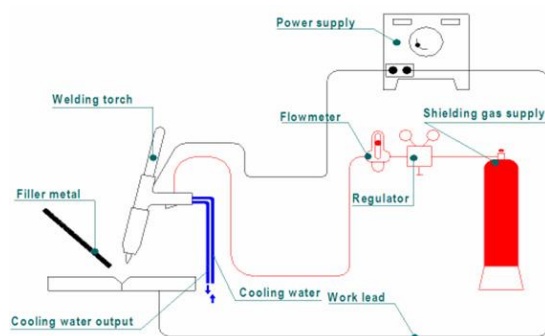
- Μεγάλο εύρος ρύθμισης της τιμής της έντασης του ρεύματος για την ομαλή λειτουργία της. Αυτό το γεγονός, με τη σειρά του, συνεπάγεται τη δυνατότητα χρήσης της μεθόδου στη συγκόλληση βασικών υλικών των οποίων το πάχος μπορεί να παρουσιάζει επίσης μεγάλη διακύμανση. Χαρακτηριστικά, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στη συγκόλληση ελασμάτων πάχους που ξεκινάει από 0,15 mm.
- Ομαλή μεταφορά υλικού πλήρωσης στο λουτρό τήξης. Προκύπτουν έτσι μικρές απώλειες, και το κυριότερο, εντελώς περιορισμένη απώλεια χρήσιμων κραματικών στοιχείων. Κατά συνέπεια οι μεταλλουργικές ιδιότητες της συγκολλητής σύνδεσης που επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση TIG, είναι πολύ υψηλού επιπέδου.
- Το τόξο της μεθόδου TIG, είναι σχετικά περιορισμένο. Προκύπτει έτσι, υψηλή, και χωρικά περιορισμένη, θερμική απόδοση. Αυτή η ιδιότητα της μεθόδου ευνοεί τον περιορισμό των παραμορφώσεων που αναπόφευκτα προκαλεί η συγκόλληση. Επίσης, προκύπτει θερμικά επηρεασμένη ζώνη (ΘΕΖ) μικρότερου πλάτους, και το φαινόμενο της μεγέθυνσης των κόκκων που παρατηρείται στη ΘΕΖ των συγκολλήσεων, είναι επίσης περιορισμένο. Με αυτό το τρόπο και οι μηχανικές ιδιότητες της συγκολλητής σύνδεσης είναι επίσης αναβαθμισμένες.
- Επίσης, το τόξο της μεθόδου TIG, είναι αρκετά σταθερό και εύκολο στο χειρισμό του. Οι συγκολλήσεις που προκύπτουν, έτσι, έχουν ιδιαίτερα ομοιογενή, ομαλή και καλή εμφάνιση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η μέθοδος TIG πολλές φορές χρησιμοποιείται αυτογενώς (χωρίς προσθετικό υλικό), για το “φινίρισμα”, τη βελτίωση δηλαδή, της εξωτερικής εμφάνισης συγκολλήσεων που έχουν γίνει με χρήση άλλης μεθόδου.

6.5.3.2. Μειονεκτήματα της μεθόδου

- Χαμηλός ρυθμός εναπόθεσης υλικού πλήρωσης. Η ταχύτητα προώθησης της συγκόλλησης είναι, έτσι, περιορισμένη γεγονός που τελικά έχει σαν αποτέλεσμα τη χαμηλή παραγωγικότητα της μεθόδου.
- Δυσκολία χειρισμού του πυρσού (τσιμπίδα) της συγκόλλησης και κατά συνέπεια του τόξου συγκόλλησης, παράλληλα με το χειρισμό του προσθετικού υλικού. Οι συγκολλητές που εκτελούν συγκολλήσεις με τη μέθοδο TIG, πρέπει να είναι ιδιαίτερα ικανοί και κατάλληλα εκπαιδευμένοι.
- Το τόξο που παράγει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερης “λαμπρότητας” και σίγουρα εντονότερης λάμψης από τις υπόλοιπες ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους συγκόλλησης (με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια ή ημιαυτόματη με σύρμα). Κατά συνέπεια τα μέτρα ασφαλείας πρέπει να τηρούνται αυστηρά και να λαμβάνεται ειδική μέριμνα τόσο για τη προστασία του δέρματος όσο και της όρασης.

6.5.4. Εξοπλισμός συγκολλήσεων TIG

Ο εξοπλισμός αποτελείται από τρία κυκλώματα: Το ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει τη πηγή ρεύματος, τα απαραίτητα καλώδια, και καταλήγει στη τσιμπίδα της συγκόλλησης. Το κύκλωμα παροχής αερίου, που αποτελείται από τη φιάλη αερίου, τους εύκαμπτους σωλήνες μεταφοράς του αερίου, ένα ρυθμιστικό ροής και ένα ροόμετρο. Τέλος, το κύκλωμα ψύξης (όπου χρησιμοποιείται) το οποίο μεταφέρει προς, και απάγει από, τη τσιμπίδα το απαραίτητο υγρό υγρόψυξης μέσω εύκαμπτων επίσης σωλήνων.



6. Εικόνα 80: Βασικός εξοπλισμός μεθόδου συγκόλλησης TIG

Οι πηγές που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις TIG, πρέπει να παρουσιάζουν στατική χαρακτηριστική καμπύλη σταθερού ρεύματος, δηλαδή έντονα πτωτική καμπύλη τάσης και έντασης ρεύματος στη περιοχή λειτουργίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οποιεσδήποτε

μεταβολές του μήκους τόξου κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης που είναι εντός ορισμένου ορίου, να συμβαίνουν χωρίς αντίστοιχη μεταβολή της έντασης του ρεύματος. Επομένως κατά την εφαρμογή της μεθόδου, παρατηρείται ότι ενώ το πλάτος και το εμβαδό της διατομής του κορδονιού μπορεί να αλλάζει (χωρίς αλλαγή των παραμέτρων λειτουργίας της μηχανής, δηλαδή τάση και ένταση ρεύματος), η διεύθυνση παραμένει σταθερή.

6.5.6. Πυρός (όπλο) συγκόλλησης

Τα πιο σημαντικά μέρη που απαρτίζουν μια τσιμπίδα μεθόδου συγκόλλησης TIG, είναι: το μη αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο βολφραμίου, το οποίο συνήθως έχει προσμίξεις διάφορων οξειδίων για καλύτερες ιδιότητες και μεγαλύτερη αντοχή, το ακροφύσιο του αερίου, ο σφιχτήρας του ηλεκτροδίου βολφραμίου, το κεραμικό (συνήθως) στόμιο της τσιμπίδας και η τάπα της. Το στόμιο και το ακροφύσιο αερίου της τσιμπίδας είναι υπεύθυνα για την επαρκή, ομαλή, χωρίς διαταράξεις, και απρόσκοπτη ροή προστατευτικού αερίου.



Εικόνα 81: Τύποι πυρός (τσιμπίδας) μεθόδου συγκόλλησης TIG

6.5.7. Τύποι ρεύματος

Οι τύποι ρεύματος που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις με τη μέθοδο TIG είναι οι εξής:

- συνεχές ρεύμα
- εναλλασσόμενο ρεύμα.

Είναι φανερό ότι στη συγκόλληση με εναλλασσόμενο ρεύμα, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συναντάμε στο συνεχές ρεύμα είτε θετικής είτε αρνητικής πολικότητας, συνδυάζονται. Έτσι, η πολικότητα αλλάζει διαρκώς, καθώς αλλάζει και η κυματομορφή του εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε αυτή τη περίπτωση, η θερμική παροχή ισομοιράζεται ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο βολφραμίου και το βασικό μέταλλο. Αυτή η παραλλαγή της μεθόδου είναι ιδανική για τη συγκόλληση μετάλλων και κραμάτων τους που σχηματίζουν εύκολα επιφανειακά οξείδια, όπως το αλουμίνιο.

Το συνεχές μπορεί να είναι:

- αρνητικής πολικότητας

Σε αυτή τη περίπτωση η θερμική παροχή προς τα βασικά μέταλλα είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή στη περιοχή του ηλεκτροδίου. Το ποσοστό είναι περίπου 70 % με 30 %

- θετικής πολικότητας

Σε αυτή τη περίπτωση, με βάση το μηχανισμό που περιγράφηκε παραπάνω, το μεγαλύτερο ποσοστό θερμικής παροχής διοχετεύεται στη περιοχή του ηλεκτροδίου

- παλμικό

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των πηγών ρεύματος που χρησιμοποιούνται στις εργασίες συγκόλλησης εισήγαγε τη δυνατότητα χρήσης κυματομορφών παλμικού τύπου. Η μέθοδος συγκόλλησης TIG είναι μία από τις μεθόδους στην οποία αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η χρήση παλμικού ρεύματος επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα στη συγκόλληση TIG:

- Επιτυγχάνεται καλή διείσδυση με χαμηλότερη θερμική παροχή
- Περιορισμός των θερμικών παραμορφώσεων
- Καλύτερη δυνατότητα ελέγχου και χειρισμού του τόξου και του λουτρού τήξης (ειδικά σε συγκολλήσεις σε δύσκολες θέσεις)
- Επιτυγχάνεται καλύτερη σχέση βάθους με πλάτος διείσδυσης (depth to width ratio), και περιορίζεται έτσι η πιθανότητα εμφάνισης θερμορωγμών (hot cracking)
- Σταθερότητα τόξου
- Ομαλή εκτέλεση κορδονιών (ειδικά της ρίζας)

- Καλύτερη δυνατότητα “γεφυρώματος” (bridging), δηλαδή κάλυψης του διάκενου της συγκόλλησης
- Διευκόλυνση συγκόλλησης ελασμάτων μικρού πάχους καθώς και ελασμάτων διαφορετικού πάχους
- Περιορισμός θερμικά επηρεασμένης ζώνης (ΘΕΖ)
- Περιορισμός της εμφάνισης πόρων στη περιοχή της συγκόλλησης

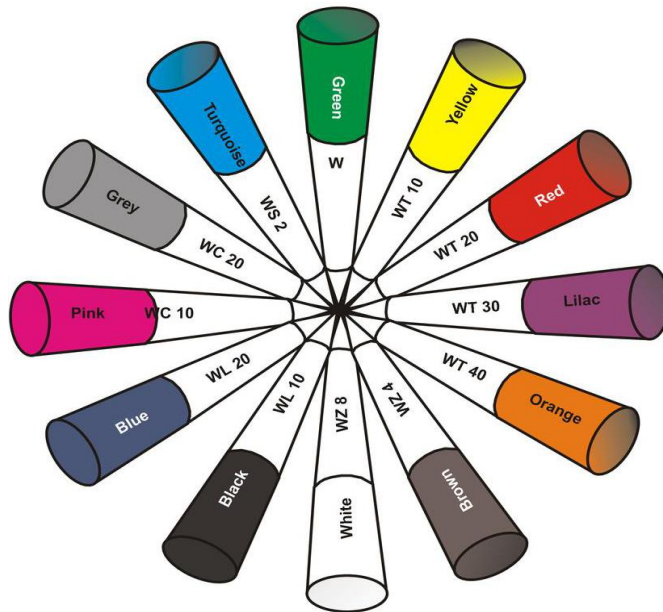
Σε κάθε περίπτωση, η συγκεκριμένη τεχνολογία, έχει και μειονεκτήματα. Κυρίως αναφερόμαστε στο υψηλό κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού, και στη δυσκολία και πολυπλοκότητα ρύθμισης των παραμέτρων συγκόλλησης, η οποία ρύθμιση είναι και ιδιαίτερα ευαίσθητη.

6.5.8. Το ηλεκτρόδιο του βολφραμίου

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία της μεθόδου συγκόλλησης TIG, είναι το ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Επηρεάζει άμεσα το τόξο συγκόλλησης και πολλούς άλλους παράγοντες, με αποτέλεσμα η σωστή επιλογή τόσο του τύπου όσο και των διαστάσεων του, να θεωρείται από τις βασικότερες προϋποθέσεις επιτυχίας της μεθόδου.

Τα ηλεκτρόδια βολφραμίου χαρακτηρίζονται και ταξινομούνται σύμφωνα με το χρώμα τους, το οποίο προκύπτει από τη χημική τους σύσταση.

Το μήκος τους είναι συνήθως 175 mm. Συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια όπου στο βολφράμιο έχουν προστεθεί προσμίξεις, οξειδία κυρίως, για να βελτιώσουν τη συμπεριφορά και την αντοχή τους σε υψηλότερες τιμές ρεύματος. Τα ηλεκτρόδια βολφραμίου πρέπει να διατηρούνται καθαρά. Ακαθαρσίες, όπως λίπη, γράσο, λιπαντικό κ.λ.π., επιδρούν αρνητικά στη ποιότητα της συγκόλλησης. Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, το ηλεκτρόδιο βολφραμίου δε πρέπει να έρχεται σε επαφή με τα βασικά μέταλλα, το υλικό πλήρωσης ή το λουτρό τήξης. Αυτό θα είχε σα συνέπεια τη πιθανή εμφάνιση εγκλεισμάτων βολφραμίου στη συγκόλληση, και σίγουρα, τη “μόλυνση”, δηλαδή τη κραμάτωση του ηλεκτροδίου στην άκρη του, ή και στη περιοχή του ακροφυσίου. Τα χαρακτηριστικά του τόξου τότε επηρεάζονται άμεσα, και το τόξο διαταράσσεται. Το ρεύμα του αερίου προστασίας επίσης διαταράσσεται και υπάρχει η πιθανότητα να εισαχθεί αέρας και κατά συνέπεια οξυγόνο, που στη συνέχεια θα διοχετευθεί προς τη συγκόλληση. Η συγκόλληση πρέπει να διακοπεί και το ηλεκτρόδιο να καθαριστεί, κατά προτίμηση σε σμυριδοτροχό, χωρίς να αλλάξει η γεωμετρία του. Μπορεί αυτό να μην αρκεί, οπότε απαιτείται απομάκρυνση του ηλεκτροδίου από τη τσιμπίδα και επανατρόχιση του από την αρχή για τη διαμόρφωση του. Προσοχή πρέπει να δίνεται, ειδικά σε δύσκολες θέσεις συγκόλλησης, στα πιθανά πιτσιλίσματα (spatter) της συγκόλλησης, ώστε αυτά να μην έρχονται σε επαφή με το ηλεκτρόδιο και το μολύνουν.



Εικόνα 82: Κατηγορίες ηλεκτροδίων βολφραμίου

- **Ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου - W (πράσινο)**

Είναι πρακτικά μη κραματωμένα (ελάχιστο ποσοστό βολφραμίου: 99.5 %). Χρησιμοποιούνται λόγω της πολύ υψηλής τιμής τήξης του βολφραμίου: 3380 °C. Είναι φθηνά, αλλά αντικαθίστανται σταδιακά από ηλεκτρόδια στα οποία έχουν προστεθεί οξείδια, λόγω καλύτερης συμπεριφοράς των τελευταίων. Σχηματίζουν ένα καθαρό, σφαιροειδές άκρο εξασφαλίζοντας σταθερό τόξο στις συγκολλήσεις με εναλλασσόμενο ρεύμα. Χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση αλουμινίου και μαγνησίου. Αποφεύγεται η χρήση τους σε συγκολλήσεις συνεχούς ρεύματος (ή χρησιμοποιούνται με χαμηλό ρεύμα), καθώς υπάρχει ο κίνδυνος μέρη τους να αποκοπούν και να προκαλέσουν εγκλείσματα βολφραμίου.

- **Ηλεκτρόδια βολφραμίου με προσθήκη θορίου (Thoriated - ThO₂) - WT (κίτρινα/κόκκινα/ροζ)**

Είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα, καθώς ήταν τα πρώτα που εκτόπισαν τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου. Περιέχουν ThO₂ σε περιεκτικότητα από 0.35 ως 4.2%. Σε σύγκριση με τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου, είναι λίγο πιο ακριβά, αλλά έχουν μεγαλύτερη

τάση για εκπομπή ηλεκτρονίων (χαμηλότερο δυναμικό ιονισμού). Προκύπτει έτσι ευκολότερη έναυση του τόξου και σταθερότερο τόξο.

Αντέχουν σε τιμές ρεύματος ψηλότερες από ότι τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου, παρουσιάζουν μικρότερη φθορά και άρα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Προκαλούν σπανιότερα εγκλείσματα βολφραμίου. Χρησιμοποιούνται συνήθως με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας, και για υλικά όπως ανθρακούχοι χάλυβες, ανοξείδωτοι χάλυβες, κράματα χαλκού, νικέλιο και κράματα του, τιτάνιο. Κατά τη χρήση τους (κυρίως τρόχισμα για την προετοιμασία τους) και την αποθήκευση τους, πρέπει να τηρούνται ευλαβικά όλα τα μέτρα ασφαλείας (κυρίως εναντίον εισαγωγής στον ανθρώπινο οργανισμό) καθώς το θόριο είναι ήπια ραδιενεργό στοιχείο. Δεν έχει παρατηρηθεί βλάβη στην υγεία εργαζομένων που τηρούν τα μέτρα ασφαλείας, και για την ημερήσια ποσότητα που χρειάζεται ένας εργαζόμενος που τα χρησιμοποιεί, αλλά θα πρέπει να τροχίζονται και χρησιμοποιούνται με μέριμνα ώστε να μη εκλύονται σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Η καλύτερη λύση θα ήταν να αντικατασταθούν με ηλεκτρόδια με προσμίξεις μη ραδιενεργές ίδιων ή και καλύτερων ιδιοτήτων.

- **Ηλεκτρόδια βολφραμίου με προσθήκη σερίου (Ceriated - CeO₂) - WCe (γκρι)**

Πρόκειται για τη καλύτερη, εναλλακτική στα προηγούμενα ηλεκτρόδια, μη ραδιενεργή λύση, όταν πρόκειται για συγκολλήσεις με συνεχές ρεύμα χαμηλής έντασης. Παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ευκολία έναυσης τόξου, σε συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας και χαμηλών τιμών έντασης, και για αυτό το λόγο, προτιμούνται στις συγκολλήσεις TIG orbital (αυτοματοποιημένη παραλλαγή της μεθόδου), και στις συγκολλήσεις σωλήνων. Επίσης χρησιμοποιούνται, συχνά, στη συγκόλληση ελασμάτων μικρού πάχους, και μικρών ή ευαίσθητων αντικειμένων. Συνήθως η περιεκτικότητά τους σε CeO₂ είναι 2 %. Υστερούν σε ψηλότερες τιμές ρεύματος, γιατί λόγω θερμότητας τα συγκεκριμένα οξείδια διαχέονται προς το άκρο του ηλεκτροδίου και απομακρύνονται μαζί με τις ευεργετικές τους ιδιότητες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με εναλλασσόμενο ρεύμα, αν και δεν είναι η κύρια εφαρμογή τους. Παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά σε συγκολλήσεις που εκτελούνται με μηχανές τεχνολογίας inverter. Γενικά, χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση ανθρακούχων και ανοξείδωτων χαλύβων, του χαλκού και των κραμάτων του, του νικελίου και των κραμάτων του και του τιτανίου.

- **Ηλεκτρόδια βολφραμίου με προσθήκη λανθανίου (Lanthanated - La₂O₃) - WLα (μαύρο/χρυσάφι/μπλέ)**

Θεωρούνται οικολογικά γιατί το οξείδιο του θορίου έχει αντικατασταθεί εδώ από αυτό του λανθανίου που είναι μη ραδιενεργό. Οι συνήθεις περιεκτικότητες είναι 1.0, 1.5, 2.0 %. Με

αυτές τις περιεκτικότητες, τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια, μπορούν να μεταφέρουν ρεύμα υψηλότερης τιμής μέχρι και 50 % σε σύγκριση με τα απλά ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου, σε συγκολλήσεις εναλλασσόμενου ρεύματος και για ίδια διάμετρο ηλεκτροδίου. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε οξείδιο του λανθανίου αυξάνει σημαντικά τη τιμή τους. Παρουσιάζουν άριστη δυνατότητα έναυσης τόξου, χαμηλό ρυθμό κατανάλωσης και εξαιρετικά χαρακτηριστικά επανέναυσης. Συγκρινόμενα με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες παρουσιάζουν τη μικρότερη φθορά του άκρου τους για τις ίδιες τιμές έντασης ρεύματος. Τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια, γενικά, έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής, και μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης εγκλεισμάτων βολφραμίου. Το λανθάνιο διασπείρεται ομοιόμορφα σε όλο το ηλεκτρόδιο και διατηρεί τη διαμόρφωση του άκρου του σταθερή, σε συγκόλληση είτε με συνεχές είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα. Χρησιμοποιούνται συνήθως στη συγκόλληση υλικών όπως οι ανθρακούχοι χάλυβες, ανοξείδωτοι χάλυβες, κράματα χαλκού, κράματα νικελίου και τιτάνιο.

- **Ηλεκτρόδια βολφραμίου με προσθήκη ζirkονίου (Zirconiated ZrO₃) - WZr - (καφέ/άσπρο)**

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συγκολλήσεις εναλλασσόμενου ρεύματος και για τη διεξαγωγή συγκολλήσεων πολύ υψηλών ποιοτικών απαιτήσεων, όπου και το παραμικρό εγκλεισμα βολφραμίου είναι μη αποδεκτό. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω του εξαιρετικά σταθερού και ομαλού τόξου που ευνοούν τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και χαμηλής πυκνότητας ρεύματος και συνήθως με εναλλασσόμενο ρεύμα. Τα υλικά στη συγκόλληση των οποίων βρίσκουν εφαρμογή είναι το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και τα κράματα τους.

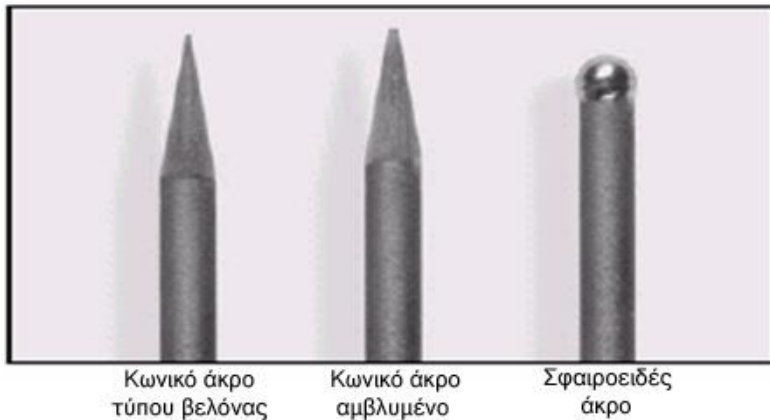
- **Ηλεκτρόδια βολφραμίου με προσθήκη “σπάνιων γαιών” (Rare Earth)**

Πρόκειται για ηλεκτρόδια με μη καθορισμένες και προδιαγραφόμενες προσθήκες στοιχείων της κατηγορίας των “σπάνιων γαιών”. Οι κατασκευαστές ηλεκτροδίων προχωράν σε πρόσμιξη διάφορων στοιχείων και με διάφορες αναλογίες ώστε να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των παραπάνω κατηγοριών και να αποφύγουν τα μειονεκτήματά τους. Σε κάθε περίπτωση η χημική σύσταση οποιουδήποτε ηλεκτροδίου της συγκεκριμένης κατηγορίας πρέπει να δίνεται από το κατασκευαστή. Τα ηλεκτρόδια αυτής της κατηγορίας έχουν συνήθως πράγματι καλύτερες ιδιότητες, αλλά είναι και σημαντικά ακριβότερα.

6.5.8.1. Προετοιμασία ηλεκτροδίων Βολφραμίου

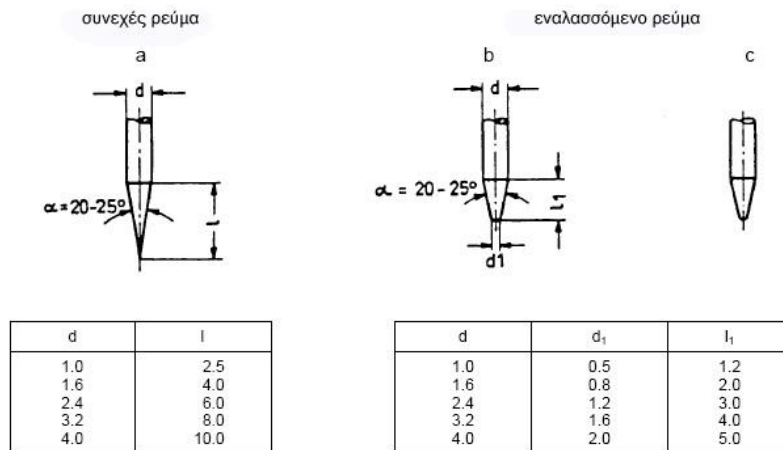
Χρήση σε συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας

Γενικά, τα ηλεκτρόδια βολφραμίου, προετοιμάζονται, μηχανικά, με τρόχισμα, ως προς το σχήμα του άκρου τους. Οι ενδεδειγμένες μορφές προετοιμασίας για τις διάφορες χρήσεις τους, εμφανίζονται στην Εικόνα 83.



Εικόνα 83: Ενδεδειγμένες μορφές προετοιμασίας ηλεκτροδίου βολφραμίου

Στη περίπτωση συγκόλλησης με συνεχές ρεύμα και αρνητική πολικότητα, επιλέγεται η κωνική μορφή. Αν το πάχος του προς συγκόλληση αντικειμένου είναι πολύ μικρό, μέχρι 1 mm περίπου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μορφή βελόνας, καθώς το ρεύμα είναι πολύ χαμηλό και δεν οδηγεί σε τήξη του άκρου. Επίσης πάντα έχουμε στο μυαλό μας ότι με αυτό το τύπο ρεύματος και πολικότητας το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής παροχής καταλήγει στο βασικό μέταλλο. Από αυτό το πάχος και πάνω, θα πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη άμβλυνση (“σπάσιμο”) της ακμής του ηλεκτροδίου, για να αποφεύγεται η τήξη της και η μεταφορά βολφραμίου στο λουτρό τήξης. Το ύψος του κώνου πρέπει να είναι από 2 έως 2.5 φορές τη διάμετρο του. Για παράδειγμα, σε ένα ηλεκτρόδιο διαμέτρου 1.6 mm, το ύψος του κώνου μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 3.2 και 4.0 mm.



Εικόνα 84: Ύψος κώνου προετοιμασίας ηλεκτροδίου βολφραμίου

Χρήση σε εναλλασσόμενο ρεύμα

Σε αυτή τη περίπτωση, το άκρο του ηλεκτροδίου αποκτά ένα ημισφαιροειδές σχήμα, όπως φαίνεται στη τελευταία περίπτωση, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Η διάμετρος του ημισφαιρίου δε πρέπει να ξεπερνάει 1.5 φορές τη διάμετρο του ηλεκτροδίου. Για παράδειγμα, σε ηλεκτρόδιο διαμέτρου 1.6 mm, δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2.4 mm μέγιστο. Αν το ρεύμα είναι υπερβολικά υψηλό η διάμετρος του ημισφαιρίου υπερβαίνει αυτή τη τιμή και υπάρχει ο κίνδυνος αποκοπής του άκρου του ηλεκτροδίου και μόλυνσης του λουτρού τήξης. Γενικά, επίσης, αν η επιφάνεια του άκρου του ηλεκτροδίου είναι υπερβολικά μεγάλη, το τόσο γίνεται ασταθές καθώς περιφέρεται στις διάφορες περιοχές του άκρου.

Με τη σωστή προετοιμασία του ηλεκτροδίου και τη σωστή επιλογή παραμέτρων συγκόλλησης, στο τέλος θα πρέπει να παρατηρείται το ομοιογενές και κανονικών διαστάσεων. Η προετοιμασία του άκρου του ηλεκτροδίου του βολφραμίου στο εναλλασσόμενο ρεύμα, για να επιτευχθούν τα παραπάνω, πρέπει να ακολουθεί τις διαστάσεις της Εικόνας 84. Στην Εικόνα 85, παρατηρούμε την εμφάνιση ηλεκτροδίων καθαρού βολφραμίου και βολφραμίου με θόριο, μετά από συγκόλληση συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, σε σωστές, υψηλές και χαμηλές τιμές έντασης ρεύματος, ανάλογα και με τη προετοιμασία του ηλεκτροδίου.

ΤΥΠΟΣ ΡΕΥΜ.	ΗΛΕΚΤΡ.	ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ		
		ΧΑΜΗΛΗ	ΣΩΣΤΗ	ΥΨΗΛΗ
=	WT20			
	WP			
~	WT20			
	WP			

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ ΣΤΗΝ TIG

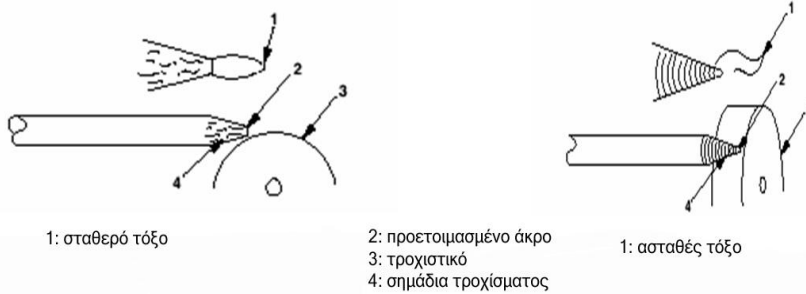
Εικόνα 85: Επίδραση έντασης ρεύματος στις διάφορες μορφές ηλεκτροδίων

Γενικά, η τεχνική του τροχίσματος, πρέπει να είναι τέτοια (Σχήμα 6.34), ώστε να αποφεύγονται τα σημάδια ομόκεντρων κύκλων στη κωνική επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Τέτοιες “χαρακίες” προκαλούν αστάθεια του παραγόμενου τόξου. Αν αυτά τα σημάδια είναι αναπόφευκτα, θα πρέπει να είναι παράλληλα με το μήκος του ηλεκτροδίου. Αν το τρόχισμα γίνεται σε σμυριδοτροχό μπορεί να προκύψουν πτυχώσεις που θα οδηγηθούν σε τήξη και θα εισαχθούν στο λουτρό τήξης. Ο τροχός θα πρέπει να είναι καθαρός, γιατί οι όποιες ακαθαρσίες θα μολύνουν το ηλεκτρόδιο και στη συνέχεια τη συγκόλληση.

Ο τροχός που χρησιμοποιείται για τη προετοιμασία του ηλεκτροδίου βολφραμίου, δε πρέπει να χρησιμοποιείται για το τρόχισμα άλλων υλικών. Τα ηλεκτρόδια βολφραμίου θα πρέπει να ελέγχονται οπτικά πριν τη χρήση τους για να διαπιστώνεται ότι δεν εμφανίζουν επιφανειακά ελαττώματα (μικρορωγμές, υποκοπές κ.λ.π.), ή και εσωτερικά ελαττώματα (πόρους, εγκλείσματα κ.λ.π.). Η επιφάνεια του ηλεκτροδίου θα πρέπει να είναι καθαρή, χωρίς σκόνη, γράσα, λιπαντικά και γενικά ακαθαρσίες.

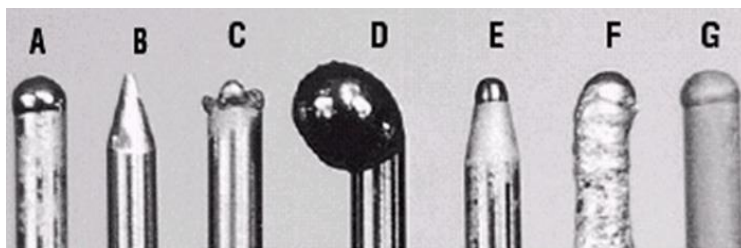
Η κωνική επιφάνεια, μετά τη προετοιμασία, θα πρέπει να είναι ομαλή και λεία (σαν καθρέπτης). Η επιφάνεια του ηλεκτροδίου βολφραμίου μετά τη χρήση, θα πρέπει να είναι λαμπερή και γυαλιστερή. Οποιαδήποτε πιθανή θαμπάδα υποδεικνύει χρήση υψηλότερης, από την ενδεδειγμένη, τιμής ρεύματος. Αν η επιφάνεια εμφανίζει χρωματισμό, μπλε προς μωβ, ή ακόμα και μαύρο, η ροή προστατευτικού αερίου μετά το τέλος της συγκόλλησης και τη διακοπή του τόξου (post flow) δεν ήταν επαρκής. Έτσι, το ηλεκτρόδιο, ενώ ήταν ακόμα θερμό, ήρθε σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και οξειδώθηκε.

Η διεξαγωγή συγκόλλησης με το ηλεκτρόδιο σε αυτή τη κατάσταση δεν ενδείκνυται, καθώς το τόξο θα είναι ασταθές και τα οξείδια μπορεί να διαχυθούν στη συγκόλληση. Το ηλεκτρόδιο πρέπει να επανατροχιστεί και να ξαναεκτελεστεί προετοιμασία του.



Εικόνα 86: Τεχνική τροχίσματος ηλεκτροδίου βολφραμίου

Παρακάτω εμφανίζονται ηλεκτρόδια βολφραμίου μετά από τη χρήση τους σε διάφορες συνθήκες και εξηγείται η εμφάνιση τους (Εικόνα 87):



Εικόνα 87: Εμφάνιση ηλεκτροδίων βολφραμίου μετά τη χρήση τους

Εμφάνιση A: Μορφή άκρου σφαιροειδής, κανονικών διαστάσεων. Πρόκειται για ηλεκτρόδιο καθαρού βολφραμίου που χρησιμοποιήθηκε σε συγκόλληση αλουμινίου με εναλλασσόμενο ρεύμα. Το σχήμα της σφαίρας είναι κανονικό και ομαλό με λαμπερή και γυαλιστερή επιφάνεια, άρα οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ενδεδειγμένες.

Εμφάνιση B: Ηλεκτρόδιο βολφραμίου με 2 % ThO_2 . Χρησιμοποιήθηκε με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας. Το σχήμα του κωνικού άκρου υποδεικνύει ότι και σε αυτή τη περίπτωση, οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι σωστές.

Εμφάνιση C: Πρόκειται για ηλεκτρόδιο βολφραμίου με 2 % ThO_2 που χρησιμοποιήθηκε για τη συγκόλληση αλουμινίου με εναλλασσόμενο ρεύμα. Παρατηρούμε προεξοχές σφαιρικής

μορφής και όχι μία ενιαία κανονική σφαιρική μορφή. Η τιμή του ρεύματος ήταν υψηλότερη από την ενδεδειγμένη.

Εμφάνιση D: Ηλεκτρόδιο καθαρού βολφραμίου που χρησιμοποιήθηκε στη συγκόλληση αλουμινίου με εναλλασσόμενο ρεύμα. Η τιμή της έντασης του ρεύματος ήταν πολύ υψηλή και το άκρο του ηλεκτροδίου διογκώθηκε. Αν η συγκόλληση συνεχίζονταν, το τηγμένο άκρο θα αποκόπτονταν και θα έπεφτε στο λουτρό τήξης.

Εμφάνιση E: Ηλεκτρόδιο καθαρού βολφραμίου που τροχίστηκε σε οξεία γωνία χωρίς άμβλυση, και χρησιμοποιήθηκε σε συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας. Σχηματίστηκε σφαιροειδής μορφή στο άκρο του, κι αυτό δεν οφείλεται σε υψηλή ένταση ρεύματος, αλλά στο ότι το ηλεκτρόδιο δεν άμβλύθηκε στο άκρο του, κάτι που πάντα πρέπει να γίνεται στα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου.

Εμφάνιση F: Εδώ συναντάμε τη περίπτωση όπου το ηλεκτρόδιο βολφραμίου μολύνθηκε σοβαρά από επαφή με το υλικό πλήρωσης. Το ηλεκτρόδιο πλέον δε δουλεύει σωστά, και το μολυσμένο κομμάτι πρέπει να απομακρυνθεί ώστε να γίνει εκ νέου προετοιμασία του ηλεκτροδίου.

Εμφάνιση G: Στη συγκόλληση με αυτό το ηλεκτρόδιο, η ροή προστατευτικού αερίου διεκώπει πριν την ψύξη του ηλεκτροδίου, το οποίο οξειδώθηκε από την επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα ενώ ακόμα ήταν θερμό. Με κατάλληλη ρύθμιση της ροής αερίου στο τέλος της συγκόλλησης, “post flow”, το συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο, θα μπορούσε να εμφανίσει Σχήμα σαν την Α παραπάνω.

Η γεωμετρία προετοιμασίας του ηλεκτροδίου βολφραμίου, παίζει σημαντικό ρόλο και στο σχήμα και το βαθμό διείδυσης. Έτσι ηλεκτρόδια κωνικής προετοιμασίας με οξύ άκρο, προκαλούν στενή και βαθιά διείδυση, ενώ ηλεκτρόδια σφαιροειδούς απόληξης προκαλούν πλατιά και ρηχή διείδυση.

6.5.9. Προστασία της ρίζας

Όπως ακριβώς η επιφάνεια της συγκόλλησης χρειάζεται προστασία από την επαφή της με την ατμόσφαιρα, έτσι χρειάζεται και το πίσω μέρος της συγκόλλησης, δηλαδή η ρίζα. Στη περίπτωση των συγκολλήσεων σωλήνων, ή άλλων συγκολλήσεων πλήρους διείδυσης, αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού (Σχήμα 6.36), συνήθως κατάλληλων ταπών που εφαρμόζουν στα άκρα του σωλήνα και μέσω εύκαμπτου σωληνοειδούς διοχετεύουν αέριο στη περιοχή του εσωτερικού του σωλήνα. Συχνά οι

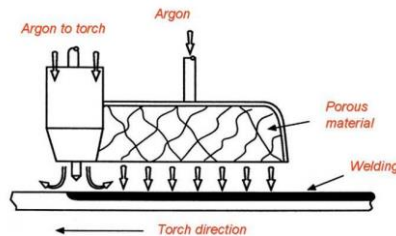
Μέθοδος συγκόλλησης με παρουσία προστατευτικού αερίου

αναφερόμενες τάπες μπορεί να είναι και είδος ανθεκτικού χαρτιού που απλά χρησιμεύει στο να αποκλείσει τη περιοχή.

Στην Εικόνα 88, εμφανίζεται παράδειγμα δευτερογενούς προστασίας με φορείο που ακολουθεί τη συγκόλληση και προστατεύει το μέρος της που μόλις έχει στερεοποιηθεί. Πρόκειται για συγκόλληση τιτανίου, το οποίο είναι ιδιαίτερα αντιδραστικό με τον ατμοσφαιρικό αέρα.



Εικόνα 88: Διάταξη προστασίας της ρίζας στη συγκόλληση TIG σωλήνα



Εικόνα 89: Δευτερογενής προστασία μέσω αερίου

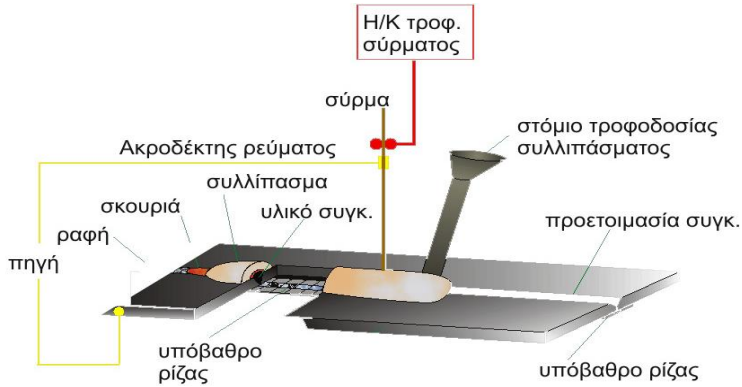
7. Συγκολλήσεις βυθισμένου τόξου

7.1. Εισαγωγή

Στη μέθοδο συγκόλλησης βυθισμένου τόξου, το τόξο λειτουργεί ανάμεσα σε αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο μορφής γυμνού σύρματος, και στο προς συγκόλληση αντικείμενο. Το τόξο, το άκρο του ηλεκτροδίου και το λουτρό τήξης είναι βυθισμένα μέσα σε ειδική κοκκώδη σκόνη (συλλίπασμα). Το μέρος της σκόνης που βρίσκεται κοντύτερα στο τόξο, μέσω της θερμότητας του τόξου, τήκεται, μετατρέπεται σε φάση σκουριάς και προστατεύει το τόξο, το ηλεκτρόδιο, το λουτρό τήξης και το παρακείμενο βασικό μέταλλο, από οποιαδήποτε επαφή με την ατμόσφαιρα. Σε αυτή τη μέθοδο λοιπόν, η απαραίτητη για όλες τις μεθόδους συγκόλλησης τόξου προστατευτική ατμόσφαιρα, δημιουργείται από τη συγκεκριμένη σκόνη. Το ηλεκτρόδιο – σύρμα τροφοδοτείται διαρκώς από ηλεκτροκίνητη μονάδα τροφοδοσίας μέσω ρολών. Η σκόνη τροφοδοτείται, επίσης διαρκώς, μέσω χοάνης, στερεωμένης συνήθως στη κεφαλή της συγκόλλησης (Εικόνα 90). Ένας αγωγός μεταφέρει τη σκόνη από τη χοάνη στο μέτωπο της συγκόλλησης, μπροστά από το τόξο, δημιουργώντας έναν επιμήκη λοφίσκο, κατάλληλων διαστάσεων ώστε να καλύπτει πλήρως το τόξο, εξαλείφοντας έτσι οποιαδήποτε πιτσιλίσματα, καθώς και ακτινοβολία από το τόξο (Εικόνα 91). Η σκόνη που δεν έχει υποστεί τήξη, μπορεί να συλλέγεται και να ανακυκλώνεται για χρήση σε επόμενη συγκόλληση. Η απαραίτητη χρήση κοκκώδους σκόνης περιορίζει τη χρήση της μεθόδου σε συγκολλήσεις σε θέση συγκόλλησης κυρίως πλάκα (PA).

Η μέθοδος είναι γνωστή με τη συντομογραφία SAW, από τα αρχικά των λέξεων Submerged Arc Welding. Σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 4063, το νούμερο για το συμβολισμό της μεθόδου είναι το 12. Για τις διάφορες παραλλαγές της μεθόδου προστίθεται και τρίτος αριθμός (για παράδειγμα στη παραλλαγή της όπου χρησιμοποιείται μονό γυμνό σύρμα, το νούμερο είναι το 121).

Η μέθοδος συγκόλλησης βυθισμένου τόξου διακρίνεται για την ικανότητα της να επιτρέπει τη χρήση ρεύματος ιδιαίτερα υψηλών τιμών, λόγω και των ιδιοτήτων και της επίδρασης της κοκκώδους σκόνης. Το ισχυρό ρεύμα που εφαρμόζεται στη μέθοδο, έχει σαν συνέπεια τη βαθιά διείσδυση και τον υψηλό βαθμό διαλυτοποίησης (dilution). Το βασικό μέταλλο που τήκεται και συμμετέχει στο λουτρό τήξης, μπορεί να φτάνει σε περιεκτικότητα μέχρι και διπλάσια από αυτή του τηγμένου ηλεκτροδίου.



Εικόνα 90: Η μέθοδος συγκόλλησης βυθισμένου τόξου



Εικόνα 91: Εφαρμογή μεθόδου συγκόλλησης βυθισμένου τόξου

Γενικά, στη μέθοδο, χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα θετικής πολικότητας έως τα 1000 Α περίπου. Σε υψηλότερες τιμές ρεύματος προτιμάται το εναλλασσόμενο ρεύμα, καθώς το φαινόμενο του φυσήματος του τόξου γίνεται ιδιαίτερα έντονο. Πρόκληση για τη μέθοδο αποτελεί η δυνατότητα της κεφαλής της συγκόλλησης να ακολουθεί τη γραμμή της προς συγκόλληση σύνδεσης, κάτι που δυσχεραίνεται από το χαρακτηριστικό της σκόνης να καλύπτει τη περιοχή του τόξου, στερώντας την οπτική επαφή από το χειριστή. Το πρόβλημα λύνεται με ειδικές διατάξεις που ενσωματώνονται μπροστά από τη κεφαλή της συγκόλλησης, “διαβάζουν” τη γραμμή της σύνδεσης, και καθοδηγούν κατάλληλα τη κεφαλή.

Κλασσικές εφαρμογές της μεθόδου συναντάμε στις ναυπηγικές κατασκευές, στις κατασκευές δοχείων πίεσης, σωληναγωγών, πυλώνων, και γενικά όπου απαιτούνται μεγάλες σε μήκος συγκολλήσεις. Το πεδίο εφαρμογής της σε σχέση με το πάχος των προς συγκόλληση ελασμάτων, ξεκινάει από το 1.5 mm και πάνω.

Σε σχέση με τα βασικά μέταλλα, η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση πολλών σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων, καθώς και για την αναγόμωση επιφανειών προς βελτίωση αντιτριβικών και αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων. Τα διαθέσιμα ηλεκτρόδια – σύρματα μπορούν να παράγουν συγκολλήσεις κατάλληλες για κοινούς ανθρακούχους χάλυβες, χάλυβες ειδικών προδιαγραφών, ανοξείδωτους χάλυβες, μη σιδηρούχα κράματα, και ειδικά κράματα προς αναγόμωση. Ο συνδυασμός των ηλεκτροδίων με συγκεκριμένες σκόνες, πολλαπλασιάζει τις δυνατότητες διαμόρφωσης των τελικών ιδιοτήτων της συγκόλλησης.

7.2. Πλεονεκτήματα, περιορισμοί και κύριες εφαρμογές της μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκόλλησης βυθισμένου τόξου είναι:

- Παραγωγή συγκολλήσεων υψηλής ποιότητας
- Επίτευξη ιδιαίτερα υψηλών ρυθμών εναπόθεσης τηγμένου υλικού, άρα και ιδιαίτερα υψηλής ταχύτητας προώθησης της συγκόλλησης, και κατά συνέπεια ιδιαίτερα υψηλής παραγωγικότητας
- Επίτευξη ομαλής, ομοιόμορφης επιφάνειας τελειωμένης συγκόλλησης, ελεύθερης πιτσιλισμάτων
- Περιορισμένη ή και καθόλου εκπομπή καπναερίων, και ακτινοβολίας – λάμψης του τόξου, άρα ελαττωμένη ανάγκη χρήσης ατομικών μέσων προστασίας. Με σωστή ρύθμιση των παραμέτρων και συνθηκών συγκόλλησης, δεν απαιτείται ιδιαίτερη δεξιότητα από τους χειριστές

Οι περιορισμοί της μεθόδου συγκόλλησης βυθισμένου τόξου είναι:

- Εφαρμόζεται κυρίως στη θέση πλάκα (PA, PB)
- Μειωμένη ευελιξία
- Αδυναμία οπτικής επαφής με το τόξο και το λουτρό τήξης, που συνεπάγεται αδυναμία ελέγχου και σωστής διαχείρισης της προόδου της συγκόλλησης
- Αυξημένη θερμική παροχή και διαλυτοποίηση βασικού μετάλλου, με πιθανές μεταλλουργικές, και διαστατικές (παραμορφώσεις) συνέπειες στη συγκόλληση

- Επίτευξη υψηλής διείδυσης που απαιτεί προσοχή σε συγκόλληση ελασμάτων μικρού πάχους



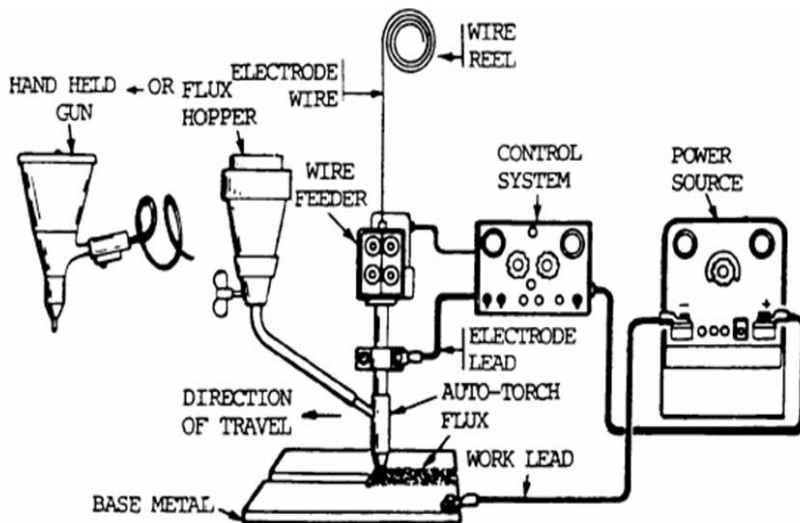
Εικόνα 92: Εφαρμογή μεθόδου συγκόλλησης βυθισμένου τόξου

Η μέθοδος βρίσκει ευρεία εφαρμογή στη βαριά βιομηχανία και στο πεδίο μεταλλικών συγκολλητών κατασκευών, και συγκεκριμένα οι εφαρμογές όπου συναντάται συχνότερα είναι:

- Στις συγκολλήσεις μεταλλικών δομικών κατασκευών
- Στη παραγωγή σωλήνων (διαμήκους ή ελικοειδούς ραφής)
- Στη κατασκευή τμημάτων μηχανών για όλα τα πεδία της βαριάς βιομηχανίας
- Στη κατασκευή δοχείων και δεξαμενών (για χρήση υπό πίεση ή αποθήκευση)
- Στη ναυπηγική βιομηχανία
- Στη κατασκευή μεγάλων σωληναγωγών
- Στη κατασκευή πυλώνων
- Στη κατασκευή εξοπλισμού διυλιστηρίων (δοχεία υψηλής πίεσης, από χάλυβες ή και κράματα νικελίου), λόγω και των πολύ καλών μεταλλουργικών και μηχανικών ιδιοτήτων της συγκόλλησης
- Στις εργασίες αναγόμωσης, συντήρησης και επισκευής

7.3. Εξοπλισμός συγκολλήσεων βυθισμένου τόξου

Ο βασικός εξοπλισμός της μεθόδου, εμφανίζεται στην Εικόνα 93.

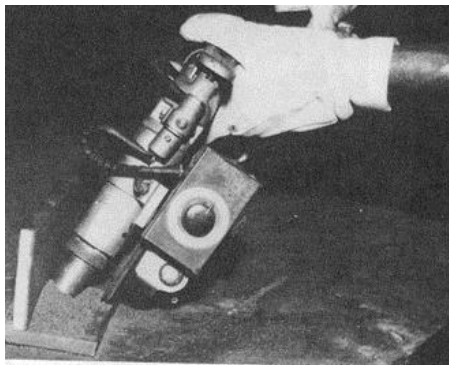


Εικόνα 93: Σχηματικό διάγραμμα εξοπλισμού συγκόλλησης βυθισμένου τόξου

Τα βασικά στοιχεία του εξοπλισμού είναι η πηγή ρεύματος, ο πίνακας ελέγχου της συγκόλλησης και η κεφαλή της συγκόλλησης. Η κεφαλή της συγκόλλησης περιλαμβάνει τη τσιμπίδα μέσα από την οποία το ηλεκτρόδιο – σύρμα τροφοδοτείται προς το λουτρό τήξης, και έχει ενσωματωμένα ή/και συνδεδεμένα, το τροφοδοτικό του ηλεκτροδίου – σύρματος και τη χοάνη παροχής της σκόνης συγκόλλησης. Στη κεφαλή καταλήγουν οι παροχές ρεύματος, η τροφοδοσία του ηλεκτροδίου – σύρματος και η παροχή της σκόνης συγκόλλησης. Στη αυτοματοποιημένη εκτέλεση της μεθόδου η χοάνη παροχής της σκόνης μπορεί να είναι εφοδιασμένη με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που ελέγχονται από το πίνακα ελέγχου της συγκόλλησης.

Η μέθοδος μπορεί να εκτελεστεί και χειρωνακτικά, στη περίπτωση που ο χειριστής κινεί τη κεφαλή της συγκόλλησης κατά μήκος της συγκόλλησης (Σχήμα 7.5). Και σε αυτή τη περίπτωση, στη κεφαλή καταλήγουν οι παροχές που προβλέπονται και στην αυτοματοποιημένη εκδοχή της μεθόδου.

Η πηγή ρεύματος πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της αυτοματοποιημένης μεθόδου, που μάλιστα εκτελείται με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις ρεύματος. Έτσι, οι συνηθισμένες πηγές που χρησιμοποιούνται, έχουν 100 % κύκλο εργασίας (100 % duty cycle), και δυνατότητα παροχής ρεύματος από 300 έως 1500 A.



Εικόνα 94: Εκτέλεση μεθόδου με χειρωνακτικό χειρισμό της κεφαλής συγκόλλησης

Οι συγκολλήσεις βυθισμένου τόξου μπορούν να εκτελεστούν με συνεχές ή και εναλλασσόμενο ρεύμα. Σε πολλές περιπτώσεις, το εναλλασσόμενο χρησιμοποιείται για την αποφυγή των συνεπειών του φυσήματος του τόξου, που παρατηρείται συχνά, καθώς τα ρεύματα που εφαρμόζονται στη μέθοδο είναι αρκετά υψηλά. Η πολικότητα του ρεύματος, στη περίπτωση που εφαρμόζεται συνεχές ρεύμα, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι από τους οποίους είναι η εκτελούμενη εφαρμογή και η σκόνη συγκόλλησης που χρησιμοποιείται. Γενικά, η θετική πολικότητα προκαλεί καλύτερη διείσδυση και χρησιμοποιείται στις συγκολλήσεις, ενώ η αρνητική προκαλεί μικρότερη διείσδυση, μειωμένη διαλυτοποίηση βασικού μετάλλου, αυξημένο ρυθμό τήξης του σύρματος, και προτιμάται στις εργασίες αναγόμευσης. Ο τύπος της πηγής ρεύματος είναι συνήθως σταθερής τάσης, και σε συγκεκριμένες μόνο εφαρμογές χρησιμοποιείται πηγή σταθερής έντασης.

7.4. Αναλώσιμα συγκόλλησης βυθιζόμενου τόξου

Με τον όρο αναλώσιμα συγκόλλησης, αναφερόμαστε στα ηλεκτρόδια – σύρματα και στη σκόνη, που χρησιμοποιούνται στις εργασίες συγκολλήσεων. Τόσο τα ηλεκτρόδια, όσο και οι σκόνες παρουσιάζουν μεμονωμένα, συγκεκριμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Τυποποιούνται δε, με τα αντίστοιχα πρότυπα. Ωστόσο, το σημαντικότερο, είναι ο συνδυασμός που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Το ίδιο ηλεκτρόδιο μπορεί να προσδώσει διαφορετικές ιδιότητες στην ίδια συγκόλληση, χρησιμοποιούμενο με διαφορετική σκόνη συγκόλλησης, και αντίστροφα. Αναφερόμαστε στον όρο “flux wire combination”, δηλαδή συνδυασμός σκόνης σύρματος.

7.4.1. Ηλεκτρόδια - σύρματα

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο διατίθενται σε συνεχείς κλώνους τυλιγμένους σε τύμπανα, και συνήθως είναι επιχαλκωμένα, όπου απαιτείται, για προστασία από τη διάβρωση και καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Διατίθενται σε τυποποιημένες διαμέτρους που ξεκινούν από τα 1.2 χιλιοστά και φτάνουν έως και τα 8 χιλιοστά.

Η τυποποίηση και ταξινόμηση των ηλεκτροδίων ακολουθεί διάφορα πρότυπα, αλλά για τα έργα όπου ακολουθούνται ευρωπαϊκές προδιαγραφές αναφερόμαστε στο EN 756, που προδιαγράφει τα ηλεκτρόδια – σύρματα για τη συγκόλληση μη κραματωμένων και ελαφρά κραματωμένων ανθρακούχων χαλύβων, και το EN 12072 για τους ανοξείδωτους και πυρίμαχους χάλυβες (υψηλά κραματωμένους χάλυβες). Αντίστοιχα, για τα έργα που διέπονται από πρότυπα των ΗΠΑ αναφερόμαστε στο κώδικα AWS A 5.17.

7.4.2. Σκόνες συγκόλλησης

Στις συγκολλήσεις βυθισμένου τόξου, ο ρόλος της συνοδευτικής σκόνης, είναι πολλαπλός και ιδιαίτερα σημαντικός. Πρωταρχικά, όπως αναφέρθηκε, η σκόνη συγκόλλησης εξασφαλίζει την απαραίτητη στις συγκολλήσεις τόξου προστατευτική ατμόσφαιρα. Επίσης, η σκόνη συγκόλλησης βελτιώνει την αγωγιμότητα του διάκενου μεταξύ του ηλεκτροδίου και του βασικού μετάλλου, διευκολύνοντας έτσι, την έναυση και διατήρηση του τόξου. Σχηματίζει ακόμα τη φάση σκουριάς, που καλύπτει και προστατεύει τη περιοχή της συγκόλλησης και μετά την απομάκρυνση του τόξου και τη στερεοποίηση του λουτρού τήξης, και επιβραδύνει το ρυθμό ψύξης του μετάλλου, επιδρώντας στις μηχανικές ιδιότητες της περιοχής της συγκόλλησης.

Επίσης, όπως ακριβώς και οι φάσεις σκουριάς που συναντάμε στις διεργασίες εξαγωγικής μεταλλουργίας, αλληλεπιδρά με το λουτρό τήξης, και ανάλογα με την επιλογή και τις ιδιότητες της, μπορεί να διεξάγει καθαρισμό του τήγματος (αποξείδωση, απομάκρυνση ανεπιθύμητων προσμίξεων, κ.λ.π.), και κραμάτωση του τήγματος, επιδρώντας και πάλι στις μηχανικές ιδιότητες της περιοχής της συγκόλλησης, αλλά και στις χημικές της ιδιότητες (αντιδιαβρωτική ικανότητα κ.λ.π.). Τέλος, η σχηματιζόμενη σκουριά βοηθάει και στην επίτευξη ομαλής εξωτερικής επιφάνειας της συγκόλλησης.

Οι σκόνες συγκόλλησης μπορούν να οριστούν σαν μίγμα ορυκτολογικών συστατικών, κοκκώδους υφής, με διάφορες αναλογίες των περιεχομένων συστατικών. Είναι τριών τύπων:

Σκόνες τήξης (fused fluxes)

Οι αποκαλούμενες σκόνες τήξης (fused fluxes), παράγονται με ανάμιξη των συστατικών τους σε ξηρή μορφή, και τήξη σε ειδικούς ηλεκτρικούς φούρνους, ακολουθούμενα από έκχυση του τήγματος σε νερό, ώστε να προκύψει η επιθυμητή, κοκκώδης μορφή. Στη

συνέχεια, το προϊόν που έχει προκύψει, συνθλίβεται και κοσκινίζεται, με σκοπό τη παραγωγή τελικού προϊόντος υαλώδους - κρυσταλλικής μορφής, με ομοιόμορφη κοκκομετρία.

Αυτού του τύπου οι σκόνες, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της ομοιογένειας, και είναι λιγότερο υγροσκοπικές σε σχέση με άλλων τύπων σκόνες. Επιτρέπουν την απομάκρυνση των λεπτότερων σωματιδίων (πούδρας), χωρίς την αλλαγή της σύστασης τους, μπορούν να ανακυκλωθούν εύκολα, και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αποθήκευσης. Επίσης ευνοούν την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων προώθησης της συγκόλλησης. Ακόμα, εμφανίζουν χαμηλό κόστος προμήθειας.

Σκόνες συσσωμάτωσης (agglomerated fluxes)

Εναλλακτικά, η κοκκώδης σκόνη μπορεί να προκύψει, με σύνδεση των συστατικών της χωρίς τήξη. Αυτό επιτυγχάνεται με ανάμιξη των συστατικών, σε ξηρή μορφή, με διαλύματα καλίου ή πυριτικού νατρίου. Το υγρό μίγμα που προκύπτει, οδηγείται στη συνέχεια σε σφαιροποίηση, ξήρανση, σύνθλιψη, και κοσκινισμό, ώστε να προκύψει η τελική, επιθυμητή κοκκομετρία. Οι σκόνες που προκύπτουν με αυτό το τρόπο, ονομάζονται σκόνες συσσωμάτωσης (agglomerated fluxes).

Σε αυτή τη μεθοδολογία, προκύπτει το πλεονέκτημα της δυνατότητας εύκολης προσθήκης αποξειδωτικών και κραματικών στοιχείων, τα οποία στη συνέχεια, κατά τη χρήση της σκόνης στη συγκόλληση, ρυθμίζουν τη χημική σύσταση της συγκόλλησης, και κατά συνέπεια τις μηχανικές και χημικές τις ιδιότητες. Οι συγκεκριμένες σκόνες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συγκόλληση, σε στρώσεις μεγαλύτερου πάχους. Ακόμα, οι σκόνες συσσωμάτωσης, εμφανίζουν μικρότερη σχετικά κατανάλωση. Τέλος, η απομάκρυνση της σχηματιζόμενης, στερεοποιημένης σκουριάς μετά το τέλος της συγκόλλησης, είναι ευκολότερη. Η ταξινόμηση τους γίνεται με κωδικούς χρωματισμούς.

Στα μειονεκτήματα τους συγκαταλέγονται το ότι είναι γενικά περισσότερο υγροσκοπικές, μπορεί να προκαλέσουν έκλυση αερίου κατά τη τήξη της σκόνης στη διάρκεια της συγκόλλησης, και ότι μπορεί να προκληθούν αλλαγές στη χημική σύσταση της συγκόλλησης, λόγω διάσπασης και διαχωρισμού λεπτών σωματιδίων της σκόνης που έχει παραχθεί με μηχανική επεξεργασία (χωρίς μεσολάβηση τήξης). Συνήθως συνοδεύονται από ιδιαίτερες απαιτήσεις αποθήκευσης και ξήρανσης πριν τη συγκόλληση, λόγω κυρίως της υγροσκοπικότητάς τους. Η δυνατότητα ανακύκλωσης τους είναι περιορισμένη.

Μεικτές σκόνες (mixed fluxes)

Υπάρχουν, τέλος, και σκόνες που παράγονται από μείξη σκονών από τις δύο παραπάνω σκόνες. Αυτές αποκαλούνται μεικτές σκόνες (mixed fluxes).

Συνήθως, απαιτείται ξήρανση αμέσως πριν τη χρήση σε συγκόλληση, για τις σκόνες συγκόλλησης βυθισμένου τόξου. Η απαίτηση είναι πιο αυστηρή, ανάλογα με την υγροσκοπικότητα της κάθε σκόνης, και άρα ειδικά για τις σκόνες συσσωμάτωσης.

Σε κάθε περίπτωση, οι παρασκευαστές της κάθε σκόνης, παρέχουν ακριβείς οδηγίες για την προεργασία που απαιτείται (κυρίως για τη θερμοκρασία και το χρόνο ξήρανσης που απαιτείται, καθώς και για τις απαιτήσεις αποθήκευσης). Οι οδηγίες συνοδεύουν τη σκόνη, και πρέπει να τηρούνται σχολαστικά ώστε οι συγκολλήσεις που θα εκτελεστούν να έχουν τη προδιαγραφόμενη ποιότητα που αναμένεται, και να μη προκύπτουν σφάλματα συγκόλλησης (πόροι, κ.λ.π.). Η ξήρανση επιτελείται σε ειδικούς φούρνους.



Εικόνα 95: Φούρνος ξήρανσης σκόνης συγκόλλησης βυθισμένου τόξου

7.4.3. Συνδυασμός σκονης συρματος

Όπως αναφέρθηκε, ο συνδυασμός της σκόνης και του σύρματος που χρησιμοποιείται στις συγκολλήσεις, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των ιδιοτήτων της συγκόλλησης. Τα πρότυπα που ακολουθούνται για τη ταξινόμηση και τυποποίηση των συνδυασμών, είναι το EN 756, και ο κώδικας AWS A 5.17.

7.5. Παράμετροι λειτουργίας

Οι παράμετροι λειτουργίας είναι πολύ σημαντικές, ειδικά στη μέθοδο συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο. Η γνώση του μηχανισμού που επιδρούν στο αποτέλεσμα της συγκόλλησης καθώς και ο αποτελεσματικός έλεγχος και η σωστή ρύθμιση τους, είναι πολύ βασικά, αν επιδιώκεται η επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας και η διεξαγωγή συγκολλήσεων καλής ποιότητας με επαναλαμβανόμενο τρόπο. Ειδικά στη συγκεκριμένη μέθοδο, το τόξο

λειτουργεί βυθισμένο και μη ορατό, οπότε οποιαδήποτε δυσλειτουργία, δε μπορεί να ανιχνευθεί και αντιμετωπιστεί έγκαιρα. Επίσης, η μέθοδος είναι αυτοματοποιημένη και συνοδεύεται από μεγάλες ταχύτητες εκτέλεσης, γεγονός που σημαίνει ότι πριν εντοπιστεί κάποιο συστηματικό σφάλμα, που απαιτεί αλλαγή σε μία ή περισσότερες παραμέτρους, μπορεί να έχουν προκληθεί ελαττώματα σε μεγάλο εύρος των εργασιών συγκόλλησης. Οι σημαντικότερες παράμετροι, με τη γενικά αποδεκτή σειρά βαρύτητας είναι:

- Ρεύμα συγκόλλησης
- Τύπος και είδος σκόνης συγκόλλησης
- Τάση συγκόλλησης
- Ταχύτητα προώθησης συγκόλλησης
- Μέγεθος ηλεκτροδίου
- Ελεύθερο μήκος ηλεκτροδίου
- Τύπος ηλεκτροδίου
- Πλάτος και πάχος (διαστάσεις) του στρώματος της σκόνης που καλύπτει το τόξο

8. Σχεδιασμός και μεταλλουργία των συγκολλήσεων

8.1. Σχεδιασμός Συγκολλήσεων

8.1.1. Προετοιμασία των άκρων συγκόλλησης

Γενικά για την προετοιμασία των άκρων που θα συγκολληθούν:

Πριν αρχίσουμε οποιαδήποτε εργασία συγκόλλησης μεταλλικών τεμαχίων, θα πρέπει πρώτα να κάνουμε αναγνώριση του είδους του μετάλλου, από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα μεταλλικά τεμάχια (χάλυβας, μπρούντζος, αλουμίνιο κτλ.), σύμφωνα, βέβαια, με όσα έχουν αναφερθεί. Κατόπιν, μετρούμε με ένα παχύμετρο το πάχος των τεμαχίων που θα συγκολληθούν, για να αποφασίσουμε το είδος της συναρμογής (ραφής) και την απαραίτητη προετοιμασία των άκρων τους. Τέλος, αποφασίζουμε για τη μέθοδο και το είδος της συγκόλλησης που θα εφαρμόσουμε (οξυγονοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση).

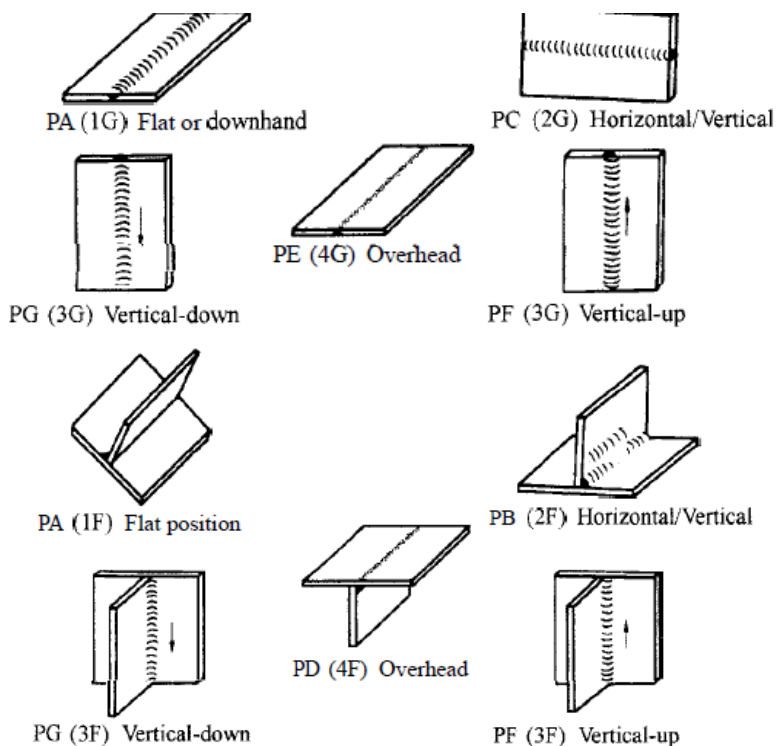
Αφού γίνουν τα παραπάνω, θα πρέπει να προετοιμαστούν τα άκρα των μεταλλικών τεμαχίων που θα συγκολληθούν. Βέβαια, όπως θα δούμε στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου, υπάρχουν και περιπτώσεις συναρμογών (ραφών), που δεν απαιτούν κανένα είδος προετοιμασίας.

Οι συναρμογές άκρων μεταλλικών τεμαχίων, που συνήθως συναντούμε στις μεταλλικές εφαρμογές, χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

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

Από τις παραπάνω συγκολλήσεις η ευκολότερη και, επομένως, η μικρότερου κόστους είναι η συγκόλληση οριζόντιου επιπέδου. Γι' αυτό, όταν το είδος της κατασκευής μας το επιτρέπει, πραγματοποιούμε τις συγκολλήσεις σε οριζόντιο επίπεδο. Οι συγκολλήσεις που γίνονται υπεράνω κεφαλής απαιτούν μεγάλη εμπειρία και ηλεκτρόδια κατάλληλα για εργασίες αυτού του είδους. Το ηλεκτρόδιο πρέπει να κολλά εύκολα και γρήγορα στα προς συγκόλληση τεμάχια, ώστε να υπερνικάται η δύναμη της βαρύτητας, που τείνει να απομακρύνει την κόλληση από τη θέση της.

Φυσικά υπάρχουν επιπλέον, η συγκόλληση σε κατακόρυφο επίπεδο και οριζόντιο άξονα ραφής, και η συγκόλληση σε κατακόρυφο επίπεδο και κατακόρυφο άξονα ραφής (ανεβατή ή κατεβατή συγκόλληση). Βέβαια, σε ειδικές περιπτώσεις αναγκαζόμαστε να συγκολλήσουμε άκρα και σε διαφορετικές θέσεις από αυτές που αναφέρονται πιο πάνω (ραφές υπό γωνία ως προς το επίπεδο των μεταλλικών τεμαχίων).



Εικόνα 96: Ονοματολογία θέσεων συγκόλλησης

8.1.2. Οι εσωραφές ή βυθισμένες ραφές

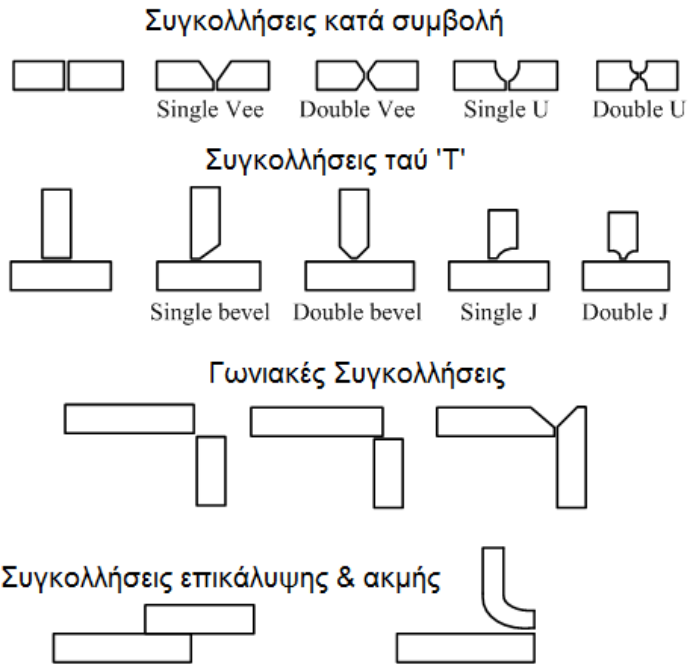
Οι εσωραφές μεταλλικών τεμαχίων λέγονται και βυθισμένες ραφές, γιατί το συγκολλητικό υλικό εισχωρεί (βυθίζεται) στα ειδικά διαμορφωμένα άκρα των τεμαχίων, για να πραγματοποιηθεί η συγκόλλησή τους. Επίσης, αναφέρονται και ως συναρμογές κατ' άκρα, επειδή η συγκόλληση πραγματοποιείται στα άκρα δύο μεταλλικών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

Η συναρμογή τεμαχίων με εσωραφή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με οξυγονοκόλληση, είτε με ηλεκτροσυγκόλληση. Η επιλογή της μεθόδου θα γίνει από τον μηχανικό συγκολλήσεων, αφού εκτιμηθούν όλα τα στοιχεία (τεχνικά, οικονομικά κτλ.) κάθε περίπτωσης συναρμογής.

Ανάλογα με τη μορφή που δίνεται στα άκρα των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν, οι εσωραφές διακρίνονται σε:

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

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



Εικόνα 97: Τύποι ραφών

Η ραφή τύπου (I) είναι από τις συνηθέστερες στην καθημερινή πρακτική των τεχνιτών, γιατί δεν απαιτεί σχεδόν καμιά προετοιμασία. Η εξωραφή τύπου (I) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πάχος ελασμάτων από 1 έως και 10 mm.

Όταν στη ραφή τύπου (I), τα προς συγκόλληση τεμάχια έχουν πάχος μέχρι 2 mm, τοποθετούνται έτσι, ώστε τα άκρα τους να εφάπτονται καθ' όλο το μήκος τους (δε χρειάζεται κάποια απόσταση μεταξύ τους). Από 2 έως 5 mm πάχους, η απόσταση μεταξύ των ελασμάτων θα πρέπει να είναι 1 έως 2 mm και από 5 έως 10 mm η απόσταση θα πρέπει να είναι περίπου 4 mm. Στις παραπάνω περιπτώσεις ραφής τύπου (I), πάχους μέχρι 5 mm, η συγκόλληση γίνεται μόνο από τη μια πλευρά. Όταν όμως το πάχος των ελασμάτων ξεπερνά τα 5 mm, απαιτείται συγκόλληση και από τις δύο πλευρές.

Η εξωραφή τύπου (V) ενδείκνυται για περιπτώσεις συγκόλλησης ελασμάτων μεσαίου πάχους από 3 έως 12 mm. Βλέπουμε ότι σε περιοχές πάχους ελασμάτων από 3 έως και 10 mm, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τα δύο είδη ραφής, δηλαδή και τον τύπο (I) και τον τύπο (V). Η επιλογή του ενός ή του άλλου τύπου ραφής θα εξαρτηθεί από τις συνθήκες

εργασίας, τον εξοπλισμό που διατίθεται για τη διαμόρφωση των άκρων, τα οικονομικά στοιχεία της συγκόλλησης και από την πείρα του συγκολλητή.

Όπου μπορεί να εφαρμοστεί η ραφή τύπου (I), θα πρέπει να προτιμάται έναντι της (V), γιατί η ραφή τύπου (I) δεν απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία των άκρων και, επομένως, κοστίζει λιγότερο. Γενικά, θα λέγαμε ότι η εσωραφή τύπου (V) θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε πάχη ελασμάτων από 5 έως 12 mm. Τα άκρα των δύο τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν, λοξοτομούνται (φρεζάρονται) υπό γωνία 25-30° το καθένα, ώστε, όταν τελικά τοποθετηθούν στη θέση της συγκόλλησης, να δημιουργηθεί μεταξύ τους μια γωνία 50-60ο (το λεγόμενο αυλάκι).

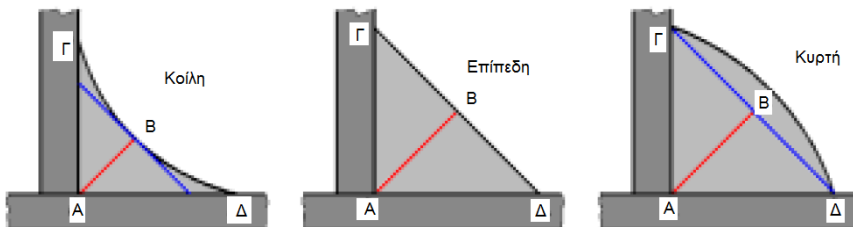
Η λοξοτόμηση γίνεται με τροχό ή με οξυγονοκόφτη.

Η απόσταση μεταξύ των δύο τεμαχίων στη βάση τους ονομάζεται ρίζα. Το μέγεθος της ρίζας εξαρτάται από το πάχος των τεμαχίων και μπορεί να διαμορφώνεται από 1,5 έως 2 mm.

Η ραφή τύπου (X) χρησιμοποιείται συνήθως σε συναρμογή ελασμάτων πάχους πάνω από 12 mm και μέχρι 25 mm. Η προετοιμασία των άκρων που θα συγκολληθούν απαιτεί μεγάλη προσοχή και σχετική εμπειρία, ώστε να σχηματιστούν ομοιόμορφα οι λοξές (φρεζάτες) υποδοχές της συγκόλλησης και από τις δύο πλευρές των ελασμάτων. Έτσι θα σχηματιστούν γωνίες 50-60° και από τις δύο πλευρές. Ενοείται βέβαια ότι η ραφή τύπου (X) απαιτεί συγκόλληση και από τις δύο πλευρές.

8.1.3. Οι εξωραφές ή γωνιακές ραφές

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



Εικόνα 98: Εξωραφή τύπου (T) υπό γωνία 90° στην οποία διακρίνονται όλα τα στοιχεία της: Α = Ρίζα, ΑΓ = Ύψος, ΑΔ = Πλάτος, ΑΒ = Θεωρητικό ύψος

Οι εξωραφές δεν απαιτούν συνήθως ιδιαίτερη προετοιμασία των σημείων συγκόλλησής τους, εκτός ειδικών περιπτώσεων, αρκεί τα προς συγκόλληση άκρα των μεταλλικών τεμαχίων να έχουν κοπεί ευθύγραμμα και οι επιφάνειες συγκόλλησης να έχουν καθαριστεί από σκουριές, λάδια, χρώματα κτλ. που θα μπορούσαν να επιδράσουν αρνητικά στην ποιότητα και στην αντοχή της συγκόλλησης. Τέλος, η προσεκτική στερέωση των τεμαχίων στη θέση που θα συγκολληθούν, αποτελεί προϋπόθεση για μια επιτυχημένη εργασία συγκόλλησης.

Η μονόπλευρη εξωραφή τύπου 'T' είναι κατάλληλη για γρήγορες και φθηνές ραφές, όταν η καταπόνηση στα σημεία συγκόλλησης δεν είναι ιδιαίτερα έντονη. Αντίθετα, όταν οι απαιτήσεις σε αντοχή είναι μεγάλες, προτιμάται η δίπλευρη εξωραφή, της οποίας όμως το κόστος είναι σχεδόν διπλάσιο. Το ίδιο ισχύει και για εξωραφές που γίνονται μόνο σε εξωτερική γωνία δύο μεταλλικών τεμαχίων ή στην εξωτερική και εσωτερική γωνία (δίπλευρη).

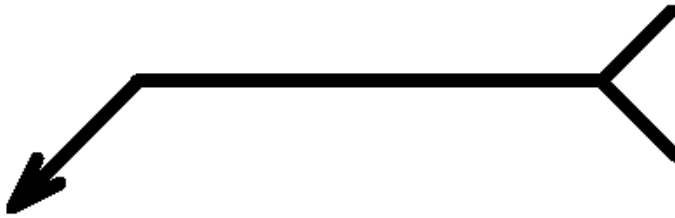
Το πάχος της συγκόλλησης (α), όπως και η διάμετρος της κόλλησης ή του ηλεκτροδίου εξαρτώνται από το πάχος των ελασμάτων που πρόκειται να συγκολληθούν. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος των υπό συγκόλληση τεμαχίων, τόσο πιο μεγάλο πρέπει να είναι και το πάχος της ραφής (συγκόλλησης). Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το πάχος (α) μιας εξωραφής βρίσκεται, αν πολλαπλασιάσουμε το πάχος των ελασμάτων (s) με ένα συντελεστή που κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,7 mm, δηλαδή $\alpha = (0,5 \dots \dots 0,7) \times s$. Έτσι, αν το πάχος κάθε τεμαχίου είναι 12 mm, το πάχος (α) της ραφής είναι: $\alpha = 0,6 \times 12 = 7,2$ mm (πήραμε ένα μέσο συντελεστή 0,6).

8.1.4. Ο συμβολισμός των συγκολλήσεων

Όπως σε κάθε τεχνική εργασία κατασκευής προδιαγράφονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πάνω στο σχέδιο κατασκευής, ώστε να προκύψουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, έτσι και στις συγκολλήσεις. Για να έχει μια συγκόλληση την απαιτούμενη αντοχή σε συγκεκριμένες μηχανικές καταπονήσεις, θα πρέπει να γίνει με τη μέθοδο, την τεχνική και τα υλικά εκείνα που απαιτεί η κάθε περίπτωση συγκόλλησης. Αν αφήσουμε τον τεχνίτη να επιλέξει το είδος της συγκόλλησης μιας συναρμογής ή δεν του παρασχεθούν οι απαιτούμενες πληροφορίες (οδηγίες) για την πραγματοποίησή της, το αποτέλεσμα μπορεί να μην έχει τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά ασφάλειας ή κόστους.

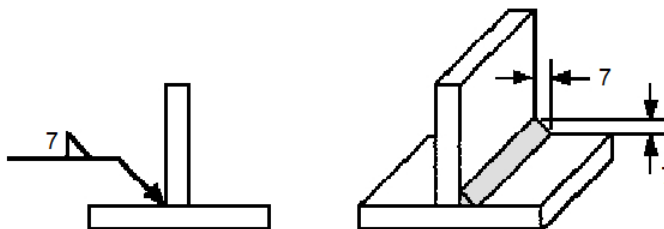
Για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης σε κάθε περίπτωση συγκόλλησης, έχουν θεσπιστεί τα διάφορα σύμβολα των συγκολλήσεων, τα οποία τοποθετούνται πάνω στο

κατασκευαστικό σχέδιο κάθε συναρμογής. Το σύμβολο της συγκόλλησης αποτελείται από το βέλος κατεύθυνσης, τη γραμμή αναφοράς και την ουρά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 99.



Εικόνα 99: Το βασικό σύμβολο συγκόλλησης

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

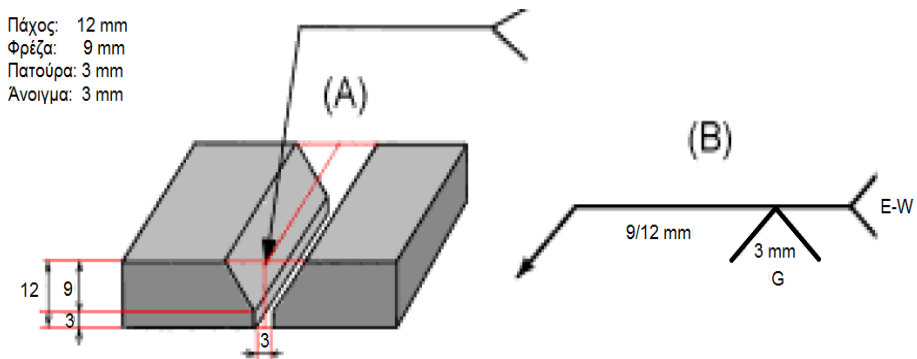


Εικόνα 100: Παράδειγμα συμβόλου συγκόλλησης


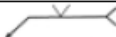
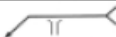





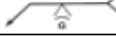

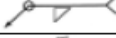
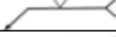
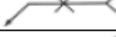

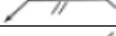






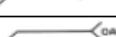

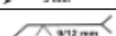

Σχεδιασμός και μεταλλουργία των συγκολλήσεων

Θέση συγκόλλησης	Σχηματική παράσταση	(1) Συμβολισμός κατά DIN (Γερμανικός)	(2) Συμβολισμός κατά AWS (Αμερικάνικος)	(3) Συμβολισμός κατά ISO (Διεθνής)
Ραφή οριζόντια σε οριζόντιο επίπεδο		W	1G	PA
Οριζόντια ραφή σε γωνία		h	2F	PB
Οριζόντια ραφή σε κατακόρυφο επίπεδο		q	2G	PC
Οριζόντια ραφή σε γωνία ουρανού		hu	4F	PD
Ραφή υπεράνω κεφαλής (ουρανού)		U	4G	PE
Κατακόρυφη ραφή, ανεβατή		S	3G↑	PF
Κατακόρυφη ραφή, κατεβατή		F	3G↓	PG

Εικόνα 101: Συμβολισμοί της θέσης συγκόλλησης



Εικόνα 102: Παράδειγμα συμβόλου συγκόλλησης

A/A	Σύμβολο	Περιγραφή
1		Ευγκόλληση τύπου (V) στην πλευρά του βέλους
2		Ευγκόλληση τύπου (V) στην άλλη πλευρά (εσωραφή)
3		Ευγκόλληση με αναδίπλωση των άκρων
4		Γωνιακή συγκόλληση στην πλευρά του βέλους (εξωραφή)
5		Γωνιακή συγκόλληση στην άλλη πλευρά (εξωραφή)
6		Γωνιακή συγκόλληση και από τις δύο πλευρές
7		Επίπεδη τελική επεξεργασία με λειαντικό τροχό
8		Κυρτή τελική επεξεργασία με μηχανικό μέσο
9		Κοίλη τελική επεξεργασία με λειαντικό τροχό
10		Επιφανειακή συγκόλληση με ύψος ραφής 2,5 mm
11		Ευγκόλληση περιφερειακή (γύρω-γύρω)
12		Ευγκόλληση από την άλλη πλευρά, τύπου (V) με 60° και επίπεδη τελική επεξεργασία
13		Ευγκόλληση τύπου (X)
14		Ευγκόλληση τύπου (I)
15		Ευγκόλληση με επικάλυψη των άκρων
16		Ευγκόλληση μέσα από οπή
17		Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου, με επενδυμένο ηλεκτρόδιο
18		Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου, με επενδυμένο ηλεκτρόδιο, τύπου E4313
19		Ευγκόλληση με φλόγα αερίου, σε οριζόντιο επίπεδο
20		Ευγκόλληση με προστατευτικό αέριο
21		Εκκληρή συγκόλληση με μπρουντζοκόλληση
22		Μαλακή συγκόλληση με κασσιτεροκόλληση
23		Ευγκόλληση οξυγονοασετιλίνης
24		Ευγκόλληση τύπου (V) με άνοιγμα ρίζας 3 mm
25		Ευγκόλληση τύπου (V) με μέγεθος 9 mm και ωφέλιμο άνοιγμα 12 mm

Εικόνα 103: Συνήθειες συμβολισμοί συγκόλλησης

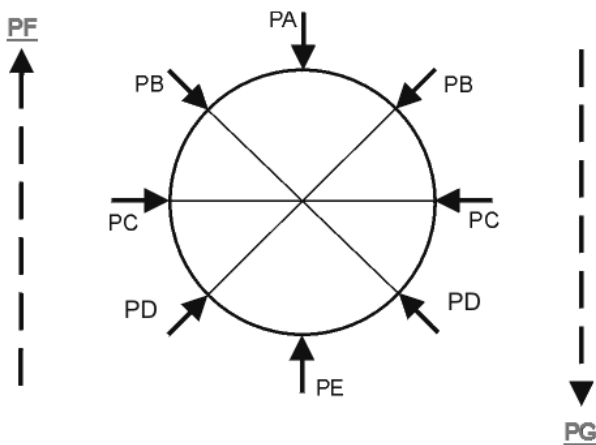
8.1.5. Οι θέσεις ηλεκτροσυγκόλλησης

Οι βασικές θέσεις συγκόλλησης είναι τέσσερις: επίπεδη θέση, οριζόντια θέση, θέση ουρανό και κατακόρυφη θέση (ανεβατό ή κατεβατό).

Κάθε θέση ηλεκτροσυγκόλλησης έχει ένα συμβολισμό με δύο γράμματα. Το πρώτο γράμμα είναι το **P** και μετά ακολουθεί ένα από τα A, B, C, D, E, F, G. Ισχύουν οι εξής συμβολισμοί:

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

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

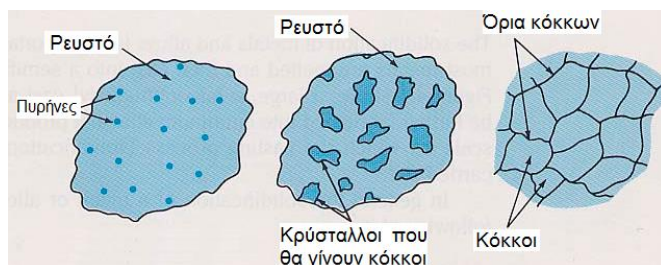


Εικόνα 104: Θέσεις συγκόλλησης

8.2. Μεταλλουργία συγκολλήσεων

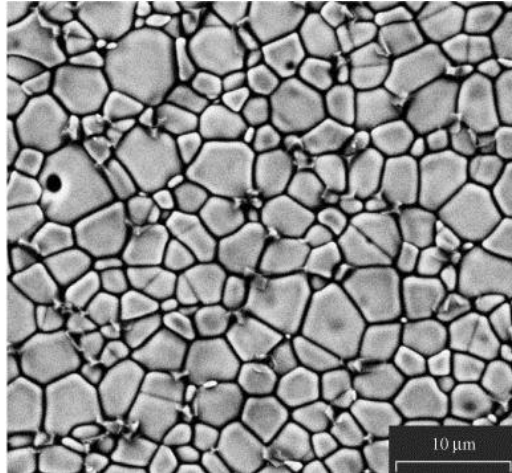
8.2.1 Η κοκκώδης δομή των μετάλλων

Η μάζα ενός μεταλλικού τεμαχίου αποτελείται από πολλούς κρυστάλλους που τους ονομάζουμε «κόκκους» και που στον κάθε ένα από αυτούς τα άτομα είναι διατεταγμένα με μία γεωμετρική μορφή. Ο σχηματισμός των κόκκων οφείλεται στον τρόπο που παράγονται τα μέταλλα. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στις διαδοχικές φάσεις του σχήματος. Στην αρχή το μέταλλο βρίσκεται σε υγρή μορφή, κάτω από υψηλή θερμοκρασία. Ενώ η θερμοκρασία αρχίζει να ελαττώνεται, αρχίζει η στερεοποίηση. Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα φαίνονται στο Σχήμα 8.8 και μπορούν να περιγραφούν ως εξής:



Εικόνα 105: Οι διαδοχικές φάσεις στερεοποίησης του μετάλλου και ο σχηματισμός των κόκκων

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



Εικόνα 106: Φωτογραφία από μικροσκόπιο στην οποία φαίνεται η κοκκώδης δομή των μετάλλων. Διακρίνονται σαφώς τα όρια των κόκκων

Η παραπάνω διαδικασία στερεοποίησης του μετάλλου καταλήγει σε μία δομή στην οποία έχουμε:

- Τους κόκκους του μετάλλου με την κανονική κρυσταλλική δομή τους
- Τις επιφάνειες που ενώνονται οι κόκκοι μεταξύ τους, οι οποίες αποτελούν περιοχές ακαταστασίας της κρυσταλλικής δομής.

Τους κόκκους μπορούμε να τους δούμε κάτω από μικροσκόπιο, αφού γίνει η κατάλληλη επεξεργασία στην επιφάνεια του μετάλλου. Στο Σχήμα 8.9, φαίνεται μία φωτογραφία της κοκκώδους δομής ενός μετάλλου.

Η πρώτη εντύπωση, που ίσως σχηματίζεται στον αναγνώστη, είναι ότι η ανομοιομορφία στα όρια των κόκκων είναι ανεπιθύμητη. Αυτό όμως δεν είναι αληθές. Επιδιώκουμε ακριβώς το αντίθετο, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

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

Ένα μέταλλο, που θα αποτελείτο από ένα και μοναδικό κρύσταλλο, θα έσπαγε πολύ εύκολα. Οι καλές μηχανικές ιδιότητες (αντοχή, ελαστικότητα) οφείλονται στην αντοχή που παρουσιάζουν τα σημεία που ενώνονται οι κόκκοι μεταξύ τους. Ο κανόνας που πρέπει να γνωρίζουμε είναι:

Όσο μικρότεροι είναι οι κόκκοι ενός μεταλλικού τεμαχίου, τόσο καλύτερες είναι οι μηχανικές του ιδιότητες.

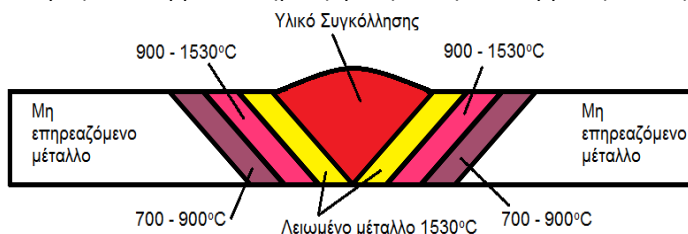
Το μέγεθος των κόκκων ποικίλλει. Για να δοθεί μία ιδέα για το μέγεθός τους, αναφέρουμε ότι η μέση διάμετρος στους χάλυβες κυμαίνεται από 0,022 mm μέχρι 0,25 mm. Οι χάλυβες με μέσο μέγεθος κόκκου μικρότερο από 0,088 mm ονομάζονται λεπτόκοκκοι, ενώ πάνω από αυτό το όριο ονομάζονται χοντρόκοκκοι.

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

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

(α) Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ)

Η συγκόλληση των μετάλλων γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την ψύξη γίνεται ανακρυστάλλωση γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Η ζώνη επιρροής επεκτείνεται μέχρι το σημείο που η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από ένα όριο που αποτελεί προϋπόθεση για την εμφάνιση της ανακρυστάλλωσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 107. Η περιοχή αυτή ονομάζεται **Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη** και συμβολίζεται ως **ΘΕΖ**.



Εικόνα 107: Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ) σε έναν ανθρακούχο χάλυβα

Στη ΖΕΘ η δομή του μετάλλου μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συγκόλληση.

Το αποτέλεσμα είναι, σχεδόν πάντοτε, να έχουμε μείωση της αντοχής γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Ο κανόνας είναι:

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

(β) Ανόπτηση- Βαφή - Επαναφορά

Δύο βασικές έννοιες που έχουν σχέση με τη δημιουργία της κοκκώδους μορφής ενός μετάλλου είναι η ανόπτηση και η βαφή. Πρόκειται για δύο θερμικές κατεργασίες που συνήθως γίνονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Αλλά, κατά τη συγκόλληση, αυτές γίνονται άθελά μας και επηρεάζουν άμεσα τις μηχανικές ιδιότητες.

Ανόπτηση είναι η θέρμανση ενός μετάλλου σε μία θερμοκρασία τέτοια που να αρχίζει η ανακρυστάλλωσή του. Με την εφαρμογή ενός ελεγχόμενου ρυθμού ψύξης μπορούμε να έχουμε μέταλλο με την επιθυμητή κρυσταλλική δομή και το επιδιωκόμενο μέγεθος κόκκου.

Βαφή είναι η απότομη ψύξη του μετάλλου, η οποία, συνήθως, γίνεται όταν ρίχνουμε το μέταλλο σε νερό. Το αποτέλεσμα είναι να μην υπάρχει χρόνος για την ομαλή ανακρυστάλλωση και να προκύπτει μέταλλο σκληρό, αλλά συγχρόνως εύθραυστο. Όταν ο ηλεκτροσυγκολλητής, μετά τη συγκόλληση, ρίχνει το καυτό τεμάχιο στο νερό, για να το ψύξει ταχύτερα, του προκαλεί βαφή, δηλαδή το κάνει σκληρό και εύθραυστο.

Ένα μεταλλικό τεμάχιο που υπεβλήθη σε βαφή, αν υποστεί ανόπτηση, θα γίνει πάλι ελαστικό, αλλά θα χάσει τη σκληρότητά του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επαναφορά.

8.2.4. Η σημασία των προσμίξεων

Η κρυσταλλική μορφή μέσα στον κάθε κόκκο διαταράσσεται εξ αιτίας ξένων προσμίξεων. Δεν υπάρχει τρόπος παραγωγής απόλυτα καθαρού μετάλλου. Τα άτομα των προσμίξεων εισέρχονται στην κρυσταλλική δομή των κόκκων και την ανατρέπουν. Συχνά, επίσης, δημιουργούν χημικές ενώσεις οι οποίες διασπείρονται μέσα στη μάζα του μετάλλου.

Σημαντική επισήμανση: Εδώ θα μπορούσε να δημιουργηθεί η εσφαλμένη εντύπωση ότι η παρουσία των προσμίξεων είναι ανεπιθύμητη. Αυτό όμως δεν είναι αληθές. Αν και υπάρχουν επιβλαβείς προσμίξεις, υπάρχουν και άλλες που είναι χρήσιμες και βελτιώνουν τις ιδιότητες των μετάλλων, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

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

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

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

8.2.5. Τα μέταλλα

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

- Ο σίδηρος
- Το αλουμίνιο
- Ο χαλκός

Αρκετά, ακόμη, μέταλλα, αλλά και ορισμένα αμέταλλα, συμμετέχουν υπό μορφή προσμίξεων, σε μικρά κυρίως ποσοστά, για τη διαμόρφωση κραμάτων με βελτιωμένες ιδιότητες (π.χ. με μεγάλη μηχανική αντοχή).

Οι κυριότερες προσμίξεις που υπάρχουν στα κράματα είναι οι εξής:

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

- Στα κράματα αλουμινίου: Το πυρίτιο (Si), το μαγνήσιο (Mg) και ο χαλκός (Cu).
- Στα κράματα χαλκού: Ο ψευδάργυρος (Zn) και ο κασσίτερος (Sn).

Η περιεκτικότητα ενός στοιχείου συμβολίζεται για συντομία με το π. π.χ. $\pi(C)=0,12\%$, $\pi(Si)=0,5\%$ κτλ.

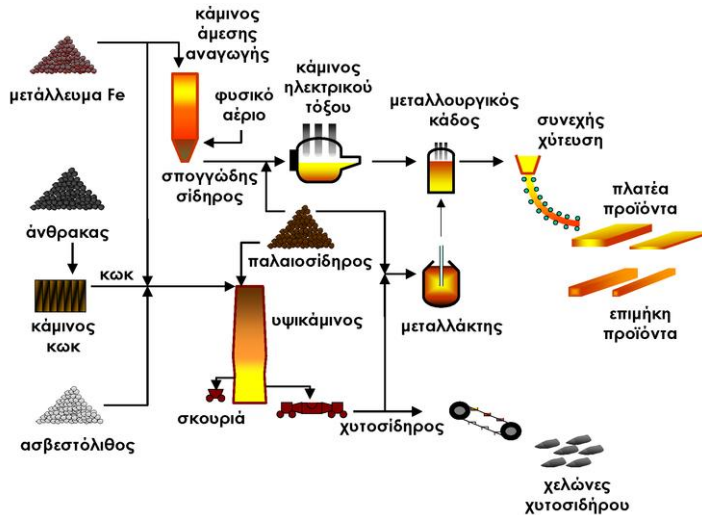
8.2.6. Ο σίδηρος και οι χάλυβες

8.2.6.1. Η παραγωγή του χάλυβα

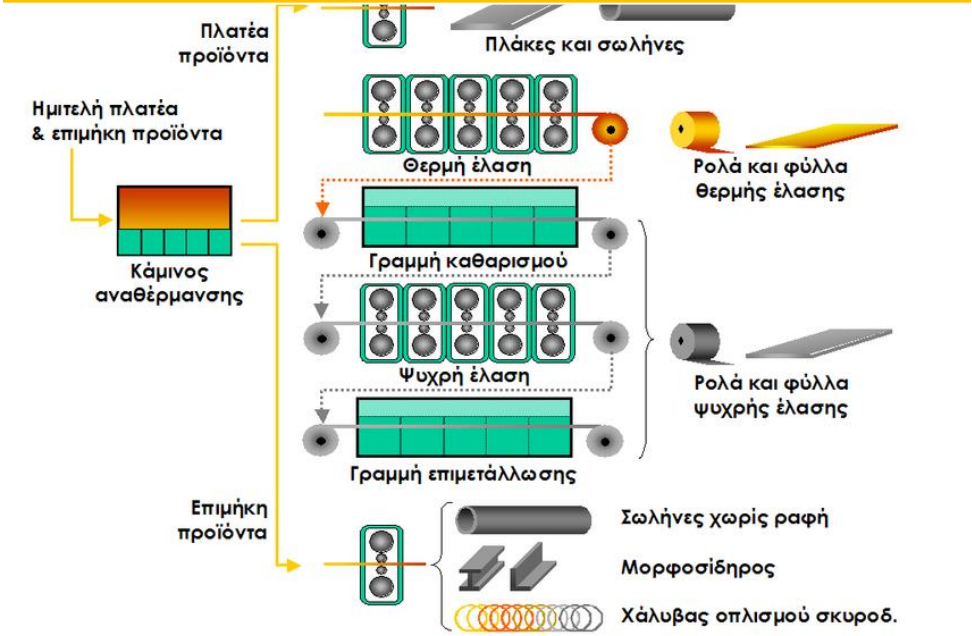
Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

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

- με την ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).

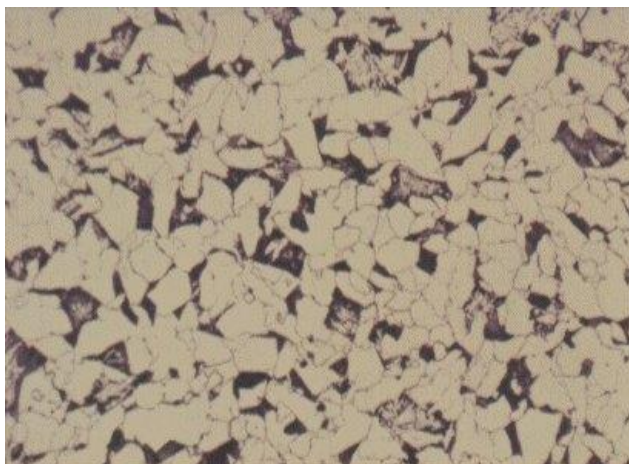


Εικόνα 108: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα



Εικόνα 109: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα

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



Εικόνα 110: Φωτογραφία από μικροσκόπιο στην οποία φαίνονται οι κόκκοι ανθρακούχου χάλυβα

Ανάλογα με το είδος των βασικών προσμιξεων διακρίνουμε τις εξής ομάδες υλικών που έχουν ως βάση το σίδηρο:

- Ανθρακούχοι χάλυβες: Τα μέταλλα που αποτελούνται κυρίως από σίδηρο και άνθρακα με $\pi(C) \leq 2\%$, ονομάζονται χάλυβες. Συνήθως όμως $\pi(C) < 0,80\%$.
- Κραματούχοι χάλυβες: Στους χάλυβες μπορεί να έχουμε και μη σιδηρούχες προσμίξεις, κυρίως νικέλιο (Ni) και χρώμιο (Cr), οπότε έχουμε τους κραματούχους ή κραματικούς χάλυβες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι ανοξειδωτοί χάλυβες.
- Χυτοσίδηροι: Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα άνθρακα και συγκεκριμένα $\pi(C) = 3-4\%$.

Ως «σίδηρο» χαρακτηρίζεται το υλικό που έχει $\pi(C) \leq 0,008\%$, που ουσιαστικά σημαίνει σχεδόν πλήρης απουσία άνθρακα («σίδηρος» είναι το χημικό στοιχείο).

Με βάση τα παραπάνω, είναι σαφές ότι ο τεχνικός όρος «σίδηρο» δε θα έπρεπε να υπάρχει στην αγορά των υλικών. Θα έπρεπε να υπάρχει μόνο ο όρος χάλυβας. Όμως ο όρος «σίδηρο» συνυπάρχει με τον όρο «χάλυβας» και χρησιμοποιείται ευρέως μεταξύ των τεχνικών.

9. Συγκολλήσεις Ανοξειδωτων χαλύβων, χυτοσιδήρων και μη-σιδηρούχων υλικών

9.1. Ανοξειδωτοι χάλυβες

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

Υπάρχουν πέντε κύριες κατηγορίες ανοξειδωτων χαλύβων:

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

9.1.1. Επίδραση των κραματικών στοιχείων

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

Χρώμιο (Cr, 16÷25%)

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

Νικέλιο (Ni, 8 ÷ 20%)

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

Μολυβδένιο (Mb, 0 ÷4%)

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

Άνθρακας (C, 0.02 ÷ 0.08%)

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

Μαγνήσιο (Mg, ≅ 2 %)

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

Νιόβιο (Nb) και Τιτάνιο (Ti)

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

Άζωτο (N)

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

9.1.2. Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία. Περιέχουν 18 -27% Cr, 8 - 22% Ni και λιγότερο από 0.1% C. Η δομή τους είναι καθαρά ωστενιτική και δεν εμφανίζουν ρηγμάτωση υδρογόνου. Ωστόσο, λόγω του ότι το θείο δεν διαλύεται στον ωστενίτη, έχουν το κίνδυνο της θερμής ρηγμάτωσης. Για τον λόγο, αυτό τα αναλυσίμα συγκόλλησης προμοτάρουν τον σχηματισμό μικρού ποσοστού φερρίτη στη

ζώνη τήξης. Οι κυριότεροι τύποι ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

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

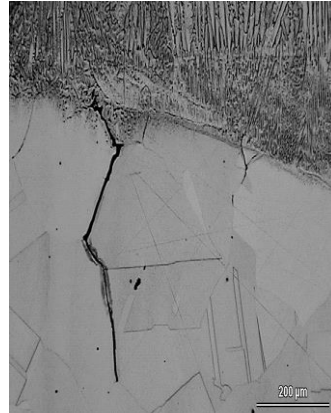
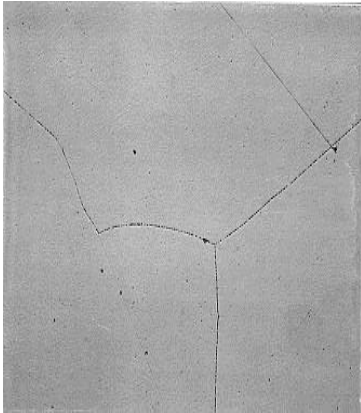
Εικόνα 111: Τυπικές χημικές συστάσεις ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων (% κ.β)

9.1.2.1. Συνέπειες έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων

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

- Ο περιεχόμενος άνθρακας παραμένει χαμηλός έτσι ώστε να αποφευχθεί η κατακρήμνιση καρβιδίων χρωμίου ($Cr_{23}C_6$) στα όρια των κόκκων του υλικού (sensitisation) το οποίο αποτελεί και το πρώτο βήμα για την περικρυσταλλική διάβρωση.
- Κατά τη παράγωγή του χάλυβα πραγματοποιείται διαλυτοποίηση του υλικού σε θερμοκρασία $T_{max} = 1100^{\circ}C$ με ακόλουθη ψύξη στο νερό.

- Στοιχεία όπως το Τιτάνιο (Ti) και Nb προστίθενται για τη σταθεροποίηση των ποιοτήτων (321, 347). Αυτά τα στοιχεία συμβάλλουν στη κατακρήμνιση καρβιδίων Ti και Nb αντί καρβιδίων Χρωμίου.



Εικόνα 112: Κατακρήμνιση καρβιδίων στα όρια των κόκκων, έχει σαν συνέπεια την περικρυσταλλική διάβρωση

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

- Χρήση χαλύβων χαμηλού άνθρακα $L C \leq 0.03 \%$. Όσο μικρότερο είναι το ποσοστό του άνθρακα, τόσο μικρότερος χρόνος απαιτείται για την κατακρήμνιση των καρβιδίων
- Χρήση σταθεροποιημένων ποιοτήτων χάλυβα
- Ολική διαλυτοποίηση (Solution annealing) μετά την συγκόλληση
- Ολική διαλυτοποίηση (Solution annealing) πριν την συγκόλληση βαμμένων (σκληρωσμένων) χαλύβων.
- Σε συγκόλληση AISI 321 (AISI 347) σχηματίζονται ευτηκτοειδή καρβίδια Ti (Nb) - Fe στη ΘΕΖ. Αυτές οι ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν φαινόμενα διάβρωσης σε θερμό όξινο νιτρικό περιβάλλον (knife-line corrosion)

9.1.2.2. Συγκολλησιμότητα των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων

Όλες οι γνωστές μέθοδοι συγκόλλησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων. Προθέρμανση και θερμική κατεργασία μετά τη συγκόλληση δεν απαιτείται. Όμως είναι πολύ σημαντική η προστασία του λουτρού

συγκόλλησης από την οξείδωση, όπως επίσης και η προστασία της ρίζας. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η κάλυψη της ρίζας με αέριο προστασίας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Δεδομένου ότι δεν είναι ευαίσθητοι σε ψυχρή ρωγμάτωση (ρωγμάτωση υδρογόνου), μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ηλεκτρόδια ρουτιλίου.

Οι θερμορωγμές μπορούν να εμφανισθούν και επηρεάζονται θετικά από:

- Μεγάλο μέγεθος κόκκων
- Υψηλές εναπομένουσες τάσεις λόγω υψηλού συντελεστού θερμικής διαστολής.
- Ρωγμές αναθέρμανσης (liquation) στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη και στο υλικό συγκόλλησης (σε πολύπασες συγκολλήσεις)
- Η παρουσία δ φερρίτη είναι ευεργετική (FN 5÷15) λόγω :
 - Καλύτερη διαλυτότητα ευτηκτικών ενώσεων οι οποίες θα οδηγούσαν σε θερμορωγμές (ενώσεις θείου και φωσφόρου)
 - Λουτρό συγκόλλησης με υψηλό γ φερρίτη έχει μικρότερο εύρος θερμοκρασίας στερεοποίησης.
 - Ο δ φερρίτης έχει μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από τον ωστενίτη και είναι περισσότερο όγκιμος σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό συντελεί στην μείωση των εσωτερικών τάσεων.
 - Ο δ φερρίτης περιορίζει τον σχηματισμό συνεχούς φιλμ ακαθαρσιών στα όρια των κόκκων και συνεπώς τον κίνδυνο διαφορισμού (segregation).
 - Η διπλή φασική δομή περιορίζει την εξάπλωση ρηγματώσεων και διαμορφώνει το μέγεθος των κόκκων.
- Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης απαιτείται χαμηλή θερμική παροχή και χαμηλή θερμοκρασία μεταξύ των πάσσων (interpass temperature < 150°C).
- Δεν απαιτείται προθέρμανση.
- Η καθαριότητα είναι παράμετρος συγκόλλησης
- Κατά τη συγκόλληση από τη μία μόνο πλευρά με χρήση backing strip, θα πρέπει να υπάρχει αρκετό άνοιγμα για να υπάρχει καλή τήξη και η προετοιμασία των άκρων να γίνεται με όσο το δυνατόν μικρότερη γωνία, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές παραμορφώσεις.
- Μητρικά υλικά και υλικά συγκόλλησης με χαμηλό ποσοστό ακαθαρσιών
- Χρήση βασικών ηλεκτροδίων και συλλιπασμάτων
- προσθήκη Mn έως 6% και N2 έως 0.15%.
- Έξυπνο σχεδιασμό των συνδέσεων.
- Κυρτά πάσσα συγκόλλησης μειώνουν το κίνδυνο θερμορωγμών.

9.1.2.3. Επιλογή υλικών συγκόλλησης

Γενικά σε θερμοκρασίες από $-80^{\circ}\div+400^{\circ}\text{C}$ όμοια υλικά συγκόλλησης χρησιμοποιούνται:

- AISI 310 - AISI 310
- AISI 304 - AISI 308
- AISI 321 - AISI 347 (οξειδωση Ti σε υψηλή θερμοκρασία)
- AISI 316 - AISI 316

Για εφαρμογές σε ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον, συνιστώνται υλικά συγκόλλησης με μικρότερη περιεκτικότητα φερρίτη ή περισσότερο κραματωμένα υλικά (316L για συγκόλληση 304L).

Σε εφαρμογές με θερμοκρασία $T > 400^{\circ}\text{C}$, για την αποφυγή φαινομένων ερπυσμού υλικά συγκόλλησης με υψηλό άνθρακα (H grade) συνιστώνται. Εάν ο τύπος του υλικού δεν διατίθεται σε ποιότητα H (π.χ. 309), τότε κατά την επιλογή η περιεκτικότητα σε άνθρακα πρέπει να είναι η χαμηλότερη δυνατή ($0.02\div 0.08\%$).

Η παρουσία Mo σε υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι πάντα ευεργετική καθώς ψαθυρές ενδομεταλλικές δομές μπορεί να παρουσιαστούν.

Για «κρυογενικές» εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά συγκόλλησης υψηλού Ni (π.χ. 316L) ακόμα και σε συγκολλήσεις υλικών τύπου 304, με έλεγχο της περιεκτικότητας σε δ φερρίτη ο οποίος μειώνει την αντοχή σε κρούση του υλικού σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Σε εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών, χρησιμοποιούνται υλικά τύπου 316LN ή 316LNMn, με υψηλότερες μηχανικές αντοχές και λιγότερο ευαίσθητα σε παρουσίαση θερμορωγμών σε σχέση τα πλήρως ωστενιτικά. Η χαμηλή πιθανότητα παρουσίασης θερμορωγμών οφείλεται σε μικρές ποσότητες δ φερρίτη.

Η μέθοδος GMAW συμβάλει στη καλύτερη αντοχή του υλικού, λόγω χαμηλότερης πιθανότητας αέριων εγκλεισμάτων και οξυγόνου στο λουτρό συγκόλλησης.

9.1.3. Φερριτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες

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

- Μέση θερμοκρασία προθέρμανσης ($100^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$) και ελεγχόμενη θερμοκρασία μεταξύ πάσων προς αποφυγή της θερμοκρασιακά ψαθυρής περιοχής.
- Παρουσιάζουν φαινόμενα περικρυσταλλικής κατακρήμνισης καρβιδίων χρωμίου σε θερμοκρασίες $425^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$,
- Είναι απαραίτητη η θερμικές κατεργασία μετά τη συγκόλληση στους $700 - 925^{\circ}\text{C}$ για την αναπλήρωση των περιοχών μειωμένου χρωμίου.

- Υλικά ευαίσθητα στις ρηγματώσεις υδρογόνου στη ΘΕΖ
- Σπάνια χρησιμοποιούνται σε στατικές κατασκευές ($s < 3$ mm), κυρίως χρησιμοποιούνται ως ανοξειδωτες επικαλύψεις.
- Αύξηση του μεγέθους των κόκκων στη ΘΕΖ που επηρεάζει αρνητικά την αντοχή της. Στοιχεία που δημιουργούν καρβίδια ή νιτρίδια όπως Ti και Al (AISI 405, 409) μπορούν να εμποδίσουν το φαινόμενο.
- Συγκολλούνται με χαμηλή θερμική παροχή και χαμηλή θερμοκρασία μεταξύ των πάσων (100°C - 200°C).
- Θερμορωγμές στο μέταλλο συγκόλλησης και στη ΘΕΖ φερριτικών ανοξειδωτων χαλύβων δεν είναι συχνό φαινόμενο σε αντίθεση με τους ωστενιτικούς χάλυβες λόγω του χαμηλότερου συντελεστή θερμικής διαστολής και της ικανότητας του φερρίτη να διαλύει τις προσμίξεις. Βέβαια σε φερριτικούς χάλυβες με Nb και Ti (π.χ AISI 444) μπορούν να εμφανιστούν θερμορωγμές.

9.1.4. Διφασικοί (duplex) ανοξειδωτοι χάλυβες

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

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

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

Κύριες εφαρμογές των διφασικών ανοξειδωτων χαλύβων:

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

9.1.5. Μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

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

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

Υψηλές τιμές σκληρότητας στη Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη κάνουν το υλικό επιρρεπές στη ρηγμάτωση. Η επιλογές σωστής θερμοκρασίας προθέρμανσης και διαδικασίας συγκόλλησης είναι κρίσιμες για την επιτυχία της συγκόλλησης.

Οι μαρτενσιτικοί ανοξ. χάλυβες έχουν μικρή ή καθόλου τάση για θερμορωγμές

Ρωγμές Υδρογόνου – Ψυχρορωγμές, εξαιτίας της:

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

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

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

9.2. Τα κράματα αλουμινίου

9.2.1. Εισαγωγή - Ιδιότητες

Το αλουμίνιο είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της Γης και συνολικά το τρίτο πιο άφθονο χημικό στοιχείο στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270

διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Το μεταλλικό αλουμίνιο έχει φαινομενικά μεγάλη ικανότητα στο να αντιστέκεται στη διάβρωση. Αυτό στην ουσία συμβαίνει γιατί με την έκθεση του μετάλλου στην ατμόσφαιρα σχηματίζει στιγμιαία ένα λεπτό επιφανειακό, μη ορατό, στρώμα οξειδίου του, που εμποδίζει τη βαθύτερη διάβρωσή του (φαινόμενο της παθητικοποίησης). Επίσης, εξαιτίας της σχετικά χαμηλής του πυκνότητας και της μεγάλης του ικανότητας να δημιουργεί μεγάλη ποικιλία κραμάτων, έγινε στρατηγικό μέταλλο για την αεροδιαστημική και όχι μόνο βιομηχανία. Είναι επίσης εξαιρετικά χρήσιμο στη χημική βιομηχανία, τόσο αυτούσιο ως καταλύτης, όσο και με τη μορφή διαφόρων ενώσεων του.

Το αλουμίνιο έχει τις ακόλουθες ιδιότητες, σε σύγκριση με τον χάλυβα ο οποίος είναι και το κυριότερο ανταγωνιστικό κράμα στις κατασκευές:

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

- Αλουμίνιο: 2.700 kg/m³
- Χάλυβας: 7.850 kg/m³

Το αποτέλεσμα της χρήσης αλουμινίου έναντι του χάλυβα είναι η μείωση του κόστους λόγω ελαφρύτερων κατασκευών.

ΟΡΙΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Αλουμίνιο: 72.000 MPa
- Χάλυβας: 205.000 MPa

Το μέτρο ελαστικότητας του αλουμινίου είναι τρεις φορές χαμηλότερο από εκείνο του σιδήρου. Αυτό σημαίνει ότι σε δεδομένη κατάσταση φόρτισης, μία κατασκευή από αλουμίνιο παρουσιάζει τρεις φορές μεγαλύτερη ελαστική επιμήκυνση απ' ότι μια χαλύβδινη.

Από τις παραπάνω τιμές συμπεραίνεται ότι το αλουμίνιο παρουσιάζει μεγαλύτερη διαμορφωσιμότητα.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

- Αλουμίνιο: 235 W/m²°K
- Χάλυβας: 79 W/m²°K

Όσον αφορά τη συγκολλησιμότητα, εξαιτίας της ταχύτερης μεταφοράς θερμότητας υπάρχει ο κίνδυνος κατά τη συγκόλληση να υπάρχει ατελής τήξης. Για το λόγο αυτό προσδίδεται περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με το χάλυβα.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ

- Αλουμίνιο: $24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Χάλυβας: $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ

- Αλουμίνιο: $660 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Χάλυβας: $1.500 \text{ } ^\circ\text{C}$

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ

- Αλούμινα (Al_2O_3): $2050 \text{ } ^\circ\text{C}$

Το επιφανειακό οξείδιο εγγυάται στα δομικά στοιχεία από αλουμίνιο μία αξιοσημείωτη αντίσταση στη διάβρωση αν και το αλουμίνιο και τα κράματά του αντιδρούν ισχυρά με το οξυγόνο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το οξείδιο του αλουμινίου σχηματίζει ένα αδιαπέραστο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου και δεν επιτρέπει την περαιτέρω οξείδωση του μετάλλου. Βέβαια στο οξείδιο και στην υψηλή θερμοκρασία τήξεως του οφείλεται το μοναδικό ίσως μειονέκτημα που παρουσιάζει το αλουμίνιο και τα κράματά του, δηλαδή τη δύσκολη συγκόλλησή τους στον ατμοσφαιρικό αέρα (για τις τεχνικές συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο, απαιτείται να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα).

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

- Αλουμίνιο: $2.65 \times 10^{-6} \text{ Ohm cm}$
- Χάλυβας: $10 \times 10^{-6} \text{ Ohm cm}$

Η ιδιότητά του αυτή σε σύγκριση με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής και τη μεγαλύτερη αφθονία σε σύγκριση με το χαλκό, έχει οδηγήσει στην παραγωγή καλωδίων αλουμινίου σε εφαρμογές όπου το ειδικό βάρος έχει σημαντικό ρόλο (αεροναυπηγική) καθώς έχει τη μεγαλύτερη αγωγιμότητα ανά μονάδα βάρους από όλα τα μέταλλα. Η μεγάλη αγωγιμότητα που παρουσιάζει το αλουμίνιο έχει σαν αποτέλεσμα η τεχνική συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση να είναι πιο πολύπλοκη στην περίπτωση του αλουμινίου σε σύγκριση με το χάλυβα.

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

- Αλουμίνιο: 1 (παραμαγνητικό υλικό)
- Χάλυβας: $n \cdot 10^2$ (φερρομαγνητικό)

Πρόκειται για ιδιότητα που θεωρείται πολύ ουσιώδης για ειδικές εφαρμογές όπως κατασκευές θαλάσσης (πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου). Δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου μη καταστροφικών ελέγχων με μαγνητικά σωματίδια στο αλουμίνιο.

9.2.2. Κατηγοριοποίηση κραμάτων αλουμινίου

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

- Χαλκός (Cu)
- Μαγγάνιο (Mn)
- Πυρίτιο (Si)
- Μαγνήσιο (Mg)
- Ψευδάργυρος (Zn)
- Σίδηρος (Fe), Νικέλιο (Ni)

9.2.2.1 Καθαρό Αλουμίνιο (σειρά 1000)

Το καθαρό αλουμίνιο έχει μία τυπική Καθαρότητα 99.8 %. Παρουσιάζει αυξημένη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, μέγιστη κατεργασιμότητα μηχανουργικά και αξιοσημείωτη αντοχή σε διάβρωση. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά είναι χαμηλότερα των άλλων κραμάτων και ως εκ τούτου συνήθως χρησιμοποιείται ως επικαλυπτικό επίστρωμα σε άλλα κράματα αλουμινίου.

9.2.2.2. Κράματα Αλουμινίου – Χαλκού (σειρά 2000)

Ανήκουν στην κατηγορία κραμάτων "από αναθέρμανση" και έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Για το λόγο αυτό η σειρά αυτή των κραμάτων προτιμάται στις κατασκευές. Συνήθως χρησιμοποιούνται περιεκτικότητες κράματος σε Cu από 4-12%. Η ευαισθησία όμως των κραμάτων αυτών στη διάβρωση είναι σημαντική και γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προστασία, όταν χρησιμοποιείται σε επιθετικό περιβάλλον.

Η συγκόλληση με χρήση τόξου γίνεται περίπλοκη για κράματα με Cu ~5% λόγω του αυξημένου εύρους στερεοποίησης. Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας είναι η δημιουργία ρωγμών κατά τη θέρμανση.

Επίσης τα κράματα είναι ανθεκτικά σε αυξημένες θερμοκρασίες (150° C) και βρίσκουν εφαρμογή στην κατασκευή εξαρτημάτων κινητήρων εσωτερικής καύσης.

9.2.2.3. Κράματα Αλουμινίου - Μαγγανίου (σειρά 3000)

Πρόκειται για κράματα που επιδέχονται σκλήρυνση. Εκτός του Mn, βρίσκονται και μικρότερες περιεκτικότητες από Cu και Mg. Χρησιμοποιείται για αρχιτεκτονικές εφαρμογές και στην κατασκευή δεξαμενών και δοχείων.

9.2.2.4. Κράματα Αλουμινίου – Πυρίτιου (σειρά 4000)

Το πυρίτιο γενικά αυξάνει τη ρευστότητα του αλουμινίου και χρησιμοποιείται σε κράματα χύτευσης. Επίσης αυξάνει ελαφρά τη μηχανική αντοχή του μετάλλου. Οι περιεκτικότητες κραμάτων Al-Si σε Si κυμαίνονται από 3,5 – 13% με αντίστοιχα όρια θραύσεως 14 – 22 kP/mm². Με κατάλληλες μηχανικές και θερμικές κατεργασίες το όριο θραύσεως είναι δυνατό να ανυψωθεί στα 60 kP/mm². Κράματα με μεγάλη περιεκτικότητα έως 23% σε πυρίτιο παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε φθορά.

Το πυρίτιο σε κατάλληλες αναλογίες (μέχρι 12%) μειώνει το εύρος στερεοποίησης. Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται και ως συνδετικά υλικά.

9.2.2.5. Κράματα Αλουμινίου – Μαγνησίου (σειρά 5000)

Το μαγνήσιο σε συστατικό κραμάτων αλουμινίου αυξάνει τη σκληρότητα, την κατεργαστικότητα και την αντοχή σε οξείδωση. Αξιοσημείωτη αντίσταση σε διάβρωση σε ατμόσφαιρα θαλασσινού περιβάλλοντος. Τα κράματα αλουμινίου – μαγνησίου χρησιμοποιούνται κυρίως:

- Σε εφαρμογές στην κατασκευή
- Κρυογενικά συστήματα ή σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Ναυπηγική, κύριο εργαλείο της ναυπηγικής βιομηχανίας

Έχουν υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα κράματα των σειρών 1000, 3000 και 4000) και παρουσιάζουν καλή συγκολλησιμότητα και διατήρηση των μηχανικών χαρακτηριστικών μετά τη συγκόλληση.

9.2.2.6. Κράματα Αλουμινίου – Πυρίτιου – Μαγνησίου (σειρά 6000)

Είναι η πλέον κοινή σειρά κραμάτων διελάσεως (αρχιτεκτονικό προφίλ). Αυτό οφείλεται στην καλή κατεργασιμότητα που παρουσιάζουν. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις κατασκευές. Παρουσιάζουν αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση και καλά μηχανικά χαρακτηριστικά. Έχουν ικανοποιητική συγκολλησιμότητα και βρίσκουν εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία και στις κατασκευές σιδηροδρόμων.

9.2.2.7. Κράματα Αλουμινίου - Ψευδαργύρου – Μαγνησίου (σειρά 7000)

Είναι κράματα υψηλής μηχανικής αντοχής και σκληρότητας, με ευαισθησία στη διάβρωση. Απαιτούν ιδιαίτερη προστασία. Γενικά έχουν βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά (υψηλότερα αυτών της σειράς 5000). Λόγω της προαναφερόμενης ευαισθησίας στη διάβρωση μπορούν να παρουσιαστούν φαινόμενα ρωγμάτωσης από διάβρωση. Για το

λόγο αυτό απαιτούν ιδιαίτερη προστασία. Αυτή επιτυγχάνεται με ειδικές επιφανειακές επεξεργασίες και βαφές. Βρίσκουν εφαρμογές στην αεροναυπηγική και σε άλλες κατασκευές. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται τυπικά κράματα της σειράς.

9.2.3. Συγκολλήσεις αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου

Το αλουμίνιο θεωρείται ένα από τα ευκολότερα μέταλλα για συγκόλληση, μόνο που τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του απαιτούν διαφορετική πρακτική από όσα εφαρμόζονται στη συγκόλληση χάλυβα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου όπως προαναφέρθηκε είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χάλυβα, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς μηχανημάτων για την τυπική συγκόλληση αντιστάσεως.

Η θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι επίσης μεγαλύτερη εκείνης του χάλυβα, επομένως χρειάζεται περισσότερη θερμική ενέργεια για τη συγκόλληση.

Τέλος είναι γνωστό ότι η ελεύθερη επιφάνεια του αλουμινίου καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου, που του παρέχει και παθητική προστασία οξείδωσης. Αυτό το στρώμα οξειδίου, πρέπει να αφαιρείται με βούρτσισμα, λίγο πριν τη συγκόλληση του μετάλλου. Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του αλουμινίου είναι διπλάσιος εκείνου του χάλυβα, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Το λιωμένο αλουμίνιο μπορεί να απορροφήσει υδρογόνο, γεγονός που ίσως δημιουργήσει πόρους στην κόλληση. Η καλή προετοιμασία της επιφάνειας του μετάλλου (καθαρισμός από ενώσεις που μπορεί να εκλύουν υδρογόνο, π.χ. απολίπανση) προστατεύει την ποιότητα της κόλλησης.

Οι 2 βασικότερες μέθοδοι συγκόλλησης αλουμινίου είναι:

- Μέθοδος TIG (Tungsten Inert Gas)
- Μέθοδος MIG (Metal Inert Gas)

Και οι δυο μέθοδοι, μπορούν να εφαρμοσθούν είτε χειροκίνητα, είτε με αυτόματες διατάξεις και ρομπότ. Με την ανάπτυξη αυτομάτων διατάξεων συγκολλήσεως, μπορούν σήμερα να διαχειριστούν με συγκόλληση πάχη αλουμινίου από 0,5 έως και πάνω από 75 mm.

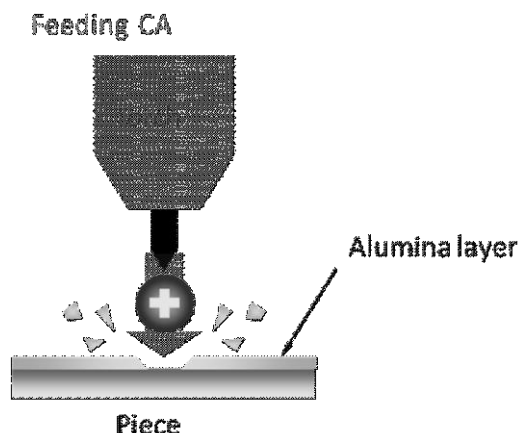
Άλλες τεχνικές συγκόλλησης που εφαρμόζονται είναι η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων, η συγκόλληση με δέσμη λέιζερ, η συγκόλληση δια τριβής κλπ.

9.2.3.1. Μέθοδος TIG

Το τόξο συγκόλλησης, προέρχεται από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και εφαρμόζεται μεταξύ του αλουμινίου για κόλληση και ενός ηλεκτροδίου από βολφράμιο. Εφόσον απαιτείται, χρησιμοποιείται και υλικό πλήρωσης (filler rod). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως σε συγκολλήσεις όπου η πρόσβαση είναι εφικτή μόνο από τη μία πλευρά (κλειστά προφίλ, σωλήνες κλπ.)

Στη συγκόλληση χαλύβων με τεχνική TIG, το ηλεκτρόδιο είναι συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο της συγκολλητικής μηχανής και τα αντικείμενα προς συγκόλληση είναι συνδεδεμένα με το θετικό πόλο. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα χρήσης της θερμοηλεκτρικής ισχύος του μη καταναλισκόμενου ηλεκτροδίου. Η ενέργεια των αρνητικών φορτίων που αποδίδεται στο κομμάτι είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που διαχέεται από τα θετικά φορτία που κατευθύνονται και χτυπούν το ηλεκτρόδιο.

Με την παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να γίνει χρήση του πλεονεκτήματος του φαινομένου της ιοντικής αμμοβολής: θετικά ιόντα, πολύ βαρύτερα από τα αρνητικά φορτία, χτυπούν το κομμάτι προς συγκόλληση κατά την ημιπερίοδο στην οποία το ηλεκτρόδιο είναι συνδεδεμένο με τον θετικό πόλο. Το αποτέλεσμα είναι να αποσυντίθεται το επιφανειακό στρώμα αλούμινας που εμποδίζει την τήξη του μετάλλου βάσης (Σχήμα 9.2).



Εικόνα 113: Ιοντική αμμοβολή

Κατά τη διάρκεια της σύνδεσης με εναλλασσόμενο ρεύμα η έναυση του τόξου στην ημιπερίοδο που το ηλεκτρόδιο είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο πραγματοποιείται με μεγαλύτερη δυσκολία: ένα γεγονός που ορίζεται ως “φαινόμενο της ανόρθωσης”. Με σκοπό να διατηρείται συνεχώς το τόξο, μία βοηθητική γεννήτρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ώστε να διατηρηθεί η ατμόσφαιρα ιονισμένη κατά τη στιγμή που το τόξο είναι ανενεργό.

9.2.3.2. Μέθοδος MIG

Το τόξο συγκόλλησης προέρχεται από πηγή συνεχούς ρεύματος, ανεστραμμένης πολικότητας (με το ηλεκτρόδιο θετικό) και εφαρμόζεται μεταξύ του αλουμινίου και του μετάλλου πληρώσεως (filler metal). Το ηλεκτρόδιο, έχει μορφή τυλιγμένου σύρματος που αυτόματα ξετυλίγεται, προωθείται και συντηρεί το τόξο. Και στη μέθοδο MIG, η συγκόλληση προστατεύεται με αδρανές αέριο και προστατεύεται από οξείδωση. Οι μεγάλες αυτόματες μηχανές συγκόλλησης είναι τύπου MIG.

Τα προστατευτικά αέρια που χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση αλουμινίου είναι αργό, ήλιο και μίγμα αργού-ηλίου (70% - 30%). Το ήλιο εξασφαλίζει καλύτερη διείσδυση σε μίγματα με χαμηλά ποσοστά. Σε μίγματα με ήλιο μεγαλύτερο από 30% οι παροχές είναι μεγαλύτερες (το τόξο είναι περισσότερο ασταθές) και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πορώδους.

9.2.3.3. Ελαττώματα στις συγκολλήσεις κραμάτων αλουμινίου

Ελαττώματα που εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης οφείλονται στην αυξημένη θερμική αγωγιμότητα και στην αυξημένη ρευστότητα του λουτρού συγκόλλησης. Από τον πρώτο παράγοντα τα πιο συνηθισμένα σφάλματα που παρατηρούνται είναι το πορώδες και η ατελής τήξη. Σφάλμα που δημιουργείται από το δεύτερο παράγοντα είναι η ρωγμάτωση της συγκόλλησης. Λόγω του αυξημένου συντελεστή θερμικής διαστολής είναι δυνατό μετά τη συγκόλληση να υπάρχουν αυξημένες παραμένουσες τάσεις που σε συνδυασμό το χαμηλό όριο ελαστικότητας να προκαλούν μόνιμες παραμορφώσεις.

A. Πορώδες

Στην περίπτωση των κραμάτων αλουμινίου, η παρουσία ελαττωμάτων όπως το πορώδες δεν εξαρτάται μόνο από τη δεξιότητα του συγκολλητή.

Μεγάλη σημασία έχει το προστατευτικό αέριο. Απαιτούνται μία σειρά ελέγχων που παρουσιάζονται ακολούθως:

- Έλεγχος θερμοκρασιών και σημείων δρόσου
- Έλεγχος λεπτομερειών ευθυγράμμισης της μηχανής συγκόλλησης με το σημείο εναπόθεσης
- Αποφυγή συγκόλλησης κοντά σε περιοχές ή στοιχεία που εκλύουν υδρογονάνθρακες, διαλύτες ή υδρατμούς
- Επίσης το υλικό συγκόλλησης απαιτεί συγκεκριμένους ελέγχους
- Έλεγχος των συνθηκών αποθήκευσης των υλικών
- Χρήση θερμών χώρων: ξαφνική αύξηση της θερμοκρασίας καθορίζει τη συμπίκνωση της υγρασίας στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων
- Επικάλυψη της κουλούρας κατά τη συγκόλληση εάν είναι δυνατό και σε κάθε περίπτωση στο πέρας της εργασίας
- Έλεγχος της επιφανείας των ηλεκτροδίων

B. Ατελής τήξη

Στα κράματα του αλουμινίου το φαινόμενο αυτό είναι συνδεδεμένο με την αυξημένη θερμική αγωγιμότητα. Οι συνθήκες που ευνοούν την παρουσία ελαττωμάτων είναι :

- Συγκόλληση με πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία
- Συγκόλληση επί τόπου
- Εναπόθεση των πρώτων πάσων

Τα σφάλματα αυτά μπορούν να εξαλειφθούν με τις ακόλουθες ενέργειες:

- Προθέρμανση (για πάχη μεγαλύτερα από 20 mm, 80 ως 100°C)

- Πραγματοποίηση δοκιμών αναδίπλωσης κατά την πιστοποίηση της διαδικασίας συγκόλλησης

Γ. Αυξημένες παραμορφώσεις και παραμένουσες τάσεις

Οι τάσεις αυτές είναι συνδεδεμένες με τον αυξημένο συντελεστή θερμικής διαστολής και το χαμηλό όριο ελαστικότητας. Οι παραμορφώσεις μπορούν να μειωθούν όταν περιοριστούν κατάλληλα από τα συνδεδεμένα (παρόλα αυτά μία τέτοια ενέργεια θα αύξανε τις εναπομείναντες τάσεις). σε σημαντικά πάχη (μεγαλύτερα από 20 mm) μία συμμετρική προετοιμασία μπορεί να βοηθήσει να πραγματοποιηθεί η σύνδεση και από τις δύο πλευρές. Σε ιδιαίτερες συνθήκες, κατά τις οποίες η ολκιμότητα του μετάλλου βάσης είναι χαμηλή, οι αυξημένες παραμένουσες τάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ρωγμάτωση της σύνδεσης.

Για το λόγο αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή σε τεχνικές συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο λόγω της αυξημένης ρευστότητας του μπάνιου τήξης. Έτσι σε μειωμένα πάχη, συχνά πραγματοποιούνται συνδέσεις με εναπόθεση, ενώ σε συνδέσεις όπου η επανάληψη συγκόλλησης στην πίσω μεριά δεν είναι δυνατή συχνά υιοθετείται η τεχνική χρήσης ενός νεύρου στήριξης.

9.2.3.4. Επιλογή του μετάλλου προσθήκης

Σε αντίθεση με τους χάλυβες, σε κάθε μέταλλο βάσης μπορούν να αντιστοιχούν παραπάνω από ένα μέταλλα προσθήκης, αν έχουν ίσες ή υπερβαίνουν τις μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου βάσης (στην κατάσταση της συγκόλλησης). Συνδυαστικά, η επιλογή του μετάλλου συγκόλλησης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες παραμέτρους :

- Ευαισθησία στη ρωγμάτωση (στη θέρμανση)
- Μηχανική αντοχή
- Ολκιμότητα του συνδέσμου
- Θερμοκρασία λειτουργίας (με ιδιαίτερη έμφαση σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες)
- Αντίσταση σε διάβρωση
- Χρωματισμός συνδέσμου
- Πραγματοποίηση μιας ενδεχόμενης θερμικής διαδικασίας μετά τη συγκόλληση

9.3. Κράματα χαλκού

Ο χαλκός και τα κράματα του χαλκού επιλέγονται για τη μοναδική ιδιότητά τους να συνδυάζουν αυξημένη αντοχή σε διάβρωση, αυξημένη μηχανική αντοχή και θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έχουν εφαρμογή σχεδόν σε κάθε τομέα της βιομηχανίας από μικροηλεκτρονικά έως εγκαταστάσεις βαριάς βιομηχανίας. Για την συγκόλλησή τους

μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε γνωστή μέθοδος (συγκολλήσεις μεσαίων θερμοκρασιών, επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, TIG, MIG, δέσμη Laser, δέσμη ηλεκτρονίων κλπ).

Πιο αναλυτικά τα κυρία χαρακτηριστικά του χαλκού και των κράματων του είναι :

- Υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Καλή ολκιμότητα και δυσθραυστότητα ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Καλή αντοχή σε διάβρωση στα περισσότερα διαβρωτικά υγρά αν και το υδροξείδιο αμμωνίου (NH₄OH – αμμωνία διαλυμένη σε νερό) μπορεί να διαβρώσει το χαλκό και τα κράματά του
- Σημείο τήξης 1083°C
- Πυκνότητα (8.94 g/cm³) υψηλότερη από τους κοινούς χάλυβες
- Υψηλή ρευστότητα της υγρής φάσης (τηγμένη φάση)

9.3.1. Ορείχαλκος

Ο ορείχαλκος είναι κράμα χαλκού (Cu) - ψευδαργύρου (Zn) με Zn < 50%. Επίσης είναι δυνατή η προσθήκη μικρών ποσοτήτων από τα στοιχεία Mn, Sn, Si, Ni, Pb και Al, αλλά με ένα μέγιστο ολικό ποσοστό περίπου 4%.

Η αύξηση του περιεχόμενου Zn μειώνει το σημείο τήξης, την πυκνότητα, την ηλεκτρική και τη θερμική αγωγιμότητα του κράματος.

Για ποσοστά Zn μέχρι 20%, το κράμα παρουσιάζει καλή ολκιμότητα σε υψηλές θερμοκρασίες που τείνει να μειώνεται με αύξηση του περιεχόμενου Zn. Επίσης οι ορείχαλκοι με ποσοστό Zn < 20% παρουσιάζουν καλή συγκολλησιμότητα, ενώ ορείχαλκοι με ποσοστό Zn > 20% παρουσιάζουν χαμηλή συγκολλησιμότητα.

Για ποσοστά Zn πάνω από 36%, είναι δυνατός ο σχηματισμός της φάσης-β. Η φάση αυτή είναι ψαθυρή σε χαμηλές θερμοκρασίες αλλά όλκιμη σε υψηλές θερμοκρασίες και παρουσιάζει χαμηλή διαμορφωσιμότητα (μόνο η διαμόρφωση εν θερμώ είναι δυνατή).

Για περιεχόμενο Zn σε ποσοστά μεγαλύτερα από 50%, λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός της δ-φάσης. Η δ-φάση είναι πολύ ψαθυρή και με πολύ κακή διαμορφωσιμότητα (εν ψυχρώ και εν θερμώ).

Συνοψίζοντας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα φάσεων στο σύστημα χαλκού-ψευδαργύρου είναι δυνατό να έχουμε :

- Ορείχαλκους α-φάσης με Zn < 36%, με καλή διαμορφωσιμότητα (π.χ. το κράμα 70/30)
- Ορείχαλκους β-φάσης με Zn μεταξύ της περιοχής 36-45%, με καλή διαμορφωσιμότητα εν θερμώ (π.χ. το κράμα 60/40)

Ο ψευδάργυρος σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 400°C, παράγει ατμούς με ένα χαρακτηριστικό λευκό χρωματισμό που είναι επικίνδυνος για τους συγκολλητές. Για να

μειωθεί η εκπομπή των ατμών αυτών είναι δυνατή η προσθήκη πυριτίου (Ορείχαλκοι Χαμηλών Εκπομπών)

9.3.2. Μπρούντζος

Τα κράματα Χαλκού-Κασσιτέρου ονομάζονται μπρούντζοι και το ποσοστό του περιεχόμενου Sn κυμαίνεται στην περιοχή 1-10% με πιθανές προσθήκες Zn, Pb και Ni. Γενικά η προσθήκη Sn αυξάνει τη σκληρότητα και τις μηχανικές αντοχές.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα τα κράματα με ποσοστά περιεχόμενου Sn χαμηλότερα από 13% γενικά παρουσιάζουν μονοφασική μικροδομή με τη φάση α. Βεβαίως ακόμα και με ποσοστά Sn περίπου 5% είναι δυνατό μέσω φαινομένων διαχωρισμού να σχηματιστεί η β-φάση. Για ποσοστά Sn > 13%, η β-φάση σχηματίζεται ως μητρική.

Για Sn > 13% το εύρος του σημείου τήξης είναι πολύ μεγάλο (μπορεί να είναι και πάνω από 200°C). Η β-φάση σχηματίζεται περίπου στους 800°C μέσω ενός περιτηκτικού μετασχηματισμού. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η β-φάση μπορεί να υποστεί περαιτέρω μετασχηματισμούς σε στερεά κατάσταση (σχηματισμός της πολύ ψαθυρής δ-φάσης).

9.3.2.1. Μπρούντζοι με αλουμίνιο

Το ποσοστό του Al κυμαίνεται από 3% έως 13%, με πιθανές μικρές προσθήκες Fe, Ni, Mn και Si. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κραμάτων: Κράματα μονοφασικά τύπου-α με ποσοστό Al έως 8% και κράματα διφασικά τύπου α+β με ποσοστό Al > 8% έως 11% που είναι δυνατό να σκληρυνθούν με θερμική κατεργασία.

Οι μονοφασικοί και διφασικοί μπρούντζοι έχουν χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και συνεπώς καλύτερη συμπεριφορά στη συγκόλληση.

Οι μπρούντζοι α-φάσης μπορούν να συγκολληθούν εύκολα χωρίς προθέρμανση, αν και κράματα με περιεχόμενο Al κοντά στο 8% είναι ευαίσθητα σε θερμικές μεταβολές γεγονός που συνεπάγεται υψηλότερο ρίσκο για ρωγμάτωση στη ΘΕΖ κατά τη συγκόλληση.

Κράματα με ποσοστό Al > 8% (έως 11%) με τη διφασική μικροδομή α+β είναι δυνατό να σκληρυνθούν με θερμική κατεργασία (βαφή με νερό ή λάδι από 850 , 1000°C και ακολούθως ανόπτηση στους 420 , 650°C). Τα διφασικά αυτά κράματα α+β παρουσιάζουν καλές μηχανικές ιδιότητες, καλή (εν θερμώ και εν ψυχρώ) ολκιμότητα που συνεπάγεται και ικανοποιητική συγκολλησιμότητα.- **Κράματα με Al > 11%** περιέχουν την ψαθυρή φάση γ2 .

- **Κράματα με περιεχόμενο Al** μεταξύ 8.5% και 11% και με προσθήκη Ni από 3 έως 5% παρουσιάζουν διφασική μικροδομή α+κ και εμφανίζουν ψαθυρότητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό οι συγκολλήσεις γίνονται με μέταλλο συγκόλλησης χωρίς Ni.

9.3.2.2. Μπρούντζοι με πυρίτιο

Το ποσοστό του Si κυμαίνεται από 1.5 έως 4%, με πιθανή προσθήκη μικρών ποσοτήτων από Zn, Sn, Mn και Fe. Γενικά η προσθήκη Si αυξάνει την σκληρότητα και τις μηχανικές ιδιότητες, ενώ η ολκιμότητα αυξάνεται για ποσοστά Si μεταξύ της περιοχής 1% έως 4%.

Η μειούμενη διαλυτότητα του Si τους 850°C και κάτω μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να πραγματοποιηθούν τεχνικές βαφής (με ποσοστό Si υψηλότερο από 3,5%).

Οι μπρούντζοι με πυρίτιο γενικά παρουσιάζουν καλή συγκολλησιμότητα.

9.3.2.3. Μπρούντζοι με βηρύλλιο

Τα κράματα σχηματίζονται με προσθήκη βηρυλλίου στο χαλκό. Τα κράματα αυτά είναι σκληρυνόμενα με κατακρήμιση και αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της διαλυτότητας του βηρυλλίου από 2% στο 0,3% ξεκινώντας από μία θερμοκρασία 870°C. Γενικά παρουσιάζουν κακή συγκολλησιμότητα.

9.3.2.4. Νικελιούχοι μπρούντζοι

Τα κράματα Cu – Ni, με Ni < 30%, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές σε περιβάλλον θαλασσινού νερού. Τα δύο στοιχεία χαλκός και νικέλιο παρουσιάζουν πλήρη διαλυτότητα το ένα στο άλλο (βλέπε διάγραμμα φάσεων Χαλκού-Νικελίου)

Στους νικελιούχους μπρούντζους είναι επίσης δυνατή η προσθήκη Fe, Mn και Zn. Γενικά οι μηχανικές αντοχές αυξάνουν με αυξανόμενο το ποσοστό του Ni.

Οι νικελιούχοι μπρούντζοι παρουσιάζουν χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Επίσης είναι πιθανό να παρουσιάσουν ευθραυστότητα σε υψηλές θερμοκρασίες με την παρουσία προσμίξεων Pb και S (υπάρχει ο κίνδυνος ρωγμάτωσης κατά τη συγκόλληση).

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα φάσεων στα ποσοστά περιεχόμενου Cu από 50 έως 80% υπάρχει μεγάλο εύρος στερεοποίησης γεγονός που εγκυμονεί κινδύνους διαφορισμού και ρευστοποίησης.

Τα κράματα του συστήματος αυτού αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το ποσοστό του Ni. Τρεις τύποι κραμάτων είναι διαθέσιμοι:

- 10Ni (C70600, Cupronickel 90/10)
- 20Ni (C71000, Cupronickel 80/20)
- 30Ni (C71500, Cupronickel 70/30)

9.3.3. Ταξινόμηση κραμάτων χαλκού

Για την ταξινόμηση των κραμάτων του χαλκού μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα πρότυπα (UNI, EN, DIN, ASTM, ISO). Τη μεγαλύτερη εφαρμογή στα κράματα αυτά βρίσκει το πρότυπο Unified Numbering System (UNS):

C 1XXXX	: Καθαρός Cu και κραματωμένος με (Cd, Be)
C 2XXXX	: Κράματα Cu - Zn Alloys (ορείχαλκοι)
C 3XXXX	: Κράματα Cu - Zn και άλλα κράματα (ειδικοί ορείχαλκοι)
C 4XXXX	: Κράματα Cu - Zn - Sn (ορείχαλκοι ναυτικού)
C 5XXXX	: Κράματα Cu - Sn alloy (μπρούντζοι)
C 6XXXX	: Κράματα Cu-Al & Cu-Si (μπρούντζοι με αλουμίνιο και πυρίτιο)
C 7XXXX	: Κράματα Cu - Ni (Cupro-nickel)
C 8XXXX	: Κράματα για χύτευση
C 9XXXX	

9.3.4. Συγκολλήσεις χαλκού και κραμάτων χαλκού

Ο βαθμός συγκολλησιμότητας εξαρτάται από το κράμα. Γενικά σε κράματα με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα απαιτείται μεγάλη προθέρμανση, ακόμα και για μικρά ή μεσαία πάχη καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της ατελούς τήξης.

Στα κράματα του χαλκού το φαινόμενο αυτό γεγονός αυτό εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό του Cu και θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη ειδικά για ποσοστά Cu πάνω από 90%. Σε χαμηλότερα ποσοστά Cu αντιστοιχούν μειωμένες τιμές θερμικής αγωγιμότητας και συνεπώς και οι προθερμάνσεις είναι χαμηλότερες.

Η συγκόλληση κραμάτων χαλκού που είναι στερεά διαλύματα και που υπόκεινται σε κατεργασίες εν ψυχρώ (όμοια με την περίπτωση κραμάτων αλουμινίου της κατάστασης HXXX) ουσιαστικά εισάγει μία θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία (αντίστοιχη της ανόπτησης) πλησίον της ΘΕΖ της συγκόλλησης. Η επίδραση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά της διάρκειας του σχεδιασμού των αντικειμένων και των τρόπων συνδέσεών τους.

Μερικά κραματικά στοιχεία (π.χ. Zn, Cd και P) μπορεί να εξαχνωθούν κατά τη συγκόλληση. Το φαινόμενο της εξαχνωσης μπορεί να δημιουργήσει πορώδες μέσα στο μέταλλο συγκόλλησης κυρίως λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας (οι ρυθμοί στερεοποίησης μπορεί να είναι πολύ μεγάλοι).

Πολλά κράματα χαλκού επίσης παρουσιάζουν μια υψηλή ευαισθησία σε οξείδωση, και σχηματίζουν οξειδία που είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από τη μήτρα (ειδικότερα το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στους μπρούντζους αλουμινίου).

Για το λόγο αυτό, πριν τη συγκόλληση, είναι πολύ σημαντικό να ολοκληρωθεί η διαδικασία απομάκρυνσης των οξειδίων από το μέταλλο βάσης και το μέταλλο συγκόλλησης. Επιπλέον των προαναφερθέντων προβλημάτων, τα οξείδια μπορούν να απορροφήσουν υγρασία και τον τρόπο αυτό να εισάγουν αέρια εγκλείσματα στη συγκόλληση.

Στην περίπτωση κραμάτων χαλκού σκληρυνόμενων με κατακρήμνιση, στοιχεία όπως Be, Cd, Zr τείνουν να σχηματίζουν μεγάλα κατακρημνίσματα στη ΘΕΖ. Μία συνήθης πρακτική (όπου είναι δυνατό) είναι η συγκόλληση να πραγματοποιείται σε ανοπτημένα κράματα και στη συνέχεια να κατεργάζονται θερμικά όπως απαιτείται (ανόπτηση διαλυτοποίησης και γήρανση - solution annealing and ageing).

Μερικά κράματα επίσης (π.χ. μπρούντζοι αλουμινίου με Al < 8%) παρουσιάζουν ευθραυστοποίηση σε υψηλές θερμοκρασίες με συνέπεια την ευαισθησία σε θερμή ρωγμάτωση στο μέταλλο συγκόλλησης ή στη ΘΕΖ (ρωγμάτωση ρευστοποίησης). Άλλα κράματα παρουσιάζουν μεγάλο εύρος στερεοποίησης (κασσιτερούχοι μπρούντζοι). Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι χρήσιμη η εφαρμογή όλων των τυπικών προληπτικών μέτρων πριν τη συγκόλληση και ειδικότερα η μείωση των συνθηκών αντίστασης.

Η πιθανή παρουσία του οξειδίου του χαλκού, όπως προαναφέρθηκε, τείνει να σχηματίζει ευτηκτική φάση στα όρια των κόκκων τόσο στο μέταλλο συγκόλλησης όσο και στη ΘΕΖ. Είναι δυνατό τότε να σχηματισθούν περικρυσταλλικές ρωγμές.

Σε όλα τα κράματα με μεγάλη αγωγιμότητα απαιτείται γενικά μία υψηλή προθέρμανση. Η τεχνική συγκόλλησης “string beads” προτείνεται επίσης σε συνδυασμό με την προθέρμανση, λαμβάνοντας πάντα προσοχή ώστε να μην εκτεθεί το ρευστό μέταλλο στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Γενικά προτείνεται μία επίπεδη θέση συγκόλλησης. Το πρώτο πάσο πρέπει να είναι αρκετά παχύ ώστε να αποφευχθεί πιθανός κίνδυνος διάρρηξης κατά τη συγκόλληση.

9.3.4.1. Συγκόλληση καθαρού χαλκού

Στη συγκόλληση καθαρού χαλκού η πιθανή παρουσία του οξειδίου του χαλκού (κυπρίτη) τείνει να σχηματίσει ευτηκτική φάση στα όρια των κόκκων τόσο στο μέταλλο συγκόλληση όσο και στη ΘΕΖ. Επίσης είναι δυνατό εξαιτίας του φαινομένου αυτού να σχηματισθούν περικρυσταλλικές ρωγμές και είναι πολύ σημαντικό για τη συγκόλληση η επιλογή αποξειδωμένου χαλκού.

Λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας απαιτείται γενικά μία υψηλή προθέρμανση. Επιπροσθέτως όπως αναφέρθηκε παραπάνω προτείνεται η τεχνική συγκόλλησης “string beads” σε αυτή την περίπτωση λαμβάνοντας προσοχή ώστε να μην εκτεθεί το ρευστό μέταλλο στην εξωτερική ατμόσφαιρα.

9.3.4.2. Συγκόλληση ορείχαλκων

Η μείωση του ποσοστού του Cu στα κράματα Cu-Zn (που συνεπάγεται και μείωση της θερμικής αγωγιμότητας) έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου ατελούς τήξης και συνεπώς μπορεί να μειωθεί και η θερμοκρασία προθέρμανσης.

Παρόλα αυτά στη συγκόλληση των ορείχαλκων υπάρχει ο κίνδυνος εξάχνωσης Zn, με πιθανότητα τη δημιουργία πορώδους στο μέταλλο συγκόλλησης. Τα μονοφασικά κράματα τύπου-α (ειδικά με το ποσοστό Zn > 20%) είναι επίσης ευαίσθητα σε θερμή ευθραυστοποίηση (ευαισθησία σε θερμή ρωγμάτωση).

Αντίθετα τα διφασικά κράματα τύπου (α + β) παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία σε θερμή ρωγμάτωση αλλά η συγκόλλησή τους μπορεί να γίνει πιο δύσκολη λόγω του υψηλού ποσοστού Zn (εξάχνωση ψευδαργύρου).

Στη συγκόλληση ορείχαλκων το μέταλλο προσθήκης δεν είναι ίδιο με το μέταλλο βάσης (ERCuSn-A, ERCuSi-A). Προτεινόμενη προθέρμανση: 100 , 350°C (ανάλογα με το ποσοστό Zn%). Επίσης το τόξο συγκόλλησης πρέπει να τοποθετείται στη λίκνη του μετάλλου συγκόλλησης και ποτέ στο μέταλλο βάσης.

9.3.4.3. Συγκόλληση μπρούντζων

Τα μονοφασικά κράματα τύπου-α (έως 13% Sn) παρουσιάζουν μεγάλο εύρος στερεοποίησης με αποτέλεσμα να υπάρχει το φαινόμενο μεγέθυνσης κόκκων σε οποιαδήποτε θέρμανση του μετάλλου και συνεπώς και κατά τη συγκόλληση.

Η λίκνη μετάλλου στους μπρούντζους έχει χαμηλή ρευστότητα, και είναι δύσκολα διαχειρίσιμη κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Συνεπώς απαιτείται μέση προθέρμανση,

όχι υψηλότερα από 200°C (και διατήρηση των ίδιων θερμοκρασιών ανάμεσα στα πάσα ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος θερμής ρωγμάτωσης).

Στους μπρούντζους η συγκόλληση μπορεί να γίνει με εφαρμογή τεχνικών συγκόλλησης όπως MIG, TIG και επενδεδυμένα ηλεκτρόδια. Σε κάθε πάσο προτείνεται η τεχνική της τοπικής θέρμανσης στο τέλος του πάσου ώστε να μειωθούν τυχόν παραμένουσες τάσεις και οι κίνδυνοι θερμής ρωγμάτωσης του μετάλλου συγκόλλησης. Γενικά η εφαρμογή θερμικής κατεργασίας μετά τη συγκόλλησης (σε $T = 480^{\circ}\text{C}$ με γρήγορη ψύξη) επιτρέπει την αύξηση της ολκιμότητας και της αντοχής σε διάβρωση της συγκόλλησης.

9.3.4.4. Συγκόλληση μπρούντζων με αλουμίνιο

Οι μονοφασικοί μπρούντζοι με αλουμίνιο τύπου-α ($\text{Al} < 7.5\%$) είναι ευαίσθητοι σε θερμή ευθραυστοποίηση και παρουσιάζουν χαμηλή συγκολλησιμότητα (κίνδυνος θερμής ρωγμάτωσης στο μέταλλο συγκόλλησης και στη ΘΕΖ). Επίσης χρησιμοποιείται μέταλλο προσθήκης με μεγαλύτερο ποσοστό Al (στη περιοχή του 8 έως 10%) έτσι ώστε το μέταλλο συγκόλλησης να είναι διφασικό τύπου (α+β).

Το μέταλλο προσθήκης περιέχει και άλλα κραματικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα Fe (1,5 - 3%) και Ni (έως 5%).

Γενικά στους μπρούντζους αλουμινίου δεν απαιτείται προθέρμανση. Όταν πραγματοποιείται προθέρμανση (π.χ. για μεγάλα πάχη και $\text{Al} = 10\text{-}13\%$), δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 150°C. Είναι πολύ σημαντικό να εφαρμόζεται μικρή εισαγωγή θερμότητας. Για την τεχνική TIG, προτείνεται η παροχή να είναι εναλλασόμενο ρεύμα AC ώστε να καθαρίζεται καλύτερα το οξειδίο (που οφείλεται στο αλουμίνιο) κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

9.3.4.5. Συγκόλληση μπρούντζων με πυρίτιο

Τα κράματα αυτά έχουν καλή συγκολλησιμότητα, λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, την αποδοτική αποξείδωση και προστασία που επιτυγχάνεται με την παρουσία του πυριτίου στη λίμνη μετάλλου. Το εύρος στερεοποίησης του υγρού μετάλλου είναι πολύ μικρό με αποτέλεσμα να μην απαιτείται προθέρμανση.

Τα κράματα παρουσιάζουν μία θερμή ευθραυστότητα σε μία πολύ μικρή θερμοκρασιακή περιοχή κάτω από τη θερμοκρασία πλήρους στερεοποίησης "solidus". Τέλος η ρευστότητα της λίμνης μετάλλου δεν είναι κρίσιμο στοιχείο για τη συγκόλληση.

Το μέταλλο συμπλήρωσης έχει σύσταση ανάλογη με το μέταλλο βάσης (ERCuSi-A, ECuSi). Είναι όμως εφικτό να χρησιμοποιηθεί και αλουμινούχος μπρούντζος ως μέταλλο συμπλήρωσης (ERCuAl-A2, ECuAl-A2).

9.3.4.6. Συγκόλληση κραμάτων χαλκού-νικελίου

Είναι κράματα με καλή συγκολλησιμότητα (με όλες τις τεχνικές MMA, TIG, MIG, SAW).

Για τη συγκόλληση πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- το μεγάλο εύρος στερεοποίησης,
- η μονοφασική μικροδομή,
- η μεγέθυνση των κόκκων.

Ο καθαρισμός των ηλεκτροδίων πριν τη συγκόλληση είναι πολύ σημαντικός (έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα οξείδια και οι ακαθαρσίες, ειδικά το θείο που προκαλεί φαινόμενα ρηγματώσεων στη ΘΕΖ)

Γενικά δεν απαιτείται προθέρμανση. Ως μέταλλο συμπλήρωσης συνήθως χρησιμοποιείται το 70%Cu-30%Ni (ERCuNi, ECuNi). Η συγκόλληση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε όλες τις θέσεις (η λίμνη μετάλλου έχει χαμηλή ρευστότητα).

9.4. Τα κράματα νικελίου

Τα κράματα νικελίου αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου τα στοιχεία κατασκευής εκτίθενται σε δύσκολες συνθήκες όπως ερπυσμός υψηλών θερμοκρασιών, αντοχή σε εφελκυσμό και ολκιμότητα σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και αντοχή σε οξείδωση. Τέτοιες συνθήκες παρατηρούνται σε τουρμπίνες αερίων στη βιομηχανία, όπου τα υλικά κατασκευής των συναντώνται με αέρια υψηλών θερμοκρασιών.

9.4.1. Σύσταση και ταξινόμηση των κραμάτων νικελίου

Σειρά 200. Νικέλιο σε Στερεό Διάλυμα. Τυπικά δε σκληραίνει με θερμική κατεργασία. Τα κράματα 200-201 χρησιμοποιούνται σε χημικές βιομηχανίες και βιομηχανίες τροφίμων σε εξαρτήματα και σωληνώσεις. Το κράμα 201 χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με θερμοκρασίες πάνω από 6000F. Περιέχει 99.5% νικέλιο.

Σειρά 300. Σκληρυνόμενα με κατακρήμιση Τα κράματα αυτά σκληραίνουν με θερμική κατεργασία. Κύριος εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής είναι κράματα Νικελίου-Χαλκού (Monel).

Σειρά 400. Στερεό Διάλυμα με Χαλκό. Τα κράματα αυτά είναι δύσθραυστα με υψηλή αντοχή και αντοχή σε διάβρωση. Τυπικό παράδειγμα το κράμα 405 με σύσταση 66% Ni, 31% Cu, 1.25% Fe, 1% Mn.

Σειρά 500. Κράματα νικελίου-χαλκού σκληρυνόμενα με κατακρήμιση. Τα κράματα της σειράς αυτής ενισχύονται με προσθήκη αλουμινίου (Al) και τιτανίου (Ti).

Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται υψηλή αντοχή/σκληρότητα και αντοχή σε διάβρωση. Τυπικό παράδειγμα το κράμα K500 με σύσταση 66.5% Ni, 28% Cu, 3%Al.

Σειρά 600. Στερεό διάλυμα Νικελίου-Χρωμίου. Πρόκειται για ευρέως χρησιμοποιούμενα κράματα. Κράματα όπως τα 600, 601, 625 παρουσιάζουν πολύ καλή αντοχή σε διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Πολύ καλή αντοχή σε ευθραυστοποίηση παρουσία χλωριόντων και αντοχή σε διάβρωση από απιονισμένο νερό. Χρησιμοποιούνται σε αντιδραστήρες, μονάδες παραγωγής ενέργειας κλπ. Το κράμα 625 παρουσιάζει καλή συγκολλησιμότητα με τεχνικές TIG/MIG. Τυπική σύσταση είναι η ακόλουθη 61% Ni, 21.5% Cr, 9% Mo, 3.65% Nb, 2.5% Fe.

Σειρά 700. Κράματα νικελίου-χρωμίου σκληρυνόμενα με κατακρήμνιση. Συνήθεις προσθήκες για σκλήρυνση είναι Al - Ti - Nb. Κοινά χρησιμοποιούμενα κράματα είναι 713C, 706, 718, X750, U500, U700, R41, Astroloy, Waspaloy. Όταν χρησιμοποιείται Nb αντί των Al, Ti η συγκολλησιμότητα βελτιώνεται. Πρακτική εφαρμογή σε τουρμπίνες αεριοθωμένων και εξαρτήματα ατράκτων. Τυπική σύσταση του Inconel 718 είναι 53% Ni, 19% Cr, 18.5% Fe, 3% Mo, 5.1% Nb, 0.9% Ti, 0.5%Al ενώ του X750 είναι 73% Ni, 15.5% Cr, 7% Fe, 2.5% Ti, 0.95% Nb.

Σειρά 800. Στερεό διάλυμα νικελίου-χρωμίου-σιδήρου. Τυπικοί αντιπρόσωποι της σειράς είναι τα κράματα 800, 825 και 20Nb. Το κράμα 800 χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών και έχει καλή αντοχή έναντι σε ενανθράκωση/οξειδωση. Τα κράματα 825 και 20 Nb χρησιμοποιούνται σε έντονο διαβρωτικό περιβάλλον με καλή αντοχή έναντι σε ευθραυστοποίηση χλωριο-ιόντων και σε οξεία. Η σύσταση του 825 είναι η ακόλουθη 42% Cr, 30% Fe, 21.5% Cr, 35% Mo, 2.5% Cu, 0.9% Ti.

Σειρά 900. Κράματα νικελίου-σιδήρου-χρωμίου σκληρυνόμενα με κατακρήμνιση. Το πιο κοινό κράμα της σειράς είναι το 901 (Incoloy 901). Τα κράματα της σειράς συγκολλούνται όπως και της σειράς 700. Η σύσταση του 901 είναι η ακόλουθη 42.7% Ni, 34% Fe, 13.5% Cr, 6.2% Mo, 2.5% Ti.

Hastelloy B - N - W. Κράματα νικελίου-μολυβδαινίου. Περιέχουν 16 - 28% Mo με προσθήκη χρωμίου και σιδήρου. Το κράμα B χρησιμοποιείται για εφαρμογές με υδροχλωρικό οξύ. Το κράμα N για τηγμένα φθοριούχα άλατα, το κράμα W για εφαρμογές που απαιτούν καλή αντοχή σε οξειδωση και διάβρωση.

Hastelloy C, C276, F, G, X. Κράματα νικελίου-χρωμίου-μολυβδαινίου. Το κράμα C παρουσιάζει καλή αντοχή σε διάβρωση και καλές μηχανικές αντοχές σε υψηλή θερμοκρασία. Το κράμα C-276 έχει χαμηλότερα ποσοστά σε άνθρακα και πυρίτιο έναντι του C με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μειωμένα κατακρημνίσματα στα όρια των κόκκων γεγονός που καθιστά το υλικό ικανό να συγκολληθεί.

Hastelloy D. Κράμα νικελίου-πυρίτιου. Πρόκειται για κράμα που εμφανίζεται σε χυτά προϊόντα με καλή αντοχή σε θειικό οξύ σε όλες τις θερμοκρασίες.

9.4.2. Συγκολλήσεις νικελίου και κραμάτων νικελίου

Πολλοί είναι οι παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν τη συμπεριφορά:

- Χημική σύσταση Η παρουσία αλουμινίου γενικότερα μειώνει δραστικά στη συγκολλησιμότητα του νικελίου ενώ το τιτάνιο την αυξάνει.
- Μέση διάμετρος κόκκου επηρεάζει τη συγκολλησιμότητα (χονδρόκοκκα υλικά π.χ. ASTM Grade 5 ή υψηλότερα, οδηγούν σε χαμηλότερη συγκολλησιμότητα (Πίνακας 3).
- Δημιουργία μικρορωγμών κατά τη συγκόλληση (στο μέταλλο συγκόλλησης και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη), ρωγμές κάτω από την επιφάνεια.
- Καλύτερη συγκολλησιμότητα είναι συνδεδεμένη με ανοπτημένες μικροδομές. Υψηλή ψυχρή παραμόρφωση (πάνω από 5-8%) οδηγεί σε χαμηλή συγκολλησιμότητα
- Παραμένουσες τάσεις από προηγούμενη ψυχρή κατεργασία (έλαση κλπ) μπορούν να οδηγήσουν σε δημιουργία ρωγμών (συνίσταται θερμική κατεργασία μετά την ψυχρά κατεργασία). Η προτεινόμενη θερμοκρασία ανόπτησης είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία διαλυτοποίησης, ώστε να αποφευχθεί η μεγέθυνση των κόκκων.
- Θερμική κατεργασία μετά τη συγκόλληση.
- Προσδιορισμός της ενέργειας που προσδίδεται κατά τη συγκόλληση.
- Σχεδιασμός των άκρων προς συγκόλληση.

9.4.3. Τεχνικές συγκόλλησης

Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά του νικελίου και των κραμάτων του που προσδιορίζουν τις τεχνικές συγκόλλησης είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και η παχύρρευστη λίμνη συγκόλλησης.

Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές συγκόλλησης νικελίου και κραμάτων αυτού είναι οι ακόλουθες :

1. Συγκόλληση GTA (Gas Tungsten Arc).
2. Συγκόλληση με Δέσμη Laser
3. Συγκόλληση με Δέσμη Ηλεκτρονίων (Electron Beam).

Πέρα των παραπάνω τεχνικών είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και Συγκόλληση με Τριβή (Friction Welding).

9.4.3.1. Συγκόλληση TIG

Η μέθοδος αυτή δίδει το πλεονέκτημα της κατασκευής πολύπλοκων εξαρτημάτων. Εφαρμόζεται συνήθως με μεγάλη επιτυχία ειδικά στα κράματα νικελίου που είναι στερεά διαλύματα. Μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος του τελικού εξαρτήματος και η εξάρτηση του αποτελέσματος από την άρτια τεχνική κατάρτιση του συγκολλητή.

Για να επιτευχθεί μείωση του κόστους κατασκευής οι κατασκευαστές προσανατολίζονται στη δυνατότητα επισκευής τέτοιων εξαρτημάτων. Για το λόγο αυτό επιλέγονται σύρματα συγκόλλησης πιο όλκιμα από το μέταλλο βάσης και μία σειρά θερμικών κατεργασιών πριν και μετά τη συγκόλληση για να αποφευχθούν οι ρωγμές στη ΘΕΖ.

9.4.3.2. Συγκόλληση Laser

Τα πλεονεκτήματα τεχνικής με χρήση Laser:

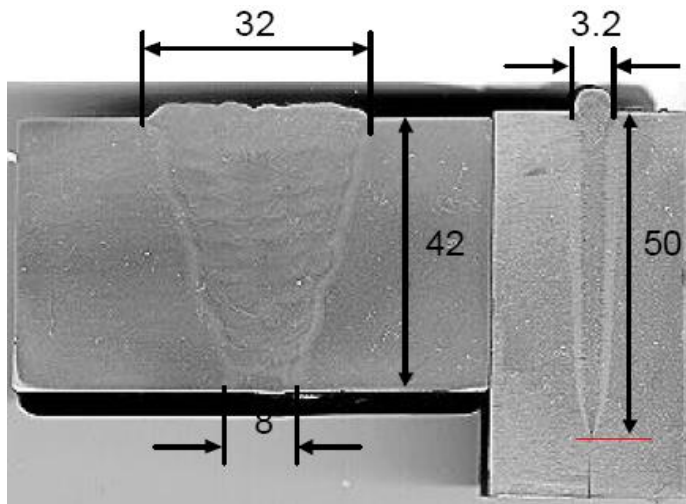
1. Ελαχιστοποίηση θερμικού επηρεασμού των υλικών προς συγκόλληση με αποτέλεσμα τη μείωση δημιουργίας μικρορωγμών και ανακρυστάλλωσης. Κατάλληλη τεχνική για υλικά ευαίσθητα στη ΘΕΖ και στη δημιουργία ρωγμών με γήρανση.
2. Ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης της όλης διεργασίας (on-line monitoring).
3. Δυνατότητα σύνδεσης διαφορετικών υλικών.
4. Δυνατότητα χρήσης αυτοματισμού και ρομποτικής.
5. Δυνατότητα εναπόθεσης νέου υλικού με χρήση laser και πούδρας και συνεπώς δυνατότητα επισκευής ακριβών ανταλλακτικών.
6. Το νικέλιο και τα κράματα νικελίου απορροφούν σημαντικό μέρος της ενέργειας από laser Nd:YAG σε σύγκριση με άλλα υλικά.



Εικόνα 114: Αναγόμευση με συγκόλληση laser σε πτερύγιο αεροκινητήρα

9.4.3.3 Συγκόλληση δέσμης ηλεκτρονίων

Η υψηλή παροχή ενέργειας ($\sim 300\text{kW/mm}^2$), η οποία είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που επιτυγχάνεται με μία κοινή μέθοδο συγκόλλησης τόξου ($\sim 10\text{kW/mm}^2$) δίνει τη δυνατότητα στη δέσμη των ηλεκτρονίων να οδηγήσει στην παραγωγή πολύ βαθύτερων και στενότερων συγκολλήσεων.



Εικόνα 115: (α) Παραδοσιακή συγκόλληση GTA με πολλαπλά πάσα
(β) Συγκόλληση ενός πάσου με χρήση EB

Πέρα από το πλεονέκτημα αυτό, είναι δυνατό με την τεχνική αυτή (όπως και στην περίπτωση των συγκολλήσεων με Laser) να συγκολληθούν με επιτυχία διαφορετικά υλικά.

Επίσης λόγω της χρήσης κενού η καθαρότητα των συγκολλήσεων που επιτυγχάνεται είναι η καλύτερη δυνατή. Το γεγονός αυτό κάνει τη συγκεκριμένη τεχνική πολύ σημαντική καθώς σε πολλές περιπτώσεις οξειδία και άλλα εγκλείσματα πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να μη δημιουργήσουν προβλήματα κατά την εφαρμογή του εξαρτήματος.

Μία πιθανή αποτυχία στην απομάκρυνση αυτών των εγκλεισμάτων μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αντοχή σε διάβρωση και οξείδωση. Συνεπώς σε μία κλασσική μέθοδο συγκόλλησης ο χρόνος που απαιτείται για τον καθαρισμό της συγκόλλησης νικελίου μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερος από μία συγκόλληση σε ανοξειδωτο χάλυβα. Μειονέκτημα έναντι της τεχνικής Laser είναι η απαίτηση κενού.

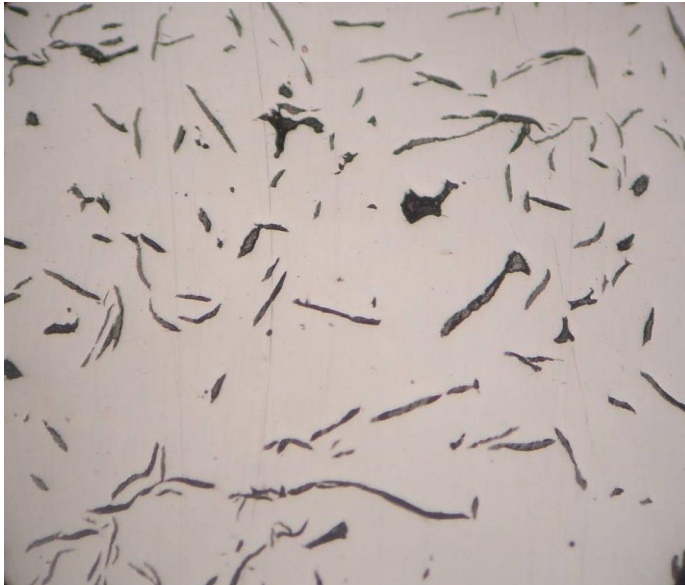
9.5. Χυτοσίδηροι

Ο χυτοσίδηρος είναι ουσιαστικά το πρώτο κράμα του σιδήρου που παρασκευάστηκε από την στιγμή που ο άνθρωπος κατάφερε να κάνει τη αναγωγή του σιδηρομεταλλεύματος σε σίδηρο.

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα που τον χαρακτηρίζει, η δομή του περιέχει καθαρό άνθρακα σε μορφή γραφίτη.

Η ύπαρξη καθαρού γραφίτη στην δομή των χυτοσιδήρων είναι αυτή που καθορίζει τις μηχανικές τους ιδιότητες και ουσιαστικά όλα τα είδη χυτοσιδήρων κατηγοριοποιούνται βάσει της μορφής που έχει ο γραφίτης στην δομή τους.

Παρά το γεγονός ότι οι χυτοσίδηροι γενικά είναι πολύ πιο ψαθυροί από τους χάλυβες και έχουν χειρότερες μηχανικές ιδιότητες, παρουσιάζουν μία σειρά χαρακτηριστικών που μέχρι σήμερα τους κάνει αναντικατάστατους για συγκεκριμένες εφαρμογές.



Εικόνα 116: Δομή γκρίζου χυτοσιδήρου

Οι χυτοσίδηροι είναι κράματα που περιέχουν 2 - 4% άνθρακα (C). Άλλα κραματικά στοιχεία περιλαμβάνουν 1,2 - 2,5% πυρίτιο (Si), 0,5 - 0,8% μαγγάνιου (Mn), και μικρότερα ποσοστά θείου (S) και φωσφόρου (P).

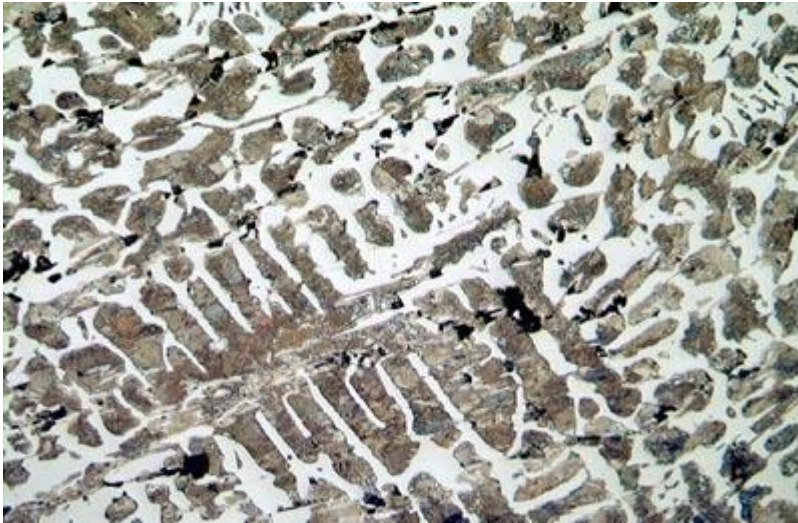
9.5.1. Λευκοί χυτοσίδηροι

Οι λευκοί χυτοσίδηροι είναι το μόνο είδος χυτοσιδήρων που η δομή τους δεν περιέχει άνθρακα με την μορφή γραφίτη αλλά είναι όλος δεσμευμένος στην μορφή καρβιδίων (σεμεντίτης)

Έχει σχετικά υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, αλλά είναι πολύ ψαθυρός και πολύ δύσκολος στην μηχανουργική κατεργασία.

Χαρακτηρίζεται από υψηλή σκληρότητα και αντοχή στην φθορά.

Οι λευκοί χυτοσίδηροι θεωρούνται μη συγκολλησιμοι.



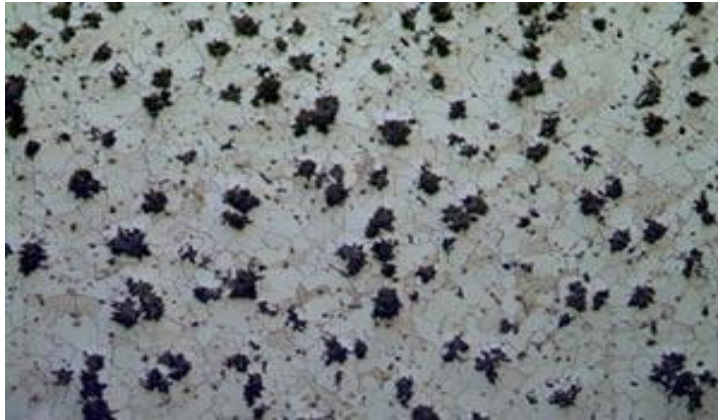
Εικόνα 117: Δομή λευκού χυτοσιδήρου

9.5.1.1. Μαλακτός χυτοσίδηρος

Ο χυτοσίδηρος αυτός παράγεται μετά από θέρμανση του λευκού χυτοσιδήρου στους 900-950°C για αρκετές μέρες και στην συνέχεια πολύ αργή ψύξη.

Η θερμική αυτή κατεργασία γίνεται σε μία προσπάθεια να αποκτήσει μεγαλύτερη ολκιμότητα ένας λευκός χυτοσίδηρος με την αφαίρεση του άνθρακα από τα καρβίδια και την κατακρήμνιση του σαν γραφίτη με ακανόνιστο «στρογγυλό» σχήμα

Στις περισσότερες εφαρμογές σήμερα ο μαλακτός χυτοσίδηρος έχει αντικατασταθεί από τον χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη.



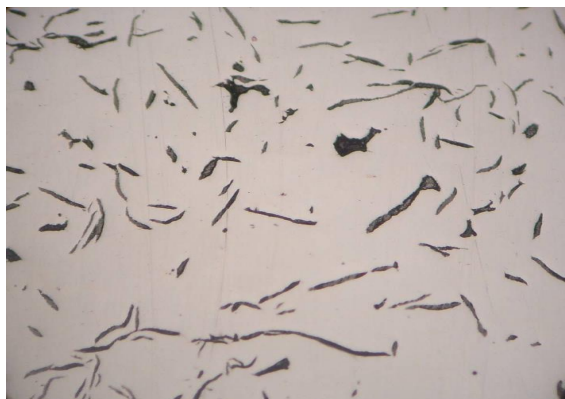
Εικόνα 118: Δομή λευκού χυτοσιδήρου

9.5.2. Γκρίζοι χυτοσίδηροι

Ο γκρίζος χυτοσίδηρος είναι το πρώτο είδος χυτοσιδήρου που κατασκευάστηκε και πολλοί θεωρούν τις ιδιότητες του αντιπροσωπευτικές όλων των χυτοσιδήρων.

Έχει μικρότερη σκληρότητα από τους λευκούς χυτοσιδήρους αλλά η ύπαρξη γραφίτη στην δομή, του δίνει πολύ καλές αντικραδασμικές και αυτολιπαντικές ιδιότητες.

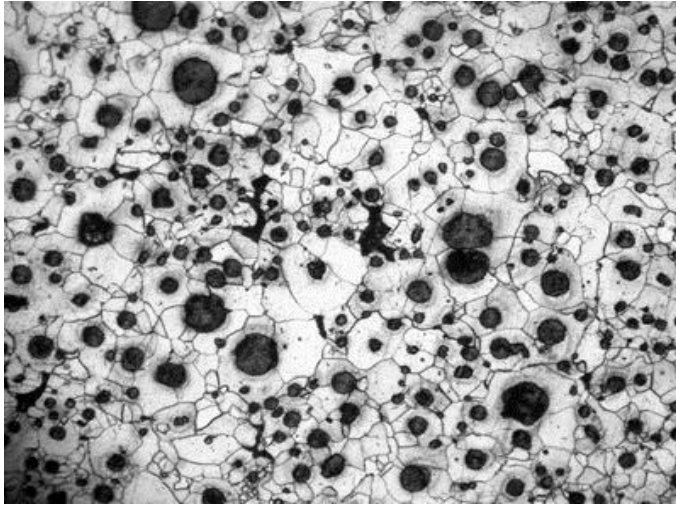
Η ύπαρξη του γραφίτη οδηγεί σε αστοχία χωρίς καθόλου παραμόρφωση και για αυτόν τον λόγο η τάση λειτουργίας αυτού του υλικού θεωρείται περίπου το $\frac{1}{4}$ της μέγιστης τιμής εφελκυσμού.



Εικόνα 119: Δομή γκρίζου χυτοσιδήρου

9.5.3. Σφαιροειδείς χυτοσίδηροι

Αυτοί οι χυτοσίδηροι παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένη ολκιμότητα και αντοχή σε εφελκυσμό σε σχέση με τους γκριζους χυτοσιδήρους. Χρησιμοποιούνται σε πιο ειδικές εφαρμογές που απαιτούν αντοχή σε δυναμικές καταπονήσεις.



Εικόνα 120: Δομή σφαιροειδούς χυτοσιδήρου

9.5.4. Συγκόλληση χυτοσιδήρων

Τα προβλήματα συγκολλησιμότητας που παρουσιάζουν οι χυτοσίδηροι οφείλονται κυρίως στην έλλειψη ολκιμότητας που τους χαρακτηρίζει, που σημαίνει ότι κάτω από υψηλή τάση θα σπάσουν αντί να υποστούν την παραμικρή παραμόρφωση. Αλλά και στην υψηλή τους περιεκτικότητα σε άνθρακα, που οδηγεί στην δημιουργία πολύ εύθραυστων φάσεων. Για αυτούς τους λόγους όλη η διαδικασία συγκόλλησης (αναλώσιμα, παράμετροι, μέθοδος) πρέπει να επιλέγεται ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τάσεις κατά την διαδικασία της συγκόλλησης.

Οι εφαρμογές των συγκολλήσεων στους χυτοσίδηρους εστιάζονται κυρίως στην επισκευή ελαττωμάτων που παρουσιάζονται είτε κατά την διάρκεια της κατασκευής του χυτού είτε κατά την λειτουργία τους.

Οι μέθοδοι συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται με επιτυχία είναι MMA, FCAW, MAG, TIG, OFW, και Brazing.

9.5.4.1. Λευκοί Χυτοσίδηροι

Θεωρούνται μη συγκολλησιμοι

9.5.4.2. Μαλακτοί Χυτοσίδηροι

Κατά την διάρκεια της συγκόλλησης η ΘΕΖ παρουσιάζει σημαντική μείωση της ολκιμότητας, γιατί ο γραφίτης διαλυτοποιείται και επανασηματίζεται σαν καρβίδια. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση μιας αποστατικής θερμικής κατεργασίας μετά την συγκόλληση στους 550°C για μικρά εξαρτήματα, ενώ για μεγαλύτερα κομμάτια προτείνεται προθέρμανση στους 200°C και μία πολυήμερη θερμική κατεργασία malleablising. Τα ηλεκτρόδια ή το μέταλλο προσθήκης που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως νικελιούχα αλλά σε μερικές περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί και απλά χαλύβδινα.

9.5.4.3. Γκρίζοι Χυτοσίδηροι

Η ύπαρξη του γραφίτη σε μορφή νιφάδων (flakes) κάνει πολύ εύκολη την εισαγωγή άνθρακα στο μέταλλο της συγκόλλησης και την ευθραυστοποίηση του. Για αυτό τον λόγο απαιτείται η χρήση τεχνικών που μειώνουν την διαλυτοποίηση. Η προθέρμανση είναι απαραίτητη και τυπικά εφαρμόζεται στους 315 °C. Σε περίπτωση χρήσης ηλεκτροδίων χάλυβα τότε απαιτούνται ακόμα πιο υψηλές θερμοκρασίες προθέρμανσης γύρω στους 550 °C. Γενικά προτείνεται η προθέρμανση να πραγματοποιείται ομοιόμορφα με την χρήση φούρνου, ενώ και η ψύξη πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο αργά και ομοιόμορφα.

9.5.4.4. Σφαιροειδής Χυτοσίδηροι

Έχουν καλύτερη συγκολλησιμότητα από τους γκρίζους όμως για μεγάλα εξαρτήματα προτείνεται η χρήση προθέρμανσης στους 315 °C. Σχεδόν πάντα συγκολλούνται με την χρήση νικελιούχων ηλεκτροδίων ενώ για την επίτευξη των βέλτιστων μηχανικών ιδιοτήτων τα εξαρτήματα πρέπει να ανοπτηθούν μετά την συγκόλληση.

9.5.4.5. Μέθοδοι Συγκόλλησης Τόξου

Χρήση μεθόδων μείωσης της διαλυτοποίησης.

- Επανάραξη του τόξου πάνω στο μέταλλο της συγκόλλησης και όχι στο μέταλλο βάσης
- Σε ενώσεις μεγάλου πάχους προτείνεται η χρήση τεχνικής buttering.
- Η μείωση της διεισδυτικότητας του τόξου επιτυγχάνεται με την χρήση short circuit dip transfer στις μεθόδους MIG, MAG FCAW καθώς και με την χρήση τόξου μικρού μήκους στην MMA.
- Η τιμή του ρεύματος που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή για το χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο.

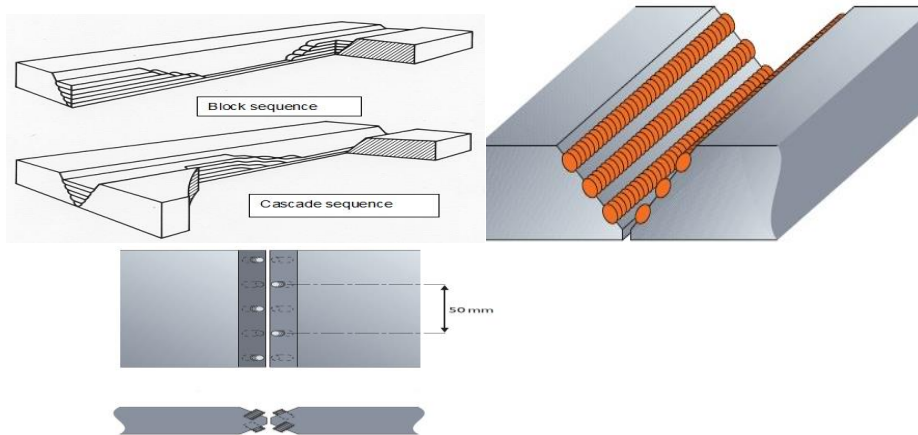
9.5.4.6. Συγκολλήσεις φλόγας Οξυγόνου - Ασετιλίνης

Η μεγαλύτερη θερμική παροχή αυτής της μεθόδου σημαίνει ότι απαιτείται η προθέρμανση του εξαρτήματος σε πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες (>600°C) πράγμα που απαιτεί την ύπαρξη φούρνου για ομοιομόρφη θέρμανση του εξαρτήματος και στην συνέχεια διατήρηση της θερμότητας και πολύ αργή ψύξη του εξαρτήματος.

Εάν είναι δυνατόν το εξάρτημα πρέπει να ζεσταίνεται ομοιόμορφα στους 750-800°C μετά την συγκόλληση και η ψύξη του να διαρκεί μία ολόκληρη ημέρα.

Εάν το μέταλλο εναπόθεσης είναι από χυτοσίδηρο τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιείται οξειδωτική φλόγα καθώς αυτό οδηγεί σε απώλεια Si και την δημιουργία ψαθυρών φάσεων. Το μέταλλο προσθήκης πρέπει να λιώνει με την βύθιση του στο λιωμένο μέταλλο της συγκόλλησης και όχι από την επαφή του με την φλόγα.

9.5.4.7. Τεχνικές κατά τη συγκόλληση



Εικόνα 121: Τεχνικές άρτιας συγκόλλησης

- Σχεδιασμός της μορφής που θα έχει η φρέζα της συγκόλλησης ώστε αποφεύγονται οι συγκεντρώσεις τάσεων.
- Οι συγκολλήσεις πλήρους διείσδυσης πρέπει να προτιμούνται αντί των μερικής διείσδυσης
- Αν είναι δυνατόν πρέπει να αποφεύγεται η πραγματοποίηση της συγκόλλησης σε σημεία αλλαγής διατομής που δρούν σαν περιοχές συγκέντρωσης τάσεων
- Χτυπώντας με ένα σφυρί το μέταλλο της συγκόλλησης όταν αυτό είναι δυνατόν να παραμορφωθεί το βάζουμε σε μία κατάσταση συμπίεστικών τάσεων οι οποίες εξουδετερώνουν τις εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούνται κατά την συγκόλληση και μειώνουμε την πιθανότητα ρωγμάτωσης στην συγκόλληση και στην γύρω περιοχή.
- Η τεχνική αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται ανάλογα με το μέταλλο της συγκόλλησης σε θερμοκρασίες που υπάρχει επαρκής ολκιμότητα

10. Ελαττώματα συγκολλήσεων και ποιοτικός έλεγχος αυτών

Τα τεχνικά προβλήματα κατά την ηλεκτροσυγκόλληση

Τα κυριότερα από αυτά τα προβλήματα σημειώνονται στην Εικόνα 122.

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

Εικόνα 122: Πίνακας κύριων ελαττωμάτων συγκολλήσεων

Στην ηλεκτροσυγκόλληση αντιμετωπίζουμε και άλλα τεχνικά προβλήματα, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά στην Εικόνα 123. Εδώ, σε αντίθεση με τα προβλήματα που οφείλονται στην υφή των μετάλλων, ο ηλεκτροσυγκολλητής μπορεί να τα αντιμετωπίσει.

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

Εικόνα 123: Προβλήματα ηλεκτροσυγκόλλησης τα οποία πρέπει να αντιμετωπίσει ο ηλεκτροσυγκολλητής

10.1. Παραμορφώσεις

Η αντιμετώπιση των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα:

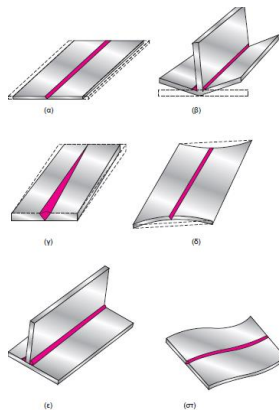
1. τον σχεδιασμό της συγκόλλησης έτσι ώστε να προκύψουν οι ελάχιστες δυνατές παραμορφώσεις. Στον σχεδιασμό περιλαμβάνονται διάφοροι παράγοντες όπως η γεωμετρία της σύνδεσης, η μέθοδος και οι συνθήκες συγκόλλησης, η συγκράτηση των ελασμάτων κ.α.
2. την ανάπτυξη προδιαγραφών για ανοχές παραμορφώσεων, δηλαδή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

Οι παραμορφώσεις στις συγκολλήσεις μπορεί να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Η εγκάρσια συστολή (transverse shrinkage), που αφορά συστολή σε μία διεύθυνση κάθετη στον άξονα συγκόλλησης (Σχ.Β.1α)

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

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



Εικόνα 124: Παραμορφώσεις λόγω συγκόλλησης

10.1.1. Περιορισμός των παραμορφώσεων

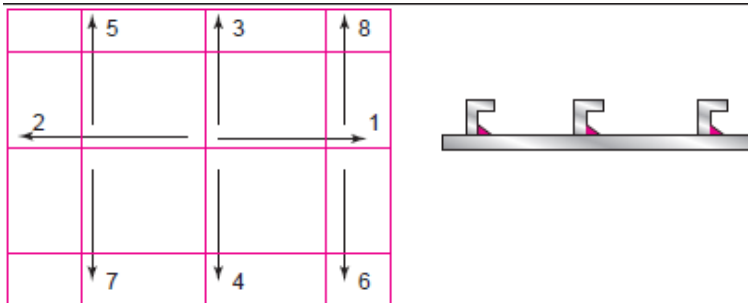
Διαμόρφωση ακμών: Η διαμόρφωση των ακμών επηρεάζει τις παραμορφώσεις των συγκολλήσεων αφού επηρεάζει την ποσότητα του μετάλλου που εναποτίθεται κατά τη

συγκόλληση. Εδώ, ο γενικός κανόνας είναι ότι πρέπει να επιλέγεται μία διαμόρφωση (φρέζα) που να ελαχιστοποιεί κατά το δυνατόν το μέταλλο που εναποτίθεται.

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

Οι παραμορφώσεις των συγκολλήσεων μπορεί να μειωθούν με την **κατάλληλη συγκράτηση των ελασμάτων**. Στις περισσότερες περιπτώσεις η μέθοδος αυτή επιφέρει αντίστοιχη αύξηση των παραμενουσών τάσεων.

Ακολουθία συγκόλλησης: Η ακολουθία συγκόλλησης επηρεάζει τον τρόπο ανάπτυξης των θερμοκρασιακών πεδίων και επομένως επιδρά στις παραμορφώσεις των συγκολλήσεων. Επίσης η ακολουθία συγκόλλησης επιβάλλει μηχανικούς περιορισμούς διότι οι συγκολλήσεις που προηγούνται αυξάνουν την στιβαρότητα της κατασκευής σε παραμορφώσεις που προκαλούνται από τις συγκολλήσεις που έπονται. Ένας γενικός κανόνας που αφορά στην ακολουθία συγκόλλησης είναι οι συγκολλήσεις να ξεκινούν από το κέντρο της κατασκευής και να προχωρούν προς τα άκρα, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο Σχ.Β.22 κατά την συγκόλληση ενισχυτικών στοιχείων σε επίπεδο έλασμα.

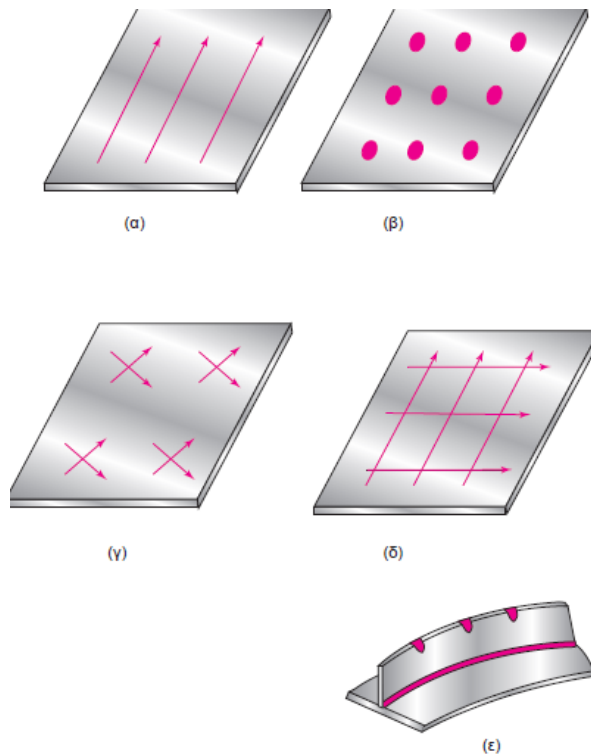


Εικόνα 125: Κατάλληλη επιλογή σειράς συγκόλλησης

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

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

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



Εικόνα 126: Περιπτώσεις εύθυσσης με θέρμανση

10.2 Ρηγματώσεις

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

(α) Διαμήκης ρηγμάτωση πάνω στη συγκόλληση

Προκαλείται από διάφορες αιτίες και συγκεκριμένα:

1. Από τις ακαθαρσίες που υπάρχουν στο μέταλλο βάσης και στο εναποτιθέμενο μέταλλο. Ο λόγος που η ρηγμάτωση παρουσιάζεται στο κέντρο της ραφής είναι επειδή αυτή η περιοχή στερεοποιείται τελευταία, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται εκεί όλες οι ακαθαρσίες του μετάλλου.

2. Από μεγάλη διείσδυση του προστιθέμενου μετάλλου, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο ύψος ραφής. Το ύψος της ραφής δεν πρέπει να υπερβαίνει το πλάτος.
3. Από την ταχεία ψύξη της ραφής, όταν η επιφάνειά της είναι κοίλη.
4. Από συνδυασμό όλων των παραπάνω.

(β) Κάθετη ρηγμάτωση πάνω στην ηλεκτροσυγκόλληση

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

(γ) Διαμήκης ρηγμάτωση δίπλα στη συγκόλληση

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

10.2.1. Η αντιμετώπιση ρηγματώσεων που δεν οφείλονται στο υδρογόνο

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

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

Παρατήρηση: Υπάρχουν ηλεκτρόδια που δημιουργούν μόνο κοίλη μορφή. Να μη δημιουργηθεί η εντύπωση ότι αυτά τα ηλεκτρόδια δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Απλά

η ρηγματώση διευκολύνεται στην κοίλη μορφή, επειδή έχει μικρότερη αντοχή από την κυρτή.

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

10.2.2. Ο ρόλος του υδρογόνου στις ρηγματώσεις

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος ρηγματώσης προέρχεται από το υδρογόνο. Αυτό διεισδύει στο υγρό μέταλλο και από εκεί στον ωστενίτη ο οποίος μπορεί να διαλύσει μεγάλη ποσότητα υδρογόνου. Όταν ο ωστενίτης αρχίζει να μετατρέπεται σε φερρίτη, που δεν έχει την ίδια ικανότητα διάλυσης υδρογόνου, τότε απελευθερώνεται το υδρογόνο και προκαλεί εσωτερικές τάσεις. Αυτές, αν το υδρογόνο είναι σε μεγάλη ποσότητα, οδηγούν στη ρηγματώση. Τα πράγματα είναι ακόμη χειρότερα, αν, κατά το μετασχηματισμό του ωστενίτη, έχουμε και δημιουργία μαρτενσίτη, επειδή αυτός δεν έχει καμία δυνατότητα διάλυσης του υδρογόνου. Η αποφυγή της δημιουργίας μαρτενσίτη γίνεται με την εφαρμογή αργού ρυθμού ψύξης.

Το υδρογόνο προέρχεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, όπου υπάρχει υπό μορφή υγρασίας (διασπάται σε υδρογόνο και οξυγόνο από τη θερμοκρασία του τόξου). Τυχόν υδρογονάνθρακες πάνω στο μέταλλο (λάδια κτλ.) που δεν έχουν καθαριστεί, αποτελούν σοβαρή πηγή υδρογόνου. Άλλες πηγές είναι το ίδιο το ηλεκτρόδιο που περιέχει υδρογόνο καθώς και η πάστα του.

10.2.2.1. Η πρόληψη των ρηγματώσεων εξαιτίας του υδρογόνου

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

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

μετασχηματισμός του ωστενίτη σε φερρίτη γίνεται πιο αργά και συγχρόνως δε σχηματίζεται μαρτενσίτης.

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

Ο κανόνας είναι:

Όταν πρόκειται για εξάρτημα που θα υποβληθεί σε ισχυρές καταπονήσεις, πρέπει να γίνεται συγκόλληση χαμηλού υδρογόνου.

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

10.3. Η παρουσία πόρων και λοιπών ελαττωμάτων

Η παρουσία πόρων στη ραφή μίας ηλεκτροσυγκόλλησης είναι σχεδόν αναπόφευκτη. Ευτυχώς όμως που οι πόροι σε αραιές αποστάσεις και σε μικρό αριθμό δε δημιουργούν προβλήματα. Αν είναι πυκνοί, μπορεί να αποτελέσουν θραύση κατά τη λειτουργία.

Υπάρχουν δύο ποιότητες ραφής. Αυτές είναι οι GRADE I για υψηλές απαιτήσεις και η GRADE II για συνήθεις απαιτήσεις. Στον Πίνακα 13, βλέπουμε τι προβλέπεται για τις δύο αυτές ποιότητες. Η πλήρης ανίχνευση των πόρων γίνεται μόνο με ακτινογραφία ή με υπέρηχους. Με οπτικό έλεγχο είναι ορατοί μόνο οι επιφανειακοί πόροι. Αν αυτοί είναι πολλοί, είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι και στο εσωτερικό της συγκόλλησης θα είναι πολύ περισσότεροι.

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

Εικόνα 127: Πίνακας με δύο ποιότητες ραφής

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

Άλλες ανωμαλίες είναι:

- Τα καψίματα: Υποδηλώνουν κακή έναυση του τόξου και ότι η συγκόλληση σ' αυτά τα σημεία μάλλον δεν είναι καλή.
- Τα πισυλίσματα: Δεν επηρεάζουν την αντοχή, αλλά δημιουργούν κακή εμφάνιση που ενδέχεται να έχει σημασία.
- Τα κοιλώματα και οι προεξοχές: Αυτές μπορούν να αποτελέσουν σημείο αρχής μιας θραύσης. Εντοπίζονται με οπτικό έλεγχο και επισκευάζονται εύκολα (τα κοιλώματα γεμίζονται και οι προεξοχές τροχίζονται).

10.4. Η προθέρμανση

Η προθέρμανση απαιτείται για τη συγκόλληση ορισμένων ειδών χαλύβων αλλά και άλλων μετάλλων. Περιορίζει πολύ τον κίνδυνο ρηγμάτωσης. Το ερώτημα «πότε χρειάζεται να εφαρμοστεί η προθέρμανση;» είναι δύσκολο να απαντηθεί. Απλές απαντήσεις θα μπορούσαν να είναι: «στα υλικά που συγκολλούνται δύσκολα» ή «όταν επιδιώκουμε συγκόλληση υψηλής αντοχής». Αν π.χ. πρόκειται για το σασί ενός οχήματος, καλό είναι να εφαρμοστεί η προθέρμανση.

Η προθέρμανση, συνήθως, εφαρμόζεται με φλόγα οξυγόνου-ασετιλίνης, εκατέρωθεν της προς συγκόλληση περιοχής και σε πλάτος τουλάχιστον 75 mm. Η θερμοκρασία της προθέρμανσης σε ανθρακούχους χάλυβες με πάχη μικρότερα των 20 mm δεν είναι κρίσιμη, αρκεί να είναι στην περιοχή 110-200°C. Στις άλλες όμως ποιότητες χαλύβων θα πρέπει να δοθούν οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή της απαιτούμενης προθέρμανσης.

Η θερμοκρασία της προθέρμανσης μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με ένα θερμομέτρο επαφής ή με τη βοήθεια ειδικών μαρκαδόρων που το σημάδι τους επηρεάζεται από την αλλαγή της θερμοκρασίας. Ένας πρακτικός όμως τρόπος είναι το χρώμα του μετάλλου, σύμφωνα με τον Πίνακα. Για να φανούν οι αλλαγές του χρώματος, πρέπει να καθαριστεί καλά με τροχό, ένα τμήμα τουλάχιστον της επιφανείας από τις σκουριές.

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

Εικόνα 128: Πίνακας με δύο ποιότητες ραφής

10.5. Ο ποιοτικός έλεγχος της ηλεκτροσυγκόλλησης

Ο έλεγχος των ηλεκτροσυγκολλήσεων ολοκληρώνεται μετά από 48 ώρες τουλάχιστον από την εκτέλεσή τους, επειδή η διαπίστωση τυχόν ρηγματώσης, λόγω του υδρογόνου, απαιτεί, όπως αναφέρθηκε, να παρέλθει διάστημα 48 ωρών. Η πρώτη φάση του ποιοτικού ελέγχου είναι η οπτική επιθεώρηση⁶. Μπορεί, μετά την απομάκρυνση της σκουριάς της πάστας, να εκτελεστεί πολύ εύκολα, ακόμη και από τον ίδιο τον ηλεκτροσυγκολλητή.

Το επόμενο στάδιο είναι οι δοκιμές. Για να εκτελεστούν απαιτείται ο κατάλληλος εξοπλισμός. Οι δοκιμές δε χρειάζονται πάντοτε. Αυτές εκτελούνται μόνον, όταν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αντοχής και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τις μη καταστρεπτικές δοκιμές
- Τις καταστρεπτικές δοκιμές

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

10.5.1. Η αποδοχή της ηλεκτροσυγκόλλησης μετά από τον έλεγχο

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

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι:

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

Δυστυχώς υπάρχουν ελεγκτές που εκτελούν ποιοτικό έλεγχο με στόχο την απόρριψη. Τίποτε γι' αυτούς δε μοιάζει να είναι σωστό. Και φυσικά, η επιχείρηση που έχει τέτοιους

ελεγκτές, μάλλον δεν έχει και πολύ μέλλον. Ο ελεγκτής θα πρέπει να εξετάζει τα πράγματα πάντοτε σε σχέση με τη λειτουργία που θα εκτελέσει το αντικείμενο και έχοντας υπόψη του την καταπόνηση στην οποία θα υποβληθεί η ηλεκτροσυγκόλληση. Επίσης, σε περίπτωση απόρριψης, θα πρέπει να εξετάσει μήπως το τεμάχιο είναι επισκευάσιμο.

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

10.5.2. Η οπτική επιθεώρηση

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

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

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

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

10.5.3. Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές

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

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

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



Εικόνα 129: Έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια διεισδυτικών υγρών

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

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

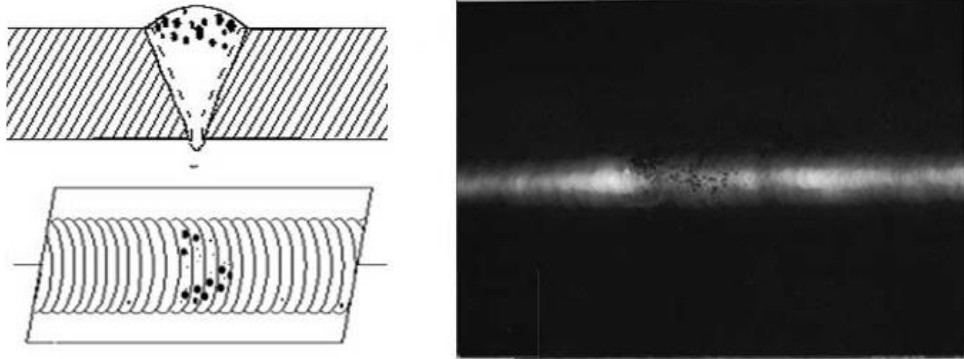
Ο ηλεκτρομαγνήτης, επειδή δεν είναι μόνιμα μαγνητισμένος, διευκολύνει τον έλεγχο. Συγκεκριμένα, μόλις εφαρμόσουμε το ρεύμα, αν η συγκόλληση είναι καλή, δε θα συμβεί κάτι παράξενο. Αν όμως υπάρχουν ρωγμές, τα ρινίσματα θα μετακινηθούν απότομα (πάνω στη ρωγμή).



Εικόνα 130: Έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη

(γ) Ο έλεγχος με ακτινογραφικές μεθόδους

Με την ακτινογραφία ανιχνεύονται όλες σχεδόν οι βλάβες που μπορεί να έχει μία ηλεκτροσυγκόλληση και ιδίως οι πόροι. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και ειδικός εξοπλισμός τον οποίο διαθέτουν μόνο οι πολύ καλά οργανωμένες εταιρείες που εκτελούν συγκολλήσεις υψηλών απαιτήσεων. Στην Εικόνα 131, φαίνεται παράδειγμα ακτινογραφίας συγκόλλησης με σφάλμα πόρων.



Εικόνα 131: Έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη

(δ) Ο έλεγχος με υπέρηχους

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

10.5.4. Οι καταστρεπτικές δοκιμές

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

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

Για την εκτέλεσή τους απαιτείται ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός.

Με τις καταστρεπτικές δοκιμές αισθανόμαστε πολύ πιο σίγουροι για το αποτέλεσμα, αλλά δεν μπορούμε να τις εφαρμόζουμε οποτεδήποτε.

11. Πιστοποίηση προσωπικού συγκολλήσεων και θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης

11.1. Πιστοποίηση προσωπικού συγκολλήσεων

Παρά το γεγονός ότι τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί αυτοματοποιημένες ή μηχανοποιημένες μέθοδοι συγκόλλησης, εντούτοις άνω του 70% των συγκολλήσεων εκτελείται από κατάλληλα εκπαιδευμένο και έμπειρο προσωπικό – γνωστό ως συγκολλητές. Ως εκ τούτου είναι προφανές ότι η ανάπτυξη ανθρώπινου δυναμικού με πιστοποιημένες, σύμφωνα με την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία γνώσεις και δεξιότητες, αποτελεί απαίτηση όχι μόνο της βιομηχανίας, αλλά και των ιδίων των εργαζομένων, αφού έτσι μπορούν να αυξήσουν τη δυνατότητα απασχόλησης τους στην Ελλάδα και το εξωτερικό.

Κάθε εργαζόμενος συγκολλητής θα πρέπει να πιστοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές της ισχύουσας εθνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας (EN 287-1 και ISO 9606).

Η πιστοποίηση των συγκολλητών αποτελεί την ελαχιστότατη απαίτηση – εγγύηση διασφάλισης εφαρμογής των ευρωπαϊκών, εθνικών ή διεθνών απαιτήσεων πιστοποίησης των ικανοτήτων και δεξιοτήτων συγκόλλησης άνευ σφαλμάτων των διαφόρων υλικών με διαφορετικές μεθόδους, σε διάφορες θέσεις εργασίας.

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στον ISO 9001 οι συγκολλήσεις θεωρούνται μία ειδική διεργασία καθώς το αποτέλεσμα τους δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί 100% με ελέγχους μετά την ολοκλήρωση του προϊόντος.

Κατά την πραγματοποίηση μιας ειδικής διεργασίας η εφαρμογή ενός απλού συστήματος ποιότητας δεν είναι επαρκής και χρειάζονται ειδικές προβλέψεις και έλεγχοι πριν, κατά την διάρκεια και μετά το τέλος της διεργασίας.

Οι απαιτήσεις αυτές όσον αφορά τις συγκολλήσεις καλύπτονται από το EN ISO 14731 (EN 719) και το EN ISO 3834 (EN 729).

Το πρότυπο EN ISO 14731 (EN 719), θέτει την απαίτηση για την ύπαρξη ενός επιβλέπον συγκολλήσεων ο οποίος ανάλογα με την πολυπλοκότητα των απαιτούμενων συγκολλήσεων πρέπει να είναι ικανός για την πραγματοποίηση συγκεκριμένων καθηκόντων .

Το πρότυπο EN ISO 3834 (EN 729), καθορίζει σε τρία διαφορετικά επίπεδα το πώς ένας οργανισμός που πραγματοποιεί συγκολλήσεις μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις του ISO 9001 παράγραφος 7.5.2 ως προς την επαλήθευση και επιβεβαίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Η σειρά αυτή των προτύπων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανεξάρτητα από το ISO 9001 για την απόδειξη της ικανότητας ενός οργανισμού να πραγματοποιεί συγκολλήσεις.

11.1.1. Έγκριση διαδικασιών συγκόλλησης και η πιστοποίηση καταλληλότητας συγκολλητών

Η διαδικασία συγκόλλησης που χρησιμοποιεί ο κατασκευαστής, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 16514 πρέπει να αξιολογηθεί με την διενέργεια σειράς δοκιμών / ελέγχων έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα και η ασφάλεια των κατασκευών. Παράλληλα η πιστοποίηση καταλληλότητας συγκολλητή, πιστοποιεί τη ν ικανότητα του συγκολλητή να εκτελεί εργασία συγκόλλησης σύμφωνα με την εγκεκριμένη διαδικασία. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ελέγχων και δοκιμών που αναφέρονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 287-1. Η διαδικασία έγκρισης και πιστοποίησης των ανωτέρω έχει ως εξής:

Καταγράφεται η διαδικασία που ακολουθεί ο ηλεκτροσυγκολλητής της εταιρίας για την συγκόλληση μιας κατασκευής (π.χ. συγκόλληση χαλυβδοελασμάτων ορισμένων παχών με επενδυμένο ηλεκτρόδιο ή TIG) . Έτσι, διαμορφώνεται μια προδιαγραφή συγκόλλησης (Welding Procedure Specification - **WPS**) , με συγκεκριμένους παραμέτρους (είδος / ποιότητα / διαστάσεις υλικών / είδος θέση συγκόλλησης / παράμετροι ρεύματος V/A κ.α.). Την προδιαγραφή συγκόλλησης καλείται να πιστοποιήσει ο διαπιστευμένος φορέας σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 15614-1 .

Για την πιστοποίηση απαιτείται η δημιουργία δοκιμίου συγκόλλησης διαστάσεων που ορίζει το ανωτέρω πρότυπο. Η συγκόλληση του δοκιμίου γίνεται σύμφωνα με την προδιαγραφή (W PS), παρουσία επιθεωρητή του διαπιστευμένου Φορέα και αποστέλλεται σε διαπιστευμένο εργαστήριο για την διεξαγωγή δοκιμών που προβλέπει το πρότυπο EN ISO 15614-1.

Σε περίπτωση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων εκδίδεται πιστοποιητικό έγκρισης διαδικασίας συγκόλλησης σύμφωνα με το προαναφερθέν πρότυπο.

Στόχοι και οφέλη:

- ✓ Συμμόρφωση προς την νομοθεσία
- ✓ Διασφάλιση ποιότητας των εργασιών συγκολλήσεων κατασκευών και ασφάλειας των εργαζομένων.

11.1.1.1. Πιστοποίηση ηλεκτροσυγκολλητών σύμφωνα με το EN 287-1

Η πιστοποίηση των συγκολλητών βασίζεται βασικές μεταβλητές. Για κάθε μεταβλητή, ορίζεται ένα εύρος πιστοποίησης .

Εάν ο συγκολλητής πρέπει να συγκολλήσει εκτός του εύρους πιστοποίησης τότε απαιτείται η πραγματοποίηση μίας νέας δοκιμής πιστοποίησης.

Βασικές μεταβλητές για τους συγκολλητές είναι:

- Μέθοδος Συγκόλλησης,
- Τύπος προϊόντος (έλασμα, σωλήνα),
- Τύπος ένωσης of weld (σόκορο, γωνιακή),
- Ομάδα υλικού,
- Αναλώσιμα συγκόλλησης,
- Διαστάσεις (πάχος, διάμετρος),
- Θέση συγκόλλησης,
- Λεπτομέρειες συγκόλλησης (ρίζα, μονο-κόρδονη ή όχι, κι από τις δύο πλευρές ή όχι).
- ✓ Κάθε δοκιμή συνήθως πιστοποιεί μία μέθοδο συγκόλλησης. Αλλαγή στην μέθοδο συγκόλλησης απαιτεί μία καινούρια δοκιμή πιστοποίησης.
- ✓ Επιτρέπεται σε ένα συγκολλητή να πιστοποιηθεί σε δύο μεθόδους κολλώντας ένα δοκίμιο με χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων.

Η δοκιμή πιστοποίησης πραγματοποιείται σε έλασμα ή σωλήνα. Τα ακόλουθα κριτήρια ισχύουν:

- ✓ Συγκολλήσεις σε σωλήνες με εξωτερική διάμετρο , $D > 25$ mm, καλύπτουν συγκολλήσεις σε ελάσματα,
- ✓ Συγκολλήσεις σε ελάσματα καλύπτουν συγκολλήσεις σε σωλήνα με διάμετρο $D \geq 150$ mm, για τις θέσεις PA, PB και PC, και με εξωτερική διάμετρο $D \geq 500$ mm, για όλες τις θέσεις συγκόλλησης.
- ✓ Οι μετωπικές συγκολλήσεις καλύπτουν σχεδόν κάθε άλλο τύπο συγκόλλησης.
- ✓ Σε περιπτώσεις όπου η πλειοψηφία των συγκολλήσεων είναι γωνιακές τότε ο συγκολλητής θα πρέπει να πιστοποιηθεί σε αυτό το είδος συγκόλλησης.
- ✓ Μετωπικές συγκολλήσεις σε σωλήνα χωρίς υποστήριξη ρίζας πιστοποιούν κι άλλες συγκολλήσεις.
- ✓ Για εφαρμογές όπου μία συγκόλληση δεν μπορεί να πιστοποιηθεί με μετωπική ή γωνιακή συγκόλληση τότε πρέπει να συγκολληθεί ένα δείγμα με την μορφή της συγκόλλησης που έχουμε προς πιστοποίηση.

11.2. Θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης

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

(α) Η προστασία της όρασης και του προσώπου

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

(β) Οι αναθυμιάσεις

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

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

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

(γ) Ηλεκτροπληξία

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

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

Η ένταση του ρεύματος ηλεκτροσυγκόλλησης να μην υπερβαίνει την αντοχή των καλωδίων, που δίνεται στον πίνακα (6-3).

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

(δ) Τα εγκαύματα από σπινθήρες

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

(ε) Τα εγκαύματα από την ακτινοβολία

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

(στ) Κίνδυνοι πυρκαγιάς ή έκρηξης

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

(ζ) Άλλοι κίνδυνοι

Υπάρχουν αρκετοί κίνδυνοι ακόμη, αλλά υπάρχουν και τα αντίστοιχα μέσα προστασίας. Όλοι οι κίνδυνοι και τα μέτρα προστασίας αναφέρονται στον Πίνακα 15.

11.2.1. Η προστασία της όρασης και του προσώπου με τη μάσκα

Το πλέον πολύτιμο πράγμα στον άνθρωπο είναι η όραση και η μεγαλύτερη αναπηρία είναι η απώλειά της. Γι' αυτό, για τα μάτια πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ειδικές μάσκες. Η βλάβη προκαλείται σταδιακά και, όταν γίνουν αντιληπτά τα πρώτα δείγματά της, είναι πλέον αργά. Υπάρχει η εντύπωση ότι όσο πιο σκούρο είναι το γυαλί μιας μάσκας, τόσο μεγαλύτερη προστασία προσφέρει. Αυτό είναι μεγάλο λάθος.

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

Πιστοποίηση προσωπικού συγκολλήσεων και θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης

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

Εικόνα 132: Κίνδυνοι και μέσα προστασίας του ηλεκτροσυγκολλητή

Όσον αφορά την περιοχή του ορατού φωτός, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι ακίνδυνη για την υγεία, αρκεί να μην είναι πολύ ισχυρή. Το γυαλί πρέπει να είναι σκούρο, για τον ίδιο λόγο που χρειάζονται τα γυαλιά ηλίου στην ισχυρή ηλιοφάνεια. Το ερώτημα που τίθεται είναι «πόσο σκούρο;» και η απάντηση είναι «τόσο σκούρο όσο χρειάζεται ο ηλεκτροσυγκολλητής, για να βλέπει πολύ καθαρά». Αν είναι περισσότερο σκούρο, θα δυσκολεύεται να δει και θα κουράζονται τα μάτια του, ενώ παράλληλα θα είναι και κακή η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Αν είναι λιγότερο σκούρο, επίσης, θα κουράζει τα μάτια του και θα θαμπώνεται.

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

Υπάρχουν οι απλές μάσκες που προστατεύουν κυρίως το πρόσωπο. Μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο όταν το ένα χέρι είναι διαθέσιμο (MMA, MIG/MAG), οπότε μπορεί να το χρησιμοποιεί ο ηλεκτροσυγκολλητής, προκειμένου να κρατάει τη μάσκα του. Επίσης, υπάρχουν και οι μάσκες που στηρίζονται στο κεφάλι, που είναι κατάλληλες, όταν κατά την ηλεκτροσυγκόλληση χρειάζεται να χρησιμοποιούνται και τα δύο χέρια, όπως συμβαίνει στην TIG. Οι μάσκες κεφαλής προστατεύουν επαρκώς και το πάνω τμήμα της κεφαλής, οπότε ο ηλεκτροσυγκολλητής δεν είναι υποχρεωμένος να φοράει καπέλο. Όταν η χρήση κράνους είναι αναγκαία, μπορεί η μάσκα να έχει τη δυνατότητα προσαρμογής πάνω σε κράνος.

Καλό είναι κατά τη διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης, ο τεχνίτης να μη διαθέτει ελεύθερο χέρι, για να μην υπάρχει κίνδυνος να ακουμπήσει πάνω στο πυρακτωμένο μέταλλο. Έτσι, το να χρησιμοποιεί κάπου το δεύτερο χέρι, όπως το να κρατάει τη μάσκα, μειώνει τις πιθανότητες ενός ατυχήματος. Μία καλή συνήθεια του ηλεκτροσυγκολλητή, όταν φοράει μάσκα κεφαλής και εκτελεί συγκόλληση MMA ή MIG/MAG, είναι να κρατάει την τσιμπίδα και με τα δύο χέρια.

Εκτός από τις απλές μάσκες, υπάρχουν και μάσκες αυτόματης ρύθμισης του βαθμού προστασίας (της σκίασης). Σ' αυτές ρυθμίζεται αυτόματα το πόσο σκούρο θα είναι το τζάμι. Στην αρχή της ηλεκτροσυγκόλλησης το τζάμι είναι διαφανές. Μόλις αρχίσει η ηλεκτροσυγκόλληση, σκουραίνει απότομα και, μάλιστα, σκουραίνει τόσο όσο ακριβώς χρειάζεται, για να υπάρχει ικανοποιητική ορατότητα. Αυτό επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να δει προς στιγμή πιο καθαρά και να αποφύγει τυχόν επικίνδυνη ενέργεια.

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

(α) Όταν πρόκειται για μάσκα αυτόματης ρύθμισης της σκίασης

- Αν ο βαθμός προστασίας (σκίαση) είναι μέσα στις απαιτήσεις των υπό εκτέλεση εργασιών (Πίνακας 16).
- Αν έχει δυνατότητα και χειροκίνητης ρύθμισης.

- Το χρόνο που χρειάζεται για να σκουρύνει το γυαλί της μάσκας, ο οποίος πρέπει να είναι μικρότερος από το ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Η μέγιστη άνεση στο μάτι επιτυγχάνεται, όταν ο χρόνος αυτός είναι μέχρι 0,4 χιλιοστά του δευτερολέπτου.
- Αν η επαναφορά του γυαλιού από το σκούρο χρώμα στο διαφανές γίνεται σχετικά γρήγορα, π.χ. σε χρόνο μικρότερο από 0,5 δευτερόλεπτο.
- Αν η μάσκα δε διαθέτει ηλιακό φορτιστή, θα πρέπει να ελέγχει ο ηλεκτροσυγκολλητής μήπως η μπαταρία χρειάζεται αντικατάσταση.

(β) Όταν χρησιμοποιεί απλή μάσκα με γυαλί σταθερής σκίασης

Πρέπει να επιλέξει ο ηλεκτροσυγκολλητής το γυαλί με το σωστό βαθμό προστασίας για να το τοποθετήσει στη μάσκα του (Πίνακας 16).

Ένας πρακτικός τρόπος για τη σωστή επιλογή είναι να γίνονται δοκιμές, ξεκινώντας από ένα πιο σκούρο γυαλί και πηγαίνοντας προς τα ανοιχτότερα, μέχρι να βρεθεί αυτό που παρέχει καλή ορατότητα, χωρίς να θαμπώνει.

Με ένα και μοναδικό γυαλί δεν μπορούν να γίνονται όλες οι εργασίες. Ως εκ τούτου ο ηλεκτροσυγκολλητής πρέπει να διαθέτει έτοιμες μάσκες με γυαλιά που να καλύπτουν όλους τους βαθμούς προστασίας, που είναι ενδεχόμενο να απαιτηθούν στις εργασίες του. Συνήθως, αρκούν 2 - 4 μάσκες με γυαλιά διαφορετικών βαθμών προστασίας.

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

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

Πιστοποίηση προσωπικού συγκολλήσεων και θέματα υγιεινής και ασφάλειας που αφορούν στις διαδικασίες συγκόλλησης

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

Εικόνα 133: Βαθμός προστασίας (σκίασης) - Επιλογή κατάλληλης μάσκας

Βιβλιογραφία

1. **Κ. Κονοφάγου**, *Μεταλλογνωσία*, Τόμοι I-III, Αθήνα 1967.
2. **Π. Γ. Πετρόπουλου**, *Μεταλλουργία*, Εκδ. Ευγενιδείου Ιδρύματος, Αθήνα 1993.
3. **Γ. Πανταζόπουλου** *Τεχνολογία Υλικών*, Σημειώσεις για το ΙΕΚ Αθηνών, Αθήνα 1994.
4. **Γ. Δ. Χρυσουλάκη, Δ. Ι. Παντελή**, *Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών*, Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996.
5. **Α. Ασημακόπουλος & Κ. Διακουμάκος**, *Συγκολλήσεις*, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια Β' Τάξη 1ου Κύκλου Ειδικότητα: Αμαξωμάτων, Ο.Ε.Δ.Β. 2004
6. **R. A. Higgins** *Engineering Metallurgy - Applied Physical Metallurgy*, 6th ed., ed. Edward Arnold, London 1993.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Γενική Γραμματεία Δημοσίων Επενδύσεων - ΕΣΠΑ
Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης
Ε.Π. "Ανταγωνιστικότητα & Επιχειρηματικότητα"



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΟ ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΩΝ 2007-2013

Επενδύουμε στον άνθρωπο



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη