

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΩΝ,
ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ**

ΣΕΡΡΕΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Το ιστορικό ανάπτυξης των συγκολλήσεων 1
2. Γενικά για τις συγκολλήσεις 2
3. Ταξινόμηση των μεθόδων συγκόλλησης 2

B. ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ 5

1. Χημική ενέργεια 5
2. Ηλεκτρική ενέργεια 5
3. Ροή πλάσματος 6
4. Δέσμη ηλεκτρονίων ή ηλεκτρονοδέσμη 6
5. Δέσμη των LASER 6
6. Εξωθερμικές αντιδράσεις 7
7. Θερμότητα τριβής 7

Γ. ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΕΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ 8

1. Ιδιότητες των χαλύβων 8
2. Επίδραση της χημικής σύστασης στις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων 8
3. Ταξινόμηση των χαλύβων 10
4. Συγκολλητικότητα των χαλύβων 10
5. Χυτοσίδηροι και μη σιδηρούχα μέταλλα 12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΟΞΟΥ

A. ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΟΞΟΥ ΜΕ ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΑ

ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ..... 14

1. Το ηλεκτρικό (βολταϊκό) τόξο 14
2. Μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου 15
3. Εργαλεία του ηλεκτροσυγκολλητή 17
4. Είδη συγκολλητικών ραφών 18
5. Προετοιμασία των άκρων 21
6. Κατηγορίες επενδεδυμένων ηλεκτροδίων 23
7. Επιλογή διαμέτρου ηλεκτροδίου και έντασης ρεύματος συγκόλλησης 25
8. Ελαττώματα ηλεκτροσυγκολλήσεων τόξου 27
9. Μέτρα ασφαλείας και μέσα ατομικής προστασίας κατά τις ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου 29

B. ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΟΞΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ... 30

1. Γενικά 30
2. Μέθοδος M.I.G. (Metal Inert Gas) 31
3. Μέθοδος M.A.G. (Metal Active Gas) 33
4. Μέθοδος T.I.G. (Tungsten Inert Gas) 34
5. Μέθοδος πλάσματος P.A.W (Plasma Arc Welding) 36

Γ. ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	39
1. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης κατά σημεία.....	39
2. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης ραφής.....	41
3. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης με προεκβολές.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΛΛΗΣΗ-ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΠΗ

A. ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΛΛΗΣΗ	43
1. Παραγωγή και αποθήκευση των αερίων.....	44
2. Εξαρτήματα της συσκευής οξυγονοκόλλησης	45
3. Εργαλεία και βοηθητικά εξαρτήματα του οξυγονοκολλητή.....	49
4. Φλόγα οξυγόνου-ασετυλίνης	50
5. Μέθοδοι οξυγονοκολλήσεων.....	51
6. Ελαττώματα οξυγονοκολλήσεων.....	52
B. ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΠΗ	53
1. Γενικά.....	53
2. Συσκευή οξυγονοκοπής	54
3. Τεχνική οξυγονοκοπής.....	55
Γ. ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	55
1. Γενικά μέτρα ασφαλείας.....	55
2. Κίνδυνοι από τις φιάλες οξυγόνου-ασετυλίνης	55
3. Μανομετρικοί εκτονωτές.....	56
4. Ελαστικοί σωλήνες αερίων	56
5. Καυστήρας.....	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

A. ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ.....	57
1. Μαλακές συγκολλήσεις	57
2. Σκληρές συγκολλήσεις	58
B. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	59
1. Η Καμινοσυγκόλληση	59
2. Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων.....	60
3. Η συγκόλληση με ακτίνες Laser.....	60
4. Συγκόλληση με υπερήχους	63
5. Συγκόλληση με τριβή.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

A. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ	64
1. Το φύσημα του τόξου	65
2. Θερμικές παραμορφώσεις.....	67
3. Ρηγματώσεις	68

4. Ο ρόλος του υδρογόνου στις ρηγματώσεις.....	70
5. Η πρόληψη των ρηγματώσεων εξαιτίας του υδρογόνου	70
6. Η προθέρμανση.....	70
B. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ	71
1. Ποιοτικός έλεγχος ηλεκτροσυγκόλλησης.....	71
2. Η οπτική επιθεώρηση	71
3. Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές.....	72
4. Οι καταστρεπτικές δοκιμές.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΩΝ

A. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΝΘΡΑΚΟΧΑΛΥΒΩΝ	74
1. Συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα ($C \leq 0,2\%$)	74
α) Συγκόλληση λεπτών ελασμάτων	75
β) Χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο ανθρακοχαλύβων	76
γ) Συγκόλληση στην ατμόσφαιρα CO_2 εξαρτημάτων μέσου πάχους	76
B. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ	78
1. Γενικά.....	78
2. Συγκόλληση χαλύβων C-Mn με αυξημένη αντοχή	78
3. Συγκόλληση ανοξείδωτων, οξύμαχων και πυρίμαχων χαλύβων	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ

A. ΓΕΝΙΚΑ.....	83
B. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ.....	83
Γ. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ ΕΝ ΘΕΡΜΩ.....	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

A. ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	89
B. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥ.....	90
1. Συγκόλληση του χαλκού.....	90
α) Συγκολλητότητα τον χαλκού.....	90
β) Μέθοδοι συγκόλλησης τον χαλκού	91
γ) Συγκόλληση με φλόγα αερίων (οξυγονοκόλληση).....	91
δ) Συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο.....	93
ε) Συγκόλληση με τη μέθοδο TIG	95
στ) Συγκόλληση με τη μέθοδο MIG	97
2. Συγκόλληση των ορείχαλκων	97
3. Συγκόλληση των μπρούντζων.....	99
Γ. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥ	100
1. Ιδιότητες και συγκολλητότητα.....	100
2. Μέθοδοι συγκόλλησης.....	102
3. Συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	103

4. Συγκόλληση με τη μέθοδο TIG	104
5. Συγκόλληση με τη μέθοδο MIG	107
Δ. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΑΝΑΓΟΜΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΣ

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	110
B. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ	111
Γ. ΨΕΚΑΣΜΟΣ	114
1. Ψεκασμός με αέρια	114
α) Γενικά	114
β) Ψεκασμός με αέρια με χρήση σύρματος	115
2. Ψεκασμός με ηλεκτρικό τόξο	116
3. Ψεκασμός με πλάσμα.....	117
Δ. ΑΝΑΓΟΜΩΣΗ	119
1. Αναγόμευση με φλόγα οξυγόνου – ασετυλίνης.....	119
2. Αναγόμευση με ηλεκτρική ενέργεια.....	120
α) Αναγόμευση τόξου χειρωνακτικά με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	120
β) Αναγόμευση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων	125
γ) Αναγόμευση τόξου με τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων ..	127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Α. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Το ιστορικό ανάπτυξης των συγκολλήσεων

Οι συγκολλήσεις ανήκουν στην κατηγορία των μόνιμων συνδέσεων ανάμεσα σε τεμάχια. Είναι ένας ιδιαίτερος κλάδος της τεχνολογίας, που συνδέει τις απλές μηχανουργικές τεχνικές λύσεις με τα πλέον ερευνητικά επιτεύγματα των θετικών επιστημών. Η σύνδεση των μεταλλικών τεμαχίων 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 εμφανιζόταν διαδικασίες συγκόλλησης, που βασίζονταν κυρίως στη μέχρι τότε γνώση των υλικών. Έτσι, η συγκόλληση με χύτευση καθιερώθηκε από τους αρχαίους χρόνους ως η κύρια μορφή σύνδεσης και επισκευής σπασμένων κατασκευών από μπρούντζο ή χυτοσίδηρο. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η συγκόλληση σε κάμινο, η κασσιτεροκόλληση, που χρησιμοποιείται μέχρι τις μέρες μας, ιδιαίτερα στη λευκοσιδηρουργία, η μπρούντζοκόλληση κ.λ.π. 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.

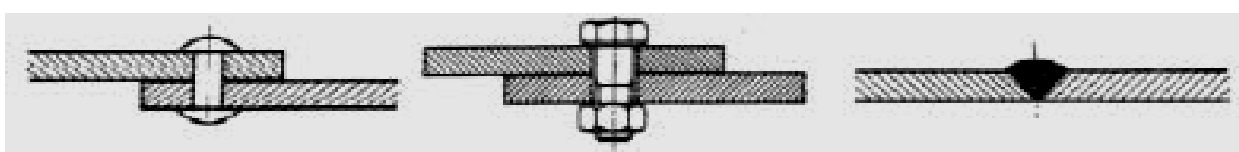
Η λίστα με τα αντικείμενα ή προϊόντα, που έχουν συγκολλητά μέρη είναι ατελείωτη και περιλαμβάνει από στοιχεία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μέχρι πλοία, μηχανές αεριοθούμενων, αυτοκίνητα, γέφυρες, μεταλλικά έπιπλα, κτίρια με μεταλλικό σκελετό κ.λ.π. Για την παραγωγή σύνθετων κατασκευών, οι συγκολλήσεις αντικατέστησαν 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.

2. Γενικά για τις συγκολλήσεις

Η συγκόλληση είναι μία από τις τρεις βασικές μεθόδους σύνδεσης:

- σύνδεση με ήλωση (με καρφιά) –προσωρινή σύνδεση
- σύνδεση με κοχλία (με βίδες) –προσωρινή σύνδεση
- συγκόλληση –μόνιμη σύνδεση



Μέθοδοι σύνδεσης μεταλλικών τεμαχίων

Ορισμός: ονομάζουμε συγκόλληση τη μόνιμη σύνδεση ή συνένωση, με τη βοήθεια θερμότητας, δύο ή περισσότερων μεταλλικών τεμαχίων.

Κατά την συγκόλληση τα υλικά θερμαίνονται στη θέση σύνδεσης με τη βοήθεια κάποιας πηγής θερμότητας έως ότου γίνουν ρευστά και τα μόρια τους αναμειχθούν μεταξύ τους. Μετά τη στερεοποίηση του τήγματος, τα εξαρτήματα συνδέονται μεταξύ τους μόνιμα. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι συγκόλλησης για την κάλυψη των πολλαπλών απαιτήσεων στον κατασκευαστικό τομέα.

3. Ταξινόμηση των μεθόδων συγκόλλησης

Η συγκόλληση πετυχαίνεται με τη θέρμανση των συνδεόμενων μετάλλων σε κατάλληλη θερμοκρασία για κάθε περίπτωση, με πίεση ή μη και με χρησιμοποίηση ή μη πρόσθετου υλικού. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, οι συγκολλήσεις διακρίνονται σε: **άμεσες ή πιέσεως** και σε συγκολλήσεις **τήξεως**.

Οι συγκολλήσεις τήξεως διακρίνονται σε: **α. αυτογενείς** και **β. ετερογενείς**.

Άμεσες ή πιέσεως: είναι οι συγκολλήσεις που πετυχαίνονται με θέρμανση των προς συγκόλληση μετάλλων σε θερμοκρασία χαμηλότερη της τήξης τους, έως

όπου καταστεί εύπλαστο το μέταλλο. Η συγκόλληση αυτή πετυχαίνεται με πίεση ή με σφυρηλασία, χωρίς τη χρησιμοποίηση πρόσθετου υλικού.

Τήξεως: χαρακτηρίζονται από την παρουσία, εκτός του μετάλλου βάσεως δηλαδή του μετάλλου ή του κράματος από το οποίο αποτελούνται τα τεμάχια που πρόκειται να συνδέσουμε και από το μέταλλο προσαγωγής ή κόλληση, με τη μορφή ηλεκτροδίων ή ράβδου ή και σκόνης. Η κόλληση συμβάλλει στην σύνδεση και την συμπλήρωση των διακένων που υπάρχουν μεταξύ των τεμαχίων που θα συγκολληθούν.

α. Αυτογενείς: είναι οι συγκολλήσεις που πετυχαίνονται με τη θέρμανση των μετάλλων προς συγκόλληση μέχρι την τήξη τους και με την προσθήκη ή μη πρόσθετου αυτογενούς μετάλλου. Στην περίπτωση αυτή έχουμε σύντηξη του βασικού μετάλλου με το εναποτιθέμενο υλικό. Εναποτιθέμενο υλικό είναι αυτό το οποίο προέρχεται από το πρόσθετο υλικό (του ηλεκτροδίου) και σχηματίζεται η κόλληση της σύνδεσης. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στη ζώνη συγκόλλησης είναι υψηλότερη από το σημείο τήξης των συγκολλούμενων τεμαχίων και του συγκολλητικού υλικού. Η θερμοκρασία αυτή πρέπει να υπερβαίνει τους 1400° με 1500° C για την αυτογενή συγκόλληση τεμαχίων από μαλακό χάλυβα.

β. Ετερογενείς: είναι οι συγκολλήσεις που πετυχαίνονται με τη βοήθεια ευτηκτότερου υλικού άλλης χημικής σύστασης. Οι συγκολλήσεις αυτού του είδους δεν είναι τόσο ισχυρές όσο οι αυτογενείς. Στην περίπτωση αυτή τήκεται το συγκολλητικό υλικό μόνο, ενώ τα τεμάχια προθερμαίνονται. Η θερμοκρασία προθέρμανσης πρέπει να πλησιάζει την θερμοκρασία τήξης του συγκολλητικού υλικού που είναι μικρότερη από την θερμοκρασία τήξης των συγκολλούμενων τεμαχίων. Οι ετερογενείς συγκολλήσεις ανάλογα με τη θερμοκρασία τήξης της κόλλησης διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **Μαλακές ετερογενείς συγκολλήσεις:** έχουμε όταν η κόλληση που χρησιμοποιείται έχει σημείο τήξεως μικρότερο των 500° C π.χ. κασσιτεροκόλληση, μολυβδοκόλληση.
- **Σκληρές ετερογενείς συγκολλήσεις:** έχουμε όταν η κόλληση που χρησιμοποιείται έχει σημείο τήξεως μεταξύ 500° C και 1000° C π.χ. μπρουντζοκόλληση, ασημοκόλληση, αλουμινοκόλληση, χαλκοκόλληση.

Κατά τη συγκόλληση των μετάλλων επηρεάζουν και λαμβάνουν χώρα οι εξής παράγοντες:

- α) Το είδος των συγκολλούμενων μετάλλων (χημική σύνθεση)
- β) Η χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας και θερμότητας
- γ) Η τεχνολογία συγκόλλησης
- δ) Το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η συγκόλληση

Η αντοχή της σύνδεσης των μετάλλων με συγκόλληση εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες:

- 1) από την επιτευχθείσα, μετά τη στερεοποίηση, κρυσταλλική δομή στην κόλληση και στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά και
- 2) από τις δημιουργούμενες τάσεις και παραμορφώσεις κατά τη διαδικασία συγκόλλησης ή και μετά.

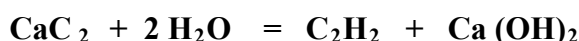
B. ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Οι χρησιμοποιούμενες πηγές θερμότητας στην τεχνική των συγκολλήσεων προκαλούν την εμφάνιση μιας σειράς συσχετιζόμενων φυσικο-χημικών και μεταλλουργικών φαινομένων.

1. Χημική ενέργεια

Η χημική ενέργεια για τη συγκόλληση μετάλλων παρέχεται συνήθως με μορφή φλόγας αερίων. Ως αέριο καύσης χρησιμοποιείται πιο συχνά η ασετυλίνη και πιο σπάνια το υδρογόνο, το φωταέριο, το μεθάνιο, το προπάνιο κ.τ.λ.

Η ασετυλίνη χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο αέριο, γιατί παρουσιάζει πολύ μεγάλη θερμοκρασία φλόγας (περίπου 3000 ° C) και επειδή βιομηχανικά παράγεται ευκολότερα. Χαρακτηρίζεται από την μεγάλη θερμογόνο δύναμη της (περίπου 13.000 kcal/m³ στην ατμοσφαιρική πίεση) και από το γεγονός ότι μπορούν να καούν μεγάλες σχετικά ποσότητες σε μικρό χρονικό διάστημα. Η ασετυλίνη (C₂H₂) παράγεται από το ανθρακασβέστιο δι' αντιδράσεως με το νερό.



Για τη συγκόλληση και την κοπή των μετάλλων χρησιμοποιείται, συνήθως φλόγα που πετυχαίνεται με την καύση ασετυλίνης, με τη βοήθεια προσθήκης οξυγόνου. Το οξυγόνο βιομηχανικώς το παίρνουμε, υγροποιώντας τον αέρα. Θερμαίνοντας τον αέρα, παίρνουμε πρώτα το άζωτο και μετά σε υψηλότερες θερμοκρασίες, παίρνουμε το καθαρό οξυγόνο. Οξυγόνο παίρνουμε επίσης από το νερό με ηλεκτρόλυση.

2. Ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση των μετάλλων παρέχεται συνήθως με τη μορφή ηλεκτρικού τόξου. Η δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Το είδος του ρεύματος εξαρτάται από τη μέθοδο συγκόλλησης και από τον τύπο του συγκολλούμενου μετάλλου. Ως πηγές του συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαράγωγα ζεύγη (κινητήρας-γεννήτρια) και ανορθωτές, ενώ ως πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος οι μετασχηματιστές.

Ιδιότητες του ηλεκτρικού τόξου

Για το άναμμα του τόξου έρχεται σε επαφή (τρίβεται) το ηλεκτρόδιο με το συγκολλούμενο αντικείμενο και τότε κλείνει το κύκλωμα του ρεύματος, ενώ η ηλεκτρική αντίσταση η οποία είναι μεγαλύτερη κατά την επαφή, προξενεί την υπερθέρμανση του άκρου του ηλεκτροδίου, και στη συνέχεια, με την ελαφρά ανύψωση του ηλεκτροδίου, σχηματίζεται το τόξο. Το μήκος του τόξου είναι περίπου ίσο με τη διάμετρο του ηλεκτροδίου.

Για να μπορεί να δημιουργηθεί το τόξο, το στρώμα του ατμοσφαιρικού αέρα κατά τη διέλευση του ρεύματος πρέπει να υποστεί ιονισμό, δηλαδή πρέπει να γίνει καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Η θερμοκρασία του τόξου αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της πυκνότητας του ρεύματος, αλλά επίσης γρήγορα αυξάνονται και οι απώλειες της θερμότητας. Το μήκος του τόξου είναι ευθέως ανάλογο της τάσης του. Η αύξηση του μήκους προξενεί την αύξηση της τάσης και για δεδομένη ισχύ την πτώση της έντασης. Αντίθετο αποτέλεσμα προξενεί η σμίκρυνση του τόξου. Η χρησιμοποίηση τόξου με όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος είναι ωφέλιμη, διότι έχουμε λιγότερες απώλειες θερμότητας και μικρότερη επίδραση του περιβάλλοντος.

3. Ροή πλάσματος

Το πλάσμα ως ιονισμένο αέριο αποτελείται από μίγμα θετικών ιόντων και ηλεκτρονίων. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του μας θυμίζουν τις ιδιότητες των μετάλλων, άρα είναι καλός ηλεκτρικός αγωγός. Η χρησιμοποιούμενη ισχύς του πλάσματος ανέρχεται σε 15-150 KW, ενώ η θερμοκρασία του φτάνει από 10-30.000 ° C. Η ωφέλιμη ισχύς της ροής του πλάσματος αυξάνεται με την αύξηση της τιμής του ρεύματος, του μήκους του τόξου, και την αύξηση της πίεσης του πλάσματος.

4. Δέσμη ηλεκτρονίων ή ηλεκτρονοδέσμη

Για τη δημιουργία δέσμης ηλεκτρονίων χρησιμεύει η συσκευή που ονομάζεται *γεννήτρια δέσμης*, αποτελούμενη από την κάθοδο, το ηλεκτρόδιο καθοδήγησης της ισχύος της δέσμης, το λεγόμενο κύλινδρο Wehnelt καθώς επίσης και την άνοδο. Τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια από την κάθοδο που βρίσκεται στο κενό επιταχύνονται και αποκτούν κινητική ενέργεια στο ηλεκτρικό πεδίο, διαμορφωμένο από την υψηλή τάση μεταξύ της καθόδου, του ηλεκτροδίου και της ανόδου. Η σχηματιζόμενη ηλεκτρονοδέσμη, ανάλογα με τις απαιτήσεις της διαδικασίας θέρμανσης μπορεί να δημιουργηθεί με μορφή κυλίνδρου, ορθογωνίου ή δακτυλίου. Ως τάση επιτάχυνσης εφαρμόζεται σταθερή τάση με τιμή 30-150 KV.

5. Δέσμη των LASER

Με την ονομασία LASER (λείζερ) εννοούμε την ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας στην υπέρυθη και υπεριώδη περιοχή. Η χαρακτηριστική ιδιότητα της ακτινοβολίας των LASER είναι η δυνατότητα επίτευξης δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η χρησιμοποίηση των διαφόρων τύπων ακτινοβολίας LASER προκύπτει από τις ιδιότητες τους:

- η περιοχή δράσης της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι μόνο στην επιφάνεια του αντικειμένου
- η περιοχή ακτινοβολίας των ορατών κυμάτων χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη εισχώρηση για τη θέρμανση των αντικειμένων

- η περιοχή ακτινοβολίας κοντά στην υπεριώδη χαρακτηρίζεται με ακόμη μεγαλύτερη εισχώρηση για τη θέρμανση των αντικειμένων σε σχέση με την ορατή ακτινοβολία.

Για τις παραπάνω περιοχές ακτινοβολίας, χαρακτηριστικό είναι ότι ανάλογα από τη χημική σύσταση των θερμαινόμενων υλικών και των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων, ο συντελεστής ανάκλασης μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια –διαφορετική άρα η απόδοση θέρμανσης- και εξαρτάται μεταξύ άλλων από το χρώμα των υλικών, με το οποίο είναι εκτελεσμένα τα συνδεδεμένα εξαρτήματα.

6. Εξωθερμικές αντιδράσεις

Η θερμότητα από τις εξωθερμικές αντιδράσεις χρησιμοποιείται συνήθως για τη συγκόλληση ελασμάτων με μεγάλες διατομές. Η βάση των εξωθερμικών αντιδράσεων είναι η καύση μίγματος Al και οξειδίων του σιδήρου.



Η θερμοκρασία αυτής της αντίδρασης ανέρχεται στους 2400° C. Άλλη μέθοδος χρησιμοποίησης της εξωθερμικής αντίδρασης είναι η συγκόλληση με έκρηξη.

7. Θερμότητα τριβής

Η παραγόμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια της μηχανικής τριβής χρησιμοποιείται συνήθως για τη μετωπική συγκόλληση αξόνων και σωλήνων. Η διεργασία αυτή γίνεται σε ειδικούς τόρνους. Στην προκειμένη περίπτωση αναπτύσσεται ξηρή τριβή μεταξύ περιστρεφόμενων επιφανειών, με αντίθετη φορά περιστροφής των συνδεδεμένων αξόνων.

Γ. ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

1. Ιδιότητες των χαλύβων

Το πιο διαδεδομένο υλικό που χρησιμοποιείται στις συγκολλητές κατασκευές είναι ο **χάλυβας**. Ο χάλυβας είναι κράμα δύο βασικών συστατικών: του σιδήρου και του άνθρακα. Ο καθαρός σίδηρος είναι μέταλλο σχετικά μαλακό και πλαστικό με χαμηλή αντοχή. Οι μηχανικές ιδιότητες αυτού του μετάλλου εξαρτώνται από το βαθμό των ακαθαρσιών. Στην τεχνική, ο σίδηρος χρησιμοποιείται συνήθως με μορφή κράματος με τον άνθρακα και με άλλες προσμείξεις. Οι προσθήκες κραμάτωσης αυξάνουν σημαντικά τις ιδιότητες αυτού του υλικού. Ως προσθήκη κραμάτωσης ιδιαίτερα μεγάλο ρόλο παίζει ο άνθρακας, του οποίου η περιεκτικότητα στο κράμα με το σίδηρο μπορεί να φτάσει περίπου μέχρι 4% (θεωρητικά μέχρι 6,67% στους χυτοσιδήρους).

2. Επίδραση της χημικής σύστασης στις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων

Στους χάλυβες, εκτός του άνθρακα εισέρχονται και άλλα στοιχεία ή προσθήκες. Αυτά προστίθενται, με σκοπό τη βελτίωση μερικών ιδιοτήτων του χάλυβα ή επίσης προέρχονται από τις ακαθαρσίες των υλικών παρασκευής του χάλυβα (ορυκτά κ.ά.). Οι εμπεριεχόμενες προσθήκες στο χάλυβα αντιδρούν με το σίδηρο, με τον άνθρακα και μεταξύ τους, μεταβάλλοντας στο χάλυβα τις φυσικές και χημικές ιδιότητες. Τα στοιχεία που εισέρχονται στο χάλυβα και επιδρούν στις μηχανικές ιδιότητες του είναι τα εξής:

Ο άνθρακας (C) : Οι καλές μηχανικές ιδιότητες του σιδήρου εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του άνθρακα. Εάν η περιεκτικότητα του άνθρακα είναι μεγαλύτερη, αυξάνεται η αντοχή θραύσης και η σκληρότητα, ενώ μειώνεται η σχετική επιμήκυνση και η δυσθραυστότητα. Με την αύξηση του άνθρακα αυξάνεται, επίσης και η ευθραυστότητα του χάλυβα. Η οριακή περιεκτικότητα του άνθρακα στους προοριζόμενους για συγκόλληση χάλυβες ανέρχεται από 0,22-0,25%.

Το μαγγάνιο (Mn) : Έχει αποξειδωτική δράση. Σε μικρές ποσότητες στους ανθρακοχάλυβες έχει ωφέλιμη επίδραση κατά τη συγκόλληση. Αυξάνει την ικανότητα βαφής του χάλυβα και τις ιδιότητες αντοχής. Η περιεκτικότητα του μαγγανίου στους κοινούς ανθρακοχάλυβες βρίσκεται στα όρια 0,35-0,85% ενώ στους κατασκευαστικούς μαγγανιούχους χάλυβες στα όρια 0,8-1,4%.

Το νικέλιο (Ni) : Σχηματίζει ψιλόκοκκη δομή, βελτιώνει τις ιδιότητες αντοχής και τη δυσθραυστότητα, με ποσότητα 1-5%. Στους οξύμαχους χάλυβες, η περιεκτικότητα του ανέρχεται από 8-10%. Το νικέλιο προστίθεται, συνήθως μαζί με το χρώμιο στους χάλυβες, πετυχαίνοντας ανθεκτικότητα στη διάβρωση.

Διευκολύνει τη συγκόλληση των ανοξείδωτων χαλύβων παρά το ό,τι από μόνο του είναι δυσκολοσυγκολλούμενο.

Το πυρίτιο (Si) : Είναι μίγμα κατά την Παρασκευή του χάλυβα και βρίσκεται σ' αυτόν σε ποσότητες 0,03-0,35%. Αυξάνει τις ιδιότητες αντοχής και την ελαστικότητα των χαλύβων. Μικρές ποσότητες του πυριτίου δεν επιδρούν δυσμενώς στη συγκολλητικότητα των χαλύβων, αλλά η περιεκτικότητα της τάξεως του 0,6% δυσχεραίνει τη συγκόλληση.

Το χρώμιο (Cr) : Χρησιμοποιείται για την αύξηση των ιδιοτήτων αντοχής των χαλύβων, στη διάβρωση και τη σκληρότητα. Ως προσθήκη στους κραματωμένους χάλυβες μαζί με το νικέλιο δημιουργεί τους ανοξείδωτους χάλυβες.

Το μολυβδαίνιο (Mo) : Είναι στοιχείο φερροκαρβιδιογόνο. Τα καρβίδια βελτιώνουν τις ιδιότητες αντοχής του χάλυβα (0,5 Mo) και εξασφαλίζουν τη συγκόλληση των οστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων (2% Mo), χωρίς ρηγματώσεις. Σε ορισμένες ποσότητες το Mo δε βλάπτει τη συγκολλητικότητα, αλλά για την αποφυγή της βαφής είναι απαραίτητη η προθέρμανση.

Το βανάδιο (V) : Είναι στοιχείο καρβιδιογόνο και φερρογόνο. Με το σχηματισμό καρβιδίων εξαλείφεται το απορροφημένο στην αέρια κατάσταση μονοξείδιο του άνθρακα και έτσι, μειώνεται το πορώδες.

Το τιτάνιο (Ti) : Είναι στοιχείο φερρογόνο, που αυξάνει την αντοχή του φερρίτη. Στη συγκολλητικότητα επιδρά θετικά. Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ικανότητα χημικής ένωσης με τον άνθρακα, σε σχέση με όλες τις άλλες προσθήκες κραμάτωσης.

Ο χαλκός (Cu) : Σε ποσότητα μέχρι 0,3% δε δυσκολεύει τη συγκόλληση. Ως προσθήκη στους απλούς και κατασκευαστικούς χάλυβες αυξάνει την αντοχή και την ικανότητα τους στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Οι χάλυβες με προσθήκες Cu παρουσιάζουν μεγαλύτερη αυθεντικότητα στη διάβρωση.

Το αλουμίνιο (Al) : Στους χάλυβες εμφανίζεται σε χαμηλές ποσότητες, επιδρώντας στην εκλέπτυνση του κόκκου. Στην περίπτωση των καθησυχασμένων χαλύβων, δεν έχει επιρροή στη συγκόλληση.

Το άζωτο (N) : Αυξάνει το όριο πλαστικότητας του χάλυβα, αλλά χειροτερεύει την κατεργαστικότητα της συγκολλητής σύνδεσης και αυξάνει την τάση για γήρανση.

Το οξυγόνο (O) και το υδρογόνο (H) : Τα στοιχεία αυτά προξενούν την τάση για γήρανση, ευνοούν τη ρηγματώση των χαλύβων εν θερμώ και εν ψυχρώ, δυσχαιρένοντας τη συγκολλητικότητα τους.

Το θείο (S) : Από την άποψη της συγκόλλησης είναι επιβλαβή ακαθαρσία, η οποία εμφανίζεται σε όλες τις κατηγορίες των χαλύβων. Κατά τη συγκόλληση των μη καθησυχασμένων χαλύβων, προξενεί το πορώδες της κόλλησης.

Ο φώσφορος (P) : Είναι επιβλαβής ακαθαρσία. Στις θέσεις που υπάρχει αυξημένη ποσότητα φωσφόρου δημιουργούνται ρηγματώσεις.

3. Ταξινόμηση των χαλύβων

Από την άποψη της χημικής σύστασης όλοι οι χάλυβες διαιρούνται σε:

- ανθρακοχάλυβες ή ανθρακούχοι χάλυβες
- κραματωμένοι χάλυβες ή κραματούχοι χάλυβες

Οι ανθρακοχάλυβες διαιρούνται σε:

- **ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα** με περιεκτικότητα του άνθρακα μέχρι 0,25%
- **μετρίου άνθρακα** από 0,25% μέχρι 0,60%
- **υψηλού άνθρακα** από 0,60% μέχρι 2%

Οι κραματωμένοι χάλυβες διαιρούνται σε:

- **μαγγανιούχους**
- **νικελιούχους**
- **μαγγανιούχους-χρωμιούχους**
- **νικελιούχους-χρωμιούχους**
- **χρωμιούχους-μολυβδαινιούχους**
- **μαγγανιούχους-χρωμιούχους-πυριτιούχους**
- **νικελιούχους-χρωμιούχους-μολυβδαινιούχους**

Γενικά οι χάλυβες για την πλαστική κατεργασία διαιρούνται σε κατασκευαστικούς, εργαλείων και σε χάλυβες με ειδικές ιδιότητες.

4. Συγκολλητικότητα των χαλύβων

Η συγκολλητικότητα των υλικών γενικά, εξαρτάται από τη χημική τους σύνθεση και την κρυσταλλική τους δομή. Σχετικά με τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά ισχύουν τα εξής:

Κράματα σιδήρου-άνθρακα:

Η συγκολλητικότητα των χαλύβων εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα τους σε άνθρακα (C). Όσο λιγότερο άνθρακα έχει ένας χάλυβας, τόσο πιο μεγάλη συγκολλητικότητα έχει, δηλαδή συγκολλάται πιο εύκολα. Ανώτερο όριο περιεκτικότητας σε άνθρακα για εύκολη συγκόλληση είναι το 0,25%. Αν ένας χάλυβας έχει περιεκτικότητα πάνω από το 0,25% σε άνθρακα, τότε η συγκόλληση δεν μπορεί να είναι επιτυχής παρά μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή, περιοχές της ραφής της συγκόλλησης υφίστανται βαφή, χάνουν τη μηχανική αντοχή τους και ψαθυροποιούνται. Οι χάλυβες αυτοί, με όριο πάνω από το 0,25%, μπορούν να συγκολληθούν, αν προθερμανθούν. Η προθέρμανση αυτή εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα και φθάνει μέχρι τους 425° C για χάλυβες με περιεκτικότητα 0,8% σε άνθρακα. Αντίστοιχα με τους ανθρακούχους χάλυβες, οι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε Si, Mn, S και P, δεν μπορούν να συγκολληθούν εύκολα και μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες. Αντίθετα, οι χάλυβες με προσμείξεις Cu, Ni, Cr, Mo και V δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα συγκόλλησης, εκτός αν όλες οι προσμείξεις ξεπερνάνε το 10%. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται κοινά κράματα σιδήρου-άνθρακα και η δυνατότητα συγκόλλησης τους.

Μη σιδηρούχα κράματα μετάλλων :

Τα κράματα του χαλκού και του αλουμινίου μπορούν εύκολα να συγκολληθούν. Εξαιρούνται τα κράματα του αλουμινίου με πάνω από 5% μαγνήσιο και οι ορείχαλκοι με υψηλό ποσοστό ψευδαργύρου.

Κατηγορία υλικού	Εύκολη συγκόλληση	Συγκόλληση σε ειδικές συνθήκες
Κοινοί χάλυβες κατασκευών	St33, St34, St37, St42, St46, St52	St50, St60, St70
Χάλυβες επιβελτίωσης	C22, Ck22, 25CrMo4	-
Χάλυβες ενανθράκωσης	C10, Ck10, C15, Ck15	Αυτοί που περιλαμβάνουν προσθήκες σε Cr, Ni, Mo
Χυτοχάλυβες	Πρέπει %C <0,25% και άθροισμα προσθηκών <10%	Ανοξειδωτοι χυτοχάλυβες
Χυτοσίδηροι	Λευκοί μαλακτικοποιημένοι	Όλοι οι υπόλοιποι χυτοσίδηροι

Πίνακας 1.1 : Συγκολλητικότητα κραμάτων σιδήρου-άνθρακα

Γενικά για τους χάλυβες ισχύει: Εύκολα συγκολλούνται χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα ($C < 0,25\%$). Ειδικότερα:

- Μη κραματωμένοι χάλυβες με περιεκτικότητα άνθρακα 0,2% έως 0,3% συγκολλούνται με προθέρμανση στους 100 °C έως 150 °C
- Μη κραματωμένοι χάλυβες με περιεκτικότητα άνθρακα 0,3% έως 0,45% συγκολλούνται με προθέρμανση στους 150 °C έως 275 °C
- Μη κραματωμένοι χάλυβες με περιεκτικότητα άνθρακα 0,45% έως 0,8% συγκολλούνται με προθέρμανση στους 275 °C έως 425 °C
- Σε ελαφρά κραματωμένους χάλυβες εξετάζεται το *ισοδύναμο άνθρακα (CE)*, το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$CE(\%) = \%C + \%Mn/6 + \%Cu + \%Ni/15 + \%Cr + \%Mo + \%V/5$$

Και όταν :

- $CE \leq 0,45\%$ τότε έχουμε καλή συγκόλληση, προθέρμανση αναγκαία για πάχη μεγαλύτερα από 30 mm.
- $0,45\% < CE \leq 0,6\%$ τότε έχουμε συγκόλληση δυνατή υπό συνθήκες. Προθέρμανση από 100 °C έως 150 °C.
- $CE > 0,6\%$ τότε έχουμε δύσκολη συγκόλληση. Αναγκαία προθέρμανση από 200 °C έως 300 °C.

Υψηλά κραματωμένοι χάλυβες (ανοξειδωτοι, ανθεκτικοί σε υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες) συμπεριφέρονται ανάλογα με τη δομή τους:

- Φεριτικοί χάλυβες περιέχοντες χρώμιο (π.χ. X6Cr17) έχουν γενικά καλή συγκολλητικότητα.
- Μαρτενσικοί χάλυβες (π.χ. X20Cr13) συγκολλούνται υπό ειδικές συνθήκες (προθέρμανση από 300 °C έως 400 °C και ανόπτηση στους 650 °C έως 750 °C μετά την συγκόλληση).
- Ωστενικοί χάλυβες (π.χ. X5CrNi18) έχουν γενικά καλή συγκολλητικότητα.

5. Χυτοσίδηροι και μη σιδηρούχα μέταλλα

α. Φαίος χυτοσίδηρος

Γενικά οι χυτοσίδηροι ανήκουν στα εύθραυστα υλικά. Η ευθραυστότητα τους προξενείτε από τη μεγάλη περιεκτικότητα του άνθρακα. Ο φαίος χυτοσίδηρος πετυχαίνεται με το αποτέλεσμα της αργής στερεοποίησης του χυτού, με μεγάλη περιεκτικότητα πυριτίου και άνθρακα. Ο άνθρακας εμφανίζεται με τη μορφή γραφίτη. Ο φαίος χυτοσίδηρος χαρακτηρίζεται από καλές χυτευτικές ιδιότητες, είναι κατεργάσιμος και εξαιτίας αυτής της ιδιότητας του βρήκε πλατιά χρησιμοποίηση σε διάφορες κατασκευές.

β. Λευκός χυτοσίδηρος

Έχει αυξημένη περιεκτικότητα του μαγγανίου και μικρή περιεκτικότητα του πυριτίου. Πετυχαίνεται με ταχεία ψύξη του χυτού. Ο λευκός χυτοσίδηρος ανήκει στα πολύ σκληρά μέταλλα και κατεργάζεται δύσκολα. Ο άνθρακας σ' αυτόν το χυτοσίδηρο, χημικά, είναι ενωμένος με το σίδηρο, δημιουργώντας χημική ένωση που ονομάζεται σεμεντήτης Fe_3C . Δεν είναι δυνατή η συγκόλληση του. Από το λευκό χυτοσίδηρο αποκτούμε το μαλακό χυτοσίδηρο, με θερμική κατεργασία απανθράκωσης, μέσα σε οξειδωτικό περιβάλλον. Ο μαλακός χυτοσίδηρος μπορεί να συγκολληθεί.

γ. Μη σιδηρούχα μέταλλα

Ο χαλκός:

Επιτυγχάνεται σε κλιβάνους από ορυκτά, περιέχει 99% καθαρό μέταλλο. Μπορεί, επίσης, να παρασκευασθεί και με ηλεκτρόλυση και τότε η καθαρότητα του είναι πολύ μεγάλη και περιέχει 99,9% καθαρό μέταλλο. Έχει μεγάλη πλαστικότητα και σφυρηλατείται εύκολα εν ψυχρώ. Μετά την πλαστική κατεργασία του σκληρύνεται. Λόγω της καλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του, χρησιμοποιείται στην ηλεκτροτεχνική, για την παραγωγή αγωγών, ενώ από την άποψη της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας στη βιομηχανία μηχανών. Αυτές οι δύο ιδιότητες δυσχεραίνουν τη συγκόλληση του. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα κράματα του χαλκού είναι ο **μπρούντζος** και ο **ορείχαλκος**. Ο μπρούντζος είναι κράμα χαλκού και κασσίτερου και η κατεργασία του είναι εύκολη. Ο ορείχαλκος είναι κράμα χαλκού και ψευδαργύρου.

Το αλουμίνιο:

Χαρακτηρίζεται από μικρή πυκνότητα και είναι τρεις φορές ελαφρύτερο από το χάλυβα. Έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην επίδραση των στοιχείων της ατμόσφαιρας καθώς και στα περισσότερα οργανικά οξέα. Εξαιτίας των ιδιοτήτων του (όπως η ανθεκτικότητα στη διάβρωση, η καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα), βρήκε μεγάλη εφαρμογή στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία παραγωγής αγωγών και στη χημική βιομηχανία. Επιπλέον στη χαλυβουργία και στα χυτήρια χρησιμοποιείται ως αποξειδωτικό μέσο. Τα **κράματα αλουμινίου** είναι και αυτά ελαφρά με μικρή πυκνότητα. Οι κύριες προστιθέμενες προσθήκες στο καθαρό

αλουμίνιο είναι: ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το πυρίτιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το μαγνήσιο και σπανιότερα ο σίδηρος. Οι προσθήκες αυτές σκοπό έχουν τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΟΞΟΥ

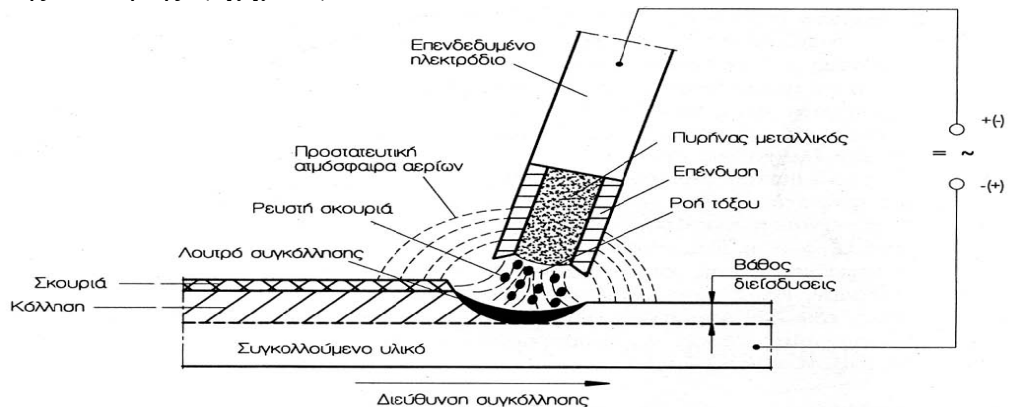
Α. ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΟΞΟΥ ΜΕ ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ

Κατά τις ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούμε τη θερμότητα που εκλύεται από το ηλεκτρικό τόξο. Με τη θερμότητα αυτή, τα τεμάχια που πρόκειται να συνδεθούν τήκονται επιφανειακά στην περιοχή της συγκόλλησης και αναμειγνύονται με την λειωμένη κόλληση. Επειδή τα τεμάχια τήκονται στην περιοχή συγκόλλησης, είναι συγκόλληση **τήξεως**. Ταυτόχρονα η συγκόλληση είναι και **αυτογενής**, επειδή η κόλληση που χρησιμοποιείται έχει την ίδια σύσταση με το υλικό των συγκολλημένων τεμαχίων. Το ηλεκτρόδιο είναι συνήθως από μέταλλο και αποτελεί ταυτόχρονα και το μέταλλο προσαγωγής (κόλληση). Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια φέρουν συνήθως επένδυση. Η σύσταση της επένδυσης συμβάλλει στην επιτυχία, την ποιότητα και την παραγωγικότητα της συγκόλλησης.

1. Το ηλεκτρικό (βολταϊκό) τόξο

Το ηλεκτρικό (βολταϊκό) τόξο δημιουργείται μεταξύ του ηλεκτροδίου και των συγκολλημένων τεμαχίων με τον ακόλουθο τρόπο:

Το ηλεκτρόδιο και τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν συνδέονται στους πόλους της μηχανής ηλεκτροσυγκόλλησης δημιουργώντας μία **άνοδο (+)** και μία **κάθοδο (-)**. Το ηλεκτρόδιο κατόπιν έρχεται σε επαφή με τα προς συγκόλληση τεμάχια δημιουργώντας στιγμιαία βραχυκύκλωμα και απομακρύνεται αμέσως ελάχιστα δημιουργώντας το ορατό **βολταϊκό τόξο**. Η ενέργεια που εκλύεται από το βολταϊκό τόξο απορροφάται από τα συγκολλημένα τεμάχια και το συγκολλητικό υλικό του ηλεκτροδίου με αποτέλεσμα την τοπική τήξη του υλικού των τεμαχίων και της κόλλησης, (**σχήμα α**).

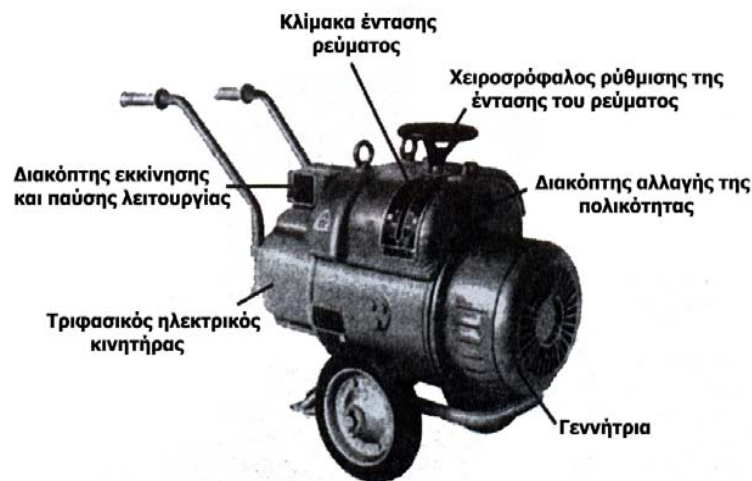


Σχήμα α : Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια

Το μήκος του τόξου πρέπει να διατηρείται σταθερό και ομαλό κατά την διαδικασία της συγκόλλησης. Η σταθερότητα και ομαλότητα του τόξου εξαρτώνται από την φύση του ρεύματος, την επένδυση του ηλεκτροδίου και την ικανότητα του χειριστή. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται μεταξύ του ηλεκτροδίου και του βασικού μετάλλου φτάνει τους 5.200 °C και είναι ικανή να τήξει πολύ γρήγορα οποιοδήποτε μέταλλο και να το συγκολλήσει.

2. Μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου

Είναι ηλεκτρικές πηγές που δίνουν ρεύμα χαμηλής τάσης (δεκάδων Volt) αλλά μεγάλης έντασης (πολλά Ampere). Ανάλογα με την φύση του ρεύματος, διακρίνονται σε **μηχανές συνεχούς (σχήμα β)** και μηχανές **εναλλασσόμενου ρεύματος**.

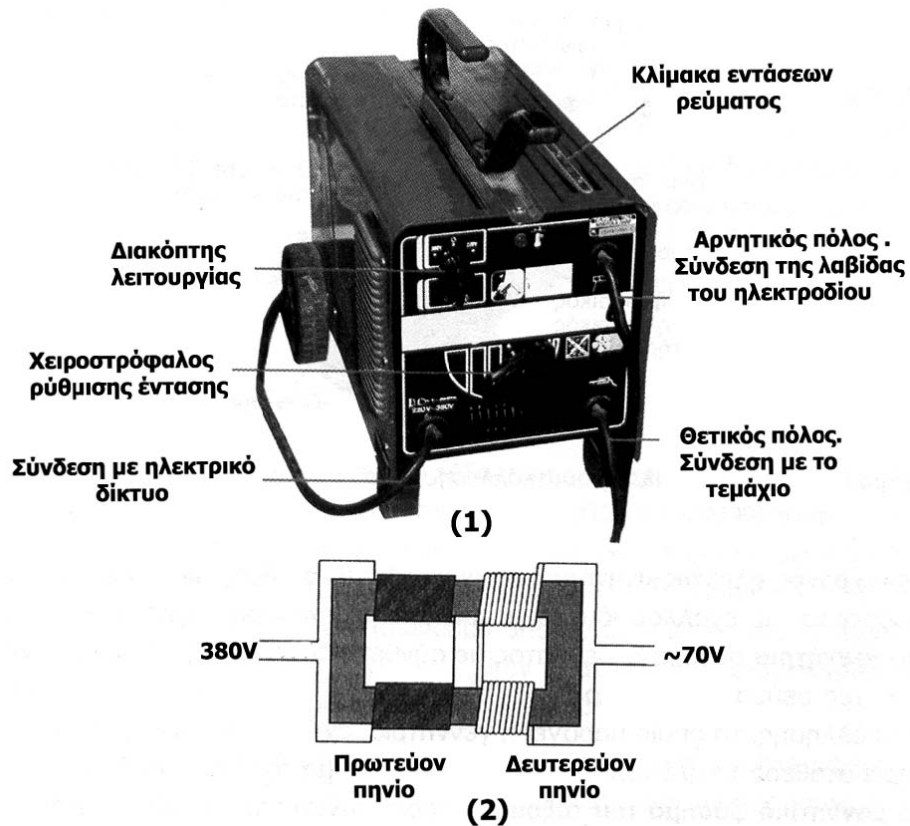


Σχήμα β Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια

Η συσκευή συνεχούς ρεύματος, αποτελείται από:

- 1) Τον **τριφασικό ηλεκτροκινητήρα** που τροφοδοτείται από το δίκτυο της πόλης και κινεί την **γεννήτρια** συνεχούς ρεύματος που δίνει το ρεύμα της ηλεκτροσυγκόλλησης.
- 2) Τον διακόπτη εκκίνησης.
- 3) Το στροφέιο ρύθμισης του ρεύματος συγκόλλησης.
- 4) Τον δείκτη της έντασης του ρεύματος.
- 5) Τον διακόπτη αλλαγής πολικότητας (+, -).

Σημείωση: Αντί για ηλεκτροκινητήρας που κινεί τη γεννήτρια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε άλλη κινητήρια μηχανή (π.χ. μηχανή εσωτερικής καύσης).



Σχήμα γ : 1)Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου εναλλασσόμενου ρεύματος
2)Αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή

Η συσκευή εναλλασσόμενου ρεύματος, (σχήμα γ), είναι βασικά ένας μετασχηματιστής (μονοφασικός ή τριφασικός) με τον οποίο μετασχηματίζουμε την τάση, και επομένως και την ένταση του ρεύματος τροφοδοσίας σε χαμηλή τάση και υψηλή ένταση για την λειτουργία της ηλεκτροσυγκόλλησης. Αποτελείται από:

- 1) Τον διακόπτη του ρεύματος τροφοδοσίας
- 2) Το στροφέιο ρύθμισης της τάσης του ρεύματος (επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των σπειρών του πρωτεύοντος πηνίου)

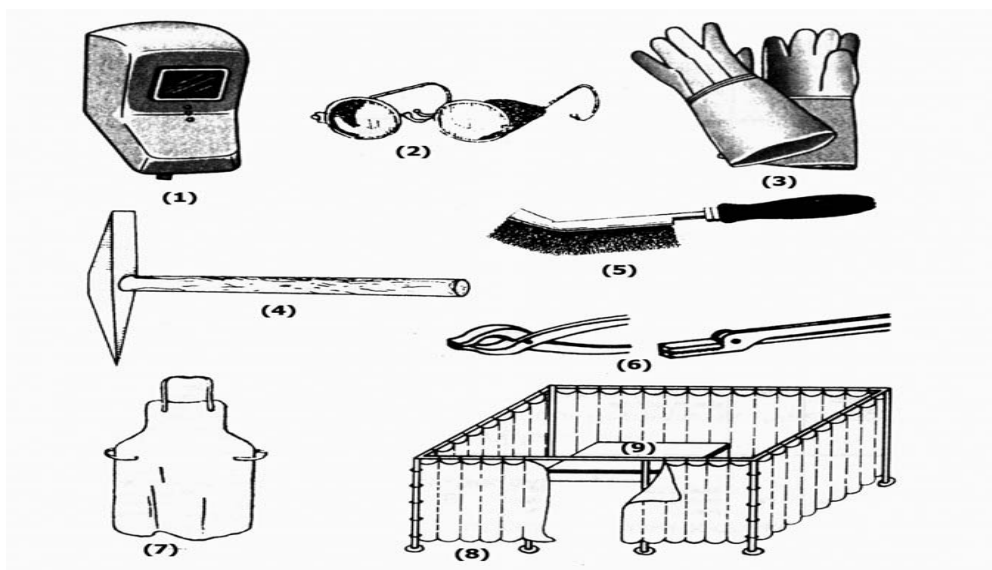
- 3) Το στροφέιο ρύθμισης της έντασης του ρεύματος συγκόλλησης (επιτυγχάνεται με αυξομείωση του διάκενου του πυρήνα του μετασχηματιστή)

Κάθε συσκευή ηλεκτροσυγκόλλησης, εκτός από το καλώδιο τροφοδοσίας, φέρει **καλώδιο διοχέτευσης του ρεύματος** ηλεκτροσυγκόλλησης στο ηλεκτρόδιο, μέσω **λαβίδας** (τσιμπίδα) και το **καλώδιο επιστροφής ή της γείωσης** που συνδέεται με τα συγκολλημένα τεμάχια ή με τη μεταλλική τράπεζα εργασίας με τη βοήθεια του **σφικτήρα**, κλείνοντας έτσι το ηλεκτρικό κύκλωμα.

3. Εργαλεία του ηλεκτροσυγκολλητή

Τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται κατά την ηλεκτροσυγκόλληση τόξου είναι τα εξής:

- 1) Προστατευτική μάσκα με σκούρο απορροφητικό γυαλί
- 2) Απλά προστατευτικά γυαλιά
- 3) Προστατευτικά γάντια από αμίαντο ή δέρμα
- 4) Σφυρί καθαρισμού της συγκολλητικής ραφής από την κρούστα
- 5) Συρματόβουρτσα
- 6) Λαβίδες συγκράτησης των συγκολλημένων τεμαχίων
- 7) Δερμάτινη προστατευτική ποδιά
- 8) Προστατευτικό παραπέτασμα (παραβάν) στη θέση ηλεκτροσυγκόλλησης
- 9) Μεταλλικό τραπέζι εργασίας συγκολλητή

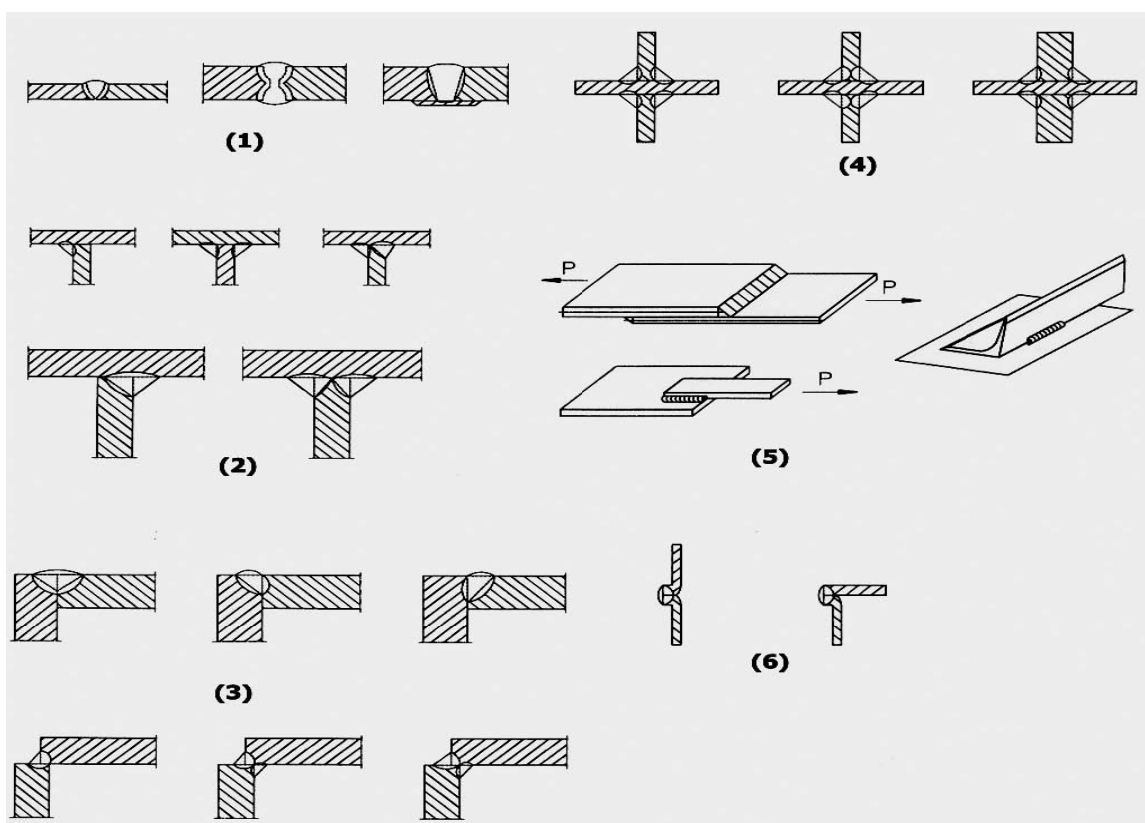


Σχήμα δ : Εργαλεία και βοηθητικά μέσα ηλεκτροσυγκολλητή

4. Είδη συγκολλητικών ραφών

Ανάλογα με τη μορφή προετοιμασίας των άκρων και το είδος της σύνδεσης των συγκολλημένων τεμαχίων υπάρχουν έξι είδη ραφών, **(σχήμα ε)**:

- 1) ραφές εσωτερικές ή βυθισμένες
- 2) ραφές τύπου ταυ
- 3) ραφές γωνιακές
- 4) ραφές σταυρωτές
- 5) ραφές επικάλυψης
- 6) ραφές ραχωτές



Σχήμα ε:Είδη σύνδεσης των συγκολλούμενων τεμαχίων

Ανάλογα με τη θέση των συγκολλημένων τεμαχίων υπάρχουν πέντε είδη ραφών, **(σχήματα στ έως θ)**:

- ραφές σε οριζόντιο επίπεδο
- ραφές σε κατακόρυφο επίπεδο

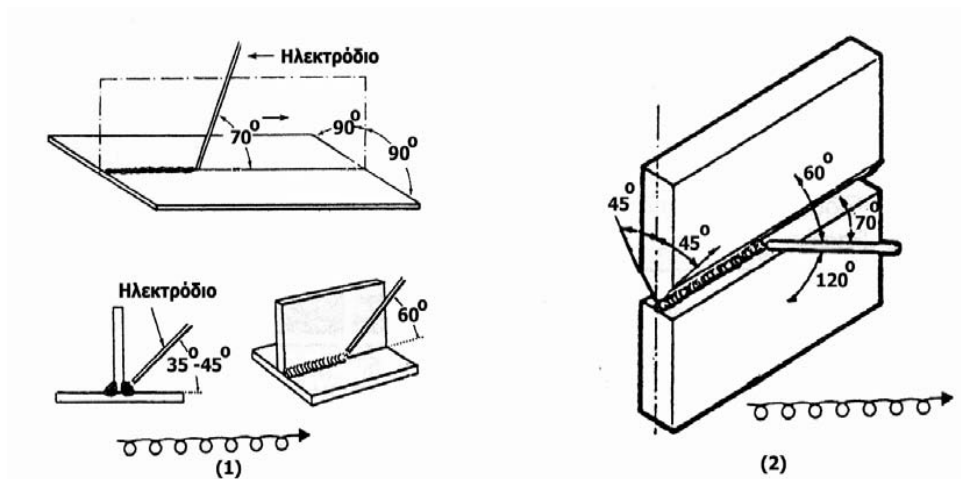
- ραφές σε κατακόρυφο επίπεδο και άξονα ραφής οριζόντιο
- ραφές υπεράνω κεφαλής
- ραφές σε κεκλιμένο επίπεδο

Ανάλογα με τη διαδοχή των θέσεων συγκόλλησης διακρίνουμε τρία είδη ραφών:

- ραφή συνεχής
- ραφή βηματική
- ραφή με άλματα

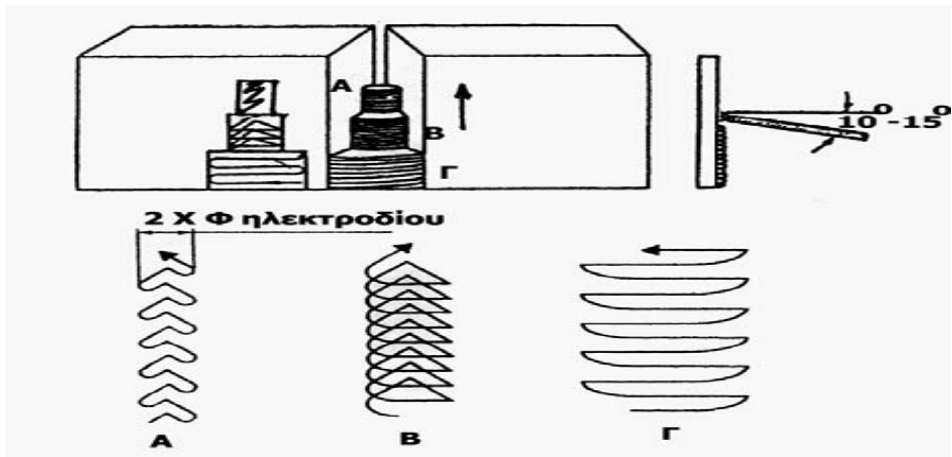
Ανάλογα με την κίνηση του ηλεκτροδίου διακρίνουμε δύο είδη κορδονιών, **(σχήμα ζ και η)**:

- κορδόνι τραβηγτό (ευθύγραμμη κίνηση ηλεκτροδίου)
- κορδόνι μπαλανσέ (ταλαντωτή κίνηση ηλεκτροδίου)



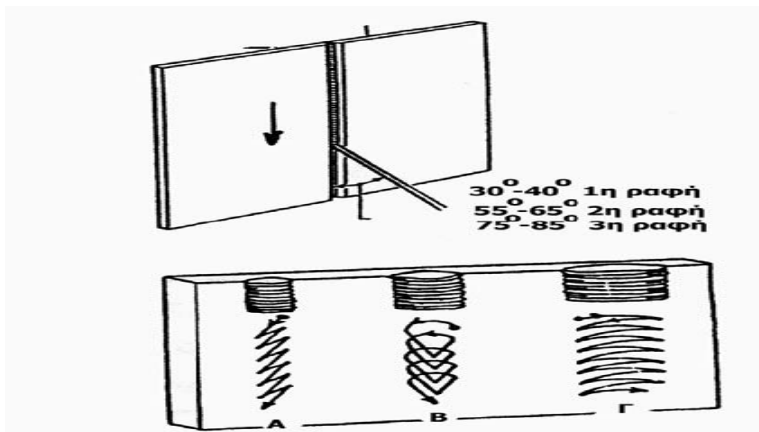
Σχήμα στ :Ραφές συγκόλλησης με ευθύγραμμη κίνηση του ηλεκτροδίου.

- 1) Οριζόντιο επίπεδο 2) Κατακόρυφο επίπεδο με οριζόντιο άξονα ραφής



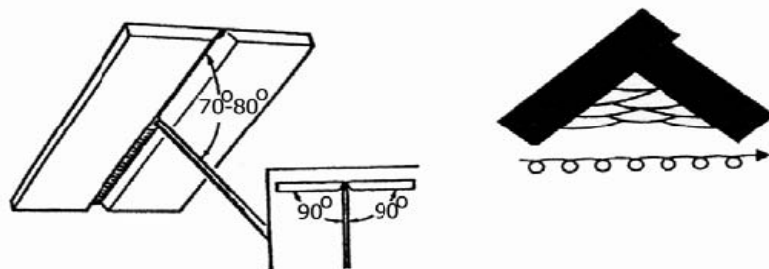
Σχήμα ζ : Ραφές συγκόλλησης σε κατακόρυφο επίπεδο από κάτω προς τα πάνω.

- A) Κίνηση ηλεκτροδίου ανοικτού τριγώνου για συγκόλληση ριζών
- B) Κίνηση κλειστού τριγώνου για συγκόλληση ριζών
- Γ) Ταλαντωτή κίνηση για συγκόλληση επιφανειών.



Σχήμα η : Ραφές συγκόλλησης σε κατακόρυφο επίπεδο από πάνω προς τα κάτω.

- A) Κίνηση ηλεκτροδίου ανοικτού τριγώνου
- B) Κίνηση κλειστού τριγώνου
- Γ) Ταλαντωτή κίνηση.



Σχήμα 5.20 : Ευθύγραμμες ραφές συγκόλλησης υπεράνω κεφαλής με κυκλικές κινήσεις.

Μία συγκολλητική ραφή μπορεί να αποτελείται από μία μόνο στρώση συγκολλητικού υλικού ή από περισσότερες. Στη δεύτερη περίπτωση η πρώτη στρώση λέγεται στρώση **ρίζας** και η τελευταία στρώση **επικάλυψης**. Οι ενδιάμεσες στρώσεις λέγονται **κορδόνια**. Όταν η ραφή αποτελείται από πολλές στρώσεις ή κορδόνια, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια μικρότερης διαμέτρου για τις κάτω στρώσεις και μεγαλύτερης διαμέτρου για τις πάνω στρώσεις. Ανάλογα με το πάχος των ελασμάτων που πρόκειται να συγκολληθούν, ο αριθμός των ραφών ή κορδονιών που απαιτούνται είναι:


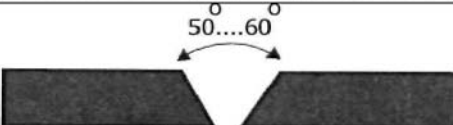
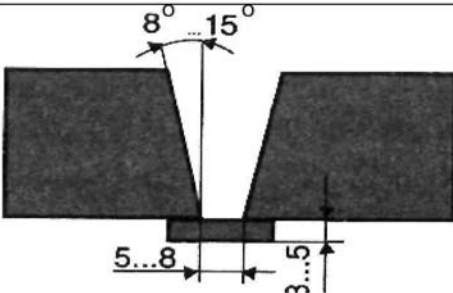
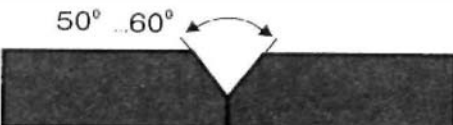
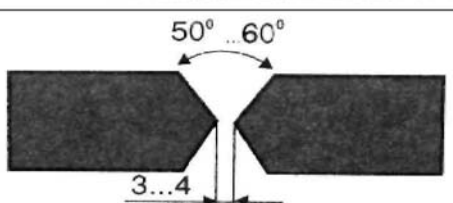
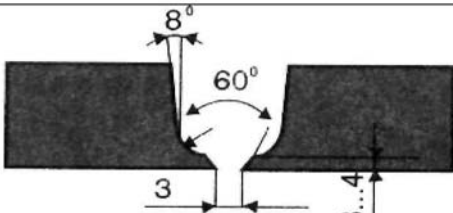
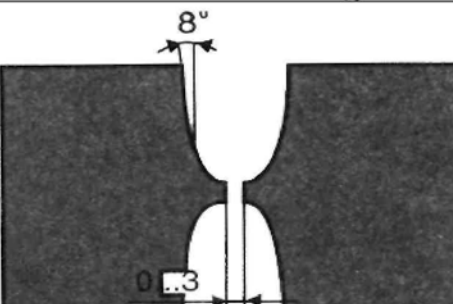
- 1) Για ελάσματα πάχους μέχρι **8mm**, μία ραφή
- 2) Για ελάσματα πάχους από **8-12 mm**, τρεις ραφές
- 3) Για ελάσματα πάχους από **12-16 mm**, τέσσερις ραφές
- 4) Για ελάσματα πάχους από **16-25 mm**, εννιά ή δέκα ραφές

5. Προετοιμασία των άκρων

Προετοιμασία των άκρων ονομάζεται η διαμόρφωση των ακραίων τμημάτων των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν. Η προετοιμασία συνιστά αφαίρεση υλικού από το ένα ή τα δύο τεμάχια έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η σύνδεση των τεμαχίων εύκολα και αξιόπιστα. Το είδος της προετοιμασίας των άκρων εξαρτάται κυρίως από το πάχος των συγκολλημένων τεμαχίων.

- Για ελάσματα μικρού πάχους, έως **5mm**, δεν απαιτείται ιδιαίτερη προετοιμασία
- Για ελάσματα πάχους μέχρι **15 mm** χρησιμοποιείται η διαμόρφωση τύπου **V**
- Για ελάσματα πάχους από **15 έως 25 mm** χρησιμοποιείται η διαμόρφωση τύπου **X**
- Για ελάσματα πάχους πάνω από **25 mm** χρησιμοποιείται η διαμόρφωση τύπου **U**

Στον **πίνακα 5.1** δίνονται στοιχεία για την προετοιμασία των άκρων ελασμάτων ανάλογα με το πάχος τους.

Είδος ραφής	Ονομασία ραφής	Τρόποι διαμόρφωσης των άκρων
Εσωραφές	Ραφή Ι	
	Ραφή V	
	Ραφή V με αποτόμες κόψεις	
	Ραφή Υ	
	Ραφή Χ	
	Ραφή U	
	Ραφή διπλού U	

Πίνακας 5.1 : Τρόποι διαμόρφωσης άκρων συγκολλούμενων τεμαχίων.

Η προετοιμασία των άκρων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- I. **Με πυροκόφτη οξυγόνου ασετυλίνης:** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε αναγκαστικές περιπτώσεις. (Η τομή γίνεται μόνο ευθύγραμμη). Απαιτείται τρόχισμα της επιφάνειας τομής, για να αφαιρεθεί το μικρορηγματωμένο και καμένο επιφανειακό στρώμα για να αποφευχθούν ελασματικές ρηγματώσεις.
- II. **Με ηλεκτρόδιο ARCAIR:** Χρησιμοποιείται απλή ηλεκτροσυγκόλληση τόξου, με δυνατότητα υψηλής έντασης και πεπιεσμένος αέρας με χρήση αεροσυμπιεστή. Το ηλεκτρόδιο από γραφίτη με προστατευτικό στρώμα χαλκού, το οποίο έχει σχετικά μεγάλη διάμετρο και μήκος έως 30 cm συγκρατείται σε ειδική τσιμπίδα και προκαλεί ισχυρό τόξο, το οποίο τήκει το μέταλλο του ελάσματος σε μεγάλο βάθος. Ο πεπιεσμένος αέρας βοηθούμενος και από το τόξο, εκτοξεύει το ρευστό μέταλλο μακριά. Η επιφάνεια τομής πρέπει και σε αυτή την περίπτωση να "καθαρίζεται" με τροχό.
- III. **Με εργαλειομηχανή:** Ιδανική λύση είναι η προετοιμασία με μία φρεζομηχανή, όπου δίνεται η δυνατότητα πρόσδοσης της επιθυμητής μορφής και επιτυγχάνεται καθαρή επιφάνεια.

6. Κατηγορίες επενδεδυμένων ηλεκτροδίων

Τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια αποτελούνται από δύο βασικά στοιχεία: τον μεταλλικό πυρήνα και την επένδυση που τον περιβάλλει. Ο μεταλλικός πυρήνας επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο και ταυτόχρονα προσφέρει το απαιτούμενο μέταλλο για τη συγκόλληση σε διάφορες αναλογίες. Η χημική σύσταση των ηλεκτροδίων, καθώς και οι αναλογίες δεν είναι σταθερές, και εξαρτώνται από τα στοιχεία των προς συγκόλληση μετάλλων και τις συνθήκες λειτουργίας της κατασκευής. Η επένδυση αποτελείται από ένα σύνθετο μείγμα ορυκτών, μεταλλικών και συνδετικών υλών. Ο ρόλος της είναι σπουδαίος και πολλαπλός και χαρακτηρίζει την κατηγορία στην οποία ανήκει το ηλεκτρόδιο.

α. Ταξινόμηση ηλεκτροδίων με βάση την σύνθεση της επένδυσης

Τα ηλεκτρόδια χωρίζονται σε έξι βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη φύση της επένδυσης τους. Η ταξινόμηση είναι αναγνωρισμένη διεθνώς. Έτσι, ανεξάρτητα από τους κανονισμούς τυποποίησης, (Αμερικάνικους, Γερμανικούς κλπ) τα ηλεκτρόδια μπορούν να ανήκουν στις έξι κατηγορίες με βάση την σύνθεση της επένδυσης τους που μπορεί να είναι:

1) Οξειδωτική επένδυση

Αυτός ο τύπος επένδυσης περιέχει οξείδιο του σιδήρου ή οξείδιο του μαγγανίου. Τα ηλεκτρόδια αυτά χρησιμοποιούνται για συγκόλληση μαλακού χάλυβα, χωρίς μεγάλες απαιτήσεις αντοχής. Το ρεύμα συγκόλλησης μπορεί να είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο.

2) Όξινη επένδυση

Ο τύπος της επένδυσης αυτής περιέχει οξείδια του σιδήρου, του μαγγανίου, του τιτανίου και του πυριτίου, καθώς και σιδηροκράματα τα οποία είναι αποξειδωτικά. Το ρεύμα συγκόλλησης μπορεί να είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο.

3) Επένδυση ρουτιλίου

Η επένδυση αυτού του τύπου αποτελείται κυρίως από οξείδιο του τιτανίου και πυριτικά άλατα του νατρίου ή του καλλίου που χρησιμεύουν σαν συνδετικά υλικά και υποβοηθούν τη δημιουργία της κατάλληλης κρούστας. Χρησιμοποιούνται ακόμη και σε δύσκολες θέσεις συγκόλλησης. Το ρεύμα συγκόλλησης μπορεί να είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο.

4) Επένδυση ρουτιλίου-κυτταρίνης

Η επένδυση αυτή, είναι όμοια με αυτή των ρουτιλικών ηλεκτροδίων. Περιέχει μεγάλη ποσότητα πτητικών ουσιών, κυτταρίνη κλπ. Με τα πολλά αέρια που παράγει, διευκολύνει τη συγκόλληση σε όλες τις θέσεις, ενώ οι μηχανικές ιδιότητες είναι όμοιες με αυτές των ρουτιλικών.

5) Επένδυση κυτταρίνης-(σελουρόζης)

Η επένδυση αυτού του τύπου αποτελείται από κυτταρίνη κατά το μεγαλύτερο μέρος. Το χρησιμοποιούμενο ρεύμα συγκόλλησης είναι συνεχές, με το ηλεκτόδιο στο (+). Ο ραδιογραφικός έλεγχος των ραφών με ηλεκτρόδια αυτής της επένδυσης είναι αρκετά ικανοποιητικός. Μειονεκτεί στο ότι προκαλεί αρκετή εκτόξευση μετάλλου κατά τη συγκόλληση.

6) Βασική επένδυση

Η επένδυση αυτή είναι σχετικά μεγάλου πάχους, και αποτελείται κατά μεγάλο ποσοστό από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και σε μικρότερο ποσοστό από βασικά ανθρακικά άλατα και φθοριούχο ασβέστιο (CaF_2).

β. Ταξινόμηση ηλεκτροδίων με βάση την διάμετρο τους

Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται σε διάφορες διαμέτρους. (Συνηθισμένοι διάμετροι ηλεκτροδίων με επένδυση $\Phi 2\text{mm}$, $\Phi 2,5\text{ mm}$, $\Phi 3,25\text{ mm}$, $\Phi 4\text{ mm}$, $\Phi 5\text{ mm}$ κλπ.)

Κατά τους Γερμανικούς κανονισμούς, τα ηλεκτρόδια με επένδυση κατασκευάζονται:

- **Με λεπτή επένδυση** και διάμετρο ως **120%** της διαμέτρου του μεταλλικού πυρήνα. Χαρακτηρίζονται με το γράμμα **(d)**.
- **Με μέσου πάχους επένδυση** και διάμετρο **120-140%** της διαμέτρου του μεταλλικού πυρήνα. Χαρακτηρίζονται με το γράμμα **(M)**.
- **Με μεγάλου πάχους επένδυση** και διάμετρο **πάνω του 140%** της διαμέτρου του μεταλλικού πυρήνα. Χαρακτηρίζονται με το γράμμα **(S)**.

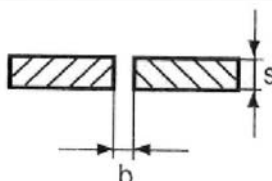
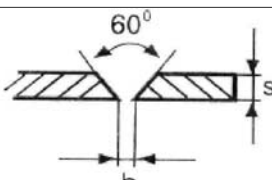
7. Επιλογή διαμέτρου ηλεκτροδίου και έντασης ρεύματος συγκόλλησης

Η διάμετρος του επενδεδυμένου ηλεκτροδίου επηρεάζει αποφασιστικά την πυκνότητα του ρεύματος συγκόλλησης και εξ'αυτού τη μορφή του κορδονίου της κόλλησης, το βάθος διείσδυσης και τη δυνατότητα συγκόλλησης στις εξαναγκασμένες θέσεις. Η αύξηση της διαμέτρου του ηλεκτροδίου, με σταθερή ένταση του ρεύματος, οδηγεί στη μείωση του βάθους διείσδυσης και στην αύξηση του πλάτους της κόλλησης. Τα ηλεκτρόδια με μεγαλύτερη διάμετρο χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ελασμάτων μεγάλου πάχους αλλά και για τη συγκόλληση με μεγάλες ταχύτητες. Η επιλογή της διαμέτρου του ηλεκτροδίου εξαρτάται κυρίως από το πάχος του συγκολλούμενου υλικού, τη θέση συγκόλλησης, τον τρόπο προετοιμασίας και το είδος της σύνδεσης. Από οικονομικής άποψης επιβάλλεται η χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων με όσο το δυνατόν μεγαλύτερες διαμέτρους, ενώ από την άποψη της ποιότητας συγκόλλησης επιβάλλεται ο περιορισμός της διαμέτρου του επενδεδυμένου ηλεκτροδίου.

Η διάμετρος και ο τύπος του ηλεκτροδίου που θα χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτροσυγκόλληση μεταλλικών αντικειμένων, καθορίζεται από:

- Το υλικό κατασκευής των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν
- Το πάχος τους
- Το κατά πόσο πρόκειται για συγκόλληση τεμαχίων ή για αναγόμωση φθαρμένων επιφανειών

Πίνακας 7.1: Εκλογή διαμέτρου του ηλεκτροδίου.

Είδος ραφής	Τρόπος διαμόρφωσης άκρων	Διάκενο (b) mm	Πάχος ελάσματος (s) mm	Διάμετρος ηλεκτροδίου mm
Εσωραφές		=s	1	2
			1.5	2
			2	2.5
		=s/2	3	3
			4	4
	1.5	5	4	
		6	4 και 5	
		8	4 και 5	
		10	4 και 5	
			2	12
14	5.5 και 6			
16	5.5 και 6			
1.5	12		4 και 5	
	14		4 και 5	
	16		4 και 5	
1.5	18	5.5 και 6		
	20	5.5 και 6		
	25	5.5 και 6		
	25	5.5 και 6		

Από τον πίνακα 7.1 επιλέγουμε την διάμετρο του ηλεκτροδίου.

Πίνακας 5.17 : Ένταση του ρεύματος συγκόλλησης σε συνάρτηση με τη διάμετρο του ηλεκτροδίου.

Ηλεκτρόδια γυμνά, διάτρητα και με λεπτή επένδυση		Ηλεκτρόδια με μέση και χονδρή επένδυση	
Διάμετρος ηλεκτροδίου (mm)	Ένταση ρεύματος (A)	Διάμετρος ηλεκτροδίου (mm)	Ένταση ρεύματος (A)
2	50-70	2	50-80
3	90-130	2.5	60-110
4	140-190	3.25	90-160
5	190-250	4	130-200
6	240-330	5	180-260
		6	230-350

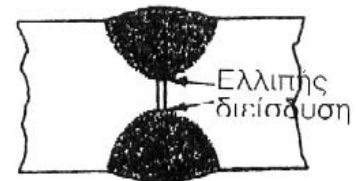
Αφού επιλεγεί η διάμετρος και ο τύπος του ηλεκτροδίου που θα χρησιμοποιηθεί, πρέπει να καθορισθεί η ένταση του ρεύματος στη μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης. Στον πίνακα 7.2 δίνονται τιμές της έντασης του ρεύματος συγκόλλησης σε συνάρτηση με τη διάμετρο του ηλεκτροδίου.

8. Ελαττώματα ηλεκτροσυγκολλήσεων τόξου

Τα σφάλματα κατά τις ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου οφείλονται κυρίως σε λανθασμένες επιλογές και σε λανθασμένο τρόπο συγκόλλησης. Τα κυριότερα σφάλματα συγκολλήσεων και οι αιτίες που τα προκαλούν, είναι οι εξής:

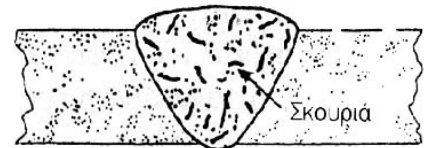
1) Ελλιπής διείσδυση συγκολλητικού υλικού

- Χαμηλή ένταση ρεύματος
- Μεγάλη ταχύτητα πρόωσης
- Ακατάλληλη θέση και κίνηση του ηλεκτροδίου
- Λανθασμένη επιλογή ηλεκτροδίου
- Ακατάλληλη προετοιμασία άκρων



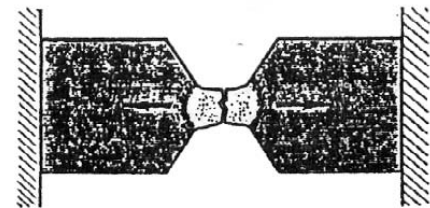
2) Εγκλωβισμός σκουριάς στη ραφή συγκόλλησης

- Μη ικανοποιητικός καθαρισμός της σκουριάς μεταξύ των ραφών
- Χαμηλή ένταση ρεύματος
- Μεγάλη ταχύτητα πρόωσης
- Μεγάλο μήκος τόξου
- Λανθασμένη θέση και κίνηση του ηλεκτροδίου



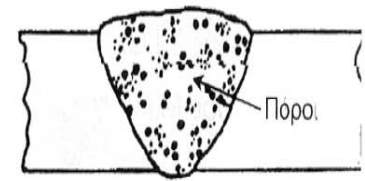
3) Ρωγμές στη ραφή συγκόλλησης

- Λανθασμένη επιλογή ηλεκτροδίου
- Απότομη ψύξη της κόλλησης
- Εσωτερικές τάσεις μέσα στο βασικό μέταλλο
- Κακή προετοιμασία των άκρων
- Υψηλή ένταση του ρεύματος
- Ακάθαρτες επιφάνειες συγκόλλησης
- Αλλαγή στην εσωτερική δομή του μετάλλου
- Μεγάλο πάχος ελασμάτων



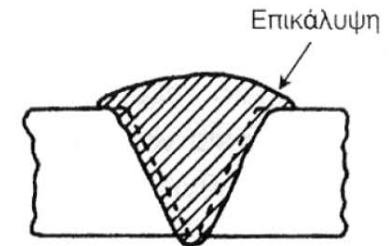
4) Πόροι στη ραφή συγκόλλησης

- Ακαθαρσίες στην επιφάνεια συγκόλλησης
- Υγρασία στην επένδυση του ηλεκτροδίου
- Απότομη ψύξη της κόλλησης
- Ακατάλληλο ηλεκτρόδιο
- Μεγάλο μήκος τόξου



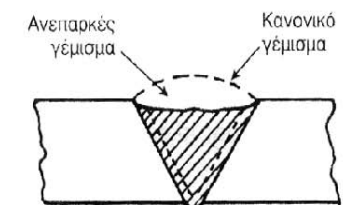
5) Μεγάλο πλάτος ραφής συγκόλλησης

- Υψηλή ένταση ρεύματος
- Λανθασμένη κίνηση του ηλεκτροδίου
- Μεγάλο μήκος τόξου
- Ακαθαρσίες στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου



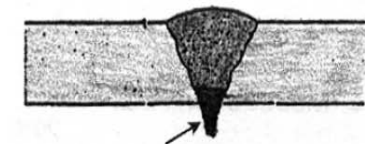
6) Ανεπαρκές γέμισμα της ραφής συγκόλλησης

- Μεγάλη ταχύτητα πρόωσης
- Μικρό μέγεθος ηλεκτροδίου



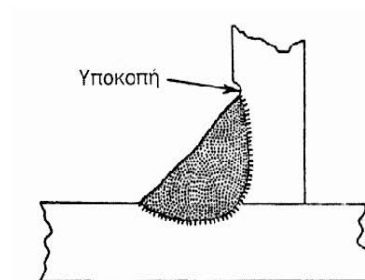
7) Υπερβολικό γέμισμα της ραφής συγκόλλησης

- Μεγάλο μέγεθος ηλεκτροδίου
- Μικρή ταχύτητα πρόωσης



8) Υποκοπή του μετάλλου (καψίματα και κοιλότητες στη ραφή)

- Υψηλή ένταση ρεύματος
- Λανθασμένη θέση και κίνηση του ηλεκτροδίου
- Ακατάλληλη διάμετρος του ηλεκτροδίου
- Μεγάλη ταχύτητα πρόωσης



9. Μέτρα ασφαλείας και μέσα ατομικής προστασίας κατά τις ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου

Μέτρα ασφαλείας

- 1) Ελέγχουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα καλώδια της μηχανής συγκόλλησης από τυχών φθορές (γδαρσίματα στο μονωτικό τους περίβλημα), οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη συγκόλληση.
- 2) Δεν αφήνουμε την τσιμπίδα πάνω στα συγκολλούμενα κομμάτια, αλλά την τοποθετούμε σε ειδική θήκη πάνω στον πάγκο εργασίας.
- 3) Απομακρύνουμε όλα τα εύφλεκτα υλικά γύρω από τον χώρο εργασίας για την αποφυγή πυρκαγιάς.
- 4) Τα παραγόμενα αέρια που δημιουργούνται από την ηλεκτροσυγκόλληση αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για την υγεία μας. Για τον λόγο αυτό τοποθετούμε σύστημα απορρόφησης των αερίων από τον χώρο εργασίας.
- 5) Στον χώρο εργασίας τοποθετούμε προστατευτικά παραβάν από αδιαπέραστο υλικό για την προστασία από την ακτινοβολία του ηλεκτρικού τόξου για τα άτομα που εργάζονται γύρω μας.

Ατομικά μέτρα προστασίας

- 1) Χρησιμοποιούμε προστατευτική μάσκα με ειδικά σκούρο απορροφητικό γυαλί για την προστασία των ματιών μας από την ακτινοβολία.
- 2) Χρησιμοποιούμε απλά προστατευτικά γυαλιά όταν καθαρίζουμε την κρούστα από την ραφή συγκόλλησης.
- 3) Χρησιμοποιούμε δερμάτινα γάντια και ποδιά για την προστασία από τα πυρακτωμένα σωματίδια που πετάγονται κατά την ώρα εκτέλεσης της συγκόλλησης.

B. ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΟΞΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

1. Γενικά

Η συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη περιοχή χρησιμοποίησης των συγκολλήσεων. Η μέθοδος αυτή όμως δεν έχει καλά αποτελέσματα κατά τη συγκόλληση κραματωμένων χαλύβων, που περιέχουν προσθήκες, οι οποίες δυσχεραίνουν τη συγκόλληση, όπως επίσης και κατά τη συγκόλληση αλουμινίου και άλλων μη σιδηρούχων μετάλλων, που απαιτούν περισσότερο αποτελεσματική προστασία από την επιβλαβή επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα. Βάσει λοιπόν των δυσκολιών αναπτύχθηκαν **οι μέθοδοι συγκόλλησης τόξου με προστατευτικά αέρια**, που εμποδίζουν την εισχώρηση του ατμοσφαιρικού αέρα με τη ροή αερίου με πίεση σημαντικά υπερβαίνουσα την ατμοσφαιρική πίεση.

Οι μέθοδοι συγκόλλησης τόξου με προστατευτικά αέρια είναι οι εξής:

- **Μέθοδος M.I.G. (Metal Inert Gas)**
- **Μέθοδος M.A.G. (Metal Active Gas)**
- **Μέθοδος T.I.G. (Tungsten Inert Gas)**
- **Μέθοδος πλάσματος P.A.W (Plasma Arc Welding)**

Στις σύγχρονες αυτές μεθόδους συγκόλλησης χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία τους προστατευτικά αέρια αδρανή ή ενεργά. Τα αέρια αυτά είναι:

- Το αργό (**Ar**)
- Το ήλιο (**He**)
- Το διοξείδιο του άνθρακα (**CO₂**)
- Το άζωτο (**N₂**)
- Το οξυγόνο (**O₂**)
- Το υδρογόνο (**H₂**)
- Μείγματα των παραπάνω

Τα ενεργά αέρια έχουν, έναντι των αδρανών το μειονέκτημα ότι αντιδρούν με το τήγμα και μπορούν να μειώσουν τις μηχανικές ιδιότητες της ραφής. Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να εξαλειφθεί κατά ένα μέρος με τη χρήση συγκολλητικού υλικού (σύρματος) κατάλληλης σύνθεσης. Ο σκοπός των αερίων αυτών είναι να

σχηματίζουν μία προστατευτική ομπρέλα κατά την διάρκεια της συγκόλλησης γύρω από το ηλεκτρικό τόξο και να εμποδίζουν το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα να εισέλθει στη συγκολλητική ραφή και να την οξειδώσει.

Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις τόξου με προστατευτικά αέρια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

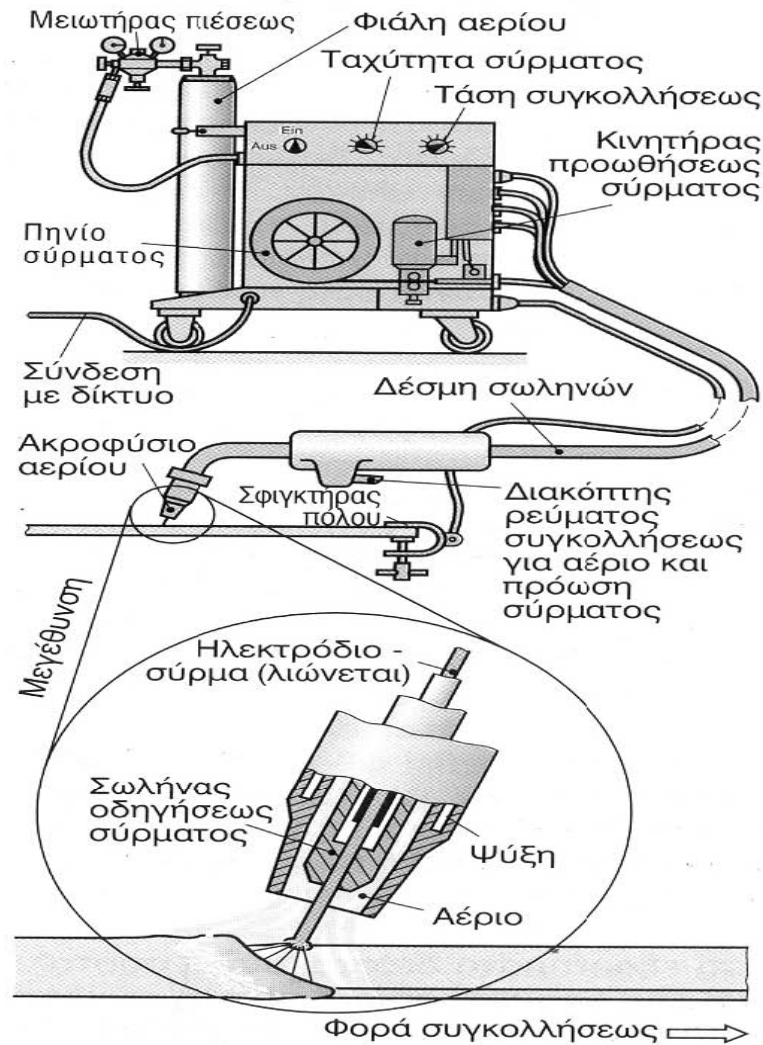
- 1) Ηλεκτροσυγκολλήσεις με καταναλώσιμο μεταλλικό ηλεκτρόδιο και προστατευτικό αέριο
 - Μέθοδος **M.I.G.**
 - Μέθοδος **M.A.G.**
- 2) Ηλεκτροσυγκολλήσεις με μη καταναλώσιμο ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστατευτικό αέριο. Στην κατηγορία αυτή απαιτείται η προσθήκη συγκολλητικού υλικού για τη δημιουργία της συγκολλητικής ραφής
 - Μέθοδος **T.I.G.**
 - Μέθοδος πλάσματος **P.A.W**

2. Μέθοδος M.I.G. (Metal Inert Gas)

Η συγκόλληση τόξου με τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα προστατευτικών αερίων (ακρωνυμία **M.I.G.**) είναι μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που χρησιμοποιείται για τις συγκολλητές κατασκευές. Η ακρωνυμία **M.I.G.** αναφέρεται στις ευρωπαϊκές χώρες ως υποχρεωτική και αφορά μόνο στην προστατευτική ατμόσφαιρα των αδρανών αερίων. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται λιγότερο η ακρωνυμία **M.A.G.** μόνο για τα δραστικά προστατευτικά αέρια. Μερικές φορές χρησιμοποιείται και η συνένωση των ακρωνυμιών **M.I.G./ M.A.G.**

Η συγκόλληση **M.I.G.** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση με υψηλή ποιότητα των συνδέσεων όλων των μετάλλων που μπορούν να συνδεθούν με τη συγκόλληση τόξου. Σ' αυτά ανήκουν οι ανθρακοχάλυβες, οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες, οι χάλυβες που είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση, οι ειδικοί χάλυβες, το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, ο χαλκός, το νικέλιο, το τιτάνιο και τα κράματα του. Σε αυτή τη μέθοδο ηλεκτροσυγκόλλησης σχηματίζεται ένα τόξο συνεχούς ρεύματος, το οποίο δημιουργείται μεταξύ του γυμνού συρμάτινου ηλεκτροδίου και του συγκολλούμενου τεμαχίου. Το ηλεκτρόδιο είναι ο θετικός πόλος και χρησιμοποιείται σύρμα διαμέτρου από 0,8 mm έως 2,4 mm και είναι τυλιγμένο σε κατάλληλη ανέμη που προσαρμόζεται στη μηχανή συγκόλλησης. Μία συσκευή προώθησης ωθεί το σύρμα μέσω αγωγού στο πιστόλι συγκόλλησης με την κατάλληλη ταχύτητα προσαγωγής. Σαν προστατευτικά αέρια χρησιμοποιούνται **αδρανή αέρια**, συνήθως **καθαρό**

αργό ή μείγμα αερίων σε αναλογία 75% αργό και 25% διοξείδιο του άνθρακα. Έτσι για ηλεκτροσυγκολλήσεις **M.I.G.** κραμάτων ανοξείδωτου χάλυβα, αλουμινίου και χαλκού χρησιμοποιείται καθαρό αργό ενώ για ηλεκτροσυγκολλήσεις **M.I.G.** ανθρακούχων χαλύβων χρησιμοποιείται μείγμα αερίων αργού-διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 3α : Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης M.I.G.- M.A.G.

Τεχνική της συγκόλλησης M.I.G.

Η συγκόλληση **M.I.G.** διενεργείται κυρίως με συνεχές ρεύμα και θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο. Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι ωφελιμότερο από την άποψη συμμετρικής άποψης του δικτύου του ρεύματος και μεγάλης απόδοσης της πηγής ρεύματος, χρησιμοποιείται όμως σπάνια. Τα

άκρα των συγκολλημένων αντικειμένων πρέπει να καθαρίζονται, πριν από τη συγκόλληση από όλες τις ακαθαρσίες, τουλάχιστον 25-30 mm από κάθε πλευρά της σύνδεσης. Στην περίπτωση συνδέσεων αλουμινίου και μαγνησίου απαιτείται πρόσθετη αφαίρεση πριν τη συγκόλληση του στρώματος οξειδίων, σε πλάτος τουλάχιστον 10 mm από τα άκρα της σύνδεσης, με περιστρεφόμενη βούρτσα ή λίμα.

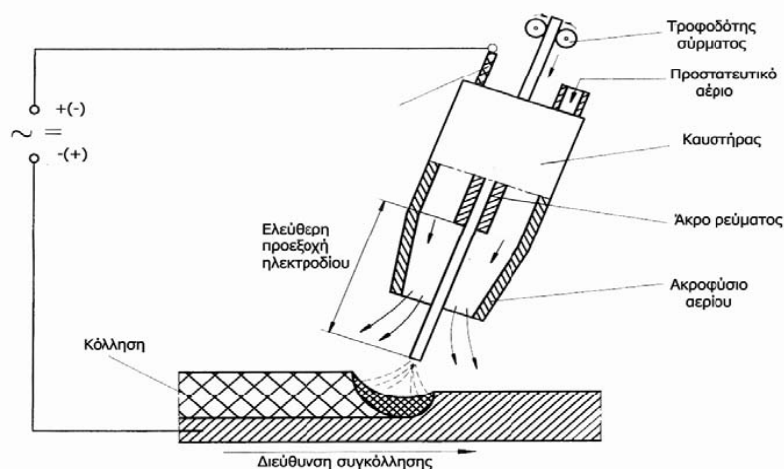
Η συγκόλληση **M.I.G.** χάρη της μεγάλης διείσδυσης και της ευκολίας ρύθμισης της γραμμικής ενέργειας του τόξου, επιτρέπει τη σύνδεση κατασκευαστικών εξαρτημάτων, εκτελούμενων από ανθρακοχάλυβες, ελαφρά κραματωμένους χάλυβες, ανθεκτικούς στη διάβρωση, αλουμινίου, μαγνησίου, χαλκού, νικελίου, τιτανίου, όπως και κραμάτων αυτών των μετάλλων. Τα πρόσθετα συγκολλητικά υλικά έχουν συνήθως χημική σύσταση που πλησιάζει την αντίστοιχη του συγκολλημένου υλικού, αλλά μερικές φορές, μπορούν να διαφέρουν κατά πολύ.

3. Μέθοδος **M.A.G.** (Metal Active Gas)

Η μόνη διαφορά από τη μέθοδο **M.I.G.** είναι ότι τα προστατευτικά αέρια που χρησιμοποιούνται γύρω από το σημείο συγκόλλησης είναι **ενεργά αέρια**. Τέτοια είναι:

- Το διοξείδιο του άνθρακα
- Μείγμα αερίων αργού-διοξειδίου του άνθρακα
- Μείγμα αερίων αργού με οξυγόνο

Η ηλεκτροσυγκόλληση **M.A.G.** εφαρμόζεται στη συγκόλληση κραμάτων χάλυβα με χαμηλά ποσοστά κραματοποίησης. Στο **σχήμα 3.α** φαίνεται μία μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης **M.I.G.- M.A.G.** με τα βασικά μέρη που την αποτελούν. Στο **σχήμα 3.β** φαίνεται η πορεία συγκόλλησης με τη μέθοδο **M.I.G.- M.A.G.**

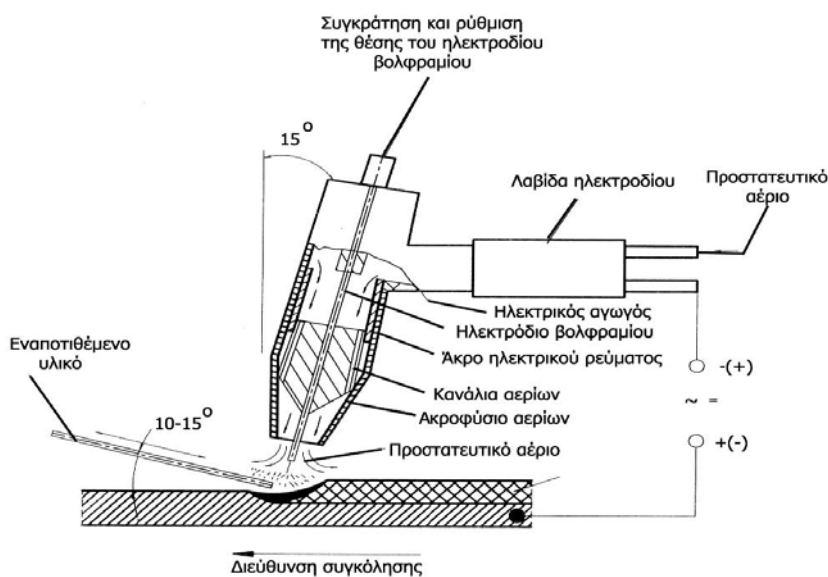


Σχήμα 3β. : η πορεία συγκόλλησης με τη μέθοδο M.I.G.- M.A.G .

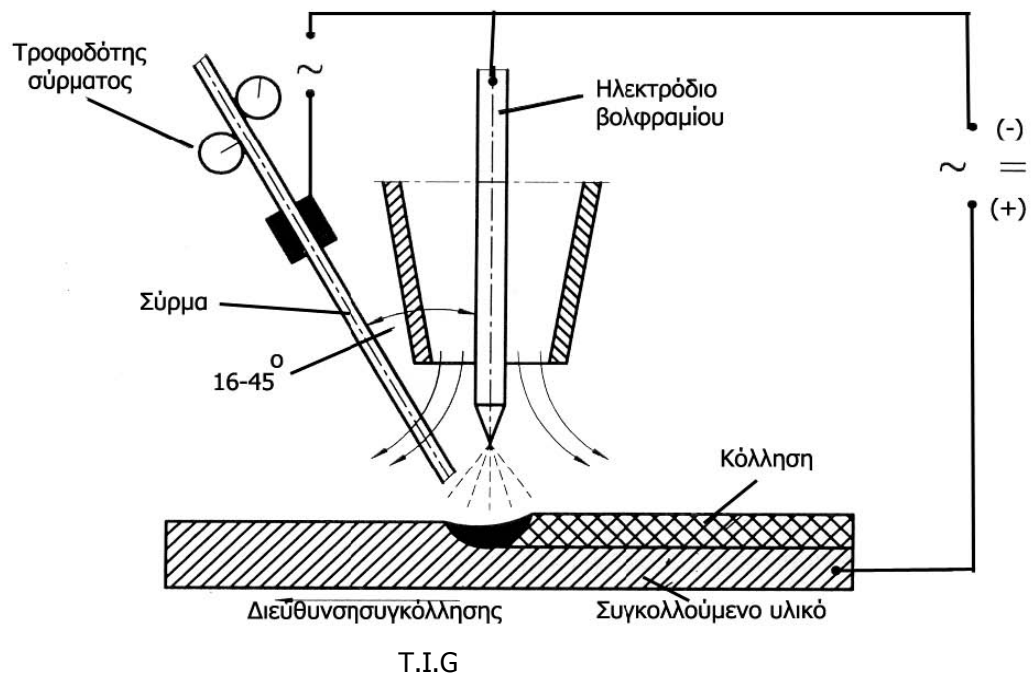
4. Μέθοδος T.I.G. (Tungsten Inert Gas)

Για τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου χρησιμοποιούμε μη καταναλώσιμο ηλεκτρόδιο βολφραμίου (**W**) και προκειμένου να αυξηθούν οι ηλεκτρικές του ιδιότητες προστίθεται θόριο (**Th**) και ζirkόνιο (**Zr**). Το ηλεκτρόδιο δεν καταναλίσκεται, δηλαδή συμμετέχει στη συγκόλληση μόνο για να διατηρεί το ηλεκτρικό τόξο. Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης προστίθεται και συγκολλητικό υλικό (συγκολλητική ράβδος). Σαν προστατευτικά αέρια χρησιμοποιούνται τα αδρανή αέρια **αργό** και **ήλιο** ή και μείγμα τους. Με τη μέθοδο T.I.G. επιτυγχάνονται συγκολλητές συνδέσεις πολύ υψηλής ποιότητας. Επιπλέον αποτελεί μία από τις βασικές διαδικασίες δημιουργίας κατασκευών, ιδιαίτερα με τους κραματωμένους και τους ειδικούς χάλυβες, τα κράματα νικελίου, αλουμινίου, μαγνησίου, τιτανίου και με άλλα ενεργά και πυρίμαχα μέταλλα καθώς και κράματα με μεγάλο εύρος παχών. Η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. μπορεί να διενεργηθεί με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, χειρωνακτικά, ημιαυτόματα και αυτόματα, σε συνθήκες μηχανουργικές και συναρμολόγησης, σε όλες τις θέσεις συγκόλλησης. Οι μηχανές για τη συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. είναι φθηνές και εύκολες στο χειρισμό, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ρεύματος για τη χειρωνακτική συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο. Η συγκόλληση πετυχαίνεται χωρίς πρόσθετο υλικό (για λεπτά εξαρτήματα) ή με πρόσθετο τηκόμενο υλικό. Η χρήση της περιορίζεται από το υψηλό κόστος αγοράς των προστατευτικών αερίων, π.χ. του αργού. Στο σχήμα 3.γ φαίνεται η διαδικασία χειρωνακτικής συγκόλλησης με μη καταναλώσιμο ηλεκτρόδιο βολφραμίου T.I.G. Στο σχήμα 3.δ φαίνεται η διαδικασία συγκόλλησης με τη

μέθοδο T.I.G. όπου το σύρμα συγκόλλησης τροφοδοτείται αυτόματα.



χήμα 3γ:
Διαδικασία χειρωνακτικής συγκόλλησης με τη μέθοδο



Στο **σχήμα 3.δ** φαίνεται η διαδικασία συγκόλλησης με τη μέθοδο T.I.G. όπου το σύρμα συγκόλλησης τροφοδοτείται αυτόματα.

Σχσχήμα 3δ: Διαδικασία αυτόματης συγκόλλησης με τη μέθοδο T.I.G

Μηχανές ηλεκτροσυγκολλήσεως T.I.G.

Η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. διενεργείται με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Έτσι λοιπόν οι μηχανές διακρίνονται:

A) Σε μηχανές **συνεχούς ρεύματος** που έχουν τη δυνατότητα να συγκολλούν: ανοξείδωτους χάλυβες, μαλακούς χάλυβες, χαλκό και τα κράματα του, νικέλιο και τα κράματα του. Πρέπει όμως στην περίπτωση αυτή να προσέχουμε τον τρόπο συνδέσεως διότι:

1) Αν **συνδέσουμε το ηλεκτρόδιο στον αρνητικό πόλο**, θα έχουμε την κάθοδο των ηλεκτρονίων από το άκρο του ηλεκτροδίου προς το τεμάχιο, που προκαλεί σημαντική παραγωγή ενέργειας υπό μορφή θερμότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα:

- Την παραγωγή πολύ σταθερού τόξου
- Την κανονική θέρμανση του ηλεκτροδίου χωρίς φθορές
- Κρατήρα πλατύ και βαθύ

2) Αν **συνδέσουμε το ηλεκτρόδιο στον θετικό πόλο**, θα έχουμε δημιουργία θερμότητας στην περιοχή τήξεως του τεμαχίου, με αποτέλεσμα:

- Την παραγωγή ασταθούς τόξου
- Την υπερθέρμανση του ηλεκτροδίου και την φθορά αυτού
- Την δημιουργία πλατειού κορδονιού αλλά χωρίς διείδυση
- Την δημιουργία καθαρού κρατήρα

Η σύνδεση αυτή δεν εφαρμόζεται παρά μόνο σε πολύ λεπτά φύλλα αλουμινίου.

B) Σε μηχανές **εναλλασσόμενου ρεύματος** που έχουν την δυνατότητα να συγκολλήσουν: αλουμίνιο και τα κράματα του, μαγνήσιο και τα κράματα του.

Τεχνική της συγκόλλησης T.I.G.

Για να διεξαχθεί η συγκόλληση χρειάζεται να γίνει ακριβής καθαρισμός των άκρων των αντικειμένων προς συγκόλληση από όλες τις ακαθαρσίες, όπως τα οξείδια, οι σκουριές, τα λίπη, τα χρώματα κ.α. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται μηχανικός ή χημικός καθαρισμός. Για να μην

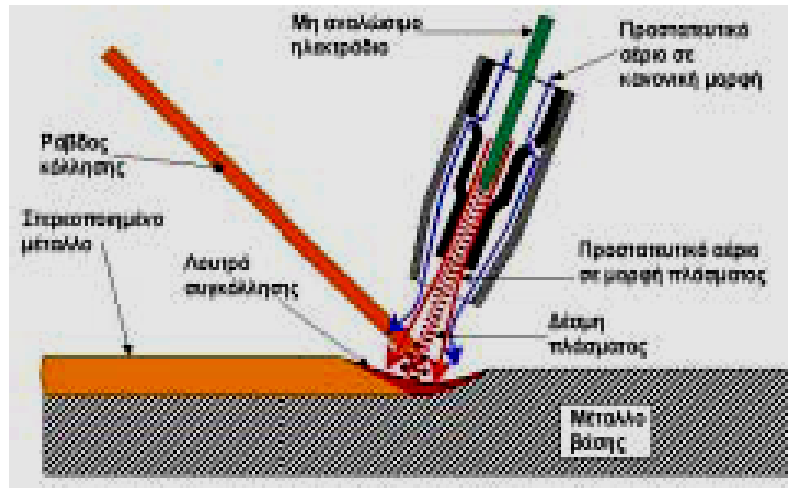
δημιουργηθεί παραμόρφωση κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, πρέπει να προετοιμαστούν με ακρίβεια τα συγκολλούμενα άκρα των αντικειμένων, μεταβάλλοντας γι' αυτό π.χ. τη γωνία λοξοτόμησης και το διάκενο του αύλακα συγκόλλησης. Για το σκοπό αυτό, επίσης, εφαρμόζεται η συγκράτηση με κολλήσεις πονταρίσματος, με μήκη από 10 έως 30 mm και με απόσταση μεταξύ των κολλήσεων από 10 έως 60 mm, ανάλογα με το πάχος των συγκολλούμενων αντικειμένων, διαφορετικά πρέπει να συγκρατηθούν με ειδικά εργαλεία (ιδιοσυσκευές) με υποστηρίγματα από χαλκό.

5. Μέθοδος πλάσματος P.A.W (Plasma Arc Welding)

Με την ονομασία πλάσμα εννοούμε την ατμόσφαιρα ιονισμένου αερίου με υψηλή θερμοκρασία, αποτελούμενη από θετικά ιόντα και ηλεκτρόνια, που σχηματίζουν τη στήλη του ηλεκτρικού τόξου, η οποία άγει ρεύμα.

Η συγκόλληση με πλάσμα μοιάζει πολύ με τη συγκόλληση T.I.G. στην ατμόσφαιρα του αργού. Και στις δύο μεθόδους το τόξο σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα του αργού, αλλά κατά την πλασματική συγκόλληση το ηλεκτρόδιο βρίσκεται στο εσωτερικό του ακροφυσίου, διά του οποίου ρέει το αργό, ενώ στην έξοδο του ακροφυσίου διέρχεται το αργό ήδη με μορφή πλάσματος, του οποίου η θερμοκρασία είναι τουλάχιστον δύο φορές υψηλότερη απ' ό τι του τόξου της μεθόδου T.I.G.

Το ηλεκτρόδιο από βολφράμιο συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της πηγής ρεύματος, ενώ με το θετικό πόλο μπορεί να συνδεθεί ή το ακροφύσιο του καυστήρα ή το συγκολλούμενο αντικείμενο. Στη μέθοδο αυτή για την παραγωγή της απαραίτητης θερμότητας συγκόλλησης χρησιμοποιείται ακτίνα πλάσματος μικρή και σταθερή απόσταση από το έλασμα. Το αέριο του πλάσματος (αργό) διέρχεται μέσα από τον καυστήρα της συσκευής και ιονίζεται κάτω από την επίδραση παλμών υψηλής συχνότητας, με αποτέλεσμα την έναυση ενός βοηθητικού ηλεκτρικού τόξου. Η έναυση του ηλεκτρικού τόξου επιτυγχάνεται χωρίς να έλθει σε επαφή το ηλεκτρόδιο βολφραμίου με τα προς συγκόλληση κομμάτια. Το ηλεκτρικό τόξο συγκόλλησης (ακτίνα πλάσματος) περιβάλλεται από προστατευτικό μείγμα αερίων (αργό σε ποσοστό 5% και υδρογόνο σε ποσοστό 7%), το οποίο σταθεροποιεί το ηλεκτρικό τόξο και προστατεύει τη συγκολλητική ραφή από οξείδωση.



Σχήμα : Η αρχή λειτουργίας της συγκόλλησης πλάσματος (PAW)

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το πλάσμα του ηλεκτρικού τόξου διατηρείται σταθερό ακόμη και όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πολύ χαμηλή. Αυτό μας επιτρέπει τη χρησιμοποίηση της για μικροσυγκολλήσεις (συγκολλήσεις μεγάλης ακριβείας) με πάχος ελασμάτων έως και 0,01 mm. Η ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος εφαρμόζεται σε μηχανοποιημένες συγκολλήσεις στη μαζική παραγωγή συγκολλητών κατασκευών.

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

Η θερμοκρασία του πλάσματος είναι πολύ υψηλή. Αν η δέσμη μείνει ακίνητη, μπορεί να φθάσει ακόμη και τους 30.000-35.000°C, με αποτέλεσμα την ταχύτερη εναπόθεση του μετάλλου της ράβδου.

- Το στενό και μακρύ τόξο επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να βλέπει πολύ καλύτερα το σημείο της συγκόλλησης.

Μειονεκτήματα σε σχέση με την TIG:

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

Γ. ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης είναι αυτογενείς συγκολλήσεις. Για την συγκόλληση των μεταλλικών τεμαχίων δεν απαιτείται προσθήκη συγκολλητικού υλικού. Σαν πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται ο ηλεκτρισμός. Η θερμότητα που χρειάζεται για να λιώσουν τα μέταλλα δεν προέρχεται από την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου, αλλά από την αντίσταση που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν περνά μέσα από τα μεταλλικά τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν. Για την συγκόλληση με αντίσταση σημαντικό ρόλο παίζουν ο χρόνος συγκόλλησης και η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια ώστε τα μόρια του ενός τεμαχίου να διεισδύσουν στα μόρια του άλλου και να ενωθούν μεταξύ τους. Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις αντιστάσεως διακρίνονται σε:

- Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης κατά σημεία
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης ραφής
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης με προεκβολές

1. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης κατά σημεία

Στη μέθοδο αυτή τα συγκολλούμενα τεμάχια τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο σε ένα ζεύγος κωνικών ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτροσυγκολλήσεις με αντίσταση είναι από καθαρό χαλκό και έχουν διάφορες μορφές. Η συγκόλληση επιτυγχάνεται όταν το πάνω ηλεκτρόδιο (κινητό ηλεκτρόδιο) ασκεί πίεση στα συγκολλούμενα τεμάχια, ενώ ταυτόχρονα ανοίγει το ηλεκτρικό κύκλωμα για την διέλευση του ρεύματος που διαρκεί όσο χρόνο απαιτείται για την συγκόλληση των τεμαχίων. Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μηχανή για ηλεκτροσυγκόλληση κατά σημεία είναι η **ηλεκτροπόντα**.

Οι ηλεκτροπόντες είναι συνήθως σταθερές (**σχήμα 1.α**), ενώ υπάρχουν και φορητές όπως φαίνεται στο (**σχήμα 1.β**). Για την συγκόλληση των ελασμάτων με ηλεκτροπόντα, η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια, η ένταση του ρεύματος και ο χρόνος που διαρκεί η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι, όπως αναφέραμε σημαντικοί παράγοντες για την ποιότητα της συγκόλλησης. Ανάλογα με τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και το πάχος τους, επιλέγονται και οι συνθήκες της συγκόλλησης.



Σχήμα 1.α



Σχήμα 1.β

Σχήμα 1 : Ηλεκτροπόντα σταθερή και φορητή

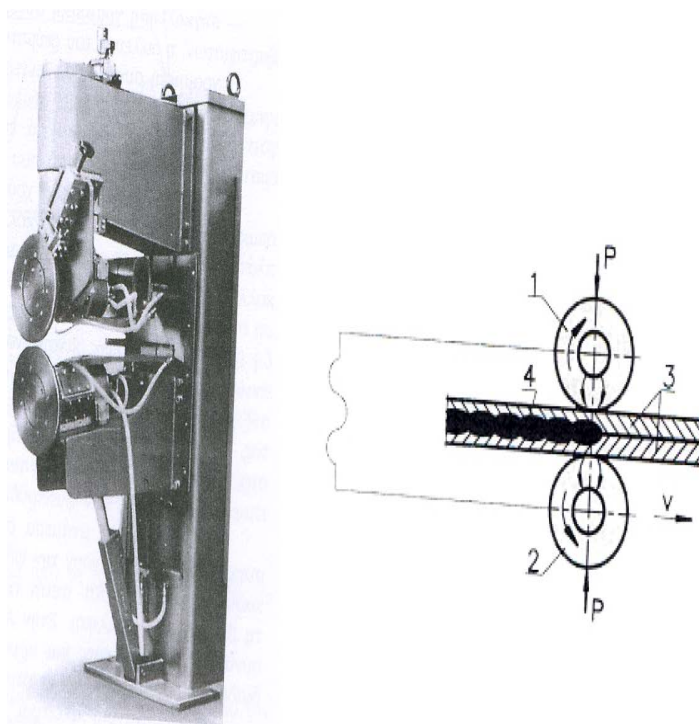
Στον πίνακα 1.18 αναφέρονται οι συνθήκες συγκόλλησης σε συνάρτηση με το πάχος των συγκολλούμενων τεμαχίων. Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης κατά σημεία έχουν σήμερα αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τις καρφωτές και κοχλιωτές συνδέσεις.

Πίνακας 1.18 συνθήκες συγκόλλησης με ηλεκτροπόντα

Πάχος τεμαχίου (mm)	Ένταση ρεύματος (A)	Χρόνος (sec)	Δύναμη πίεσης (kg)
1	5000-8800	0,1-0,4	90-270
1,5	6200-10600	0,2-0,7	140-380
2	7500-12000	0,3-1	195-500
2,5	8200-13500	0,4-1,5	250-640
3	9600-15000	0,6-2	275-790
4	98000-18000	1-3,5	320-1250
5	12000-22000	1,3-4,5	450-1700

2. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης ραφής

Στην μέθοδο αυτή τα ηλεκτρόδια έχουν τη μορφή δίσκων και περιστρέφονται με σταθερή ταχύτητα, ενώ συγχρόνως πιέζονται στα συγκολλούμενα τεμάχια, τα οποία μετακινούνται και συγκολλούνται κατά μία συνεχή ραφή. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε κατασκευές όπου απαιτείται στεγανότητα ή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου απαιτούνται μεγάλοι ρυθμοί παραγωγής. Στο σχήμα 1.γ φαίνεται μία συσκευή ηλεκτροσυγκόλλησης αντίστασης ραφής.

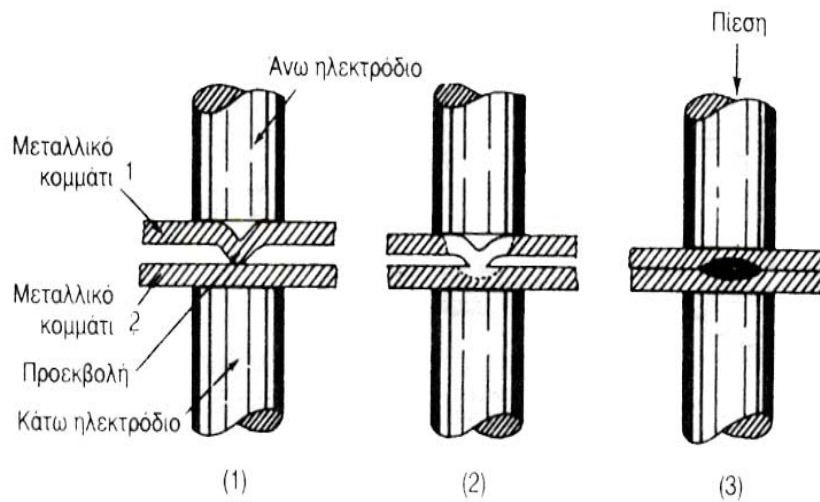


Σχήμα 1γ :

Ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης ραφής.

3. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης με προεκβολές

Κατά την συγκόλληση αυτή, γίνονται προεκβολές στο ένα από τα δύο συγκολλούμενα τεμάχια. Τα ηλεκτρόδια είναι ειδικά διαμορφωμένα ώστε να καλύπτουν μία, δύο ή και περισσότερες προεκβολές μαζί. Τα ηλεκτρόδια πιέζουν τα τεμάχια και το ηλεκτρικό ρεύμα συγκόλλησης συγκεντρώνεται στα σημεία των προεκβολών τα οποία θερμαίνονται και με την επίδραση της πίεσης συγκολλώνται. Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμογή στην βιομηχανία μεταλλικών επίπλων, στην αυτοκινητοβιομηχανία και στις συσκευές οικιακής χρήσης.



Σχήμα 1δ: Ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης με προεκβολές. 1) Η προεκβολή του τεμαχίου (1) έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο (2). 2) Το ρεύμα διέρχεται στη θέση συγκόλλησης και την θερμαίνει. 3) Με την πίεση η πυρωμένη προεκβολή διεισδύει στο τεμάχιο (2) δημιουργώντας την συγκόλληση.

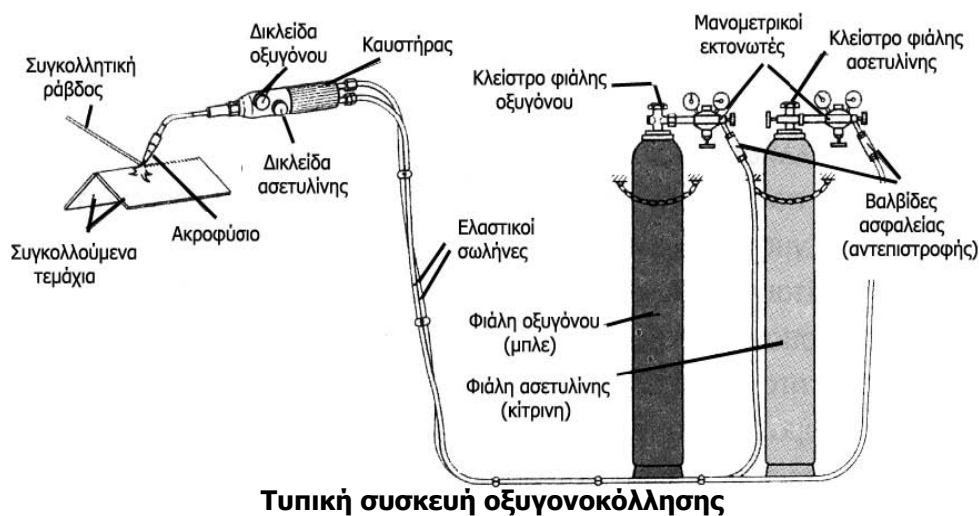
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΛΛΗΣΗ-ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΠΗ

Α. ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΛΛΗΣΗ

Οξυγονοκόλληση ονομάζεται η κόλληση στην οποία η θερμότητα που απαιτείται λαμβάνεται από την καύση μείγματος οξυγόνου και καύσιμου αερίου. Συνήθως σαν καύσιμο αέριο χρησιμοποιείται η **ασετυλίνη** (ακετυλένιο). Με τη θερμότητα της φλόγας του καυσίμου αερίου, της οποίας η θερμοκρασία φθάνει τους 3200 °C , τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν λιώνουν, και τα μόρια του ενός αναμειγνύονται με τα μόρια του άλλου. Στις περισσότερες περιπτώσεις προστίθεται και υλικό με την ίδια χημική σύσταση των συγκολλούμενων τεμαχίων έχοντας σαν αποτέλεσμα την **αυτογενή συγκόλληση**. Για να επιτευχθεί η οξυγονοκόλληση τα τεμάχια πρέπει να θερμανθούν με τη φλόγα μέχρι τήξης στα σημεία συγκόλλησης. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι ασύμφορη στην περίπτωση που το πάχος των τεμαχίων είναι μεγάλο. Είναι ασύμφορη οικονομικά λόγω μεγάλης κατανάλωσης αερίου, αλλά και χρονικά επειδή απαιτείται μεγάλος χρόνος θέρμανσης. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Μπορούν να συγκολληθούν τεμάχια μικρού πάχους
- Η συσκευή μεταφέρεται εύκολα οπουδήποτε, χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση για παροχή ενέργειας
- Παρέχει τη δυνατότητα κοπής ελασμάτων μεγάλου πάχους με τη χρήση πυροκόφτη



1. Παραγωγή και αποθήκευση των αερίων

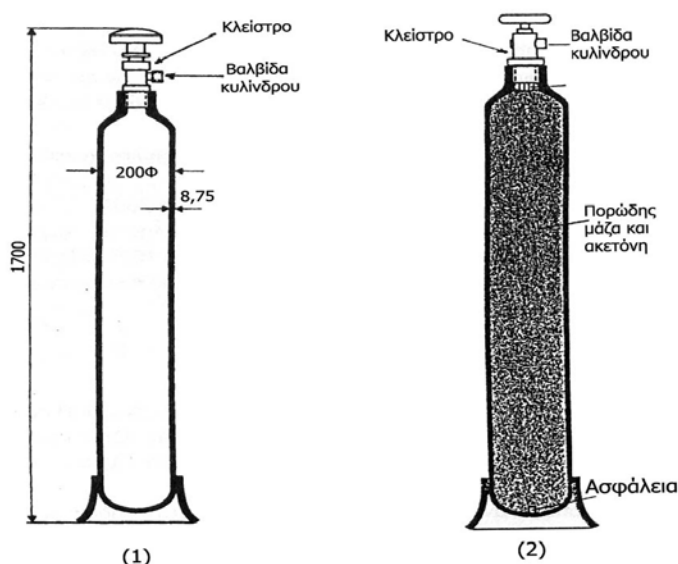
Τα αέρια καύσης (**οξυγόνο και ασετυλίνη**) αποθηκεύονται και φυλάσσονται υπό πίεση σε ξεχωριστές φιάλες από χάλυβα.

Οξυγόνο

Το οξυγόνο λαμβάνεται μετά από θέρμανση υγροποιημένου αέρα. Αρχικά λαμβάνεται το άζωτο και κατόπιν το καθαρό οξυγόνο στους $- 183\text{ }^{\circ}\text{C}$, το οποίο αποθηκεύεται σε σιδερένιες φιάλες υπό πίεση 150 ατμοσφαιρών (at). Αυτές οι φιάλες έχουν χωρητικότητα συνήθως 40 λίτρα (lit). Μία φιάλη των 40 lit υπό πίεση 150 at αποθηκεύει $40 \times 150 = 6000$ lit ή 6 m^3 αέριο οξυγόνο υπό κανονική πίεση. Άλλος τρόπος παραγωγής οξυγόνου είναι με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης του νερού.

Ασετυλίνη

Είναι αέριο (C_2H_2) το οποίο παράγεται από το ανθρακασβέστιο (CaC_2) όταν αυτό αντιδράσει με το νερό. Επειδή το ανθρακασβέστιο αντιδρά εύκολα με το νερό, φυλάσσεται σε στεγανά δοχεία. Η ασετυλίνη δεν είναι δυνατό να αποθηκευτεί σε φιάλες με μεγάλη πίεση, διότι εκρήγνυται. Για αποφυγή αυτού του κινδύνου, οι φιάλες μέσα στις οποίες αποθηκεύεται η ασετυλίνη περιέχουν ακετόνη και μία πορώδη μάζα αποτελούμενη από ελαφρόπετρα και ειδικά επεξεργασμένο ξυλάνθρακα. Η ακετόνη έχει την ιδιότητα να διαλύει μεγάλες ποσότητες ασετυλίνης, περίπου 150 φορές μεγαλύτερη του όγκου της. Οι φιάλες γεμίζουν με ασετυλίνη υπό πίεση 15 at. Μία φιάλη των 40 lit περιέχει 6000 lit ή 6 m^3 ασετυλίνης , δηλαδή την ίδια ποσότητα που περιέχει μία φιάλη οξυγόνου, χωρητικότητας 40 lit υπό πίεση 150 at.

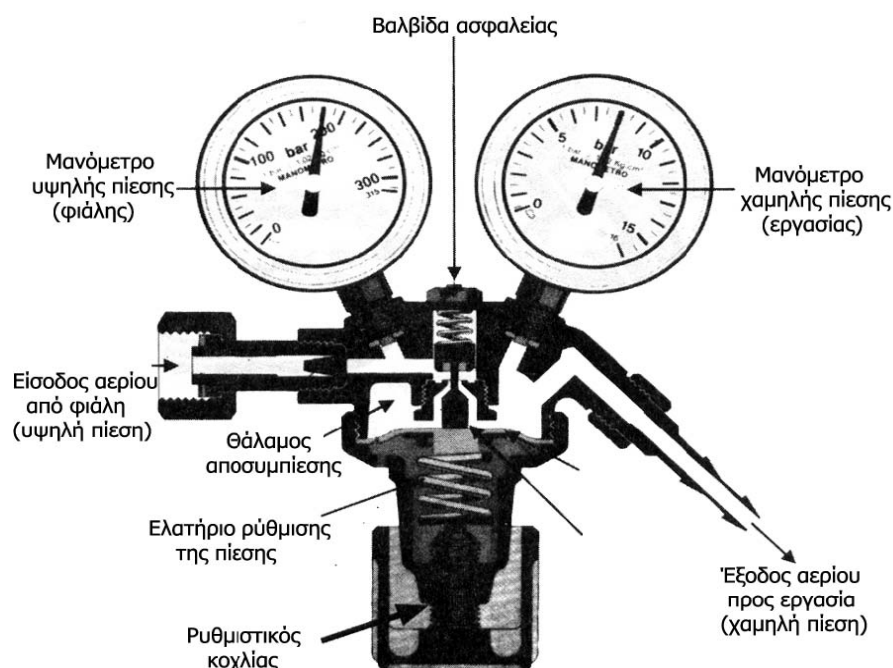


Σχήμα 1β: 1)Φιάλη οξυγόνου 2)Φιάλη ασετυλίνης

2. Εξαρτήματα της συσκευής οξυγονοκόλλησης

1) Μανομετρικοί εκτονωτές

Κάθε φιάλη οξυγόνου ή ασετυλίνης συνοδεύεται από ένα **κεντρικό διακόπτη**. Σ' αυτόν συνδέεται ο **μανομετρικός εκτονωτής**, που σκοπό έχει να μειώσει την πίεση του αερίου που βρίσκεται μέσα στη φιάλη (υψηλή πίεση) στην χαμηλή και σταθερή πίεση εργασίας, (**σχήμα 1γ**).

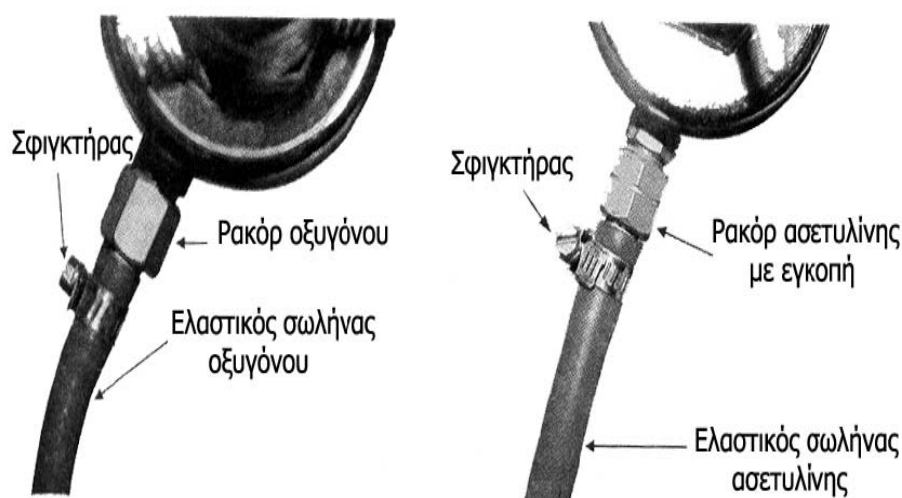


Σχήμα 1γ: Μανομετρικός εκτονωτής σε τομή..

Μετά τους εκτονωτές συνδέονται οι **ελαστικοί σωλήνες** που οδηγούν τα αέρια στη συσκευή ανάμειξης και καύσης, την οποία ονομάζουμε **καυστήρα ή σάλιμο**. Ο μανομετρικός εκτονωτής φέρει δύο μανόμετρα, από τα οποία το ένα δείχνει την πίεση του αερίου μέσα στη φιάλη και το άλλο την πίεση του αερίου που κατευθύνεται στον καυστήρα. Τα **μανόμετρα του οξυγόνου** είναι βαθμονομημένα από **0 έως 315 bar** για την υψηλή πίεση και από **0 έως 16 bar** για την χαμηλή πίεση. Τα **μανόμετρα της ασετυλίνης** είναι βαθμονομημένα από **0 έως 25 bar** για την υψηλή πίεση και από **0 έως 2,5 bar** για την χαμηλή πίεση. Ο μανομετρικός εκτονωτής του οξυγόνου προσαρμόζεται στο κλείστρο της φιάλης με τη βοήθεια του **μαστού**, ενώ της ασετυλίνης προσαρμόζεται με τη βοήθεια **καβαλέτου** και χρησιμοποιείται ειδικό κλειδί. Τα συνδεδεμένα μέρη του μανομετρικού εκτονωτή του οξυγόνου με την φιάλη φέρουν **δεξιόστροφο σπείρωμα**, ενώ του μανομετρικού εκτονωτή της ασετυλίνης **αριστερόστροφο σπείρωμα**.

2) Ελαστικοί σωλήνες σύνδεσης των μανομετρικών εκτονωτών με τον καυστήρα

Για τη μεταφορά των αερίων από τους μανομετρικούς εκτονωτές στον καυστήρα χρησιμοποιούμε κατάλληλους ελαστικούς σωλήνες (αγωγούς), οι οποίοι αντέχουν σε πίεση τουλάχιστον **20 bar**. Οι σωλήνες του οξυγόνου έχουν μικρότερη εσωτερική διάμετρο από τους σωλήνες της ασετυλίνης και έχουν μπλε χρώμα, ενώ οι σωλήνες της ασετυλίνης κόκκινο. Οι συνδέσεις των σωλήνων με τους μανομετρικούς εκτονωτές γίνεται με **ρακόρ**. Η σταθεροποίηση των σωλήνων στα ρακόρ γίνεται με κολάρα σύσφιξης. Για να αποφευχθεί η λανθασμένη σύνδεση των σωλήνων οξυγόνου και ασετυλίνης, τα ρακόρ του οξυγόνου κατασκευάζονται με δεξιόστροφο σπείρωμα, ενώ της ασετυλίνης με αριστερόστροφο σπείρωμα (**σχήμα 2.α**).

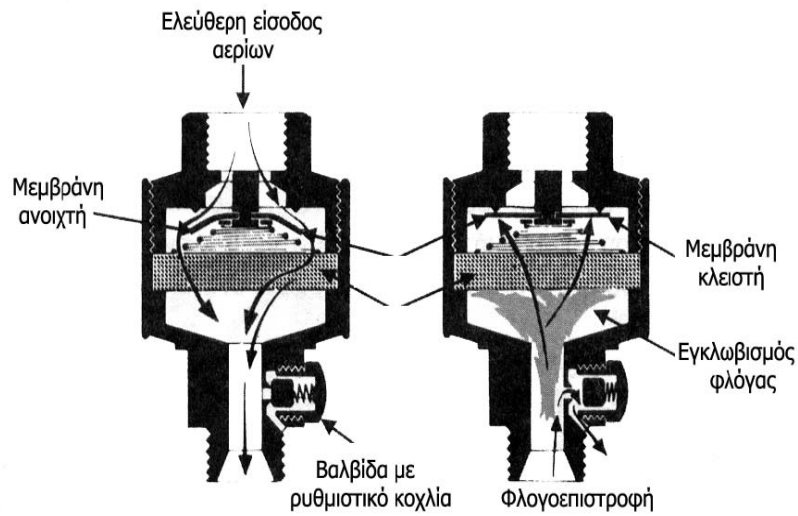


Σχήμα 2α : Σύνδεση ελαστικών σωλήνων οξυγόνου και ασετυλίνης στους μανομετρικούς εκτονωτές με ρακόρ.

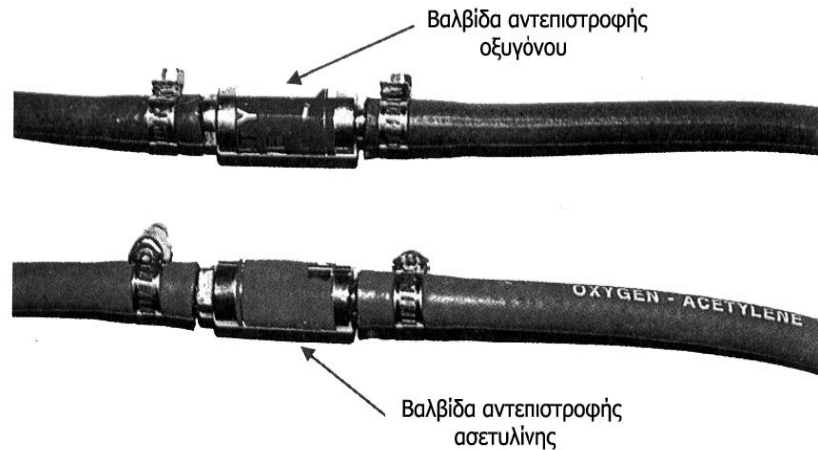
3) Βαλβίδες αντεπιστροφής (φλογοπαγίδες)

Σκοπός τους είναι: α) να αποτρέπουν το ενδεχόμενο επιστροφής της φλόγας προς τη συσκευή οξυγόνου-ασετυλίνης και β) να εμποδίζουν την αντίστροφη ροή των αερίων. Τοποθετούνται μετά τους μανομετρικούς εκτονωτές ή στους ελαστικούς σωλήνες κοντά στον καυστήρα.

Στο **σχήμα 3.α** φαίνεται σε τομή μία βαλβίδα αντεπιστροφής, ενώ στο **σχήμα 3.β** φαίνονται οι βαλβίδες αντεπιστροφής οξυγόνου και ασετυλίνης συνδεδεμένες στους αντίστοιχους ελαστικούς σωλήνες.



Σχήμα 3α: Βαλβίδα αντεπιστροφής σε ανοικτή και κλειστή λειτουργία.

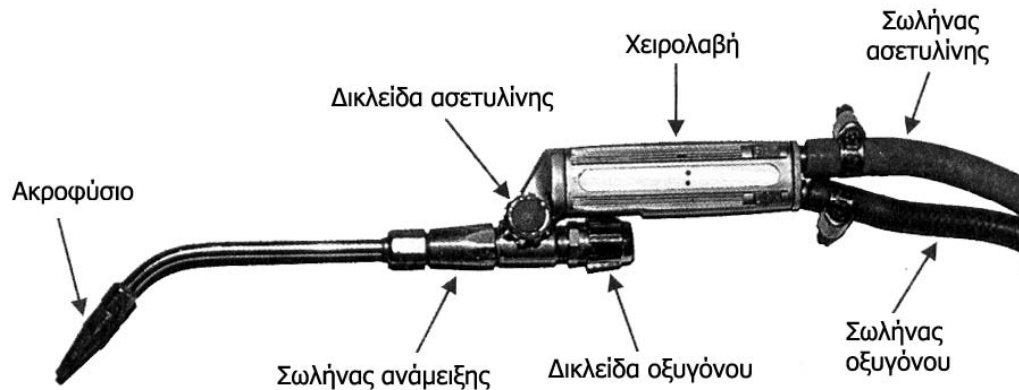


Σχήμα 3β: Βαλβίδες αντεπιστροφής συνδεδεμένες στους αντίστοιχους σωλήνες αερίων.

4) Καυστήρας (Σάλιμο)

Κύριος σκοπός του καυστήρα είναι να αναμειγνύει τα δύο αέρια (οξυγόνο και ασετυλίνη) σε επιθυμητή αναλογία, την οποία διατηρεί σταθερή σε όλη τη διάρκεια της συγκόλλησης. Η ταχύτητα εξόδου του μείγματος των αερίων πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας, ώστε να μη μεταδοθεί η καύση στο εσωτερικό του καυστήρα. Οι καυστήρες κατασκευάζονται συνήθως από

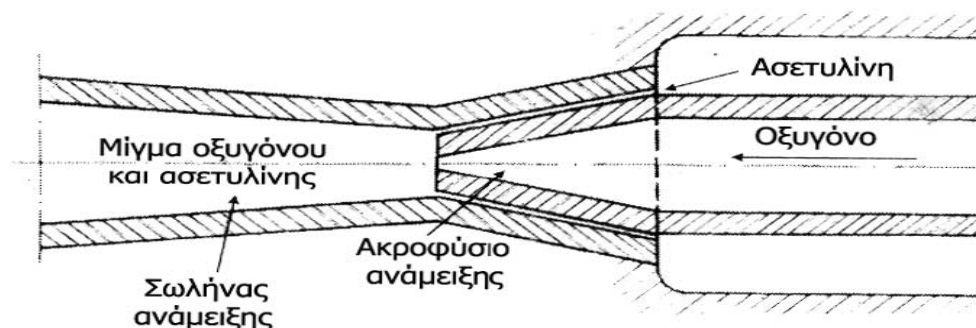
ορείχαλκο ή άλλα ελαφρά μέταλλα ώστε να είναι ελαφροί. Διακρίνονται σε: καυστήρες χαμηλής πίεσης και καυστήρες υψηλής πίεσης.



Σχήμα 4 α : Καυστήρας οξυγονοκόλλησης.

α. Καυστήρας χαμηλής πίεσης

Το οξυγόνο εισέρχεται στον καυστήρα με πίεση **1 έως 2,5 bar**, ενώ η ασετυλίνη με χαμηλή πίεση από **0,2 έως 0,7 bar**. Το οξυγόνο οδηγείται στο ακροφύσιο ανάμειξης από έναν κεντρικό αγωγό με μεγάλη ταχύτητα. Λόγω της ταχύτητας εξόδου του οξυγόνου από το ακροφύσιο ανάμειξης δημιουργείται υποπίεση στην έξοδο του ακροφυσίου με αποτέλεσμα να απορροφάται ασετυλίνη από τα περιφερειακά ανοίγματα και να παρασύρεται στο σωλήνα ανάμειξης από την ορμητική ροή του οξυγόνου. Στη συνέχεια το μείγμα οξυγόνου-ασετυλίνης οδηγείται προς την έξοδο του ακροφυσίου του καυστήρα, (**σχήμα 4.β**).



Σχήμα 4β : Τομή του καυστήρα χαμηλής πίεσης στη θέση ανάμειξης των αερίων.

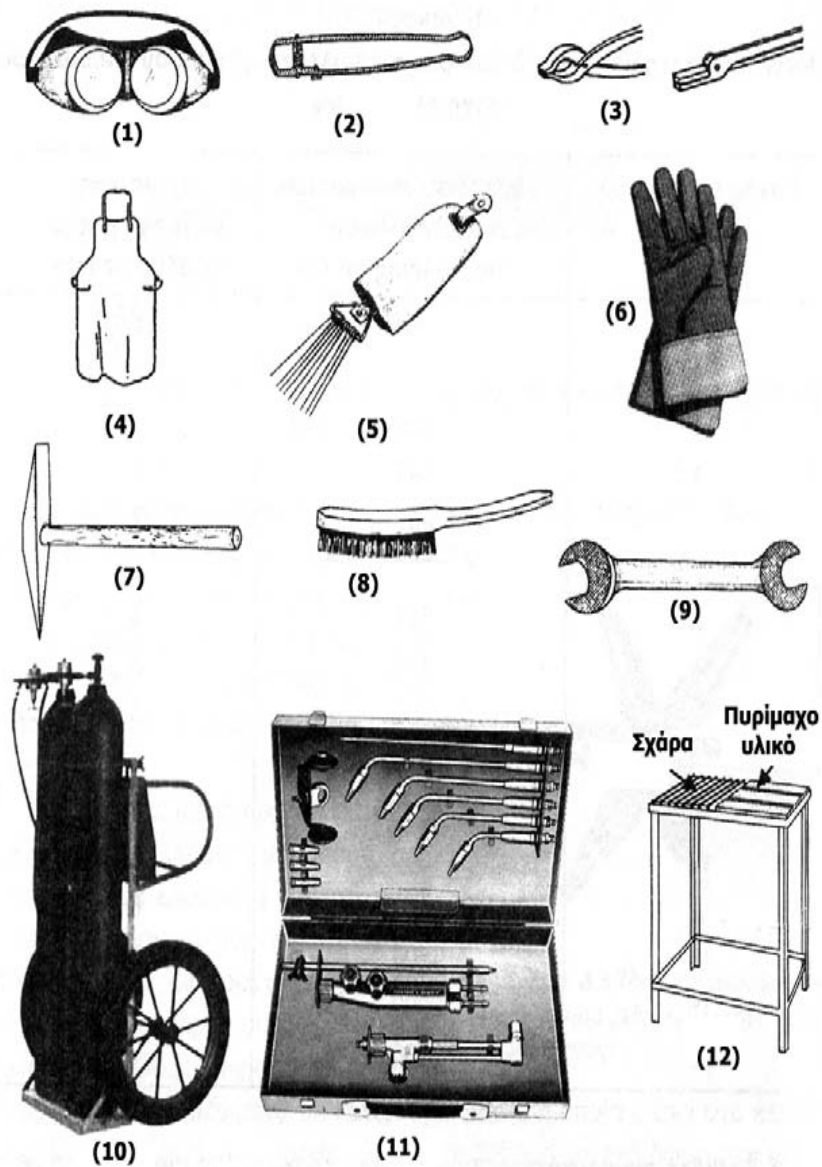
β. Καυστήρας υψηλής πίεσης

Εξωτερικά μοιάζει με τον καυστήρα χαμηλής πίεσης. Η διαφορά εντοπίζεται στην πίεση των αερίων. Τα δύο αέρια φθάνουν στο θάλαμο ανάμειξης με την ίδια πίεση από **0,2 έως 0,7 bar**. Στη συνέχεια το μείγμα οξυγόνου-ασετυλίνης οδηγείται στην έξοδο του ακροφυσίου του καυστήρα. Οι καυστήρες χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται περισσότερο στις οξυγονοκολλήσεις με καύσιμο αέριο την ασετυλίνη. Οι καυστήρες υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται κυρίως όταν το καύσιμο αέριο είναι το υδρογόνο και σπανιότερα όταν το καύσιμο αέριο είναι η ασετυλίνη.

3. Εργαλεία και βοηθητικά εξαρτήματα του οξυγονοκολλητή

Εκτός από τη συσκευή οξυγονοκόλλησης, ο οξυγονοκολλητής για να εκτελεί την εργασία του με επιτυχία και ασφάλεια, χρειάζεται ορισμένα εργαλεία και βοηθητικά εξαρτήματα. Αυτά είναι:

1. Σκούρα προστατευτικά γυαλιά
2. Αναπτήρας οξυγονοκολλητή. Χρησιμοποιείται για το άναμμα της φλόγας.
3. Λαβίδες συγκράτησης. Χρησιμοποιούνται για το πιάσιμο ή τη μεταφορά πυρακτωμένων κομματιών.
4. Δερμάτινη προστατευτική ποδιά
5. Δέσμη συρμάτων. Χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των ακροφυσίων.
6. Γάντια από δέρμα ή αμίαντο
7. Ειδικό σφυρί (ματσακόνι). Χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των ραφών οξυγονοκόλλησης από σκουριά ή άλλες ακαθαρσίες.
8. Συρμάτινη βούρτσα. Χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των μεταλλικών επιφανειών που πρόκειται να συγκολληθούν.
9. Κλειδί γερμανικού τύπου. Χρησιμοποιείται για την κοχλίωση ή αποκοχλίωση των ρακόρ και του μανοεκτονωτή οξυγόνου.
10. Φορείο μεταφοράς φιαλών οξυγόνου-ασετυλίνης. Χρησιμοποιείται στη μεταφορά των φιαλών, όταν αλλάζει συνεχώς η θέση εργασίας του συγκολλητή.
11. Θήκη εργαλείων οξυγονοκολλητή. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και την προστασία των εργαλείων του οξυγονοκολλητή.
12. Τραπέζι εργασίας οξυγονοκολλητή. Το μισό τμήμα του φέρει σιδερένια σχάρα και το άλλο μισό επίπεδη επιφάνεια από πυρίμαχο υλικό.



Σχήμα 4γ : Εργαλεία και βοηθητικά εξαρτήματα του οξυγονοκολλητή.

4. Φλόγα οξυγόνου-ασετυλίνης

Ανάλογα με το ποσοστό οξυγόνου-ασετυλίνης στο καύσιμο μείγμα διακρίνουμε τρία είδη φλόγας στις οξυγονοκολλήσεις:

- Ουδέτερη ή κανονική φλόγα
- Αναγωγική ή ανθρακωτική φλόγα (περίσσεια ασετυλίνης)
- Οξειδωτική φλόγα (περίσσεια οξυγόνου)

Ουδέτερη φλόγα

Δεν υπάρχει περίσσεια ούτε οξυγόνου ούτε ασετυλίνης. Χρησιμοποιείται τόσο οξυγόνο, όσο για να κάψει τελείως την ασετυλίνη. Η αναλογία όγκου οξυγόνου-ασετυλίνης είναι 1:1.

Αναγωγική ή ανθρακωτική φλόγα

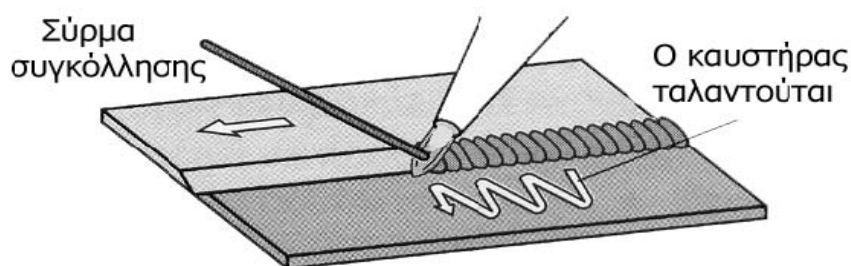
Η φλόγα έχει περίσσεια ασετυλίνης. Δημιουργείται είτε με αύξηση της ασετυλίνης στην ουδέτερη φλόγα ή με ελάττωση του οξυγόνου στην ουδέτερη φλόγα. Η αναλογία όγκου οξυγόνου-ασετυλίνης είναι από 0,85:1 έως 0,95:1.

Οξειδωτική φλόγα

Η φλόγα έχει περίσσεια οξυγόνου. Δημιουργείται, όταν αυξήσουμε την ποσότητα οξυγόνου στην ουδέτερη φλόγα ή ελαττώσουμε την ποσότητα της ασετυλίνης στην ουδέτερη φλόγα. Η αναλογία όγκου οξυγόνου-ασετυλίνης είναι από 1,1:1 έως 1,7:1. Η οξυγονοκόλληση των περισσοτέρων μετάλλων, όπως του μαλακού χάλυβα, του ανοξείδωτου χάλυβα, του χαλκού, του αλουμινίου, του χυτοσιδήρου, του νικελίου κ.τ.λ. γίνεται με ουδέτερη φλόγα, διότι η μέγιστη θερμοκρασία της φλόγας φτάνει τους 3.200 °C. Σ' αυτήν την περιοχή θερμοκρασιών τα αέρια της φλόγας παρέχουν μεγαλύτερη προστασία έναντι της δυσμενούς επίδρασης του οξυγόνου της ατμόσφαιρας στην περιοχή της συγκόλλησης.

5. Μέθοδοι οξυγονοκόλλησης

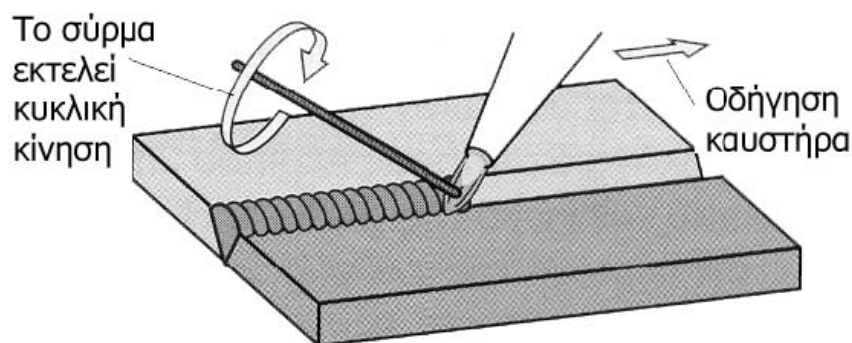
Οι οξυγονοκόλλησης, ανάλογα με την κίνηση του καυστήρα, διακρίνονται σε: **οξυγονοκόλλησης προς τα αριστερά** και σε **οξυγονοκόλλησης προς τα δεξιά** όπως φαίνεται στα **σχήματα 5.α και 5.β**.



Σχήμα 5 α : Οξυγονοκόλληση προς τα αριστερά.

Κατά την οξυγονοκόλληση προς τα αριστερά προηγείται η συγκολλητική ράβδος και ακολουθεί ο καυστήρας. Το άκρο του καυστήρα βρίσκεται σε απόσταση **3 έως 6 mm** από την επιφάνεια των συγκολλούμενων τεμαχίων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για συγκόλληση λεπτών ελασμάτων **πάχους μέχρι 3 mm**.

Κατά την οξυγονοκόλληση προς τα δεξιά προηγείται ο καυστήρας και ακολουθεί η συγκολλητική ράβδος. Το άκρο του καυστήρα βρίσκεται βυθισμένο μέσα στην σχισμή κατά το **1/3 περίπου του πάχους** των συγκολλούμενων τεμαχίων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για συγκόλληση ελασμάτων με **πάχος πάνω από 4 mm**.



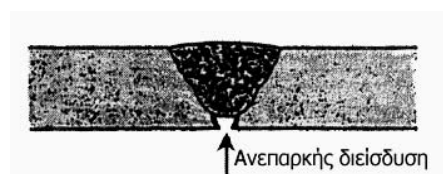
Σχήμα 5 β : Οξυγονοκόλληση προς τα δεξιά.

6. Ελαττώματα οξυγονοκολλήσεων

Τα κυριότερα ελαττώματα οξυγονοκολλήσεων και τα αίτια που τα προκαλούν είναι:

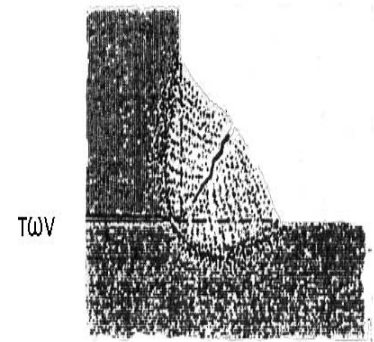
1) Ανεπαρκής διείσδυση του συγκολλητικού υλικού στη ραφή συγκόλλησης.

- Μη ικανοποιητικό διάκενο μεταξύ των κομματιών
- Χρήση μικρού μεγέθους ακροφυσίου
- Μεγάλη ταχύτητα πρόωσης του καυστήρα
- Χαμηλή πίεση αερίων



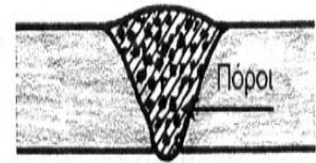
2) Ρωγμές στη ραφή συγκόλλησης.

- Απότομη ψύξη της κόλλησης
- Ακατάλληλο συγκολλητικό υλικό
- Λανθασμένος σχεδιασμός της ένωσης των κομματιών
- Εσωτερικές τάσεις μέσα στο βασικό μέταλλο



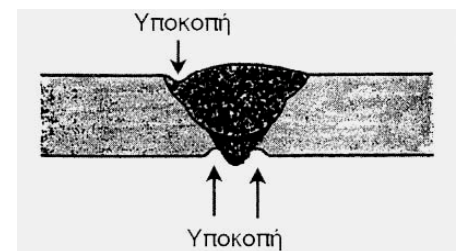
3) Πόροι στη ραφή συγκόλλησης .

- Ακαθαρσίες στις επιφάνειες συγκόλλησης
- Ακατάλληλο είδος φλόγας, συνήθως οξειδωτικής
- Απότομη ψύξη



4) Υποκοπή του μετάλλου (καψίματα και κοιλότητες στη ραφή συγκόλλησης)

- Λανθασμένη κλίση του ακροφυσίου και της ράβδου κόλλησης
- Επιλογή ακατάλληλου μεγέθους ακροφυσίου
- Λανθασμένη ένωση των κομματιών



B. ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΠΗ

1. Γενικά

Στην οξυγονοκοπή, που είναι μία μέθοδος κοπής των μετάλλων, εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητα που έχει το οξυγόνο να οξειδώνει τα μέταλλα με μεγάλη ταχύτητα, όταν αυτά βρίσκονται σε διάπυρη κατάσταση. Η διαδικασία της οξυγονοκοπής περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

α. Πυρακτώνουμε το μέταλλο στο σημείο της κοπής με τη βοήθεια της φλόγας οξυγόνου-ασετυλίνης.

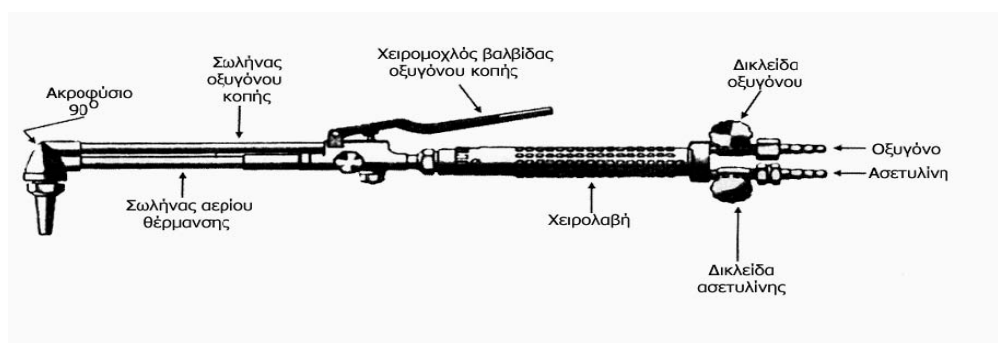
β. Διοχετεύουμε στο σημείο κοπής οξυγόνο υπό πίεση, το οποίο οξειδώνει το πυρακτωμένο μέταλλο.

Τα σχηματιζόμενα οξειδία απομακρύνονται υπό την πίεση του διοχετευόμενου οξυγόνου, επέρχεται διάσπαση της συνοχής του μετάλλου στο σημείο πυράκτωσης και συντελείται η κοπή. Για να επιτευχθεί η κοπή ενός μετάλλου με οξυγονοκοπή πρέπει η θερμοκρασία καύσης του μετάλλου δηλαδή η ταχεία οξείδωση του, να

συντελείται σε θερμοκρασία μικρότερη της θερμοκρασίας τήξης του. Μεταλλικά υλικά που μπορούν να κοπούν με οξυγονοκοπή είναι οι συνηθισμένοι χάλυβες, οι χυτοχάλυβες κ.τ.λ. Αντίθετα το αλουμίνιο, ο χαλκός και τα κράματα τους δεν κόβονται με τη μέθοδο της οξυγονοκοπής, γιατί το σημείο τήξης τους είναι μικρότερο από το σημείο καύσης τους. Επίσης, δεν κόβονται με τη μέθοδο αυτή ο χυτοσίδηρος και οι ανοξείδωτοι χάλυβες.

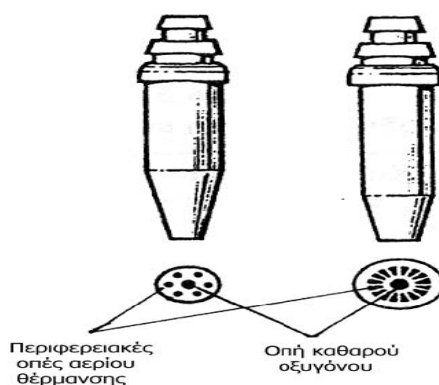
2. Συσκευή οξυγονοκοπής

Για την κοπή μετάλλου με οξυγονοκοπή, χρησιμοποιούμε την ίδια συσκευή και τα εξαρτήματα της οξυγονοκόλλησης, εκτός από τον καυστήρα. Αυτός αντικαθιστάται από τον **καυστήρα κοπής ή πυροκόφτη** που φαίνεται στο **σχήμα 2.α**.



Σχήμα 2 α : Καυστήρας οξυγονοκοπής ή πυροκόφτης.

Ο πυροκόφτης διαφέρει από τον καυστήρα της οξυγονοκόλλησης στο ότι φέρει ένα επιπλέον αγωγό, ο οποίος παίρνει από το σωλήνα του οξυγόνου καθαρό οξυγόνο και το διοχετεύει, κατά κανόνα, στο κέντρο του ακροφυσίου (μπεκ), (**σχήμα 2.β**). Ο σωλήνας αυτός φέρει μοχλό που ανοίγει τη βαλβίδα διοχέτευσης του οξυγόνου κοπής και συνήθως ονομάζεται **ακροφύσιο κοπής**. Ο σωλήνας αναμίξεως ονομάζεται **ακροφύσιο θέρμανσεως**.



Σχήμα 2 β : Ακροφύσια (μπεκ) οξυγονοκόφτη.

3. Τεχνική οξυγονοκοπής

Κατά την διάρκεια της οξυγονοκοπής πρέπει:

- α. Η επιφάνεια κοπής του μετάλλου να είναι καθαρή
- β. Η φλόγα του πυροκόφτη να είναι ουδέτερη
- γ. Το ακροφύσιο ή μπεκ να είναι σε κατακόρυφη θέση ως προς την επιφάνεια του μετάλλου
- δ. Ανάλογα με το πάχος το προς κοπή ελάσματος, εκλέγουμε:
 - Το μέγεθος του ακροφυσίου θερμάνσεως και του ακροφυσίου κοπής
 - Την πίεση του οξυγόνου
 - Την ταχύτητα κοπής

Γ. ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

1. Γενικά μέτρα ασφαλείας

- 1) Ελέγχουμε για πιθανή διαρροή αερίων τη συσκευή οξυγόνου-ασετυλίνης. Ο έλεγχος γίνεται με σαπουνόνερο και ποτέ με φλόγα σπέρτου ή κεριού.
- 2) Σε καμία κοχλιοσύνδεση της συσκευής δεν τοποθετούμε γράσο ή άλλα λιπαντικά, διότι το οξυγόνο με την πίεση που εξέρχεται από τη φιάλη, όταν έρθει σε επαφή με αυτά τα κάνει να αναφλέγονται.
- 3) Απομακρύνουμε από το χώρο εργασίας όλα τα εύφλεκτα υλικά. Αν αυτό είναι αδύνατον, τα σκεπάζουμε με φύλλα λαμαρίνας, τσίγκου ή αμιάντου.
- 4) Επιβάλλεται να υπάρχει πάντα έτοιμος προς χρήση ο κατάλληλος πυροσβεστήρας (ανθρακικού οξέος).
- 5) Κατά τη συγκόλληση ή οξυγονοκοπή υλικών τα οποία είναι γαλβανισμένα ή χρωματισμένα, αναδύονται αέρια επικίνδυνα για την υγεία μας, γι' αυτό ο χώρος εργασίας πρέπει να αερίζεται επαρκώς.

2. Κίνδυνοι από τις φιάλες οξυγόνου-ασετυλίνης

- 1) Για τη μεταφορά των φιαλών χρησιμοποιούμε ειδικό καροτσάκι (φορείο). Απαγορεύεται να τις κυλάμε.
- 2) Πρέπει να αποφεύγονται οι απότομες μετακινήσεις των φιαλών, διότι, εάν πέσουν μπορεί να προκληθεί αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό τους και πιθανή έκρηξη.

3) Δεν τοποθετούμε ποτέ τις φιάλες αερίων στον ήλιο ή κοντά σε θερμαντικά σώματα, διότι αυξάνεται η πίεση τους και υπάρχει κίνδυνος έκρηξης.

4) Οι φιάλες πρέπει να τοποθετούνται όρθιες ή με μικρή κλίση. Η σταθεροποίηση τους γίνεται με αλυσίδες ή κολάρα.

5) Όταν διαπιστωθεί διαρροή αερίων από τις φιάλες, πρέπει να αερίσουμε το χώρο εργασίας επαρκώς και να επιδιορθώσουμε τη βλάβη.

3. Μανομετρικοί εκτονωτές

1) Πριν τους τοποθετήσουμε, αφαιρούμε τις σκόνες ή τις ακαθαρσίες από τις έδρες σύνδεσης. Για τη στεγανοποίηση της σύνδεσης χρησιμοποιούμε ροδέλες από μολύβι ή δέρμα.

2) Αν κάποιος μανοεκτονωτής δε βιδώνει εύκολα, αυτό σημαίνει ή ότι δεν είναι ο κατάλληλος ή ότι οι σπείρες του έχουν καταστραφεί.

4. Ελαστικοί σωλήνες αερίων

1) Χρησιμοποιούμε τους ειδικούς ελαστικούς σωλήνες που αντέχουν υψηλές πιέσεις.

2) Προστατεύουμε τους σωλήνες από την επαφή τους με καυτά μέταλλα, σπινθήρες, κοφτερές επιφάνειες κ.α.

5. Καυστήρας

1) Καθαρίζουμε πάντα τα ακροφύσια πριν τη χρήση τους.

2) Σε περίπτωση φλογοεπιστροφής ενεργούμε με ψυχραιμία. Κλείνουμε πρώτα τη βαλβίδα στο κλείστρο της ασετυλίνης και αμέσως μετά, τη βαλβίδα του οξυγόνου. Οι κυριότερες αιτίες που προκαλούν τη φλογοεπιστροφή εμφανίζονται όταν:

- Τα ακροφύσια είναι ξεχειλωμένα ή διαβρωμένα.
- Τα ακροφύσια υπερθερμαίνονται, επειδή τα πλησιάζουμε πολύ κοντά στο προς συγκόλληση υλικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

A. ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Οι ετερογενείς συγκολλήσεις διακρίνονται σε **μαλακές** και **σκληρές**. Στις μαλακές συγκολλήσεις η θερμοκρασία συγκόλλησης είναι πολύ χαμηλότερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία που χρησιμοποιείται στις σκληρές συγκολλήσεις. Οι ετερογενείς συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συγκόλληση τεμαχίων από διαφορετικά υλικά.

1. Μαλακές συγκολλήσεις

Οι μαλακές συγκολλήσεις διακρίνονται για τη χαμηλή θερμοκρασία συγκόλλησης. Για να γίνει μία τέτοια συγκόλληση, χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό υλικό κράμα κασσίτερου και μόλυβδου. Η θερμότητα που χρειάζεται για να λιώσει το συγκολλητικό υλικό, παρέχεται από καμινέτο ή κολλητήρι ή άλλες πηγές. Μαλακές συγκολλήσεις είναι η κασσιτεροκόλληση, η μολυβδοκόλληση και άλλες, αλλά σημαντικότερη είναι η κασσιτεροκόλληση.

Κασσιτεροκόλληση:

Η κασσιτεροκόλληση χρησιμοποιεί ως συγκολλητικό υλικό ένα κράμα κασσίτερου (Sn) και μολύβδου (Pb). Για μεγαλύτερη αντοχή της συγκόλλησης, προστίθεται στην κασσιτεροκόλληση και μία ποσότητα αντιμονίου (Sb). Για τα είδη της κόλλησης ισχύει ο κανόνας ότι, **όσο πιο μεγάλη είναι η περιεκτικότητα σε κασσίτερο στην κόλληση, τόσο πιο πολύ αυξάνει η ρευστότητα της κόλλησης και μειώνεται η θερμοκρασία τήξης της**. Η κασσιτεροκόλληση χρησιμοποιείται ευρέως από τους λευκοσιδηρουργούς και τους υδραυλικούς για την συγκόλληση σωλήνων. Στην κασσιτεροκόλληση η θέρμανση των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν γίνεται μέσω καμινέτου, φλόγας οξυγονοασετυλίνης ή χρησιμοποιούνται ειδικά κολλητήρια, τα οποία μπορεί να είναι ηλεκτρικά ή να θερμαίνονται με τη βοήθεια φωταερίου, καμινέτου κ.λ.π. Προκειμένου να συγκολληθούν δύο τεμάχια με κασσιτεροκόλληση, πρέπει να είναι απαλλαγμένα από τυχόν σκουριές ή ακαθαρσίες. Ο καθαρισμός των επιφανειών γίνεται με μηχανικό τρόπο, χρησιμοποιώντας βούρτσα, λίμα, τρόχισμα κ.λ.π. και με χημικό τρόπο, χρησιμοποιώντας ειδικά για το σκοπό αυτό χημικά, σε μορφή αλοιφής ή σκόνης. Τέτοια χημικά είναι το υδροχλωρικό οξύ (χρησιμοποιείται σε επιψευδαργυρωμένες επιφάνειες), ο χλωριούχος ψευδάργυρος, που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές, και το κολοφώνιο (κυρίως σε ηλεκτρικές εφαρμογές και εκεί που υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης).

Κολλητήρι (συγκολλητήρας):

Είναι το εργαλείο που προσδίδει την απαραίτητη θερμότητα στη θέση συγκόλλησης για τη θέρμανση των μετάλλων και την τήξη της κόλλησης. Ένα απλό κολλητήρι αποτελείται από την **κεφαλή** και την **λαβή**, που είναι στερεωμένες πάνω σε σιδερένια ράβδο. Η κεφαλή είναι κατασκευασμένη από χαλκό, διότι όπως ξέρουμε, ο χαλκός έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει μέσα του μεγάλη ποσότητα θερμότητας. Η λαβή κατασκευάζεται από υλικό που είναι κακός αγωγός της θερμότητας, συνήθως από ξύλο ή πλαστικό ώστε ο τεχνίτης να μην καίγεται, όταν το χρησιμοποιεί. Η θέρμανση του απλού κολλητηριού γίνεται συνήθως με φλόγα καυσίμου αερίου (προπάνιο, φωταέριο, βουτάνιο κ.λ.π.) ή σε καμίνι. Τα απλά κολλητήρια πυρώνονται σε θερμοκρασία από 500-600 °C . Στα ηλεκτρικά κολλητήρια, που έχουν αντικαταστήσει τα απλά, η κεφαλή θερμαίνεται με ηλεκτρική αντίσταση. Η κεφαλή του κολλητηριού πρέπει να είναι πάντα καθαρή, χωρίς οξειδία, γι' αυτό πρέπει να καθαρίζεται συχνά, ώστε να ρέει εύκολα η κόλληση στις θέσεις συγκόλλησης. Ο καθαρισμός γίνεται με μηχανικά και χημικά μέσα. Ο μηχανικός καθαρισμός περιλαμβάνει λιμάρισμα και θέρμανση της μύτης του κολλητηριού. Ο χημικός καθαρισμός γίνεται με τρίψιμο της κεφαλής πάνω σε πλάκα αμμωνιακού άλατος με ταυτόχρονη εναπόθεση κασσιτεροκόλλησης (γάνωμα).

2. Σκληρές συγκολλήσεις

Οι κολλήσεις που χρησιμοποιούνται στις σκληρές συγκολλήσεις βαρέων μετάλλων είναι κυρίως **κράματα χαλκού**. Βέβαια, και ο καθαρός χαλκός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κόλληση, αλλά το σημείο τήξης του είναι πολύ υψηλό (1083 °C) και η συγκόλληση σ' αυτή τη θερμοκρασία γίνεται πολύ δύσκολα. **Γι' αυτό χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις**. Μια τέτοια περίπτωση είναι εκείνη που μετά τη συγκόλληση τα μεταλλικά τεμάχια θα πρέπει να υποστούν βαφή. Έτσι η θερμοκρασία βαφής (750-900 °C) δε φτάνει στη θερμοκρασία τήξης του καθαρού χαλκού και, επομένως, δεν επηρεάζεται η συγκόλληση. Τα συνηθέστερα είδη σκληρών κολλήσεων είναι:

- **Οι μπρουντζοκολλήσεις**
- **Ο ασημοκολλήσεις**

Οι μπρουντζοκολλήσεις είναι κράματα χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn), που περιλαμβάνουν στη σύνθεσή τους μικρά ποσοστά κασσίτερου (Sn), αργύρου (Ag), νικελίου (Ni) κτλ., τα οποία δίνουν στην κόλληση **χαμηλότερο σημείο τήξης, μεγαλύτερη αντοχή και βελτίωση της ρευστότητάς της**. Η μπρουντζοκόλληση με ίση περίπου περιεκτικότητα σε χαλκό και ψευδάργυρο χρησιμοποιείται ευρέως στις

περισσότερες περιπτώσεις σκληρών συγκολλήσεων και ιδιαίτερα **στα αμαξώματα των αυτοκινήτων**.

Οι ασημοκολλήσεις είναι οι σκληρές κολλήσεις, οι οποίες στη σύνθεσή τους περιέχουν **άργυρο (Ag)** σε ποσοστό πάνω από **8%**. Σε ειδικές περιπτώσεις το ποσοστό σε άργυρο (ασήμι) μπορεί να ξεπεράσει και το 50%. Το κόστος των ασημοκολλήσεων είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο των μπруντζοκολλήσεων. Όμως οι άριστες ιδιότητές τους έχουν επιβάλει τη χρήση τους σε πολλές εφαρμογές που απαιτούν σκληρή συγκόλληση σε **χαμηλές θερμοκρασίες**. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του αργύρου (ασημιού) στη σύνθεση της ασημοκόλλησης, **τόσο χαμηλότερο είναι το σημείο τήξης της και τόσο ευκολότερα «δουλεύεται»**.

Οι ασημοκολλήσεις κυκλοφορούν στο εμπόριο σε **μορφή σύρματος, ελάσματος, ράβδων ή σκόνης**. Επειδή είναι πολύ ακριβές, πρέπει να συλλέγονται τα υπολείμματα και να επαναχρησιμοποιούνται, εφόσον είναι δυνατόν και οικονομικά συμφέρον.

B. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Εκτός από τις μεθόδους συγκόλλησης που περιγράψαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις ή δε χρησιμοποιούνται καθόλου **στις κατασκευές των αμαξωμάτων**.

Τέτοιες μέθοδοι είναι :

- Οι **καμινοσυγκολλήσεις**
- Οι συγκολλήσεις με **δέσμη ηλεκτρονίων**
- Οι συγκολλήσεις με **ακτίνες Laser**
- Οι συγκολλήσεις με **υπερήχους**
- Οι συγκολλήσεις με **τριβή**

1. Η Καμινοσυγκόλληση

Η καμινοσυγκόλληση είναι η πιο παλιά μέθοδος συγκόλλησης μετάλλων. Η χρήση της σήμερα έχει περιοριστεί σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, λόγω των πολλών μειονεκτημάτων που παρουσιάζει έναντι άλλων σύγχρονων μεθόδων συγκόλλησης. Κατά την καμινοσυγκόλληση τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια θερμαίνονται σε καμίνι, **μέχρι να πυρακτωθούν**. Κατόπιν τοποθετούνται πάνω στο **αμόνι** στη θέση που πρόκειται να συγκολληθούν (συνήθως με επικάλυψη των άκρων τους) και σφυρηλατούνται με τα ειδικά **σφυριά του καμινευτή**. Τα σφυριά αυτά μπορεί να είναι του **ενός χεριού** με βάρος 1Kg έως 2 Kg ή **βαριές** που χειρίζονται από το βοηθό του καμινευτή με τα δύο χέρια. Οι βαριές έχουν συνήθως βάρος 5 έως 10 Kg.

Με τη σφυρηλάτηση, τα μόρια του ενός άκρου εισχωρούν στα μόρια του άλλου και πραγματοποιείται η συγκόλλησή τους. Σε ειδικές περιπτώσεις τα άκρα των προς

συγκόλληση τεμαχίων λοξοτομούνται σε αρσενική και θηλυκή διαμόρφωση, ώστε κατά τη σφυρηλάτησή τους να «δέσουν» ευκολότερα και καλύτερα.

Για να πραγματοποιηθεί μια καλής ποιότητας καμινοσυγκόλληση, θα πρέπει τα προς συγκόλληση άκρα να μην έχουν σκουριές. Γι' αυτό, όταν τα τεμάχια βρίσκονται στο καμίνι και αρχίζουν να πυρακτώνονται, ο καμινευτής τα ραντίζει με **βόρακα**, ώστε να απαλλαγούν από τις οξειδώσεις και να συγκολληθούν χωρίς προβλήματα.

2. Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων

Οι συγκολλήσεις με **δέσμη ηλεκτρονίων**, βασίζονται στο βομβαρδισμό των προς συγκόλληση επιφανειών των μετάλλων με **δέσμη ηλεκτρονίων μεγάλης ταχύτητας**. Η διαδικασία της συγκόλλησης πραγματοποιείται με ειδικές μηχανές, οι οποίες έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν και να συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων (από την κάθοδο), να τα επιταχύνουν μέσα από μια μικρή τρύπα της **ανόδου**, ώστε να αποκτούν μεγάλη ταχύτητα και να τα επικεντρώνουν (με ηλεκτρομαγνήτες) στα σημεία συγκόλλησης. Όλες οι πιο πάνω φάσεις συντελούνται σε ειδικό χώρο της μηχανής **υπό κενό**. Έτσι **όλη η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε θερμότητα**, η οποία θερμαίνει τα προς συγκόλληση μέταλλα, μέχρι του σημείου σύντηξής τους, με συνέπεια τη συγκόλλησή τους. Για την επιτάχυνση της δέσμης των ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται ρυθμιζόμενη τάση, η τιμή της οποίας κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100 kV, ανάλογα με την απαιτούμενη για κάθε συγκόλληση επιτάχυνση. Η ηλεκτρική **τάση** επηρεάζει το μέγεθος της επιτάχυνσης, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την ανάπτυξη της **θερμότητας**, ενώ η **ένταση** του ρεύματος έχει σχέση με τη **διείσδυση** της συγκόλλησης. Το μεγάλο **πλεονέκτημα** των συγκολλήσεων με δέσμη ηλεκτρονίων είναι η **εξαιρετικά μεγάλη διείσδυση** της δέσμης ηλεκτρονίων στα προς συγκόλληση μέταλλα, αλλά σε πάρα πολύ μικρή έκταση (μικρή διάμετρος των σημείων συγκόλλησης). Έτσι η **ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΖΕΘ)** περιορίζεται σημαντικά, με όλα τα θετικά αποτελέσματα που προκύπτουν στην κρυσταλλική δομή των γειτονικών περιοχών της συγκόλλησης. Με τη μέθοδο της δέσμης ηλεκτρονίων μπορούν να συγκολληθούν σχεδόν όλα τα μέταλλα, από τα πιο δύστηκτα όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες κτλ., μέχρι και ανόμοια μεταλλικά τεμάχια. Όμως η χρήση των συσκευών συγκόλλησης με δέσμη ηλεκτρονίων είναι πολύ περιορισμένη, γιατί το κόστος αγοράς τους είναι μεγάλο και η χρήση τους απαιτεί πολύ καλή εκπαίδευση.

3. Η συγκόλληση με ακτίνες Laser

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

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

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

Τεχνολογία και τεχνική της συγκόλλησης Laser :

Η συγκόλληση με τις συσκευές laser επιτρέπει την εκτέλεση σε ελεύθερη θέση όλων των τύπων και σχημάτων των συνδέσεων σε πολύ μεγάλη περιοχή παχών, μέχρι τα πιο λεπτά παραγόμενα στη βιομηχανία φύλλα και σύρματα με πάχος ή διάμετρο από 0,0025 mm μέχρι 25-32 mm. Στη συγκόλληση laser εφαρμόζονται δύο τεχνικές συγκόλλησης: συγκόλληση με το λουτρό και συγκόλληση με βαθιά διείσδυση, με την τεχνική του ματιού. Και οι δύο τεχνικές συγκόλλησης διενεργούνται με ή χωρίς πρόσθετο υλικό, με ένα πέρασμα ή με πολλαπλά κορδόνια.

Η συγκόλληση με την τεχνική του λουτρού συνιστάται στη χρησιμοποίηση της δέσμης laser με μικρή ή μέση ισχύ, η οποία θερμαίνει με επιφανειακή απορρόφηση της περιοχής συγκόλλησης, ενώ η υποεπιφανειακή περιοχή θερμαίνεται με αγωγιμότητα. Το βάθος διείσδυσης τότε εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του συγκολλούμενου μετάλλου, την κατάσταση της επιφάνειας του καθώς και από την πυκνότητα της ισχύος της δέσμης laser. Σημαντική αύξηση της διείσδυσης εξασφαλίζεται με επικάλυψη της επιφάνειας της σύνδεσης με ουσία με μεγάλο συντελεστή απορρόφησης της ακτινοβολίας laser. Η συγκόλληση με την τεχνική του λουτρού εφαρμόζεται κυρίως για την εκτέλεση συνδέσεων με πολύ μικρό πάχος.

Η τεχνική συγκόλλησης του <<ματιού>> απαιτεί συνήθως τη χρήση στερεών ή αερίων laser, με μέση ή μεγάλη ισχύ. Στην προκειμένη περίπτωση οι φυσικές ιδιότητες του μετάλλου δεν παίζουν ουσιώδη ρόλο και δεν περιορίζουν το βάθος διείσδυσης. Η ενέργεια της δέσμης laser είναι απορροφημένη σε όλο το βάθος της σύνδεσης και όχι μόνο στην επιφάνεια.

Πλεονεκτήματα της συγκόλλησης laser:

1) Βαθιές και στενές κολλήσεις. Το βάθος διείσδυσης της συγκόλλησης με ένα πέρασμα περιορίζεται μόνο από τη διαθέσιμη ισχύ του laser.

2) Χαμηλή εισροή θερμότητας σε κάθε πλευρά του υλικού της συγκολλούμενης σύνδεσης

- πολύ χαμηλή θερμική παραμόρφωση

- δυνατότητα συγκόλλησης πολύ κοντά σε θερμικά ευαίσθητα στοιχεία, όπως ηλεκτρονικά κυκλώματα

- καλές μεταλλουργικές ιδιότητες, όπως σημαντική μείωση διόγκωσης των κόκκων.

3) Υψηλοί ρυθμοί παραγωγικότητας

- υψηλές ταχύτητες συγκόλλησης, που μπορούν να φτάσουν μέχρι και μερικά μέτρα ανά λεπτό

- δυνατότητα αυτοματισμού και λειτουργίας με ρομπότ

- δυνατότητα λειτουργίας σε όλες τις πιθανές γωνίες

4) Οι κολλήσεις μπορούν να επιτευχθούν μονόπλευρα και σε δύσκολες θέσεις

- δυνατότητα εναπόθεσης κόλλησης με ακρίβεια

- πολλαπλά στρώματα συγκόλλησης από μία πλευρά

5) Αυξημένες σχεδιαστικές πιθανότητες

- μεγάλη ποικιλία συνδέσεων ακόμη και μεταξύ ανομοιόμορφων παχών

- δεν απαιτείται περαιτέρω μηχανική κατεργασία, όπως λείανση κ.ά.

Μειονεκτήματα της συγκόλλησης laser:

1) Στενά εφαρμοσμένες οι συνδέσεις

- Μικρό μέγεθος εστιασμένου σημείου

2) Πολύ ακριβής ευθυγράμμιση της δέσμης – συγκολλούμενου αντικειμένου.

3) Ακριβής χειρισμός της δέσμης ή του συγκολλούμενου αντικειμένου.

4) Οι μηχανές laser λειτουργούν σε σταθερό χώρο εργασίας

- λόγοι ασφαλείας

- οπτική σταθερότητα

- ανάγκη πηγής νερού ψύξης, για εύρυθμη λειτουργία των μηχανών.

5) Υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας

- απαιτείται τακτική συντήρηση

- βοηθητικός εξοπλισμός και εργαλεία.

4. Συγκόλληση με υπερήχους

Η μέθοδος συγκόλλησης με υπερήχους είναι γνωστή από τη δεκαετία του 50 και βασίζεται στη χρήση υπερήχων με **συχνότητα παλμών πάνω από 4000 / s**. Όμως χρησιμοποιείται και σήμερα σε ειδικές περιπτώσεις συγκολλήσεων χαλκού, νικελίου, αλουμινίου ή ακόμη και ανόμοιων μετάλλων, που η συγκόλλησή τους με άλλες μεθόδους θα απαιτούσε υψηλές θερμοκρασίες, με συνέπεια πιθανές παραμορφώσεις των μεταλλικών τεμαχίων. Στη συγκόλληση με υπερήχους, τα άκρα των προς συγκόλληση μεταλλικών τεμαχίων τοποθετούνται σε θέση επικάλυψης και στερεώνονται στη μηχανή συγκόλλησης. Σ' αυτή τη θέση τα προς συγκόλληση άκρα **συμπιέζονται** και ταυτόχρονα τροφοδοτούνται με **ρεύμα υψηλής συχνότητας** (υπερήχους). Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα σημεία επαφής των ηλεκτροδίων με τα προς συγκόλληση τεμάχια είναι επιφανειακή και σαφώς μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων. Όμως σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη πίεση επιτυγχάνεται η συγκόλληση των τεμαχίων, χωρίς παραμορφώσεις ή άλλες αρνητικές επιπτώσεις.

5. Συγκόλληση με τριβή

Η συγκόλληση με τριβή είναι διαδικασία σύνδεσης μετάλλων, στην οποία οι επιφάνειες των συνδεόμενων εξαρτημάτων θερμαίνονται μέχρι τη δημιουργία εύπλαστης κατάστασης, με τη δράση των δυνάμεων τριβής και στη συνέχεια με την εφαρμογή πίεσης, επιτυγχάνεται η συγκόλληση. Η μετατόπιση των επιφανειών μεταξύ τους (δημιουργώντας τις συνθήκες τριβής) πραγματοποιείται με την περιστροφική κίνηση, τη γωνιακή ταλάντωση, την κυκλική τροχιά και τη γραμμική ταλάντωση. Για την εύκολη υλοποίηση, γενικά στην πρακτική της βιομηχανίας, χρησιμοποιείται η περιστροφική κίνηση, παρόλο που αυτή περιορίζει τη συγκόλληση με τριβή εξαρτημάτων, από τα οποία τουλάχιστον το ένα στη θέση σύνδεσης πρέπει να έχει κυκλική διατομή και να εξασφαλίζει τη γωνιακή προσέγγιση. Η συγκόλληση με τριβή χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων, για τη σύνδεση κατασκευαστικών ανθρακοχαλύβων, κραματωμένων χαλύβων, πολλών άλλων κατηγοριών χαλύβων, εργαλείων ανοξείδωτων, οξύμαχων και πυρίμαχων, χαλκού, αλουμινίου, τιτανίου κ.α. Η συγκόλληση με τριβή χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, χαρακτηρισμένη ως μέθοδος ασφαλής και αξίας, για τη σύνδεση μετάλλων και κραμάτων, για πάρα πολλά παραγόμενα προϊόντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Α. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

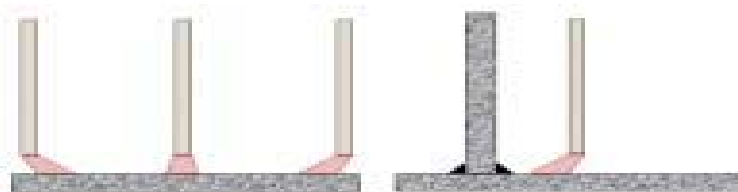
Στην ηλεκτροσυγκόλληση αντιμετωπίζουμε τεχνικά προβλήματα, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά στον **πίνακα (5.1)**. Εδώ, σε αντίθεση με τα προβλήματα που οφείλονται στην υφή των μετάλλων, ο ηλεκτροσυγκολλητής μπορεί να τα αντιμετωπίσει.

Πίνακας (5.1): Τα προβλήματα ηλεκτροσυγκόλλησης τα οποία πρέπει να αντιμετωπίσει ο ηλεκτροσυγκολλητής			
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 ωστενίτη 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 διεύθυνση, είναι οι συνήθεις αιτίες.	Σωστή επιλογή μετάλλου και ηλεκτροδίου, εφαρμογή προθέρμανσης, ελεγχόμενος βαθμός ψύξης, καλός σχεδιασμός της ραφής.

1. Το φύσημα του τόξου

Το τόξο μπορεί να αποκλίνει από την πορεία του εξ' αιτίας ηλεκτρομαγνητικών ή θερμικών φαινομένων. Η απόκλιση αυτή αποκαλείται **φύσημα του τόξου**. Όταν παρουσιάζεται το φύσημα του τόξου, το μέταλλο δεν εναποτίθεται εκεί όπου το θέλουμε. Ακόμη, έχουμε πιτσιλίσματα και, γενικότερα, κακή ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης.

Όταν το φύσημα οφείλεται σε ηλεκτρομαγνητικά αίτια, τότε ονομάζεται **μαγνητικό φύσημα** και είναι αυτό που δημιουργεί τα περισσότερα προβλήματα. Το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι ότι παρουσιάζεται, συνήθως, σε μεγάλη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος DC (άνω των 200 A).



Σχήμα 5 α : Περιοχές στις οποίες προκαλείται το μαγνητικό φύσημα.

Για να μπορέσει ο ηλεκτροσυγκολλητής να αντιμετωπίσει το μαγνητικό φύσημα, χρειάζεται να γνωρίζει τα αποτελέσματά του. Συγκεκριμένα, συμβαίνουν τα εξής:

- Το τόξο τείνει να απομακρυνθεί από το σημείο γείωσης.
- Το τόξο τείνει να έλκεται προς την πλευρά που υπάρχει η περισσότερη μάζα, όπως φαίνεται στο **σχήμα (5 α)**. Όταν το τόξο εφαρμόζεται στο μέσο της επιφάνειας, δε δημιουργείται μαγνητικό φύσημα. Στα άκρα όμως το φαινόμενο είναι έντονο.

Με το συνδυασμό των δύο παραπάνω μεθόδων, μπορεί να περιοριστεί το φύσημα του τόξου με την επιλογή της κατάλληλης θέσης του σημείου γείωσης. Στο **σχήμα (5 β)**, στις θέσεις (A) έχουμε ισχυρό μαγνητικό φύσημα, ενώ στις (B) αυτό έχει περιοριστεί. Η λύση είναι να ξεκινήσει η συγκόλληση με το σημείο γείωσης κοντά στο σημείο εκκίνησης και, όταν εμφανιστεί το φύσημα του τόξου, να μεταφερθεί στην αντίθετη θέση.



Σχήμα (5 β): Αντιμέτωπιση του μαγνητικού φύσηματος: (A) Ισχυρό μαγνητικό φύσημα
(B) Περιορισμός του φύσηματος με αλλαγή της θέσης του σημείου γείωσης

Η απόκλιση του τόξου ενδέχεται να έχει και θερμικά αίτια. Αυτό είναι το **θερμικό φύσημα** και οφείλεται στο ότι το τόξο τείνει να έρχεται σε επαφή με τη θερμότερη περιοχή, δηλαδή με το λουτρό συγκόλλησης και δείχνει «απροθυμία» στο να μετακινηθεί προς την ψυχρότερη περιοχή του μετάλλου.

Όταν παρουσιαστεί το φύσημα, αντιμετωπίζεται με διάφορους τρόπους, αλλά δύσκολα εκμηδενίζεται πλήρως. Η αντιμετώπισή του δεν μπορεί να γίνει ακολουθώντας αυστηρά κάποιους κανόνες. Γι. αυτό η εμπειρία του ηλεκτροσυγκολλητή έχει τον πρώτο λόγο.

Εκτός από την αλλαγή της θέσης του σημείου σύνδεσης της γείωσης, άλλοι απλοί τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου είναι:

- Με τη χρήση ρεύματος AC (εναλλασσόμενο), ιδίως όταν η ένταση του ρεύματος υπερβαίνει τα 250 A.
- Με τη μετακίνηση του ηλεκτροδίου υπό γωνία αντίθετη του φύσηματος. Η τεχνική αυτή φαίνεται στο **σχήμα (5 γ)**.



Σχήμα (5 γ): Περιορισμός του φαισθήματος με αλλαγή κλίσης του ηλεκτροδίου

Περισσότερο δύσκολες τεχνικές για τη μείωση του φαισθήματος είναι οι εξής:

- Ενώνοντας τα προς συγκόλληση τεμάχια, όταν αυτά δεν είναι σε καλή επαφή ή δεν είναι καν σε επαφή. Η ένωση γίνεται εκτελώντας πονταρισίες κατά διαστήματα.
- Με τη μείωση της έντασης του ρεύματος ή με τη μείωση του ύψους του τόξου ή με ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο. Στην περίπτωση αυτή, ενδεχομένως να χρειαστεί και αλλαγή της ταχύτητας κίνησης του ηλεκτροδίου.
- Τυλίγοντας το καλώδιο γείωσης γύρω από το τεμάχιο. Αυτό εξουδετερώνει εν μέρει τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που προκαλούν το μαγνητικό φύσημα.

2. Θερμικές παραμορφώσεις

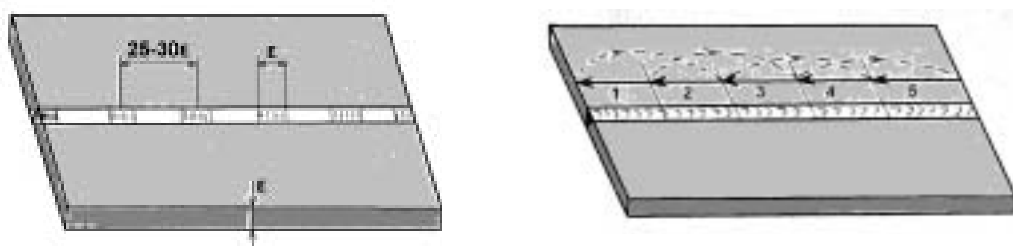
Η θέρμανση που αναπτύσσεται κατά την ηλεκτροσυγκόλληση, μπορεί να έχει ως συνέπεια τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων. Αυτές εμφανίζονται, όταν θα κρυώσει το μέταλλο και είναι η αιτία των παραμορφώσεων που παρατηρούνται. Αν τα τεμάχια δεν είναι ελεύθερα να κινηθούν (δηλαδή να παραμορφωθούν) οι εσωτερικές τάσεις, σε ακραίες περιπτώσεις, μπορούν να προκαλέσουν μέχρι και τη ρηγμάτωση των συγκολλήσεων. Στο **σχήμα (5 δ)**, βλέπουμε μερικές συνέπειες από παραμορφώσεις λαμαρινών κατά την ηλεκτροσυγκόλληση.



Σχήμα (5 δ): Παραμορφώσεις λαμαρινών κατά την ηλεκτροσυγκόλληση

Για την αντιμετώπιση των παραμορφώσεων ακολουθούνται διάφορες τεχνικές. Εδώ θα περιγράψουμε ορισμένες από αυτές. Δεν έχει τόσο σημασία η περιγραφή των τεχνικών, όσο ο τρόπος με τον οποίο σκέπτεται ο ηλεκτροσυγκολλητής, για να αποφευχθούν οι παραμορφώσεις.

α) Συγκόλληση δύο λαμαρινών μικρού πάχους: Στην περίπτωση αυτή απαιτείται μόνο ένα κορδόνι. Η διαδικασία φαίνεται στο **σχήμα (5 ε)** και έχει ως εξής:



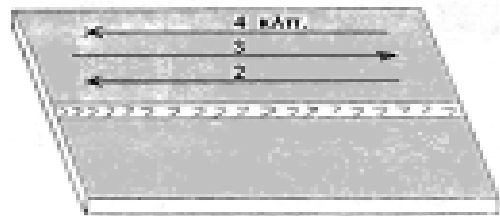
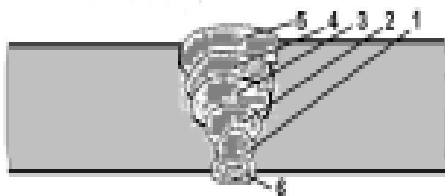
Σχήμα (5 ε): Συγκόλληση λαμαρινών με ένα μόνο κορδόνι

- Κάνουμε μικρές πονταρισιές που μπορούν να απέχουν μεταξύ τους από 25 μέχρι 35 φορές το πάχος του ελάσματος.

- Με τις πονταρισίες, η λαμαρίνα έχει χωριστεί σε τμήματα που στο **σχήμα (5 ε)** φαίνονται αριθμημένα από το 1 μέχρι το 5. Τα συγκολλούμε με την εξής σειρά: 1-3-5-2-4.

(β) Συγκόλληση λαμαρινών μεγάλου πάχους, όταν απαιτούνται περισσότερα του ενός κορδόνια, αλλά μόνο από τη μία πλευρά:

- Για το πρώτο κορδόνι ακολουθούμε την προηγούμενη διαδικασία.
- Τα υπόλοιπα κορδόνια τα περνάμε με τη σειρά που φαίνεται στο **σχήμα (5 στ)**. Τα επιπλέον κορδόνια προϋποθέτουν πολύ καλό καθαρισμό της σκουριάς της πάστας.
- Στο τέλος, γυρίζουμε ανάποδα το τεμάχιο, τροχίζουμε τη ρίζα, επειδή εκεί η πρόσφυση και η καθαρότητα της ένωσης είναι πολύ κακή. Μετά εκτελούμε την τελευταία ραφή που στο **σχήμα (5 στ)** έχει τον αριθμό (6). Αυτή είναι καλύτερα να γίνεται με TIG.



Σχήμα (5 στ): Συγκόλληση λαμαρινών με περισσότερα του ενός κορδόνια αλλά μόνο από τη μία μόνο πλευρά

3. Ρηγματώσεις

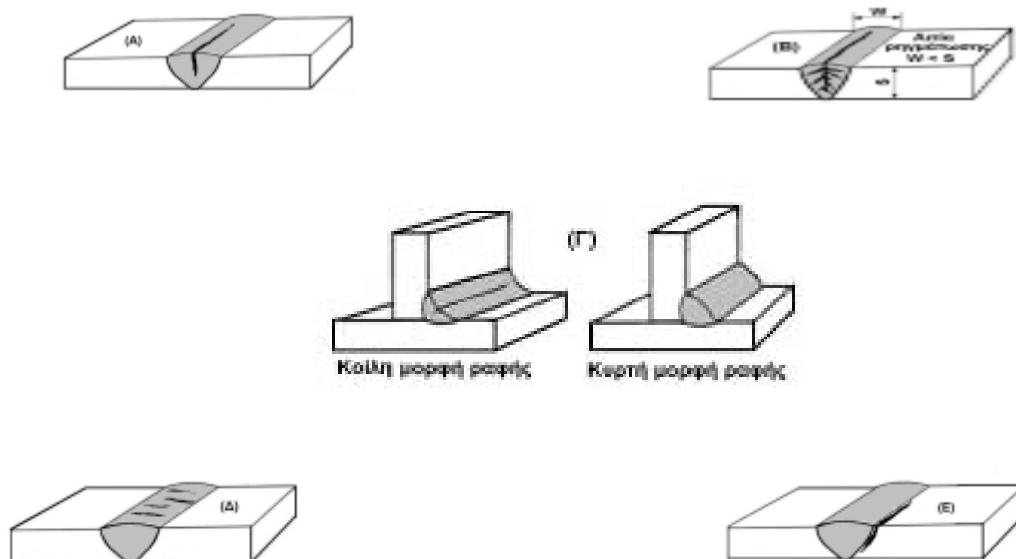
Οι ρηγματώσεις αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους της ηλεκτροσυγκόλλησης και συχνά ανιχνεύονται δύσκολα. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

(α) Διαμήκης ρηγμάτωση πάνω στη συγκόλληση

Έχουν τη μορφή του **σχήματος (5 ζ)**, περιπτώσεις (Α), (Β), (Γ). Προκαλείται από διάφορες αιτίες και συγκεκριμένα:

- Από τις ακαθαρσίες που υπάρχουν στο μέταλλο βάσης και στο εναποτιθέμενο μέταλλο. Η μορφή τους είναι όπως στην περίπτωση (Α). 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.

- Από μεγάλη διείσδυση του προστιθέμενου μετάλλου, που φαίνεται στην περίπτωση (B), με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο ύψος ραφής. **Το ύψος της ραφής δεν πρέπει να υπερβαίνει το πλάτος.**
- Από την ταχεία ψύξη της ραφής, όταν η επιφάνειά της είναι κοίλη, όπως στην περίπτωση (Γ).
- Από συνδυασμό όλων των παραπάνω.



Σχήμα (5 ζ): Είδη ρηγματώσεων της συγκόλλησης:

(Α) από τις ακαθαρσίες του μετάλλου (Β) Από μεγάλη διείσδυση (Γ) Από κυρτή μορφή της ραφής σε συνδυασμό με την ταχεία ψύξη (Δ) Από κακή επιλογή ηλεκτροδίου (Ε) Εξ αιτίας της παρουσίας του υδρογόνου

(β) Κάθετη ρηγμάτωση πάνω στην ηλεκτροσυγκόλληση

Η μορφή είναι όπως η περίπτωση (Δ) του **σχήματος (5 ζ)**. 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 (5 ζ)**. 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.

4. Ο ρόλος του υδρογόνου στις ρηγματώσεις

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος ρηγμάτωσης **προέρχεται από το υδρογόνο**. Αυτό διεισδύει στο υγρό μέταλλο και από εκεί στον ωστενίτη ο οποίος μπορεί να διαλύσει μεγάλη ποσότητα υδρογόνου. Όταν ο ωστενίτης αρχίζει να μετατρέπεται σε φερρίτη, που δεν έχει την ίδια ικανότητα διάλυσης υδρογόνου, τότε απελευθερώνεται το υδρογόνο και προκαλεί εσωτερικές τάσεις. Αυτές, αν το υδρογόνο είναι σε μεγάλη ποσότητα, οδηγούν στη ρηγμάτωση. Τα πράγματα είναι ακόμη χειρότερα, αν, κατά το μετασχηματισμό του ωστενίτη, έχουμε και δημιουργία μαρτενσίτη, επειδή αυτός δεν έχει καμία δυνατότητα διάλυσης του υδρογόνου. Η αποφυγή της δημιουργίας μαρτενσίτη γίνεται με την εφαρμογή αργού ρυθμού ψύξης.

Το υδρογόνο προέρχεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, όπου υπάρχει υπό μορφή υγρασίας (διασπάται σε υδρογόνο και οξυγόνο από τη θερμοκρασία του τόξου). Τυχόν υδρογονάνθρακες πάνω στο μέταλλο (λάδια κτλ.) που δεν έχουν καθαριστεί, αποτελούν σοβαρή πηγή υδρογόνου. Άλλες πηγές είναι το ίδιο το ηλεκτρόδιο που περιέχει υδρογόνο καθώς και η πάστα του.

5. Η πρόληψη των ρηγματώσεων εξαιτίας του υδρογόνου

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

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

6. Η προθέρμανση

Η προθέρμανση απαιτείται για τη συγκόλληση ορισμένων ειδών χαλύβων αλλά και άλλων μετάλλων. Περιορίζει πολύ τον κίνδυνο ρηγμάτωσης. Το ερώτημα «πότε χρειάζεται να εφαρμοστεί η προθέρμανση;» είναι δύσκολο να απαντηθεί. Απλές απαντήσεις θα μπορούσαν να είναι: «στα υλικά που συγκολλούνται δύσκολα» ή «όταν επιδιώκουμε συγκόλληση υψηλής αντοχής». Αν π.χ. πρόκειται για το σασί ενός οχήματος, καλό είναι να εφαρμοστεί η προθέρμανση.

Η προθέρμανση, συνήθως, εφαρμόζεται με φλόγα οξυγόνου-ασετιλίνης, εκατέρωθεν της προς συγκόλληση περιοχής και σε πλάτος τουλάχιστον 75 mm. Η θερμοκρασία της προθέρμανσης σε ανθρακούχους χάλυβες με πάχη

μικρότερα των 20 mm δεν είναι κρίσιμη, αρκεί να είναι στην περιοχή 110-200°C. Στις άλλες όμως ποιότητες χαλύβων **θα πρέπει να δοθούν οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή της απαιτούμενης προθέρμανσης.**

Η θερμοκρασία της προθέρμανσης μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με ένα θερμόμετρο επαφής ή με τη βοήθεια ειδικών μαρκαδόρων που το σημάδι τους επηρεάζεται από την αλλαγή της θερμοκρασίας.

B. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

1. Ποιοτικός έλεγχος 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 επιθεώρηση**. Μπορεί, μετά την απομάκρυνση της σκουριάς της πάστας, να εκτελεστεί πολύ εύκολα, ακόμη και από τον ίδιο τον ηλεκτροσυγκολλητή.

Το επόμενο στάδιο είναι οι **δοκιμές**. Για να εκτελεστούν απαιτείται ο κατάλληλος εξοπλισμός. Οι δοκιμές δε χρειάζονται πάντοτε. Αυτές εκτελούνται μόνον, όταν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αντοχής και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τις **μη καταστρεπτικές δοκιμές**
- Τις **καταστρεπτικές δοκιμές**

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

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 συρματοβούρτσα 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).

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:

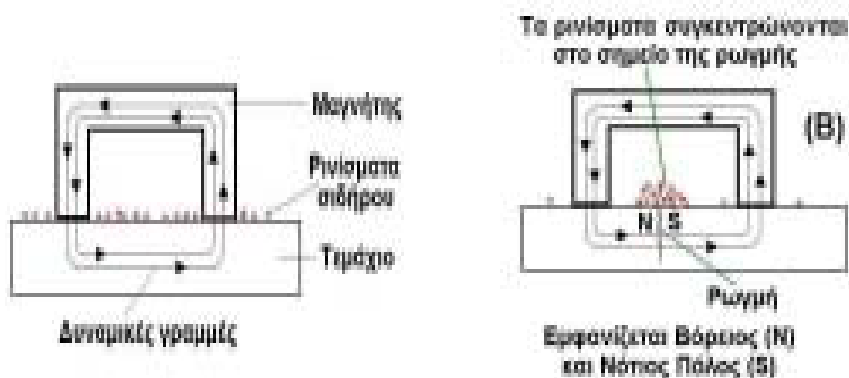
α) Ο έλεγχος για ρωγμές με τη βοήθεια διεισδυτικών υγρών.

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 ψεκασμός με νερό, ενώ για άλλα απαιτείται ειδικό διαλυτικό. Αν τυχόν υπάρχουν ρωγμές, εμφανίζονται χρωματισμένες.

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

Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνεται μόνο σε υλικά με ισχυρές μαγνητικές ιδιότητες. Η αρχή της λειτουργίας αυτής της μεθόδου φαίνεται στο **σχήμα (5 η)**. Όταν εφαρμόζεται ένας μαγνήτης πάνω σε μία μεταλλική επιφάνεια, οι μαγνητικές γραμμές οδεύουν κανονικά, όπως φαίνεται στην περίπτωση (Α) του σχήματος. Όταν όμως υπάρχει μία ατέλεια, όπως στην περίπτωση (Β), οι μαγνητικές γραμμές διακόπτονται και εμφανίζονται Βόρειος και Νότιος πόλος, οι οποίοι έλκουν τα ρινίσματα σιδήρου που έχουμε σκορπίσει στην επιφάνεια που ελέγχουμε.

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



Σχήμα (5 η): Ο έλεγχος των ρωγμών με μαγνήτη: (A) Χωρίς ελαττώματα (B) Με ελαττώματα

(γ) Η ακτινογραφία

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.

(δ) Ο έλεγχος με υπερήχους

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

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 εκτέλεση τους απαιτείται ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός.

Με τις καταστρεπτικές δοκιμές αισθανόμαστε πολύ πιο σίγουροι για το αποτέλεσμα, αλλά δεν μπορούμε να τις εφαρμόζουμε οποτεδήποτε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΩΝ

Α. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΝΘΡΑΚΟΧΑΛΥΒΩΝ

1. Συγκόλληση ανθρακοχαλύβων με χαμηλό άνθρακα ($C \leq 0,2\%$)

Αν λάβουμε υπόψη τις τεχνολογικές απαιτήσεις εκτέλεσης συγκολλητών κατασκευών, στους ανθρακοχάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, ανήκουν τέτοιοι χάλυβες, που το ισοδύναμο του άνθρακα (CE), υπολογιζόμενο από τον τύπο:

$$CE(\%) = \%C + \%Mn/6 + \%Cu + \%Ni/15 + \%Cr + \%Mo + \%V/5$$

δεν υπερβαίνει την τιμή του 0,40. Στην κατηγορία των ανθρακοχαλύβων χαμηλού άνθρακα, που πληρούν την ανωτέρω συνθήκη, μπορούν να ενταχθούν οι απλής ποιότητας ανθρακοχάλυβες γενικής χρήσης, όπως και οι ανώτερης ποιότητας κατασκευαστικοί ανθρακοχάλυβες. Σ' αυτήν την κατηγορία εντάσσονται, επίσης, και οι χυτοχάλυβες με παρόμοια χημική σύνθεση. Οι ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα υπάγονται, στα υλικά με καλή συγκολλητότητα. Η επεξεργασία της τεχνολογίας συγκόλλησης αυτών των χάλυβων, για συγκεκριμένο συγκολλούμενο αντικείμενο πρέπει να περιέχει:

- 1) τον καθορισμό της ουσιαστικής μεθόδου συγκόλλησης λαμβάνοντας υπόψη:
 - το πάχος των συγκολλούμενων εξαρτημάτων
 - το μήκος των εκτελούμενων κολλήσεων
 - το μέγεθος της παρτίδας των συγκολλούμενων αντικειμένων
 - τον εξοπλισμό του τμήματος συγκολλήσεων
- 2) τη διαίρεση της συγκολλητής κατασκευής σε υποσυγκροτήματα εκτελούμενα ξεχωριστά
- 3) την επεξεργασία του τεχνολογικού πλάνου συγκόλλησης, που περιέχει τη διαδοχική σειρά εκτέλεσης των κολλήσεων
- 4) τον καθορισμό του τύπου του εναποτιθέμενου υλικού, το οποίο πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση των κολλήσεων (ηλεκτρόδια, σύρματα, προστατευτικά αέρια)
- 5) τον καθορισμό του συγκροτήματος χρησιμοποίησης συσκευών συγκόλλησης και εργαλείων-ιδιοσυσκευών
- 6) τον καθορισμό των παραμέτρων εναπόθεσης των διαφόρων κολλήσεων καθώς και των ενδεχομένων συνθηκών θερμικής κατεργασίας, μετά τη συγκόλληση

7) την επεξεργασία των τεχνολογικών οδηγιών που περιέχουν τους παραπάνω καθορισμούς.

α) Συγκόλληση λεπτών ελασμάτων

Η συγκόλληση εξαρτημάτων πάχους κάτω από 3 mm επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλών μεθόδων, όπως με:

- τη μικροπλασμική συγκόλληση
- τη συγκόλληση πλαγιαστού ηλεκτροδίου
- τη συγκόλληση στην ατμόσφαιρα του CO₂, με περιοδικά διακοπτόμενο τόξο
- την οξυγονοκόλληση
- τη συγκόλληση με δέσμη LASER.

I. Συγκόλληση μικροπλασμική

Κατά τη μικροπλασμική συγκόλληση, εμφανίζονται ασήμαντες παραμορφώσεις στα εξαρτήματα. Απαιτείται η εφαρμογή των άκρων να γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Στην περίπτωση των μετωπικών συγκολλήσεων, το διάκενο μεταξύ των συγκολλούμενων εξαρτημάτων ανέρχεται μέχρι 10% του πάχους του υλικού που συγκολλείται.

II. Συγκόλληση με πλαγιαστό ηλεκτόδιο

Επειδή υπάρχει έλλειψη ηλεκτροδίων ειδικά προσαρμοσμένων γι' αυτή τη μέθοδο συγκόλλησης και με μεγαλύτερο μήκος, είναι δυνατόν να γίνει χρήση συνηθισμένων ηλεκτροδίων σύνδεσης, με μήκος μέχρι 400 mm. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρόδια με επένδυση ρουτιλίου, διαμέτρου 3,25 mm, για τη συγκόλληση ελασμάτων πάχους 0,6 έως 2,5 mm.

III. Συγκόλληση στην ατμόσφαιρα CO₂, με περιοδικά διακοπτόμενο τόξο

Η συγκόλληση με τόξο περιοδικά διακοπτόμενο, είναι μία από τις παραλλαγές συγκόλλησης με παλμικό τόξο. Σ' αυτήν εμφανίζονται κανονικοί παλμοί ρεύματος εναλλάξ με τις διακοπές ανάμματος του τόξου, προξενούμενοι από τις διακοπές πρόωθησης του σύρματος ηλεκτροδίου. Το διάκενο μεταξύ των συγκολλούμενων ελασμάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 50% του πάχους του ελάσματος, ιδιαίτερα κατά τη συγκόλληση σε δύσκολες θέσεις. Η συγκόλληση με τόξο περιοδικά διακοπτόμενο απαιτεί τη χρήση συσκευών ειδικά προσαρμοσμένων γι' αυτήν τη μέθοδο. Μία από αυτές τις συσκευές είναι το ημιαυτόματο MIGOMAT 160 της φίρμας Kemppi OY.

β) Χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο ανθρακοχαλύβων

Η χειρωνακτική συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση τόσο λεπτών όσο και χοντρών ελασμάτων. Για τη σωστή εκτέλεση των κολλήσεων ασκούν επιρροή τα ακόλουθα μεγέθη:

- η διάμετρος του ηλεκτροδίου
- η τάση του τόξου
- η ένταση του ρεύματος
- ο αριθμός των κορδονιών (στρώσεων)
- η ταχύτητα συγκόλλησης
- η κατηγορία επενδεδυμένων ηλεκτροδίων.

Κατά την επιλογή των ηλεκτροδίων σύνδεσης για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων χαμηλού άνθρακα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

1) Οι μηχανικές ιδιότητες του συγκολλούμενου υλικού · το εναποτιθέμενο υλικό του ηλεκτροδίου, που καταναλώνεται για τη συγκόλληση δεδομένου χάλυβα, πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες απ' ό,τι το συγκολλούμενο υλικό. Αυτό αφορά, εξίσου, στο όριο πλαστικότητας της αντοχής, της επιμήκυνσης και της δυσθραυστότητας.

2) Η θέση εναπόθεσης των κολλήσεων · για τη συγκόλληση σε θέση κατακόρυφη και ουρανού, καλύτερη είναι η χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων μέσης επένδυσης.

3) Οι συνθήκες εργασίας των συγκολλούμενων συνδέσεων · οι συνδέσεις που εργάζονται σε συνθήκες στατικής φόρτισης μπορούν να εκτελούνται με οξειδωτική ή όξινη επένδυση ηλεκτροδίων, οι συνδέσεις που καταπονούνται με ισχυρές δυναμικές φορτίσεις, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες, απαιτούν τη χρήση ηλεκτροδίων βασικής επένδυσης.

4) Η μάζα της κόλλησης · οι κολλήσεις με μεγάλες διατομές, εναποτιθέμενες σε θέση επίπεδη ή πλευρική, πρέπει να εκτελούνται με ηλεκτρόδια παχιάς επένδυσης και με υψηλό όφελος εναποτιθέμενου υλικού.

γ) Συγκόλληση στην ατμόσφαιρα CO₂ εξαρτημάτων μέσου πάχους

Η συγκόλληση σύνδεσης ανθρακοχαλύβων χαμηλού άνθρακα απαιτεί τη χρήση συρμάτων ηλεκτροδίου με διαμέτρους 0,6 έως 2 mm. Συνήθως όμως χρησιμοποιούνται σύρματα ηλεκτροδίου με διαμέτρους 1,2 mm και 1,6 mm. Η προστατευτική ατμόσφαιρα αποτελείται από διοξείδιο του άνθρακα, το ελάχιστο 98% CO₂ και H₂O max 2g/100 cm³. Οι κατά προσέγγιση παράμετροι συγκόλλησης στην

ατμόσφαιρα CO₂ , για την επίπεδη και την πλευρική θέση συγκόλλησης με τη χρήση των συνηθέστερων διαμέτρων ηλεκτροδίων, μπορούν να υπολογιστούν με βάση τα αρχικά δεδομένα τα οποία είναι: η διατομή της κόλλησης, η διάμετρος του σύρματος ηλεκτροδίου και ο τύπος της κόλλησης. Οι τιμές που γενικά επιβεβαιώνονται από τα πειραματικά δεδομένα, προκύπτουν με υπολογιστική μέθοδο, που προτάσσεται από τους Nauman και Schilling. Πρέπει λοιπόν να υπολογιστεί:

1) ο αριθμός των κορδονιών του εναποτιθέμενου υλικού και η διατομή των διαφόρων κορδονιών

2) για δεδομένο κορδόνι, η απαραίτητη ποσότητα του εναποτιθέμενου υλικού ηλεκτροδίου, σύμφωνα με τους ακόλουθους τύπους:

- για ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,2 mm

$$G_{(1,2)} = 0,64 + 0,11 M + 0,14 M^2$$

- για ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,6 mm

$$G_{(1,6)} = 0,64 + 0,55 M - 0,055 M^2$$

όπου : **G**: απαραίτητη μάζα εναποτιθέμενου υλικού σε g, που καταναλώνεται στη διάρκεια 1s

M: μάζα της κόλλησης σε g, που αντιστοιχεί σε 1 cm κορδονιού ή κόλλησης.

3) η ταχύτητα συγκόλλησης, για δεδομένο κορδόνι σύμφωνα με τον τύπο:

$$V_{\sigma} = G * 6000 / F_{\sigma} * \gamma \text{ (cm/min)}$$

όπου: **F_σ**: διατομή κορδονιού, mm²

γ: ειδικό βάρος του εναποτιθέμενου υλικού, g/ cm³.

Για τις μετωπικές κολλήσεις, η ταχύτητα συγκόλλησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα **40 cm/min**.

4) η ταχύτητα τροφοδοσίας του σύρματος ηλεκτροδίου, σύμφωνα με τον τύπο:

$$V_e = 0,012732 * F_{\sigma} * V_{\sigma} / d^2, \text{ (m/min)}$$

όπου: **d**: διάμετρος ηλεκτροδίου (mm).

5) η ένταση του ρεύματος σύμφωνα με τον τύπο:

$$I_{(1,2)} = 308 * I_g * V_e - 17A, \text{ για ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,2 mm}$$

$$\text{ή } I_{(1,6)} = 378 * I_g * V_e + 26 A, \text{ για ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,6 mm.}$$

6) η τάση του τόξου, σύμφωνα με τον τύπο:

$$U = 14 + 0,05I, \text{ (V).}$$

B. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

1. Γενικά

Οι κραματωμένοι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και με ελάχιστες ποσότητες θείου και φωσφόρου (κάτω από 0,025% για κάθε στοιχείο) συγκολλούνται μάλλον εύκολα και για τη συγκόλληση τους εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και για τη συγκόλληση των ανθρακοχαλύβων, μόνο που για μερικές κατηγορίες απαιτούνται πρόσθετες διαδικασίες, όπως, για παράδειγμα, η προθέρμανση προ και κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Αυτό αφορά ιδιαίτερα στους χάλυβες που έχουν τάση για υποβαφή. Για τη συγκόλληση των μέτρια και ισχυρά κραματωμένων χαλύβων, εφαρμόζεται χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, συγκόλληση **TIG** και **MIG**. Η συγκολλητικότητα των διαφόρων κατηγοριών των κραματωμένων χαλύβων εξαρτάται κυρίως από την τάση που έχουν για ρηγματώσεις στην κόλληση και στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά.

Για την επίτευξη καλής ποιότητας κόλλησης, με τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο των κραματωμένων χαλύβων, πρέπει: να διενεργείται θέρμανση προ και κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης σε χάλυβες που έχουν τάση για ρηγματώσεις και, στη συνέχεια, η συγκόλληση να εκτελείται με αργό ρυθμό,

— να χρησιμοποιείται ένταση ρεύματος χαμηλότερη κατά 15 - 20% απ' αυτήν που χρησιμοποιείται κατά τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων,

— να χρησιμοποιούνται διάμετροι ηλεκτροδίων όχι μεγαλύτερες από 4-5 mm.

Επιπλέον, κατά τη συγκόλληση οξύμαχων και πυρίμαχων χαλύβων, απαραίτητο είναι:

— να μην επιτρέπεται η υπερθέρμανση του υλικού (πρέπει η συγκόλληση να γίνεται με διακοπές),

— να χρησιμοποιούνται πρόσθετες συσκευές, που να εξασφαλίζουν την ταχεία επαγωγή της θερμότητας.

2. Συγκόλληση χαλύβων C-Μη με αυξημένη αντοχή.

Κατά τη συγκόλληση χαλύβων με αυξημένη αντοχή εμφανίζονται ρηγματώσεις και εύθραυτες δομές. Αυτό συνδέεται με την ταχεία στερεοποίηση της κόλλησης στην περιοχή της θερμοκρασίας του ωστενιτικού μετασχηματισμού. Για την αποφυγή αυτών των επιβλαβών φαινομένων απαιτείται μείωση της ταχύτητας στερεοποίησης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί:

— με την προθέρμανση ολόκληρου του συγκολλούμενου αντικειμένου σε κατάλληλη

υψηλή θερμοκρασία, κατά τη διαδικασία συγκόλλησης,
— με τη χρησιμοποίηση τέτοιων παραμέτρων συγκόλλησης, οι οποίες να εξασφαλίζουν την επαρκή ποσότητα θερμότητας, όχι μόνο για την τήξη του εναποτιθέμενου υλικού και των άκρων του συγκολλούμενου αντικειμένου αλλά και για τη θέρμανση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης περιοχής του συγκολλούμενου υλικού, κοντά στα σύνορα της κόλλησης.

Εάν παρουσιασθεί ανάγκη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο τρόποι μείωσης της ταχύτητας στερεοποίησης.

Ο καθορισμός της θερμοκρασίας προθέρμανσης του συγκολλούμενου χάλυβα, μπορεί να γίνει με βάση τη χαρακτηριστική των μετασχηματισμών του ωστενίτη ή με βάση τη χημική σύνθεση του. Για το σκοπό αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τα διαγράμματα μετασχηματισμών του ωστενίτη, κατασκευασμένα σε συνθήκες ωστενιτοποίησης και στερεοποίησης (μετά την ωστενιτοποίηση), οι οποίες εμφανίζονται, κατά τη διαδικασία συγκόλλησης, στις ζώνες του μετάλλου και είναι άμεσα προσκολλημένες στην κόλληση. Οι συνθήκες αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμοκρασία ωστενιτοποίησης, ταχεία θέρμανση σ' αυτή τη θερμοκρασία, μικρό χρονικό διάστημα παραμονής του μετάλλου σ' αυτήν τη θερμοκρασία και σχετικά ταχεία στερεοποίηση, εξαιτίας της επαγωγής της θερμότητας από το θερμαινόμενο μέταλλο.

Παράδειγμα διαγράμματος που επιτεύχθηκε με τέτοιες συνθήκες έχουμε στο σχήμα 2.

Στο διάγραμμα μεταφέρθηκαν οι καμπύλες στερεοποίησης, με σήμανση της σκληρότητας, την οποία θα αποκτήσει το μέταλλο, σύμφωνα με αυτήν την καμπύλη. Για τη δομή του χάλυβα, αποφασιστική επίδραση ασκεί η ταχύτητα στερεοποίησης στην περιοχή των θερμοκρασιών 800 - 500°C.

Την ταχύτητα αυτή την εκπροσωπεί ο χρόνος παραμονής του μετάλλου σ' αυτήν την περιοχή της θερμοκρασίας στερεοποίησης, σύμφωνα με καθορισμένη καμπύλη. Παραδείγματα καθορισμού αυτού του χρόνου δίνονται στο σχήμα 1.

Μπορεί επίσης να γίνει η χρήση του διαγράμματος στο σχήμα 2, με το οποίο είναι δυνατόν να διαβαστεί άμεσα ο χρόνος στερεοποίησης στην περιοχή των θερμοκρασιών 800 - 500 °C. Αντί των διαφόρων καμπυλών στερεοποίησης, στο διάγραμμα αυτό έχουμε τη συνεχή καμπύλη σκληρότητας που επιτεύχθηκε αναλόγως του χρόνου στερεοποίησης του μετάλλου στην περιοχή των θερμοκρασιών 800 - 500 °C. Εάν σε τέτοιο διάγραμμα μεταφερθεί ακόμη και η καμπύλη που αντιπροσωπεύει τη σχέση της δυσθραυστότητας του μετάλλου απ' αυτόν τον χρόνο, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του επιπέδου σκληρότητας, η οποία θάπρεπε να έχει η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά, μαζί με αυτό και τον χρόνο, με τον οποίο το μέταλλο θα στερεοποιηθεί στην περιοχή μετά τη συγκόλληση στην περιοχή των 800 - 500 °C.

Για τον καθορισμό της θερμοκρασίας προθέρμανσης, με το συσχετισμό της χημικής σύστασης και του πάχους του συγκολλούμενου αντικειμένου, προτάθηκαν πολλές υπολογιστικές μέθοδοι. Ως νεότερη μπορεί να θεωρηθεί η μέθοδος Ito-Bessyo. Σ' αυτήν τη μέθοδο, η βάση για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας προθέρμανσης είναι η λεγόμενη παράμετρος ρηγματώσεως P, που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = C + Si/30 + Mn+Cr+Cu/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B + H/60 + t/600$$

Η παράμετρος P είναι ένα είδος ισοδύναμου σε περιεκτικότητα άνθρακα, που συσχετίζει, εκτός από τις προσθήκες κραμάτωσεως του συγκολλούμενου χάλυβα, και:

- την περιεκτικότητα του υδρογόνου (H) (σε cm³/100g) του εναποτιθέμενου υλικού, για τη συγκόλληση,
- το πάχος (t) του συγκολλούμενου χάλυβα, mm.

Η θερμοκρασία προθέρμανσης, που εξαλείφει τον κίνδυνο ρηγματώσεων, καθορίζεται, σύμφωνα με τον τύπο:

T = 1440 P - 392, °C.

Η αποφυγή των ρηγματώσεων επιτυγχάνεται και με την αύξηση της γραμμικής ενέργειας του τόξου.

A=Ωστενική ζώνη

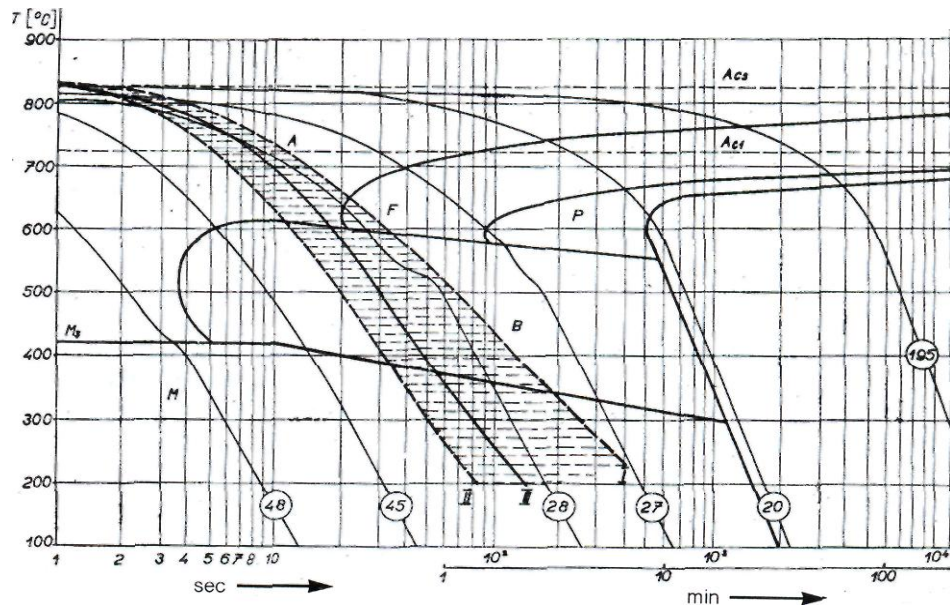
B=Μπαινιτική ζώνη

F=Φερριτική ζώνη

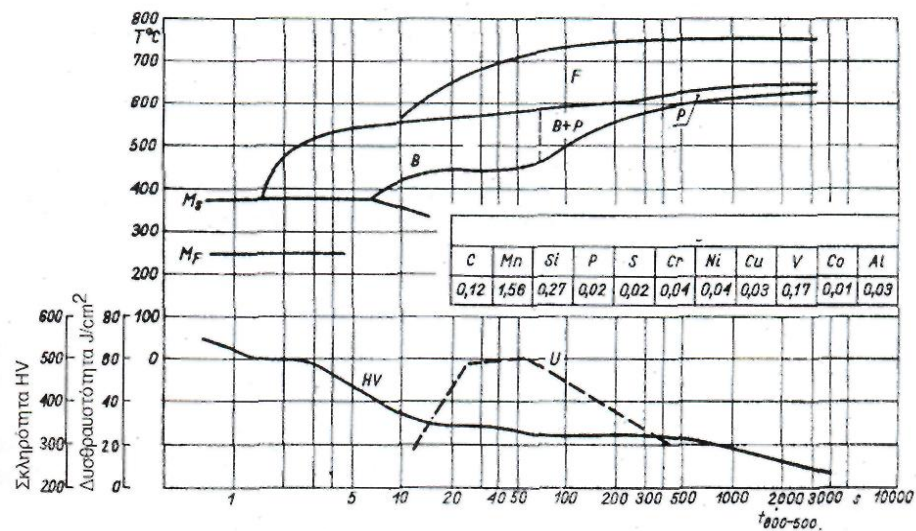
M=Μαρτενσιτική ζώνη

P=Περλιτική ζώνη

O=Σκληρότητα HPO



Σχήμα 1. Διάγραμμα ΟΟΓ, στο οποίο μεταφέρθηκαν οι ταχύτητες ψύξης του μητρικού υλικού κατά τη συγκόλληση.



Σχήμα 2. Διάγραμμα μετασχηματισμών ωστενίτη προσαρμοσμένο για τον καθορισμό της βέλτιστης ταχύτητας στερεοποίησης.

3. Συγκόλληση ανοξειδωτων, οξύμαχων και πυρίμαχων χαλύβων.

α) Χρωμιούχοι ανοξειδωτοι χάλυβες

Οι χρωμιούχοι χάλυβες, με περιεκτικότητα περ. 13% Cr, ανήκουν στους χάλυβες φερριτικούς - μαρτενσιτικούς και σκληραίνουν με την επίδραση της συγκόλλησης. Για τη σύνδεση αυτών των χαλύβων, επιβάλλεται η χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων που να δίνουν τήγμα με δομή ωστενιτικού χάλυβα. Προτείνεται η διενέργεια ανόπτησης σε θερμοκρασία από 740 – 780 °C, για την εξάλειψη του μαρτενσίτη στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά (ΖΕΘ).

Οι μονοφασικοί φερριτικοί και ωστενιτικοί χάλυβες δεν παρουσιάζουν δομικές μεταβολές με την επίδραση της θερμότητας συγκόλλησης και στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά δε δημιουργούνται σκληρές δομές.

Στην περίπτωση ανοξειδωτων φερριτικών χαλύβων, που περιέχουν 17% Cr και χαμηλό άνθρακα, στα όρια της κόλλησης εμφανίζονται σκληρές ζώνες, όμως δεν παρουσιάζεται αύξηση της σκληρότητας.

Για τη συγκόλληση των ανοξειδωτων φερριτικών χαλύβων υποδεικνύεται:

- η συγκόλληση με τις μεθόδους TIG, MIG, όπως και με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια,
- η χρησιμοποίηση ωστενιτικού εναποτιθέμενου υλικού χρωμιονικελιούχου,
- η προθέρμανση των συγκολλούμενων χαλύβων πάχους άνω των 10 mm περίπου στη θερμοκρασία των 120°C, για τη διευκόλυνση της κατακρήμνισης των καρβιδίων και των αζιδίων από τον υπερκορεσμένο φερρίτη,

β) Οξύμαχοι ωστενιτικοί χρωμιονικελιούχοι χάλυβες

Αυτοί οι χάλυβες περιέχουν 16 - 25% Cr και 8 - 29% Ni χαρακτηρίζονται από καλή συγκολλητότητα και δε δημιουργούν εύθραυστες ζώνες με την επίδραση της θερμότητας συγκόλλησης.

Ορισμένα προβλήματα που συναντώνται κατά τη συγκόλληση τους είναι:

- η τάση των συγκολλητών συνδέσεων για σημαντική παραμόρφωση, εξαιτίας του μεγάλου συντελεστή θερμικής διαστολής (1,5 φορά μεγαλύτερος απ' ότι Οίους ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα), και μικρή θερμική αγωγιμότητα (2 φορές μικρότερη απ' ότι στους ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα),
- η κατακρήμνιση καρβιδίων χρωμίου στα σύνορα των κόκκων του μετάλλου, με την επίδραση της θερμότητας συγκόλλησης (περίπου στη θερμοκρασία των 600 - 800°C), που με τη φτώχευση των ζωνών παρά των συνόρων του κόκκου, σε χρώμιο, μειώνεται η ανθεκτικότητα των χαλύβων στην επίδραση της περικρυσταλλικής διάβρωσης,
- η τάση των κολλήσεων για τη δημιουργία θερμών ρηγματώσεων.

Η περισσότερο προσφερόμενη μέθοδος συγκόλλησης των οστενιτικών χαλύβων είναι με πλάσμα, ιδιαίτερα η μικροπλάσμα, που εφαρμόζεται για τη συγκόλληση υλικών μικρού πάχους, από 0,1 – 1,5 mm.

Οι προτεινόμενες διαδικασίες σύνδεσης των οξύμαχων χαλύβων είναι οι μέθοδοι συγκόλλησης TIG και MIG. Επιτρέπεται, επίσης, η συγκόλληση τους με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια.

Δεν επιτρέπεται η οξυγονοκόλληση. Εξαιρετική μέθοδος σύνδεσης αυτών των χαλύβων είναι η συγκόλληση με εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων και ακτινών λείζερ.

Από την άποψη των ιδιοτήτων τους, η συγκόλληση των οξύμαχων οστενιτικών χαλύβων απαιτεί:

— την προσθήκη εναποτιθέμενου υλικού με περιεκτικότητα ίδια με αυτήν των βασικών προσθηκών κραμάτωσης, που έχει το συγκολλούμενο υλικό, αλλά με όσο το δυνατόν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα, που να δίνει τήγμα με οστενιτική βάση, περιεκτικότητας 5-10% φερρίτη,

— τη χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν μικρότερης γραμμικής ενέργειας τόξου, με ελάχιστη θέρμανση υλικού εκτός κόλλησης,

— τη χρήση συνεχούς ρεύματος για τις μεθόδους συγκόλλησης TIG και MIG, με αρνητική πολικότητα για την TIG και θετική για την MIG.

— τη χρησιμοποίηση επενδεδυμένων ηλεκτροδίων, με διαμέτρους όχι μεγαλύτερες από 5 mm, με τη διατήρηση της έντασης ρεύματος που προβλέπουν οι κατάλογοι των παραγωγών ηλεκτροδίων.

γ) Πυρίμαχοι χρωμιονικελιούχοι χάλυβες

Οι πυρίμαχοι χάλυβες εμφανίζονται με φερριτική ή φερριτική - περλιτική δομή, με κύρια συστατικά του Cr και του Ni.

Οι φερριτικοί - περλιτικοί (με Cr = 4,5-6,0%) απαιτούν μεγαλύτερη επιμέλεια συγκόλλησης, επειδή δημιουργείται σκληρή δομή με την επίδραση της θερμότητας συγκόλλησης. Εξαιτίας αυτού απαιτείται προθέρμανση των συγκολλούμενων εξαρτημάτων με αυτούς τους χάλυβες ως τη θερμοκρασία των 200 -300°C. Επίσης, επιβάλλεται η διενέργεια ανόπτησης στη θερμοκρασία των 730 – 750 °C, με αργή ψύξη, σε ήρεμο αέρα.

Οι πυρίμαχοι οστενιτικοί χάλυβες, κατά κανόνα, δεν απαιτούν προθέρμανση ούτε ανόπτηση μετά τη συγκόλληση. Οι υποδείξεις συγκόλλησης είναι ίδιες μ' αυτές που αναφέρονται στους οξύμαχους οστενιτικούς χάλυβες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ

Α. ΓΕΝΙΚΑ

Μέχρι πρότινος, που τα χυτοσιδηρά εξαρτήματα των μηχανών και των τεχνικών συσκευών κατασκευάζονταν αποκλειστικά με φαιό χυτοσίδηρο, η συγκόλληση αυτών των χυτών είχε ως σκοπό την επισκευή τους. Τώρα, που όλο και περισσότερο βρίσκεται εφαρμογή ο σφαιροειδής χυτοσίδηρος, με ασυγκρίτως καλύτερη συγκολλητότητα σε σχέση με το φαιό χυτοσίδηρο, όλο και πιο συχνά στην κατασκευή μηχανών, τα εξαρτήματα από σφαιροειδή χυτοσίδηρο συνδέονται, με τη βοήθεια της συγκόλλησης, με χαλύβδινα εξαρτήματα.

Επειδή όμως, υπερτερεί η συμμετοχή του φαιού χυτοσιδήρου στα χυτοσιδηρά εξαρτήματα των μηχανών και των τεχνικών συσκευών και, ως εκ τούτου, τα μηχανουργεία επισκευών, ακόμη, για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα αναλαμβάνουν τη συγκόλληση εξαρτημάτων με φαιό χυτοσίδηρο.

Η τεχνολογία συγκόλλησης χυτοσιδηρών πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ακόλουθες καταστάσεις:

- ως μη όλκιμο υλικό ο χυτοσίδηρος εύκολα θραύεται τόσο σε συνθήκες συστολής της κόλλησης, όσο και ανομοιόμορφης διαστολής με την επίδραση της τοπικής θέρμανσης, σε υψηλές θερμοκρασίες
- σε ρευστή κατάσταση ο χυτοσίδηρος είναι υλικό με σημαντική ρευστότητα, που δυσκολεύει την εναπόθεση χυτοσιδηρών κολλήσεων σε δύσκολες θέσεις (π.χ. σε κατακόρυφη και τοίχου), χωρίς ειδικό φορμάρισμα
- η υπερβολική ελάττωση του πυριτίου, εξαιτίας του καψίματος του στο λουτρό συγκόλλησης της χυτοσιδηράς κόλλησης, προξενεί τη στερεοποίηση του μετάλλου, με τη μορφή λευκού χυτοσιδήρου, συνήθως ως ξεχωριστές σκληρές θέσεις, οι οποίες δυσχεραίνουν τη μετέπειτα μηχανική κατεργασία των κολλήσεων
- η θερμοκρασία τήξης του χυτοσιδήρου είναι χαμηλότερη απ' αυτήν των οξειδίων σιδήρου, προξενώντας δυσκολίες στη σύνδεση της χυτοσιδηράς κόλλησης με το συγκολλούμενο χυτό υλικό, εάν η επιφάνεια του είναι οξειδωμένη.

Σύμφωνα με την κλασική διαίρεση των μεθόδων, η συγκόλληση του χυτοσιδήρου επιτυγχάνεται εν ψυχρώ ή εν θερμώ.

Β. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ

Με την ονομασία συγκόλληση εν ψυχρώ εννοούμε τη συγκόλληση τόξου του χυτοσιδήρου μη θερμαινόμενου αρχικά, με τέτοια επιλογή συνθηκών συγκόλλησης, ώστε η θέρμανση του μετάλλου κοντά στην εκτελούμενη κόλληση να είναι όσο το δυνατόν λιγότερη και ομοιόμορφη. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ περιγράφονται στον **πίνακα 1**.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν ψυχρώ.

Όνομασία ηλεκτροδίου	Χαρακτηριστικά του εναποτιθέμενου υλικού	Σκληρότητα εναποτιθέμενου υλικού, HB
EGG Ni	Το εναποτιθέμενο υλικό περιέχει περ. 98% Ni το υπόλοιπο Fe, με μικρή συμμετοχή αποξειδωτικών (Si, Mn)	160 - 200
EGG Fe-Ni	Το εναποτιθέμενο υλικό περιέχει περ. 55% Ni, το υπόλοιπο Fe, με μικρή συμμετοχή αποξειδωτικών	περ. 200
EGG M	Το εναποτιθέμενο υλικό περιέχει περ. 65% Ni, και 30% Cu (κράμα Monel)	160 - 200
EGG Cu	Το εναποτιθέμενο υλικό αποτελείται από χαλκό, με προσθήκη περ. 2% Fe, περ. 1% Cr, περ. 0,3% Si και περ. 0,2% P	110- 140
EB 1,46	Το εναποτιθέμενο υλικό είναι χάλυβας με περιεκτικότητα περ. 0,80% C, 0,7% Mn, 0,5% Si, 0,03% P, καθώς και 0,03% S	135 - 150
EB 1.50	Η σύσταση του εναποτιθέμενου υλικού, όπως και για το EB 1.46, αλλά η περιεκτικότητα του Mn 1,1%.	145 - 160

Όπως φαίνεται, κανένα απ' αυτά δε δίνει τήγμα με χημική σύσταση και δομή χυτοσιδήρου.

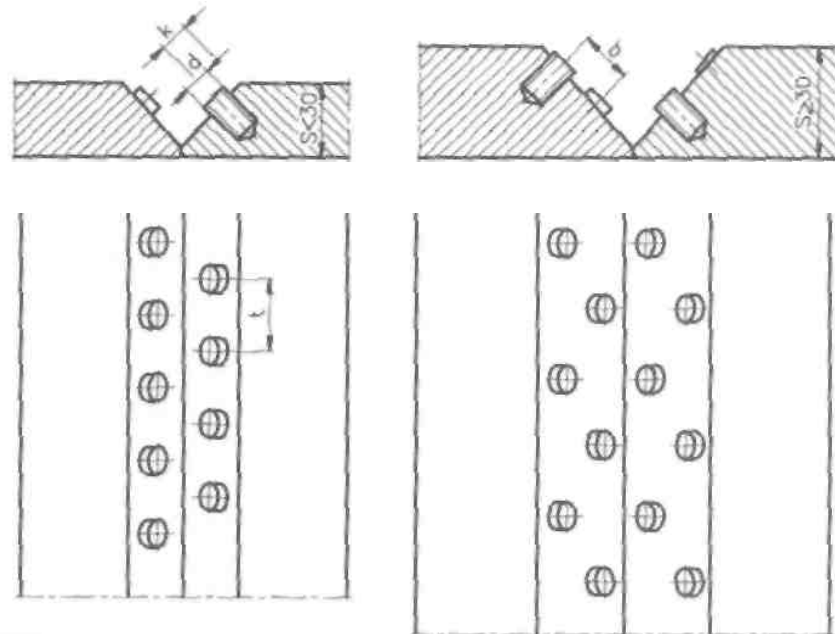
Γι' αυτό η εκτελούμενη σύνδεση με αυτή τη μέθοδο είναι περιορισμένης εμπιστοσύνης, τόσο από την άποψη της μηχανικής αντοχής όσο κι από την άποψη της στεγανότητας.

Άρα η συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ εφαρμόζεται όταν:

- η επισκευή αφορά στα χυτοσίδηρο εξαρτήματα με μεγάλες διαστάσεις, η θέρμανση των οποίων, στην ολότητα, δεν είναι δυνατή
- η επισκευή αφορά σε μεγάλα και βαριά χυτά, τα οποία δεν αποσυναρμολογούνται εύκολα λόγω έλλειψης μηχανουργικού εξοπλισμού ή υψηλού κόστους
- η κατασκευή του χυτού χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαφοροποίηση των παχών των τοιχωμάτων, που, σε συνθήκες θέρμανσης όλου του χυτού, θα οδηγούσε στη δημιουργία μεγάλων εσωτερικών τάσεων, οι οποίες θα προξενούσαν ρηγματώσεις
- επιτρέπεται η αύξηση της σκληρότητας στην κόλληση και στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά, σε σχέση με τη σκληρότητα του συγκολλούμενου μετάλλου του χυτού
- από τη συγκολλούμενη σύνδεση δεν απαιτείται στεγανότητα, σε συνθήκες επίδρασης ανυψωμένης πίεσης.

Το φθηνότερο αναποτιθέμενο υλικό για τη συγκόλληση εν ψυχρώ είναι τα χαλύβδινα ηλεκτρόδια σύνδεσης τύπου EB 1.46 και EB 1.50. Εξαιτίας του κορεσμού σε άνθρακα, από τα τηκόμενα άκρα της συγκολλούμενης σύνδεσης και την ταχεία επαγωγή της θερμότητας, το μέταλλο της κόλλησης, μετά τη στερεοποίηση του, διακρίνεται από υψηλή σκληρότητα, που υπερβαίνει τους 400 HB. Λόγω του ότι

συστέλλεται η σημαντική για το χυτοσίδηρο χαλύβδινη κόλληση, που συνδέεται σχετικά αδύνατα με το χυτοσίδηρο, μπορεί να προκληθεί η αποκοπή της από το συγκολλούμενο χυτοσίδηρο. Γι' αυτό η σύνδεση ενισχύεται με το βίδωμα στη λοξοτομημένη επιφάνεια πείρους από μαλακό χάλυβα. Οι συνθήκες εξοπλισμού με χαλύβδινους πείρους τα λοξοτομημένων άκρων της απαιτούμενης κόλλησης δίνονται στο **σχήμα 1** και **πίνακα 2**.



Σχήμα 1. Προετοιμασία των άκρων για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν ψυχρώ με χαλύβδινα ηλεκτρόδια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Προετοιμασία των άκρων για τη συγκόλληση εν ψυχρώ, σύμφωνα με το σχήμα 1.

Πάχος s του υλικού.	Διάμετρος του Πείρουd,	Βήμα t μεταξύ των πείρων,	Απόσταση b ανάμε- σα στους άξονες των σειρών των πείρων,	Απόσταση K του άξονα του πείρου από τα άκρα της λοξοτόμησης.
mm	mm	mm	mm	mm
15	8	16	5	6
20	12	24	5	8
25	14	28	5	9
30	16	32	5	10
>30	20	40	5	12

Η προετοιμασία ραγισμένου χυτοσιδήρου αντικειμένου για τη συγκόλληση εν ψυχρώ περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

1) τον έλεγχο του μήκους και την πορεία της ρωγμής καθώς και την ενδεχόμενη ασφάλιση προ της παραπέρα ανάπτυξης της στο βάθος του χυτού, κατά τη διάρκεια προετοιμασίας των άκρων και της συγκόλλησης (τέτοια ασφάλιση επιτυγχάνεται με

τη διάτρηση στα άκρα της ρωγμής και το σχηματισμό οπών με διάμετρο ίση με τα $\frac{2}{3}$ του πάχους του ραγισμένου τοιχώματος).

2) το σκάψιμο της ρωγμής για τη δημιουργία σε όλο το μήκος της λοξοτόμησης σε σχήμα V ή X, με γωνία 70 - 80°

3) το σημάδεμα στη λοξοτομημένη επιφάνεια των θέσεων, στις οποίες πρέπει να ανοιχθούν οπές για τους πείρους

4) η διάτρηση και η σπειρωτόμηση των οπών για τους πείρους

5) το βίδωμα των πείρων (το ύψος τους πάνω από την επιφάνεια δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 mm).

Κατά τη διαδικασία εναπόθεσης της κόλλησης, βασική αρχή είναι η αποφυγή υπερβολικής συγκέντρωσης θερμότητας και τάσεων, που συνδέονται με τη συστολή της κόλλησης, κατά τη διάρκεια στερεοποίησης.

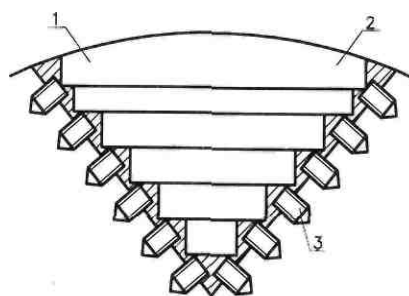
Αυτό επιβάλλει την τήρηση των ακόλουθων συνθηκών:

1) τη χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων με διάμετρο όχι μεγαλύτερη από 4 mm και όσο το δυνατόν χαμηλή ένταση

2) την εναπόθεση κολλήσεων με μικρό μήκος κορδονίου (20 -50 mm). Η εναπόθεση του επόμενου τμήματος κορδονίου στην ίδια κόλληση μπορεί να αρχίσει μόνο τότε, όταν η θερμοκρασία του προηγούμενου τμήματος δεν υπερβαίνει τους 60°C

3) η σφυρηλάτηση κάθε εναποτιθέμενου τμήματος κορδονίου αμέσως μετά το σβήσιμο του τόξου, όταν το εναποτιθέμενο υλικό βρίσκεται σε εύπλαστη κατάσταση. Την ενέργεια αυτή πρέπει να την κάνει ο βοηθός του συγκολλητή. Η σφυρηλάτηση της κόλλησης από τον ίδιο το συγκολλητή προξενεί την καθυστέρηση της έναρξης αυτής της ενέργειας και, επιπλέον, την κούραση του χεριού του, πράγμα επιζήμιο για τη συνέχεια της συγκόλλησης.

Τα συνήθη πάχη των φθαρμένων τοιχωμάτων χυτών, τα οποία επισκευάζονται με συγκόλληση εν ψυχρώ, είναι 15-50 mm. Συμβαίνει, όμως, με τη συγκόλληση εν ψυχρώ να επισκευασθούν και βαριά χυτά με πάχος τοιχώματος που υπερβαίνει τα 100 mm. Η ανάγκη χρησιμοποίησης μεγάλων γωνιών λοξοτόμησης για τη διευκόλυνση της διαδικασίας εξοπλισμού με πείρους στη λοξοτομημένη επιφάνεια, τότε προξενεί υπερβολική αύξηση της διατομής της κόλλησης. Για την αποφυγή της αρκετά μεγάλης συστολής της κόλλησης και τη μείωση του χρόνου εκτέλεσης, αναπληρώνεται μερικώς η κόλληση με παρεμβατικά χαλύβδινα ελάσματα, συγκολλημένα στα εξοπλισμένα άκρα με πείρους βιδωτούς (**σχήμα 3**).



Σχήμα . 3.

Χρησιμοποίηση χαλύβδινων ελασμάτων κατά τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν ψυχρώ: 1 - χαλύβδινο έλασμα, 2 - κόλληση, 3 - πείροι.

Η χρησιμοποίηση τέτοιας λύσης είναι δυνατή τότε μόνο, όταν, κατά την εκμετάλλευση του συγκολλητού χυτού, οι τάσεις εργασίας έχουν παράλληλη πορεία προς τα παρεμβατικά ελάσματα.

Πολύ σοβαρό ελάττωμα της συγκόλλησης τόξου των χυτοσιδήρων εν ψυχρώ με χαλύβδινα ηλεκτρόδια είναι η υψηλή σκληρότητα που αποκτά η κόλληση και η ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά.

Γ. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ ΕΝ ΘΕΡΜΩ

Η συγκόλληση χυτοσιδήρου εν θερμώ αποφέρει ομοιογενή και στεγανή σύνδεση με δομή φαιού χυτοσιδήρου. Τέτοια συγκόλληση, εκτελείται μετά τη θέρμανση σε κατάλληλη υψηλή θερμοκρασία του συγκολλούμενου χυτοσιδήρου. Το βασικό χρησιμοποιούμενο εναποτιθέμενο υλικό για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν θερμώ είναι ο χυτοσιδηρές ράβδοι.

Για τη συγκόλληση με τη χρήση ράβδων ή χυτοσιδήρων ηλεκτροδίων, απαραίτητη είναι η θέρμανση του συγκολλούμενου χυτοσιδήρου μέχρι τη θερμοκρασία περ. των 700°C και η διατήρηση αυτής της θερμοκρασίας σε όλο το χρονικό διάστημα συγκόλλησης, όπως επίσης και η εξασφάλιση της ομοιόμορφης στερεοποίησης με μέγιστη ταχύτητα ψύξης 50°C/h. Η θέρμανση πρέπει να γίνεται αργά, με ταχύτητα κάτω από 100 °C/h.

Αυτή η ταχύτητα επιτυγχάνεται με τη θέρμανση των συγκολλούμενων χυτοσιδήρων εξαρτημάτων σε ειδικούς κλιβάνους ηλεκτρικούς ή αερίων.

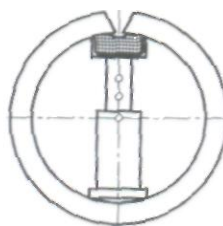
Τα χυτοσίδηρο εξαρτήματα λεπτού πάχους επισκευάζονται με οξυγονοκόλληση ή με τη μέθοδο TIG. Για μεγαλύτερα πάχη τοιχωμάτων, χρησιμοποιείται απαραίτητα η συγκόλληση τόξου με χυτοσίδηρο ηλεκτρόδια.

Τα τοιχώματα με πάχος μέχρι 6 mm συγκολλούνται χωρίς λοξοτόμηση των άκρων. Τα άκρα των χοντρών τοιχωμάτων λοξοτομούνται σε σχήμα V με γωνία 70 - 80° και άνοιγμα του αυχένα 5 mm. Για τη διευκόλυνση της διείσδυσης σε μικρά διαστήματα γίνεται διάτρηση οπών με διάμετρο 5-6 mm (**σχήμα 4**).

Σε περίπτωση υπερβολικού ανοίγματος των άκρων για συγκόλληση επιβάλλεται η χρησιμοποίηση υποστηρίγματος από γραφίτη (**σχήμα 5**), σκοπός του οποίου είναι η συγκράτηση του ρευστοποιημένου τήγματος μέχρι τη στιγμή της στερεοποίησης του.



Σχήμα 4. Προετοιμασία θραυθέντων άκρων χυτοσιδήρου εξαρτήματος για την οξυγονοκόλληση εν θερμώ: 1 - ρωγμή, 2 - λοξοτόμηση.



Σχήμα 5. Φορμάρισμα ρίζας κατά τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν θερμώ.

Η οξυγονοκόλληση του χυτοσιδήρου εν θερμώ επιτυγχάνεται σε επίπεδη θέση λόγω της ρευστότητας του χυτοσιδήρου κατά την τήξη του.

Χαρακτηριστική ιδιότητα της συγκόλλησης εν θερμώ είναι η διατήρηση του λουτρού του μετάλλου σε αρκετά μεγάλες διαστάσεις, που έχει ως σκοπό τη μείωση της ταχύτητας στερεοποίησης.

Για την αποφυγή του καψίματος του άνθρακα και του πυριτίου, όπως και για τον καθαρισμό του μετάλλου της κόλλησης από τα οξείδια του σιδήρου, χρησιμοποιείται συλλίπασμα βόρακα ή μίγματος βόρακα με βορικό οξύ, οξύ σόδας κ.ά. (**πίνακας 3**).

Πίνακας 3. Σύσταση χρησιμοποιούμενων συλλιπασμάτων για την οξυγονοκόλληση χυτοσιδήρου, %.

Βόρακας	Ανθρακικό νάτριο	Ανθρακικό κάλιο	Νιτρικό νάτριο
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Na_2CO_3	K_2CO_3	Na_2NO_3
100	–	–	–
56	22	22	–
23	27	–	50
–	50	–	–

Κατά την οξυγονοκόλληση χρησιμοποιείται καυστήρας με ισχύ 100 l ασετυλίνης ανά ώρα σε 1 mm του πάχους του συγκολλούμενου υλικού. Η οξυγονοκόλληση του χυτοσιδήρου εκτελείται με τη μέθοδο «προς τα αριστερά», με κλίση του καυστήρα και της χυτοσιδηράς ράβδου ως πρόσθετου υλικού με γωνία 45°.

Οι χυτοσιδηρές ράβδοι, για τη συγκόλληση εν θερμώ, έχουν διαμέτρους 4 -12 mm. Κατά τη συγκόλληση χυτοσιδηρών τοιχωμάτων με πάχος μέχρι 10 mm , η χρησιμοποιούμενη χυτοσιδηρά ράβδος πρέπει να έχει διάμετρο ίση με το πάχος του συγκολλούμενου τοιχώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Α. ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Τα μη σιδηρούχα μέταλλα και τα κράματα τους συναντούν ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία. Για παράδειγμα ο χαλκός χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλοδίων, σωλήνων με λεπτά τοιχώματα, ο μπρούντζος, ο ορείχαλκος και το αλουμίνιο για την κατασκευή εξοπλισμού, τα κράματα αλουμινίου - μαγνησίου - για την κατασκευή σωλήνων, π.χ. για ελαφρές κατασκευές, καμπτικά έπιπλα κ.ά..

Με τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια αυτών των μετάλλων, όπως και με όλους τους υπόλοιπους τρόπους συγκόλλησης (φλόγα αερίων, στην ατμόσφαιρα προστατευτικών αερίων), τα μέταλλα αυτά παρουσιάζουν κάποιες ιδιότητες που δυσχεραίνουν τη συγκόλληση.

Αυτές είναι:

- ο μεγάλος δεσμός με το οξυγόνο, που αποτελεί την αιτία της ταχείας οξειδωσης" τα σχηματιζόμενα οξειδία που δύσκολα τήκονται και διεισδύουν στην κόλληση ως εγκλείσματα
- η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και θερμική χωρητικότητα που δυσχεραίνει την τήξη του μετάλλου" καθιστά αναγκαία τη χρησιμοποίηση ισχυρών πηγών θερμότητας και σε πολλές περιπτώσεις - αρχική προθέρμανση
- η χαμηλή θερμοκρασία τήξης και βρασμού διάφορων στοιχείων κραμάτωσης (ψευδάργυρος, μόλυβδος και άλλα), με αποτέλεσμα αυτά τα στοιχεία να οξειδώνονται ευκολότερα
- η βλαπτικότητα των ατμών των διάφορων στοιχείων και των οξειδίων τους για την υγεία των εργαζομένων εξ αυτού προκύπτει η ανάγκη χρησιμοποίησης ειδικών προστατευτικών μέσων και η άμεση προφύλαξη με την τήρηση των μέτρων ασφαλείας των προβλεπόμενων κανονισμών.

Σχεδόν όλα τα μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα (χαλκός, ορείχαλκος, μπρούντζος, αλουμίνιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος) μπορούν να συγκολληθούν με τη φλόγα ασετυλίνης - οξυγόνου, ενώ η συγκόλληση τόξου αποφέρει καλά αποτελέσματα μόνο με τη χρησιμοποίηση ειδικών μεθόδων **TIG** και **MIG**. Με αυτές τις μεθόδους επιτυγχάνεται μεταξύ άλλων, η συγκόλληση ενός από τα σύγχρονα κατασκευαστικά μέταλλα - του τιτανίου - που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των αερωθούμενων κινητήρων. Το νικέλιο και τα κράματα του συγκολλούνται, με καλά αποτελέσματα, με την απλή μέθοδο συγκόλλησης τόξου.

Όλα τα μη σιδηρούχα μέταλλα εξαιτίας της εύκολης οξειδωσης στις υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να συγκολληθούν με τη φλόγα ασετυλίνης - οξυγόνου μόνο με τη χρησιμοποίηση συλλιπάσματος με μορφή σκόνης ή πάστας. Ως εναποτιθέμενο υλικό χρησιμοποιείται μέταλλο ή κράμα με σύσταση παρόμοια με το συγκολλούμενο μέταλλο ή κράμα . Τα χυτά πρέπει, κατά κανόνα, να προθερμαίνονται πριν τη συγκόλληση και με αργή ταχύτητα ψύξης επιβάλλεται, μερικές φορές, ανόπτηση μετά τη συγκόλληση.

B. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥ

1. Συγκόλληση του χαλκού

α) Συγκολλητότητα τον χαλκού

Από την άποψη των φυσικών ιδιοτήτων, ο χαλκός ανήκει στα μέταλλα που δύσκολα συγκολλούνται. Συγκρινόμενος με τον εύκολα συγκολλούμενο ανθρακοχάλυβα, ο χαλκός έχει:

- 7 - 11 φορές υψηλότερη ειδική θερμική αγωγιμότητα, δυσχεραίνοντας σημαντικά την τοπική ρευστοποίηση του μετάλλου,

- 1,4 - 1,7 φορές υψηλότερη θερμική διαστολή και 2,4 φορές μεγαλύτερη συστολή κατ' όγκο, που αποτελεί την κύρια αιτία των μεγάλων εσωτερικών τάσεων, των παραμορφώσεων των συγκολλούμενων εξαρτημάτων καθώς και των ρωγμών στις κολλήσεις.

- 10 - 12,5 φορές υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα, που δεν είναι ωφέλιμη κυρίως στις διαδικασίες συγκόλλησης τόξου

- χαμηλές ιδιότητες αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες και ψαθυρότητα (ευθραυστότητα) σε χυτευτική κατάσταση (η κόλληση), που ευνοεί τη διάδοση της ρηγμάτωσης.

Στη συγκολλητότητα του χαλκού, αρνητική επίδραση έχουν και οι μεταλλουργικές ιδιότητες του. Ο χαλκός, ως ημιευγενής, σε θερμοκρασία δωματίου πολύ αδύνατα αντιδρά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Η αντίδραση αυτή, όμως, εντατικοποιείται με την αύξηση της θερμοκρασίας και πάνω από τους 400°C έχει μεγάλη δραστική πορεία, της οποίας το μέγιστον είναι στη ρευστή κατάσταση του μετάλλου. Ο χαλκός σχηματίζει με το οξυγόνο στερεό οξείδιο του χαλκού

$2 \text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CuO}$, καθώς και πολύ στερεό υποοξείδιο του χαλκού

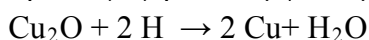
$4 \text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Cu}_2\text{O}$,

με θερμοκρασία τήξης αντίστοιχα 1148°C και 1230°C. Το υποοξείδιο του χαλκού (Cu₂O) σχηματίζει με το χαλκό ευτηκτική Cu - Cu₂O, η οποία σε ρευστή κατάσταση εύκολα διαπερνά τους κόκκους στα σύνορα τους, προξενώντας τη μείωση των ιδιοτήτων αντοχής και πλαστικότητας.

Το οξυγόνο είναι πιο επιβλαβής ανάμιξη του χαλκού η περιεκτικότητα του δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,03%.

Με σκοπό την εξάλειψη της βλαπτικής επίδρασης του οξυγόνου στη διαδικασία συγκόλλησης, επιβάλλεται ο χαλκός να αποοξειδώνεται. Οι προσμεμίξεις στο χαλκό, όπως το βισμούδιο, ο μόλυβδος και το θείο, προξενούν την ευθραυστότητα των κολλήσεων και ευνοούν την ανάπτυξη ρηγμάτων, είναι δηλαδή βλεπτικές προσμεμίξεις.

Ο ρευστός χαλκός έχει μεγάλη ικανότητα διαλυτότητας αερίων, που κατά βάση είναι το αίτιο δημιουργίας του πορώδους των κολλήσεων. Ιδιαίτερα βλαπτικό είναι το υδρογόνο, το οποίο κατά τη θέρμανση του χαλκού με την παρουσία του οξυγόνου, εμφανίζεται με τη μορφή του υποξειδίου Cu₂O. Με την αναγωγή του σύμφωνα με την αντίδραση:



σχηματίζει υδατικό ατμό, που αποτελεί το αίτιο ανάπτυξης των ρηγματώσεων (υδρογονική ασθένεια του χαλκού).

Η μη ωφέλιμη επίδραση του οξυγόνου και του υδρογόνου είναι η σοβαρή δυσκολία συγκόλλησης του χαλκού και, για το λόγο αυτό, οι

χρησιμοποιούμενες κατηγορίες του χαλκού για συγκόλληση πρέπει να είναι με επαρκή χαμηλή περιεκτικότητα αυτών των στοιχείων.

Η συγκολλητικότητα των κραμάτων χαλκού, και ιδιαίτερα των μπρούντζων και του χαλκού - νικελίου, είναι σημαντικά καλύτερη εξαιτίας της μειωμένης θερμικής αγωγιμότητας σε σύγκριση με τον καθαρό χαλκό.

Ο φωσφόρος ως δραστικό αποξειδωτικό στοιχείο, σε μικρές ποσότητες, βελτιώνει τη συγκολλητικότητα, αλλά με περιεκτικότητα άνω του 0,1% προξενεί την ευθραυστότητα των κολλήσεων.

β) Μέθοδοι συγκόλλησης του χαλκού

Καθεμιά από τις οκτώ δυνατές μεθόδους συγκόλλησης του χαλκού παρουσιάζει τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Έτσι η συγκόλληση:

- με **φλόγα αερίων** παλαιότερα θεωρούνταν ως η καλύτερη μέθοδος, ενώ σήμερα πιο λίγο χρησιμοποιείται, εξαιτίας των δύσκολων τεχνολογικών συνθηκών, της χαμηλής απόδοσης και της μεγάλης ανταγωνιστικότητας των σύγχρονων μεθόδων
- με **ανθρακούχο ηλεκτρόδιο** ποτέ δεν ήταν μέθοδος πολύτιμη, εξαιτίας της χαμηλής ποιότητας των συνδέσεων. Σήμερα έχει μόνο ιστορική σημασία.
- με **επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο** έχει τη δική της αναγεννητική τεχνική ιδιότητα.
- στην **ατμόσφαιρα προστατευτικών αερίων** με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο (**TIG**) είναι στις μέρες μας η πιο συνηθισμένη μέθοδος συγκόλλησης.
- στην **ατμόσφαιρα προστατευτικών αερίων** με τηκόμενο ηλεκτρόδιο (**MIG**) δεν έχει μέλλον όσον αφορά τον καθαρό χαλκό, ενώ για τη συγκόλληση των κραμάτων χαλκού έχει αρκετά ευρεία χρησιμοποίηση
- με **πλάσμα**, εκτός από λίγες περιπτώσεις σύνδεσης λεπτών ελασμάτων, δε βρήκε ευρεία εφαρμογή
- με **δέσμη ηλεκτρονίων και laser** μάλλον σχετικά σπάνια χρησιμοποιείται, έχει όμως μεγάλη προοπτική ανάπτυξης σε σύγκριση με άλλες μεθόδους στις τεχνολογικές κατασκευές διάφορων εναλλαγών συνδέσεων.

Όπως προκύπτει από τα ανωτέρω, τη μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν οι μέθοδοι συγκόλλησης με φλόγα αερίων, με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο όπως και οι μέθοδοι TIG και MIG.

γ) Συγκόλληση με φλόγα αερίων (οξυγονοκόλληση)

i) Μεταλλουργικές - τεχνολογικές συνθήκες

Όλες οι δυσκολίες συγκόλλησης που συζητήθηκαν στην ενότητα Α, ιδιαίτερα έντονα εμφανίζονται στην οξυγονοκόλληση και είναι παράγωγα καταρχήν της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας του χαλκού. Απ' αυτό προκύπτει η αναγκαιότητα της αρχικής ή ενδιάμεσης **προθέρμανσης**. Η διαδικασία αυτή προξενεί τη διατήρηση, για μεγάλο χρονικό διάστημα, του μετάλλου στην περιοχή των επικίνδυνων υψηλών θερμοκρασιών. Ως

αποτέλεσμα έχουμε την εντατικότητα των διαδικασιών απορρόφησης του οξυγόνου και υδρογόνου από την κόλληση, την κατακρήμνιση της ευτηκτικής Cu - Cu₂O στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά, την παραμόρφωση της συγκολλητής κατασκευής όπως και τη ρηγμάτωση των κολλήσεων εν θερμώ. Κατά συνέπεια η νωπή κόλληση είναι οξειδωμένη, με μεγάλο πορώδες και χαμηλή αντοχή ($R_m \sim 150$ MPa).

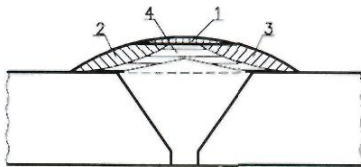
Μόνο η σφυρηλατημένη κόλληση εν θερμώ (σε κατάσταση πύρωσης), δηλαδή η διάσπαση στη διασπορά του υποξειδίου Cu₂O αυξάνει την πυκνότητα της κόλλησης και την αντοχή R_m της σύνδεσης μέχρι και 240 MPa.

Η σφυρηλάτηση της κόλλησης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σημαντικότερη διαδικασία απ' ό,τι η ίδια η συγκόλληση.

Πολύ περισσότερο που, εκτός της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων της σύνδεσης, εξαλείφει και τις τάσεις προξενούμενες από τη μεγάλη θερμική διαστολή καθώς και από τη συστολή σε όγκο του χαλκού. Στην περίπτωση των χαμηλών ιδιοτήτων αντοχής του χαλκού στις υψηλές θερμοκρασίες, οι τάσεις είναι αρκετά υψηλές, ώστε, γενικά, αποκλείεται η δυνατότητα συγκόλλησης του χαλκού με πολλαπλά στρώματα. Κάθε τέτοια απόπειρα δοκιμής τελειώνει με διαμήκης ρηγματώσεις της κόλλησης.

Ωφελιμότερα σ' αυτές τις συνθήκες είναι η τμηματική συγκόλληση και σφυρηλάτηση, που συνίσταται στη διακοπτόμενη διαδικασία συγκόλλησης, μετά την εκτέλεση κάθε 80 – 150 mm τμήματος της ραφής, και η σφυρηλάτηση του σύμφωνα με το **σχήμα 1**.

Κατά την εναπόθεση του επόμενου τμήματος της ραφής, το προηγούμενο (σφυρηλατημένο) έγκειται σε ανόπτηση. Η σφυρηλάτηση αρχίζει πάντα από το τέλος της ραφής με διεύθυνση αντίθετη της διεύθυνσης της συγκόλλησης. Η αντίθετη σειρά σφυρηλάτησης, με χαμηλές ιδιότητες αντοχής του χαλκού σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως και η αποθετική δράση του σφυρηλατημένου μετάλλου, θα προξενούσαν ρηγμάτωση στο άκρο της σφυρηλατημένης κόλλησης.



διαδοχική σειρά σφυρηλάτησης,

Σχήμα 1 Σφυρηλάτηση κόλλησης χαλκού εκτελεσμένη με τη μέθοδο οξυγονοκόλλησης; 1-4-

Στη διαδικασία οξυγονοκόλλησης απαραίτητη είναι η **χρήση ειδικού συλλιπάσματος**, το οποίο δημιουργεί στα συγκολλούμενα άκρα, στο εναποτιθέμενο υλικό και στο ρευστό λουτρό του μετάλλου σχετικά στεγανή προστασία, ώστε το προφυλάσσει από τη διείδυση του οξυγόνου και επιπλέον, ενώνει το οξείδιο του χαλκού. Παρόμοιο προορισμό έχουν και οι κραματικές προσθήκες που προστίθενται στα εναποτιθέμενα υλικά χαλκού.

II) Τεχνική συγκόλλησης



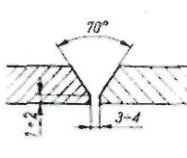
Ο χαλκός συγκολλείται με ουδέτερη φλόγα ελαφρά ρυθμιζόμενη (με όσο το δυνατόν χαμηλότερη πίεση του οξυγόνου).

Έτσι, κατά την επίπεδη συγκόλληση, όπως και κατά τη συγκόλληση προς τα άνω (ανεβατό), η τεχνική χειρισμού του καυστήρα και του εναποτιθέμενου υλικού είναι παρόμοια με την αντίστοιχη κατά τη συγκόλληση των χαλύβων. Εξαιτίας της μεγάλης ρευστότητας του χαλκού, υποδεικνύεται η συγκόλληση να διενεργείται σε υποστηρίγματα γραφίτη.

Η διαδικασία συγκόλλησης σε επίπεδη θέση διευκολύνεται σημαντικά με κεκλιμένη τοποθέτηση των ελασμάτων ως προς το επίπεδο, με γωνία περ. 30°. Το ρευστό μέταλλο, τότε, δε γεμίζει τον πυρήνα (το μάτι) τήξης έτσι διευκολύνεται ο χειριστής (συγκολλητής) να ελέγχει συνεχώς τη διαδικασία.

Μεγάλη διευκόλυνση κατά τη συγκόλληση ελασμάτων με πάχη άνω των 2 mm επιτελεί η **προθέρμανση του υλικού με πρόσθετο καυστήρα**.

Ο συγκολλητής μπορεί, τότε, να χρησιμοποιήσει καυστήρα με την κατάλληλη μικρότερη απόδοση, με ωφέλιμη επίδραση στην ποιότητα και στην απόδοση, με χαμηλότερο κόστος συγκόλλησης (**πίνακας 1**).

Πάχος ελάσματος, mm	Προετοιμασία των άκρων	Απόδοση του καυστήρα, $l_{C_2H_2}/h$		Διάμετρος του εναποτιθέμενου υλικού, mm	Ταχύτητα συγκόλλησης, m/h	Κατανάλωση g/m της κόλλησης	
		συγκόλληση	προθέρμανση			εναποτιθέμενου υλικού	συλλιπάσματος
1		250	—	—	12.0	—	18
2		300	300	3,15	12.0	80	18
3		600	—	—	8.0	—	—
4		500	500	4,00	8,5	145	18
		1000	—	—	7,5	—	—
5		800	600	4,00	6,5	250	20
		1200	—	—	6,0	—	—
1200		800	6,30	5,3	350	20	
1500		—	—	5,0	—	—	
6		1200	900	6,30	4,3	480	24
8		1700	1000	6,30	3,2	880	24
10		1700	1400	8,00	2,5	1280	30

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Παράμετροι οξυγονοκόλλησης χάλκινων ελασμάτων σε επίπεδη θέση, με έναν και με δύο καυστήρες.

δ) Συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο

Η μέθοδος αυτή μπορεί, σε ευρεία περιοχή, να χρησιμοποιηθεί στη θέση της οξυγονοκόλλησης. Το βασικό πλεονέκτημα της είναι ότι οι κολλήσεις δεν πρέπει να σφυρηλατούνται ούτε να εφαρμόζεται ανόπτηση, ενώ οι επιτευχθείσες συνδέσεις χαρακτηρίζονται από καλές ιδιότητες αντοχής, σχεδόν ισάξιες με το συγκολλούμενο υλικό. Επιπλέον, η αρχική προθέρμανση προβλέπεται μόνο, όταν τα ελάσματα έχουν πάχος πάνω από

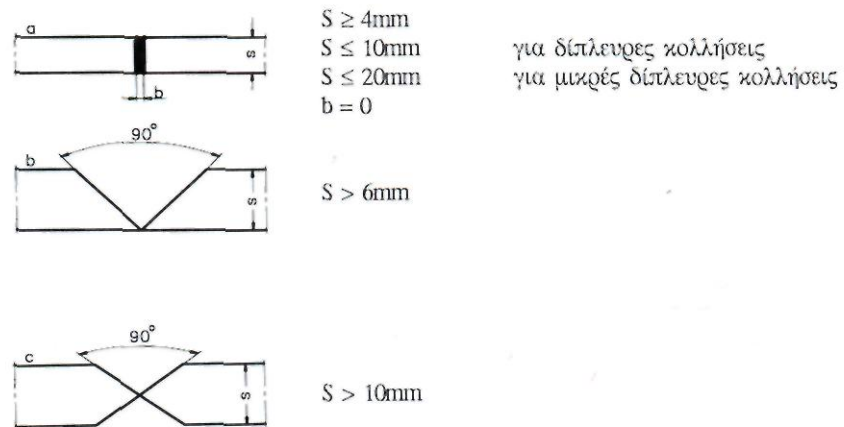
20 mm , και η θερμοκρασία προθέρμανσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 300 °C.

Για τη συγκόλληση, χρησιμοποιούνται επενδεδυμένα ηλεκτρόδια βαθιάς διεύθυνσης. Η διαδικασία συγκόλλησης χαρακτηρίζεται από το ότι στο τόξο δημιουργείται πολλαπλώς μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας σε σύγκριση με τα συνήθη ηλεκτρόδια συγκόλλησης και εξαιτίας αυτού, επιτυγχάνεται η τοπική τήξη του μετάλλου και η διαμόρφωση της κόλλησης.

Τα ηλεκτρόδια ECuGT έχουν πολύ παχιά επένδυση και παράγονται με διαμέτρους 3, 4, 5 και 6 mm. Πριν τη συγκόλληση, πρέπει να στεγνώνονται σε θερμοκρασία 350 - 400 °C και σε χρόνο 3 -4 h. Η συγκόλληση διενεργείται αποκλειστικά με συνεχές ρεύμα και θετική πολικότητα, ενώ η ένταση του ρεύματος συγκόλλησης γίνεται αποδεκτή μέχρι 100 A/1 mm της διαμέτρου του ηλεκτροδίου.

Για τη συγκόλληση του χαλκού για πάχη μέχρι 10 mm, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρόδια μπρούντζου τύπου ECuSn7. Αυτού του τύπου ηλεκτρόδια έχουν λεπτή επένδυση. Προσφέρονται για τη συγκόλληση χάλκινων εξαρτημάτων πάχους μέχρι 10 mm και, επίσης, μπρούντζων και ορείχαλκων. Το στέγνωμα τους γίνεται σε χρόνο 1 ώρα στη θερμοκρασία περίπου των 150 °C.

Το υλικό με πάχος μέχρι 4 mm συγκολλάται χωρίς λοξοτόμηση των άκρων' για πάχος 5 - 10 mm εφαρμόζεται λοξοτόμηση V, με γωνία του αύλακα 60 -70° και του αυχένα 1,5 - 3 , mm ενώ για μεγαλύτερα πάχη λοξοτομούνται σε σχήμα X (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Προετοιμασία των άκρων των ελασμάτων για τη συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο χαλκού.

Απαραίτητη είναι η προθέρμανση του χαλκού μέχρι τη θερμοκρασία των 250 -500 ° C, εάν το πάχος υπερβαίνει τα 3 mm

ε) Συγκόλληση με τη μέθοδο TIG

Ο χαλκός μπορεί να συγκολληθεί με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται κατά τη συγκόλληση υλικών με πάχη κάτω από 1 mm. Η διαδικασία συγκόλλησης στην προκειμένη περίπτωση είναι λίγο πιο αργή και, κατά κανόνα, διευκολύνει σημαντικά τον ακριβέστερο έλεγχο της διαδικασίας σύνδεσης του μετάλλου κατά τη συγκόλληση. Ενώ τα υλικά με πάχη πάνω από 1 mm συγκολλούνται αποκλειστικά με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας, από την άποψη της ωφελιμότερης κατανομής της θερμότητας του τόξου (το συγκολλούμενο υλικό, που αποτελεί το θετικό πόλο, αποκτά περίπου 70% θερμότητα) όπως και της μεγαλύτερης ελαστικότητας και σταθερότητας.

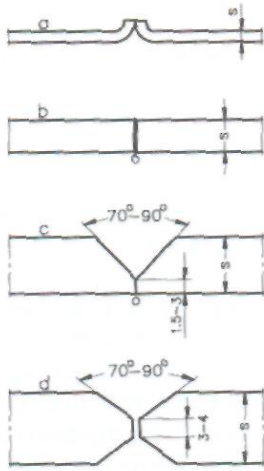
Επιπλέον, το ηλεκτρόδιο βαλφραμίου, αποκτώντας μόνο το 30% της θερμότητας, δεν υπερθερμαίνεται, γεγονός που επιτρέπει τη φόρτιση των ηλεκτροδίων με τη μεγαλύτερη ανάλογη ένταση (~ 125 A σε ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,5mm· με συν (+) στο ηλεκτρόδιο για 125 A θα χρειαζόταν ηλεκτρόδιο με Φ 6 mm), χωρίς φόβο για υπερβολική φθορά του ηλεκτροδίου. **Τα προστατευτικά αέρια** του τόξου μπορούν να είναι **αργό και ήλιο ή μίγματα αυτών των αερίων**. Γενικά, χρησιμοποιείται το αργό, ενώ το ήλιο έχει σχεδόν 10 φορές υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από το αργό. Ως εκ τούτου, με τις ίδιες εντάσεις ρεύματος, το τόξο του ήλιου αποκτά μεγαλύτερη ισχύ απ' ό,τι το τόξο του αργού. Άρα το τόξο του ήλιου, αναμφίβολα, είναι ενεργειακά ωφελιμότερο και αυτό αποτελεί το βασικό του πλεονέκτημα. Ενώ στα μειονεκτήματα πρέπει να συνυπολογιστούν το υψηλό δυναμικό διέγερσης και ο ιονισμός του ήλιου, επειδή ως αποτέλεσμα δυσχεραίνεται το άναμμα και η διατήρηση σταθερού τόξου. Η χαμηλή πυκνότητα του ήλιου, επίσης, δεν είναι ωφέλιμη επειδή η αποτελεσματική προφύλαξη του ρευστού μετάλλου της κόλλησης απαιτεί τη χρησιμοποίηση σημαντικά μεγαλύτερων εντάσεων ροής απ' ό,τι στην περίπτωση αργού.

Καλά αποτελέσματα, όμως, δίνει ο συνδυασμός του ήλιου και αργού με το μίγμα 70% He + 30% Ar το οποίο στην περίπτωση συγκόλλησης χαλκού με τη μέθοδο TIG, εξασφαλίζει σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση καθώς και τεχνικές δυνατότητες αυτής της μεθόδου.

Για τη συγκόλληση του χαλκού με τη μέθοδο TIG, χρησιμοποιείται απαραίτητα ειδικό εναποτιθέμενο υλικό χαλκού, που περιέχει κλάσματα ποσοτήτων των στοιχείων, τα οποία ενώνουν το οξυγόνο με το υδρογόνο. Τέτοιο εναποτιθέμενο υλικό περιέχει με αποξειδωτικό χαρακτήρα: 0,1 - 0,3% Mn όπως και 0,1 - 0,3% Si, μόνο που το Mn + Si > 0,3%.

Η ουδέτερη ατμόσφαιρα αερίου, κατά κανόνα, προφυλάσσει ικανοποιητικά το ρευστό μέταλλο από την οξείδωση. Παρά ταύτα, κυρίως, όμως, στις κολλήσεις πολλαπλών στρώσεων, ωφελιμότερη είναι η χρήση συλλίπασματος. Το συλλίπασμα διευκολύνει τη διαδικασία συγκόλλησης, διαλύοντας τα πυκνόμενα προϊόντα της αντίδρασης του πυριτίου και μαγγανίου με το οξυγόνο και το υδρογόνο. Επίσης, διαλύει και το οξείδιο του χαλκού και, ως αποτέλεσμα αυτών των μικρομεταλλουργικών διαδικασιών, σχηματίζεται ελαφριά ρευστή σκουριά, η οποία απομακρύνεται με το φύσημα του τόξου και του προστατευτικού αερίου εκτός του λουτρού του ρευστού μετάλλου (ο χειριστής μπορεί εύκολα να ελέγχει τη διαμόρφωση της κόλλησης). Το χρησιμοποιούμενο συλλίπασμα είναι τύπου Cupro - Gaz.

Προετοιμασία των υλικών για συγκόλληση. Αμέσως πριν τη συγκόλληση, τα άκρα των συνδεόμενων υλικών πρέπει να **απολιπανθούν** με βενζίνη απόσταξης και



Σχήμα 3. Προετοιμασία των άκρων των ελασμάτων για τη συγκόλληση του χαλκού με τη μέθοδο TIG.

να **καθαρισθούν** από τα οξείδια CuO με συρμάτινη βούρτσα. Το εναποτιθέμενο υλικό, επίσης, απολιπαίνεται και ακολουθεί καθαρισμός με σμυριδόπανο.

Τα άκρα των ελασμάτων προετοιμάζονται, ανάλογα με τα πάχη τους, σύμφωνα με το **σχήμα 3a-d**. Προτείνεται η συγκόλληση σε υποστηρίγματα γραφίτη.

Τα ελάσματα με πάχος μέχρι 5 mm συγκολλούνται με τη μέθοδο προς τα αριστερά, άνω των 5 mm προς τα δεξιά, μόνο που στη δεύτερη περίπτωση πριν τη συγκόλληση διενεργείται προθέρμανση στα όρια 200 -600 °C, ανάλογα με το πάχος.

Τα ελάσματα πάχους πάνω από 8 mm συγκολλούνται τμηματικά με δύο ή περισσότερες στρώσεις, αλλά η πρώτη στρώση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο χοντρή. Με τη μέθοδο TIG μπορούν να εκτελεστούν συγκολλήσεις σε όλες τις θέσεις εκτός του ουρανού.

Οι συγκολλήσεις χωρίς σφυρηλάτηση έχουν αντοχή 20 - 22 kG/mm² και γωνίες κάμψης 180°.

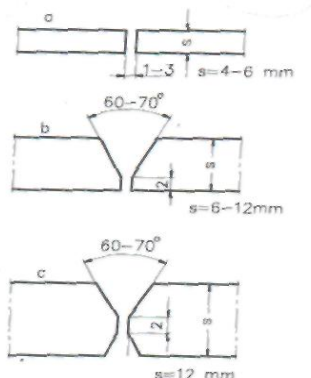
Οι παράμετροι συγκόλλησης του χαλκού, με τη μέθοδο TIG, στην ατμόσφαιρα του αργού παρουσιάζονται στον **πίνακα 2**.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Παράμετροι μετωπικής συγκόλλησης χάλκινων ελασμάτων, με τη μέθοδο TIG.

Πάχος ελάσματος, mm	Ηλεκτρόδιο βολφραμίου Φ, mm	Εναποτιθέμενο υλικό Φ, mm	Ρεύμα συγκόλλησης, A	Κατανάλωση αργού l/min	Θερμοκρασία προθέρμανσης, °C	Ταχύτητα συγκόλλησης V, mm/min
1	1 - 1,5	1,5	90 - 120	5	150	320
2	1,5 - 2	2	120 - 180	5	200	320
3	2 - 3	2 - 3	180 - 240	6	250	300
4	2 - 3	3	240 - 280	6	250	260
5	4	3	280 - 350	8	300	240
6	4	3 - 4	320 - 360	8	350 - 400	220
7	4	3 - 4	380 - 420	8	400	200
8	5	6	420 - 450	10	400 - 500	180
10	6	6	450 - 500	12	550 - 650	160
15	6	6	500 - 520	15	650 - 700	100
20	6	6	500 - 520	15	700	60

στ) Συγκόλληση με τη μέθοδο MIG

Με τη μέθοδο MIG επιτυγχάνεται η συγκόλληση χάλκινων ελασμάτων από 4 τιτι και άνω. Ανάλογα με το πάχος των ελασμάτων τα άκρα λοξοτομούνται με έναν από τους τρόπους που παρουσιάζονται στο **σχήμα 4 a-c**. Για τη συγκόλληση, χρησιμοποιείται αποκλειστικά συνεχές ρεύμα με θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο. Η πηγή ρεύματος τροφοδοσίας του ηλεκτρικού τόξου πρέπει να έχει στατική χαρακτηριστική, ελαφρά φθίνουσα.



Σχήμα 4. Προετοιμασία των άκρων των ελασμάτων για τη συγκόλληση του χαλκού με τη μέθοδο TIG ελασμάτων για τη συγκόλληση του χαλκού με τη μέθοδο MIG.

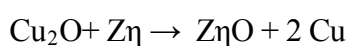
Η χρησιμοποίηση προστατευτικών αερίων, με τη μέθοδο MIG, γίνεται όπως και στην περίπτωση της μεθόδου TIG. Το εναποτιθέμενο υλικό, με μορφή σύρματος 1,25, 1,6 και 2,4 mm πρέπει να περιέχει με αποξειδωτικό χαρακτήρα: Al, Mn, Si, Sn, B κ.ά., μέχρι 0,3%.

Η απολίπανση και ο καθαρισμός των συγκολλούμενων άκρων πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις συνθήκες όπως και για τη μέθοδο TIG. Ως επί το πλείστον, η τεχνική της συγκόλλησης διενεργείται με **τη μέθοδο προς τα δεξιά**, χωρίς την εκτέλεση λοξοειδών κινήσεων. Μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις είναι δυνατόν να επιτευχθεί σωστή σύνδεση χωρίς προθέρμανση του υλικού. Αυτό συμβαίνει μόνο για υλικά με πάχος μέχρι 6 mm. Για μεγαλύτερα πάχη, επιβάλλεται η αρχική προθέρμανση, η οποία εξασφαλίζει την επίτευξη κολλήσεων χωρίς πόρους και η ελάχιστη θερμοκρασία προθέρμανσης είναι περίπου 200°C.

2. Συγκόλληση των ορείχαλκων

Ο κλασικός ορείχαλκος αποτελείται από το κράμα Cu- Zn, με περιεκτικότητα 4 - 40% Zn. Εκτός από τους ορείχαλκους δύο στοιχείων, υπάρχουν και ορείχαλκοι πολλών στοιχείων με προσθήκες: Pb, Sn, Al, Mn, Ni, Si και Fe. Με τη χρησιμοποίηση των διάφορων αυτών στοιχείων, σχηματίζονται μερικές κατηγορίες κραμάτων όπως: μολύβδου, κασσίτερου, αλουμινίου, μαγγανίου - μολύβδου, αλουμινίου - μαγγανίου -σιδήρου κ.ά., με καθορισμένες ιδιότητες και προορισμούς. Η παραπέρα κατάταξη είναι η διαίρεση σε χυτευτικούς ορείχαλκους και για πλαστική κατεργασία.

Ο τσίγκος (Zn) δυσχεραίνει την απορρόφηση του υδρογόνου, άρα μειώνει τον κίνδυνο διάλυσης του στο ρευστό ορείχαλκο. Από την άλλη πλευρά, ο τσίγκος, ως μέταλλο με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία βρασμού (περίπου στη θερμοκρασία 907°C και ξεκινάει η ατμοποίησή του στη θερμοκρασία ~ 600°C), στις ευνοϊκότερες συνθήκες προξενεί σημαντικό πορώδες των κολλήσεων και επιδρά αποφασιστικά στη διαφοροποίηση του χρώματος και της χημικής σύστασης, σε σχέση με το μητρικό υλικό. Μερικές απώλειες προξενούνται, επίσης και από την αναγωγή του Cu₂O με τον τσίγκο, που έχει πορεία σύμφωνα με την αντίδραση:



Οι απώλειες αυτές μπορούν να περιορισθούν με τη χρήση εναποτιθέμενων υλικών που να περιέχουν πιο δραστικά αποξειδωτικά στοιχεία απ' ό,τι ο τσίγκος, π.χ. το πυρίτιο, νικέλιο, αλουμίνιο.

Μέθοδοι συγκόλλησης. Στη βιομηχανική πρακτική, η μέθοδος που επικρατεί στην τεχνική συγκόλλησης των ορείχαλκων παραμένει ακόμη η **οξυγονοκόλληση**, εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας της φλόγας ασετυλίνης - οξυγόνου, της δυνατότητας ελέγχου και εύκολης καθοδήγησης της βέλτιστης ποσότητας θερμότητας, με συνέπεια να ελέγχεται η διαδικασία ατμοποίησης του τσίγκου.

Η μέθοδος TIG προσφέρει, επίσης, ικανοποιητικά αποτελέσματα, κατά τη συγκόλληση υλικών με χαμηλή και μέτρια ποσότητα τσίγκου και με μικρά πάχη (μέχρι 5 mm). Με την αύξηση του πάχους πάνω από 5 mm και την αναγκαιότητα εφαρμογής πολλαπλών στρώσεων συγκόλλησης, η ποιότητα των κολλήσεων πέφτει (μεγαλύτερη ατμοποίησή του τσίγκου, με συνέπεια την αύξηση του πορώδους των κολλήσεων).

Τα υλικά με πάχη πάνω από 5 mm μπορούν, ακόμη, να συγκολληθούν και με χάλκινα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια ECuGT, μπρούντζινα ECuSu7 και με ECuMnAl.

Κατά την οξυγονοκόλληση τα συγκολλούμενα άκρα προετοιμάζονται, ανάλογα με το πάχος και τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο (προς τα αριστερά ή προς τα άνω μονόπλευρα ή δίπλευρα). Τα ελάσματα με πάχη μέχρι 4mm δεν προθερμαίνονται πριν τη συγκόλληση, τα χοντρότερα ελάσματα προθερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία 200 - 300°C. Η πιο ωφέλιμη είναι η μέθοδος δίπλευρης συγκόλλησης προς τα άνω (ανεβατό), τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής άποψης (μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης).

Ως εναποτιθέμενο υλικό χρησιμοποιούνται σύρματα με ανάλογη χημική σύσταση αυτής του συγκολλούμενου υλικού, με αποξειδωτικά στοιχεία Mn, Si και Al.

3. Συγκόλληση των μπρούντζων

Οι πλαστικά κατεργασμένοι μπρούντζοι συγκολλούνται με αναλογικό τρόπο όπως οι ορείχαλκοι. Ενώ η συγκόλληση των χυτών μπρούντζων διενεργείται όπως και η συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν θερμώ. Οι εμφανιζόμενες δυσκολίες εδώ είναι πολύ μεγαλύτερες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Παράμετροι συγκόλλησης μπρούντζων με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο.

Πάχος ελάσματος, Mm	Διάμετρος ηλεκτροδίου mm	Θερμοκρασία αρχικής προθέρμανσης, °C	Ρεύμα συγκόλλησης, A
3-5	3	50 - 150	120 - 180
3-5	4	50- 100	180-240
5-7	4	100-200	180-240
5-7	5	100 -150	200-300
7-10	5	150 -200	200-300
7-10	6	150-200	300-400

Για τη συγκόλληση, χρησιμοποιείται **συνεχές ρεύμα** με θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο. Το τόξο τροφοδοτείται με ρεύμα από πηγή με στατική χαρακτηριστική φθίνουσα. Τα συνδεδεμένα εξαρτήματα θερμαίνονται πριν τη συγκόλληση μέχρι τη θερμοκρασία των 50 - 300°C. Η κόλληση εκτελείται τμηματικά με μήκος μέχρι 100 mm μετά την εναπόθεση της κόλλησης του τμήματος πρέπει να σφυρηλατηθεί.

Οι προσανατολιστικές παράμετροι συγκόλλησης των μπρούντζων με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο παρουσιάζονται στον **πίνακα 4**.

Η συγκόλληση με τις μεθόδους TIG και MIG είναι ωφέλιμη και δίνει καλά αποτελέσματα όπως και κατά τη συγκόλληση, με άλλες μεθόδους, των δύσκολα συγκολλούμενων μπρούντζων αλουμινίου.

Για τη συγκόλληση με τη **μέθοδο TIG** υλικού με πάχος μέχρι 2 mm χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα, άνω των 2 mm χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα με αρνητικό πόλο στο ηλεκτρόδιο. Απαιτείται καθαρότητα του αργού μέχρι 99,8%. Το χρησιμοποιούμενο εναποτιθέμενο υλικό, όπως και κατά τη συγκόλληση με φλόγα ασετυλίνης - οξυγόνου. Κατά τη συγκόλληση μπρούντζων με αυξημένη ευθραυστότητα, υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης ρηγματώσεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις επιβάλλεται η αρχική προθέρμανση μέχρι τη θερμοκρασία των 100 - 300°C, η συγκόλληση με μικρά τμήματα και σφυρηλάτηση των κολλήσεων.

Για τη συγκόλληση με τη **μέθοδο MIG**, χρησιμοποιείται αποκλειστικά συνεχές ρεύμα με θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο. Συγκολλούνται ελάσματα

με πάχος άνω των 4 mm. Η προετοιμασία των άκρων των ελασμάτων και η τεχνική συγκόλλησης είναι παρόμοια με τη συγκόλληση των χάλκινων ελασμάτων.

Οι καλύτερες μηχανικές ιδιότητες των συνδέσεων κατά τη συγκόλληση των μπρούντζων επιτυγχάνονται όταν η συγκόλληση γίνεται με τις μεθόδους TIG και MIG. Είναι κάπως κατώτερες με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο και ακόμη κατώτερες με τη φλόγα ασετυλίνης - οξυγόνου.

Γ. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥ

1. Ιδιότητες και συγκολλητότητα

Το αλουμίνιο είναι μέταλλο με μεγάλη πλαστικότητα, υψηλή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (35 MS/ m) αι θερμική (0,209 KW/ m °C), μεγάλη θερμική διαστολή και σημαντική συστολή σε όγκο (7%). Η πυκνότητα του αλουμινίου είναι 2,7 g/cm³, ενώ η θερμοκρασία τήξης 658°C.

Οι φυσικές ιδιότητες πολύ μεγάλης κατηγορίας των **κραμάτων αλουμινίου** είναι διαφοροποιημένες. Παρά ταύτα, σε γενική όψη πλησιάζουν πολύ στις ιδιότητες του καθαρού αλουμινίου.

Το αλουμίνιο και τα κράματα του προμηθεύονται για την πλαστική κατεργασία και ως χυτά. Οι κατηγορίες αυτών των δύο περιπτώσεων είναι πολλές και οι μηχανικές ιδιότητες τους εξαρτώνται από:

- το βαθμό σκλήρυνσης τους με πλαστική κατεργασία
- τη θερμική κατεργασία.

Οι οριακές τιμές αντοχής σε διάφορες κατηγορίες είναι με βάση τα δεδομένα του πίνακα που ακολουθεί:

Ιδιότητες minimum	Αλουμίνιο	Κράματα AI κατεργασμένα πλαστικά	Κράματα χυτά
R _e , MPa	–	40-410	80 – 220
R _m , MPaA ₁₀	40-140	90-490	120 - 330
%	3-30	3-20	02- 10
A ₅ % HB			

Συγκολλητότητα. Η συγκολλητότητα του αλουμινίου καθορίζεται από πολλές φυσικές και χημικές ιδιότητες του. Μεγάλη σημασία για τη διαδικασία συγκόλλησης έχουν οι ακόλουθες ιδιότητες:

Ο μεγάλος χημικός δεσμός του αλουμινίου με το οξυγόνο κατά την επαφή του αλουμινίου με τον ατμοσφαιρικό αέρα αμέσως επικαλύπτεται με το στρώμα του οξειδίου του αλουμινίου, με πυκνότητα 3,9 g/cm³, που δύσκολα τήκεται (2040°C), δεν είναι αναγωγικό και δύσκολα διαλύεται.

Άρα, στη θερμοκρασία τήξης του AI (658°C), το οξείδιο του αλουμινίου (AI₂O₃) παραμένει σε στερεή κατάσταση, αποκλείοντας τη δυνατότητα συγκόλλησης με τη φλόγα ασετυλίνης - οξυγόνου.

Η ευπάθεια για το πορώδες αερίου" η μεγάλη ικανότητα του λιωμένου αλουμινίου για τη διάλυση του υδρογόνου πέφτει απότομα με την

πτώση της θερμοκρασίας, που αποτελεί ουσιώδες πρόβλημα για τις μεθόδους συγκόλλησης με μεγάλη εστίαση της θερμότητας (η πηγή του υδρογόνου που δημιουργεί το πορώδες είναι: η υγρασία από την ατμόσφαιρα και τα συγκολλούμενα υλικά οι λιπαρές ακαθαρσίες, τα εγκλωβισμένα αέρια κατά τη διαδικασία παρασκευής του αλουμινίου κ.ά.).

Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα δυσχεραίνει την τοπική ρευστοποίηση του μετάλλου.

Ο υψηλός συντελεστής θερμικής γραμμικής διαστολής και η μεγάλη συστολή σε όγκο κύριο αίτιο ανάπτυξης κατά τη διαδικασία συγκόλλησης σημαντικών τάσεων, παραμορφώσεων των συγκολλητών εξαρτημάτων και ρηγματώσεων των κολλήσεων. **Οι πολύ χαμηλές ιδιότητες αντοχής του αλουμινίου σε θερμοκρασία άνω των 500 °C.**

Η έλλειψη εναλλαγής χρωμάτων κατά τη θέρμανση του αλουμινίου δυσχέρεια καθορισμού του βαθμού θέρμανσης του μετάλλου και του σημείου τήξης.

Η συγκολλητικότητα των κραμάτων αλουμινίου, εκτός από τις παραπάνω αναφερθείσες ιδιότητες, καθορίζεται και από τους εξής καθοριστικούς παράγοντες: τη χημική σύσταση του μητρικού υλικού και του πρόσθετου καθώς και από τις μεθόδους συγκόλλησης.

Παραδεκτά ως συγκολλούμενες κατηγορίες ΑΙ και κραμάτων ΑΙ δίνονται στον **πίνακα 5**.

Τύπος υλικού	Συμβολισμός	Καθορισμός συγκολλητότητας	Μέθοδος συγκόλλησης
Αλουμίνιο διύλισης και μεταλλουργικό	AI 99,90 AI 99,95	Συγκολλούμενα	MIG EH ¹
	AI 99,8 AI 99,7 AI 99,5 AI 99,0	Εύκολα συγκολλούμενα	TIG MIG EH ¹
Κράματα αλουμινίου τύπου AI - Μη	AI Μη2	Καλώς συγκολλούμενα	TIG MIG
Κράματα αλουμινίου τύπου AI - Mg	AI Mg1	Συγκολλούμενο	TIG ,MIG
	AI Mg2	Συγκολλούμενο	TIG, MIG
	AI Mg3 AI Mg4 Μη AI Mg5	Συγκολλούμενα	TIG MIG
Κράματα αλουμινίου τύπου AI - Ζη - Mg	AI Ζη5 Mg1	Συγκολλούμενο	TIG MIG
Κράματα αλουμινίου τύπου AI - Mg - Si	AI Mg Si	Περιορισμένη συγκολλητότητα	TIG
	AI Mg1 Si1 Μη		MIG
Χυτευτικά κράματα αλουμινίου τύπου AI — Si	AI Si7 Mg AI Si9 Mg AI Si11	Εύκολα συγκολλούμενα	TIG ,MIG EH ¹
	AI Si13 Mg1 Cu Νί AI Si21 Cu Νί	Συγκολλούμενα	TIG, MIG

Τα κράματα τύπου AI - Mg - Si υπάγονται στα κράματα που σκληρύνονται με τη θερμική κατεργασία υπερκορεσμού και γήρανσης. Οι συγκολλητές συνδέσεις εκτελούμενες σε αυτά τα υλικά παρουσιάζουν τάση για ρηγματώσεις κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης ή αμέσως μετά το τέλος της συγκόλλησης και, ακόμη, κατά τη συναρμολόγηση ή κατά τη λειτουργία της κατασκευής.

Στην ανάπτυξη των ρηγματώσεων, ανεξάρτητα από τη μεταλλουργική και τεχνολογική συγκολλητότητα, μεγάλη επίδραση ασκεί η εκτελεστική συγκολλητότητα. Κατά κανόνα, στις δικτυωτές και πλαισίου κατασκευές συγκροτημάτων μεγάλης δυσκαμψίας και ισχυρής συγκέντρωσης τάσεων, όπως και στις δυναμικές και εναλλασσόμενες φορτίσεις, δύσκολα αποφεύγονται οι ρηγματώσεις. Για κρίσιμες καταστάσεις, μπορεί, μερικές φορές, να φανεί χρήσιμο το εναποτιθέμενο υλικό τύπου AlSi5, με μεγάλη ανθεκτικότητα σε θραύση. Για δεδομένο, όμως, κατασκευαστικό συγκρότημα, για την ανθεκτικότητα σε θραύση αποφασίζει, καταρχήν, η σωστή επιλογή του κράματος AI και η ορθολογική λύση των συγκολλούμενων κόμβων.

2. Μέθοδοι συγκόλλησης

Παρά τις πολλές αναφερθείσες δυσκολίες συγκόλλησης του αλουμινίου, το μέταλλο αυτό σήμερα θεωρείται εύκολα συγκολλούμενο. Επιρροή πάνω του έχει η γενική πρόοδος των συγκολλήσεων, ενώ, ιδιαίτερα, η επεξεργασία, καταρχήν, των συλλιπασμάτων για την οξυγονοκόλληση και των επενδεδυμένων ηλεκτροδίων για τη συγκόλληση τόξου, και στη συνέχεια, οι μέθοδοι συγκόλλησης στην ατμόσφαιρα του αργού με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο (**TIG**) και με τηκόμενο ηλεκτρόδιο (**MIG**). Αναμφίβολα είναι τα πλεονεκτήματα των μεθόδων TIG και MIG. Οι μέθοδοι αυτές είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες τώρα που η βιομηχανία πρακτικά περιόρισε τη χρησιμοποίηση των επενδεδυμένων ηλεκτροδίων, παρά την όποια τεχνική και οικονομική ανταγωνιστικότητα.

Κάθε μέθοδος συγκόλλησης του αλουμινίου παρουσιάζει κάποια **πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα** τεχνικά και οικονομικά, τα οποία η βιομηχανική πρακτική τα εκμεταλλεύεται καταλλήλως. Με τη σύνθετη έννοια της συγκόλλησης:

— η **οξυγονοκόλληση** ακόμη και του καθαρού αλουμινίου και ιδιαίτερα των κραμάτων αλουμινίου αποτελεί παρελθόν, για τους εξής λόγους:

1) ανάγκη χρησιμοποίησης συλλιπασμάτων, τα οποία στην περίπτωση παραμονής τους, ακόμη και ως ίχνη, αποτελούν σημαντικό κίνδυνο διάβρωσης

2) θραύση των κολλήσεων κατά τη συγκόλληση κραμάτων AI και καθαρού AI, στην περίπτωση πολλαπλών στρώσεων.

3) μεγάλος περιορισμός συγκόλλησης με εναποτιθέμενο υλικό διαφορετικής χημικής σύστασης και θερμοκρασία τήξης από το μητρικό υλικό (αναγκαία κατά τη συγκόλληση υλικών δύσκολα συγκολλούμενων)

4) δυσκολίες συγκόλλησης διάφορων τύπων ανγενικών συνδέσεων, εξαιτίας της πολυπλοκότητας της κατασκευής (π.χ. οι εσωτερικές συγκολλήσεις σε διάφορα δοχεία).

— **το ανθρακούχο ηλεκτρόδιο** ποτέ δεν ήταν μέθοδος αξιόλογη, εξαιτίας της χαμηλής ποιότητας των συνδέσεων, και σήμερα έχει μόνο ιστορική σημασία

— **το επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο** έχει περιορισμένη εφαρμογή στις τεχνολογικές κατασκευές

— **το μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο** στην ατμόσφαιρα του αργού είναι σήμερα η πλέον διαδεδομένη μέθοδος συγκόλλησης του αλουμινίου

— **το τηκόμενο σύρμα ηλεκτροδίου** στην ατμόσφαιρα του αργού έχει όλο

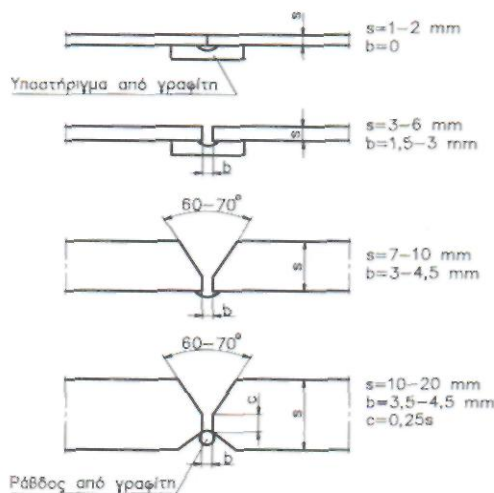
και μεγαλύτερη εφαρμογή και μαζί με τη μέθοδο TIG επικρατεί στη βιομηχανική πρακτική

- **το πλάσμα** δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό των μεθόδων, όπως της TIG και MIG. Επειδή είναι περίπου 1,1 - 1,6 φορές ακριβότερο, απαιτεί πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας μεγάλης ακρίβεια προετοιμασίας των άκρων των εξαρτημάτων κ.ά.
- **η δέσμη ηλεκτρονίων** ακόμη σπάνια χρησιμοποιείται, έχει, όμως, προοπτική ανάπτυξης στην παραγωγή μεγάλων σειρών και στις εξειδικευμένες κατασκευές
- **η δέσμη LASER** αυξάνει αλματωδώς την εφαρμογή στις τεχνολογικές κατασκευές

Βάσει των αναφερθέντων και των τρεχουσών αναγκών της βιομηχανίας, πιο αναλυτική περιγραφή χρειάζεται μόνο η συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο όπως και οι μέθοδοι TIG και MIG.

3. Συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο

Η συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, όπως συζητήθηκε, έχει περιορισμένη εφαρμογή, επειδή οι μέθοδοι TIG και MIG την εκτοπίζουν συστηματικά, λόγω περισσότερων πλεονεκτημάτων τους.



Σχήμα 5. Τρόποι προετοιμασίας των άκρων των ελασμάτων αλουμινίου για τη συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο.

Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ευκολία της διαδικασίας και η μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης. Οι ιδιότητες αντοχής σωστά εκτελούμενων συνδέσεων είναι επίσης, ικανοποιητικές, αποκτούν R_m δεδομένης κατηγορίας αλουμινίου σε κατάσταση ανακρυστάλλωσης, με γωνία κάμψης πάντα ίση με 180° .

Μειονέκτημα των εκτελούμενων συνδέσεων με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια αποτελεί το μικρό και, μερικές φορές, το μακροπορώδες των κολλήσεων, εμφανιζόμενο στη μεταβατική ζώνη αλλά και κάτω από το μέτωπο της κόλλησης. Η υψηλή θερμοκρασία του τόξου προξενεί την υπερθέρμανση εξίσου του εναποτιθέμενου και του μητρικού υλικού, με τη σύγχρονη ατμοποίηση στοιχείων της επένδυσης. Η υπερθέρμανση αυτή επιδρά

στην αύξηση της απορροφητικότητας των αερίων από το ρευστό μέταλλο. Οι μικροπόροι δεν ελαττώνουν τις ιδιότητες αντοχής της σύνδεσης, χειροτερεύουν, όμως, την ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Η σφυρηλάτηση των κολλήσεων κάπως ομαλοποιεί την πτώση της ανθεκτικότητας στη διάβρωση αλλά δεν την αποκλείει ολικά.

Ακόμη πιο επικίνδυνο είναι όσον αφορά τους μακροπόρους, οι οποίοι μπορούν να εμφανισθούν στην κόλληση, όταν η επένδυση των ηλεκτροδίων είναι υγρή ή όταν τα παχιά ελάσματα συγκολλούνται χωρίς αρχική προθέρμανση (ή πολύ σύντομη ψύξη της κόλλησης - το υδρογόνο δεν προλαβάνει να εξέλθει).

Η συγκόλληση διενεργείται αποκλειστικά με συνεχές ρεύμα και θετική πολικότητα, με τη χρήση πηγής ρεύματος φθίνουσας στατικής χαρακτηριστικής.

Τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια στεγνώνονται πριν τη συγκόλληση, στη θερμοκρασία των 250 - 350°C, σε χρόνο 2 – 3h.

Τα άκρα των ελασμάτων, ανάλογα με το πάχος, προετοιμάζονται κατά τρόπο που φαίνεται στο **σχήμα 5**.

Ωφελιμότερο είναι η συγκόλληση να διενεργείται με υποστήριγμα γραφίτη. Τα ελάσματα άνω των 5 mm πρέπει πριν τη συγκόλληση να προθερμαίνονται στη θερμοκρασία των 200 - 250 °C.

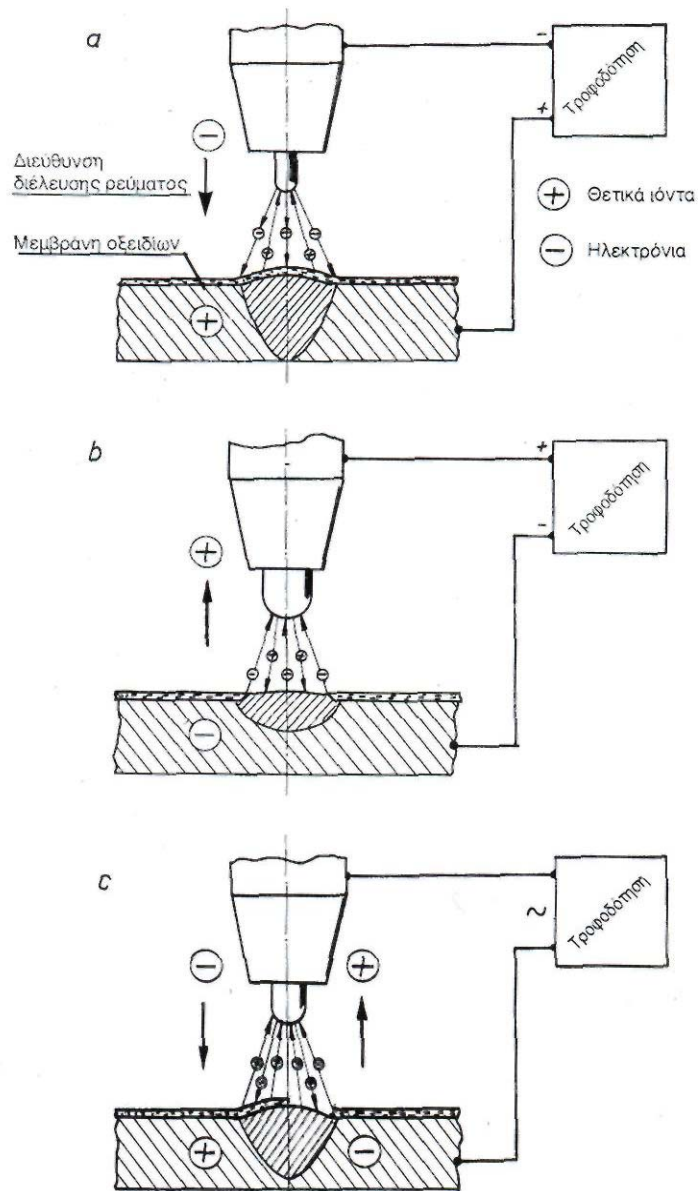
4. Συγκόλληση με τη μέθοδο TIG

Η συγκόλληση του αλουμινίου και των κραμάτων του γίνεται με τη μέθοδο TIG, η οποία είναι σήμερα η τελειότερη μέθοδος, που επιτρέπει, καταρχήν, την ολική εξάλειψη των συλλιπασμάτων, τα οποία επιδρούν διαβρωτικά στη συγκολλητή σύνδεση. Για τη συγκόλληση χρησιμοποιείται συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα με θετική πολικότητα.

Ιδιαίτερα ωφέλιμο θα ήταν να συγκολλείται το αλουμίνιο με συνεχές ρεύμα ανάστροφης πολικότητας (συν (+) στο ηλεκτρόδιο), εξαιτίας της αξιολογής ικανότητας διάσπασης με το τόξο συνεχούς ρεύματος ανάστροφης πολικότητας, της δυσκολοτηκόμενης μεμβράνης των οξειδίων του Al_2O_3 , που καλύπτουν το μέταλλο (ο λεγόμενος καθοδικός καθαρισμός) (**σχήμα 6b**).

Η πρακτική δυνατότητα χρησιμοποίησης του συνεχούς ρεύματος με θετική πολικότητα αφορά αποκλειστικά στη συγκόλληση αλουμινίου με πάχος κάτω από 1 mm. Η κύρια αιτία είναι η αρκετά ταχεία φθορά του ηλεκτροδίου βολφραμίου (επειδή το 50% της θερμότητας το δέχεται το ηλεκτρόδιο βολφραμίου, το 30% το συγκολλούμενο αντικείμενο και το 20% είναι απώλειες) όπως και η χρησιμοποίηση μεγάλων διαμέτρων των ηλεκτροδίων, με χαμηλές εντάσεις ρεύματος (π.χ. περ. 6mm, που αντιστοιχεί σε ρεύμα με ένταση περ. 130 A).

Κατά τη σύνδεση "+" στο ηλεκτρόδιο, θερμαίνεται ισχυρά το ηλεκτρόδιο και συνήθως καίγεται. Η μεγάλη συγκέντρωση της θερμότητας στο ηλεκτρόδιο μειώνει, επίσης, την ελαστικότητα και τη σταθερότητα του τόξου. Κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα και με ανάστροφη πολικότητα, το συγκολλούμενο υλικό διατηρεί μόλις το 30% της εκλυόμενης θερμότητας, με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας συγκόλλησης, το σχηματισμό επίπεδης κόλλησης, πλατιάς και με μικρό βάθος διείσδυσης.



Σχήμα 6. Επίδραση της πολικότητας συνεχούς ρεύματος και εναλλασσόμενου στην κατανομή της θερμότητας τον τόξου και η αφαίρεση της μεμβράνης των οξειδίων: a) συνεχές ρεύμα κανονικής πολικότητας, b) συνεχές ρεύμα ανάστροφης πολικότητας, c) εναλλασσόμενο ρεύμα.

Παρόμοιες ιδιότητες κονιοποίησης της μεμβράνης Al_2O_3 έχει, επίσης, και το εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο εμφανίζεται ωφελιμότερο (μικρότερη θέρμανση του ηλεκτροδίου βολφραμίου) και χρησιμοποιείται σήμερα για τη συγκόλληση του αλουμινίου, με τη μέθοδο TIG.

Με το αποτέλεσμα των περιοδικών μεταβολών του εναλλασσόμενου ρεύματος (**σχήμα 6 c**), τη στιγμή που το ηλεκτρόδιο βολφραμίου είναι θετικός πόλος, συμβαίνει η κονιοποίηση της μεμβράνης των οξειδίων του αλουμινίου, ενώ τη στιγμή που το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικός πόλος, το συγκολλούμενο υλικό αποκτά μεγαλύτερη θερμότητα, διευκολύνοντας την καλύτερη τήξη, και μεγαλύτερη ταχύτητα συγκόλλησης.

Η συχνότητα των περιοδικών εναλλαγών του εναλλασσόμενου ρεύματος ισούται με 50 Hz, δηλαδή σε χρόνο ενός δευτερολέπτου το ηλεκτρόδιο είναι 50 φορές άνοδος και 50 φορές κάθοδος και γι' αυτό δε θερμαίνεται εντατικά, όπως στο τόξο με συνεχές ρεύμα ανάστροφης πολικότητας, όπου είναι συνεχώς άνοδος.

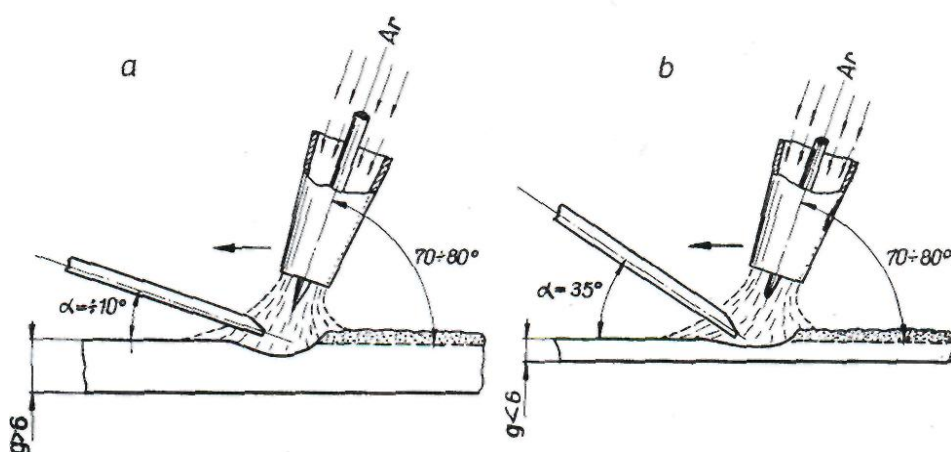
Μειονέκτημα κατά τη συγκόλληση στην ατμόσφαιρα του αργού με εναλλασσόμενο ρεύμα, παρά τα ίδια πλεονεκτήματα, αποτελεί και η δημιουργία της σταθεράς συνιστώσας που δυσχεραίνει την εντατικότητα της διάσπασης της μεμβράνης των οξειδίων, που σχηματίζεται κατά τη συγκόλληση.

Η σταθερά αυτή του ρεύματος κατά τη συγκόλληση του ΑΙ ισούται περίπου με 6V, στο ένα ήμισυ της περιόδου ελαττώνοντας την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ στο δεύτερο ήμισυ αυξάνοντας την. Ως αποτέλεσμα, στις μισές περιόδους με ελαττωμένη τάση, το άναμμα του τόξου του είναι ασταθές και δυσχεραίνει τη συγκόλληση. Με σκοπό την εξάλειψη από το κύκλωμα συγκόλλησης της σταθεράς συνιστώσας του ρεύματος, πρέπει να προσαχθεί στο κύκλωμα συγκόλλησης τάση συνεχούς ρεύματος, με τιμή περίπου 6V.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται πυκνωτής ή συστοιχία πυκνωτών.

Τεχνική συγκόλλησης. Η δυνατότητα πολλαπλών στρώσεων συγκόλλησης του αλουμινίου με τη μέθοδο TIG είναι ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου.

Η συγκόλληση ελασμάτων με πάχος άνω των 6 mm εκτελείται με μία στρώση, οδηγώντας τον καυστήρα προοδευτικά, με γωνία κλίσης $70 - 80^\circ$ (**σχήμα 7b**), προς τα αριστερά. Το εναποτιθέμενο υλικό (η ράβδος) έχει κλίση 35° .



Σχήμα 7. Συγκόλληση αλουμινίου με τη μέθοδο TIG: a) χοντρά ελάσματα b) λεπτά ελάσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Παράμετροι μετωπικής συγκόλλησης ελαφρών μετάλλων
με τη μέθοδο TIG.

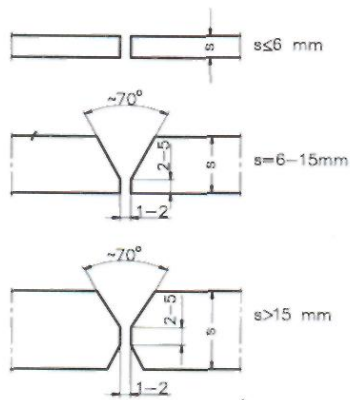
Πάχος υλικού	Διάμετρος			Ένταση ρεύματος	Κατανάλωση αργού	Ταχύτητα συγκόλλησης
	ηλεκτροδίου βολφραμίου	εναποτιθέμενου υλικού	ακροφυσίου αερίου			
mm				A	l/min	m/min
1	1 -2	1,5-2		30-70	4-5	0.380
2	2-3	2-3	8	80 - 120	5-6	0,320
3	3	3		100 - 150	6	0.300
4	3-5	3-4	8-16	120 - 200	8	0.280
5				130 - 200	8-10	0,280
6	5	4-5	12	160-250	8-10	0,250
8	5-6,5	4-6	12-16	220 - 340	10- 12	0,200
10				220 - 360	10- 12	0,150
12				250-400	12- 14	0,120
15	6,5-8	6-7	16	300 - 450	12- 14	0,120
20				340-500	14- 16	0,120
25				400-500	14- 16	0,120

(σχήμα 7α). Απαιτείται υψηλότερη ένταση ρεύματος και εξ αυτού έχουμε, ανάλογα, αυξημένη διάμετρο του εναποτιθέμενου υλικού.

Με τη μέθοδο TIG είναι δυνατόν η συγκόλληση να εκτελείται σε εξαναγκασμένες θέσεις, όπως τοίχου και ουρανού. Οι παράμετροι συγκόλλησης με τη μέθοδο TIG επιλέγονται ανάλογα με το πάχος των συγκολλούμενων ελασμάτων (**πίνακας 6**).

5. Συγκόλληση με τη μέθοδο MIG

Το τόξο του συνεχούς ρεύματος, αναμμένο στην ατμόσφαιρα του αργού, χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερη ικανότητα διάσπασης της μεμβράνης των οξειδίων του αλουμινίου. Το φαινόμενο αυτό αποτέλεσε την ιδεώδη υπόθεση για τη συγκόλληση με τη μέθοδο MIG. Στη θέση του μη τηκόμενου ηλεκτροδίου βολφραμίου χρησιμοποιείται το τηκόμενο ηλεκτρόδιο, τροφοδοτούμενο μηχανικά κατά συνεχή τρόπο στον καυστήρα συγκόλλησης. Το τόξο ανάβεται ανάμεσα στο συγκολλούμενο υλικό και στο τηκόμενο ηλεκτρόδιο, που συγχρόνως αποτελεί και το εναποτιθέμενο υλικό.



Σχήμα 8. Τρόποι προετοιμασίας των άκρων για τη συγκόλληση ελασμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο MIG.

Η προστασία του λουτρού συγκόλλησης από την οξειδωτική δράση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι η ροή του αργού, διερχόμενο από το ακροφύσιο γύρω στο ηλεκτρόδιο. Ως συνέπεια της χρησιμοποίησης του συνεχούς ρεύματος με θετική πολικότητα, έχουμε τη διαδικασία του εντατικού καθοδικού καθαρισμού, η οποία εγγυάται την ιδανική διάσπαση της μεμβράνης των οξειδίων Al_2O_3 .

Η μέθοδος MIG μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ημιαυτόματη και αυτόματη παραλλαγή, με υψηλή απόδοση. Η πυκνότητα του ρεύματος πρέπει να διατηρείται στα όρια 100 - 200 A ανά 1 mm της διαμέτρου του σύρματος ηλεκτροδίου.

Χάρη της μεγάλης ταχύτητας συγκόλλησης (αρκετές φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι με τη μέθοδο TIG), είναι σήμερα μια από τις πιο οικονομικές μεθόδους συγκόλλησης.

Πρακτικά, με τη μέθοδο MIG, συγκολλούνται ελάσματα με πάχος μέχρι 4 mm και άνω. Η συγκόλληση λεπτών ελασμάτων απαιτεί τη χρησιμοποίηση συρμάτων με διαμέτρους κάτω από 1,6 mm.

Η προετοιμασία των άκρων των ελασμάτων, ανάλογα με το πάχος, διενεργείται

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Παράμετροι μετωπικής συγκόλλησης ελασμάτων αλουμινίου, με τη μέθοδο MIG.

Πάχος ελάσματος mm	Σύρμα ηλεκτροδίου Φ, Mm	Ρεύμα συγκόλλησης I, A	Τάση τόξου υ, V	Ταχύτητα τροφοδοσίας σύρματος m/min	Κατανάλωση αργού, l/min	Ταχύτητα συγκόλλησης V συγ. mm/min
2	0,8	90- 130	22-24	7,5	12	700
3	1,0	100 - 150	22-24	6,0	14	650
4	1.2	150 - 200	24-25	5.0	14	600
5	1.6	180 - 240	24-25	4,6	15	600
6	1,6	220 - 270	24-25	5,0	15	600
8	2,0	250-300	25-26	4,8	18	550
10	2,0	280 - 320	26-28	5,0	18	500
12	2,4	300 - 380	26-28	3,8	18	450
20	2,4	350 - 400	26-28	4,0	20	300

σύμφωνα με τους τρόπους που δίνονται στο **σχήμα 8**.

Το πιστόλι οδηγείται από τα αριστερά προς τα δεξιά, διατηρώντας το σχεδόν κάθετα προς την επιφάνεια των συγκολλούμενων ελασμάτων. Η απόσταση του πιστολιού από το υλικό δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 20 mm.

Τα ελάσματα άνω των 6 mm συγκολλούνται με ένα στρώμα, ενώ πάνω απ' αυτό το πάχος με πολλαπλά στρώματα.

Οι παράμετροι συγκόλλησης με τη μέθοδο MIG δίνονται στον **πίνακα 7**.

Δ. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Στη σημερινή τεχνική υπάρχει η ανάγκη συγκόλλησης ακόμη και άλλων μετάλλων και κραμάτων εκτός απ' αυτά που αναφέρθηκαν. Σ' αυτά ανήκουν: μαγνήσιο, νικέλιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος, τιτάνιο, μολυβδαίνιο, ζιρκόνιο, ταντάλιο και βολφράμιο.

Χάρη του μεγάλου αριθμού διαφορετικών μεθόδων συγκόλλησης με τήξη και πίεση, η σύνδεση αυτών των μετάλλων και των κραμάτων τους, όπως επίσης και διάφορων μετάλλων και κραμάτων μεταξύ τους, είναι δυνατή σχεδόν για όλες τις περιπτώσεις που προκύπτουν από τις ανάγκες της σύγχρονης τεχνικής. Εκτός της συγκόλλησης σύνδεσης τώρα, η τεχνική συγκόλλησης πληρεί επίσης μια σειρά απαιτήσεων που προκύπτουν από τις ανάγκες αναδόμησης όπως και επικάλυψης και εξευγενισμού, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθούν σε υψηλό βαθμό οι διεργασίες αυτές σε επιφάνειες ακριβών υλικών, με σχετικά χαμηλό κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΑΝΑΓΟΜΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΣ

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση των τιμών των παραμέτρων λειτουργίας των στοιχείων μηχανών και συσκευών (μεγάλες φορτίσεις και ταχύτητες) προξενεί την επιταχυνόμενη φθορά τους. Ο οικονομικός τρόπος αποκατάστασης των ιδιοτήτων χρήσης είναι η αναγέννηση με την εναπόθεση επιστρώσεων με μεθόδους συγκολλήσεων (αναγεννητική αναγόμωση). Ανεγείρονται επίσης και έτοιμα προϊόντα με την εναπόθεση επιστρώσεων με αντίστοιχες ιδιότητες χρήσης (παραγωγική αναγόμωση). Εξαιτίας των διάφορων μορφών φθοράς των στοιχείων μηχανών και μηχανημάτων αλλά και λόγω της χρησιμοποίησης πολλών και διαφορετικών πρόσθετων υλικών και μεθόδων αναγόμωσης, πολλές χώρες δραστηριοποιήθηκαν προς την κατεύθυνση συστηματοποίησης των προβλημάτων που αφορούν την αναγόμωση. Αυτό συνδέεται με τη λεπτομερή εξακρίβωση των μηχανισμών φθοράς εξαιτίας της εκτριβής, της χημικής και μηχανικής διάβρωσης, της σπηλαιώσης, της επίδρασης της θερμοκρασίας, των δυναμικών φορτίσεων καθώς και των καθορισμένων ιδιοτήτων του πρόσθετου υλικού και της περιοχής εφαρμογής της τεχνικής των συγκολλήσεων.

Οι μέθοδοι συγκολλήσεως με εναπόθεση επιστρώσεων, σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους εξευγενισμού των επιφανειών των στοιχείων μηχανών, όπως η βαφή, η ενανθράκωση, η εναζώτωση, η ενδοκιάνωση κ.ά., μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη επιστρώσεων με ελεύθερο πάχος και ελεύθερη χημική σύσταση σε αντικείμενα ελεύθερου σχήματος και επιφάνειας.

Η εφαρμογή της αναγεννητικής αναγόμωσης στα ελαττωματικά εξαρτήματα αποτελεί πηγή μεγάλης εξοικονόμησης υλικών και το μοχλό αύξησης της παραγωγής, επειδή, εξαιτίας της μικρής συχνότητας αλλαγής των ελαττωματικών εξαρτημάτων, που προέρχεται από τη φθορά, περιορίζεται ο χρόνος ακινησίας των μηχανών. Με τη χρησιμοποίηση μηχανοποιημένων θέσεων για την αναγόμωση, αυξάνεται η απόδοση της διαδικασίας και μειώνεται η κατανάλωση πρόσθετων υλικών.

Για να φανεί πόσο μεγάλη πηγή εξοικονόμησης είναι η αναγέννηση των εξαρτημάτων, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι π.χ. στην Πολωνία το κόστος της αναγεννητικής αναγόμωσης των ανταλλακτικών εξαρτημάτων που δεν υπερβαίνει το 20%, της αξίας των νέων παραγομένων εξαρτημάτων εκτιμάται περ. στις 600 χιλιάδες τόνους ετησίως. Επίσης, στην Αυστραλία, χάρη της αναγεννητικής αναγόμωσης των εξαρτημάτων με μεθόδους συγκολλήσεως, επιτεύχθηκε εξοικονόμηση, που υπολογίζεται περ. στα 20 εκ. δολάρια ετησίως. Στην παγκόσμια βιομηχανία η φθορά των στοιχείων μηχανών ανέρχεται στο ύψος των 1000 δισ. φράγκων Ελβετίας, τα οποία είναι δυνατόν να εξοικονομηθούν κάνοντας χρήση της αναγεννητικής αναγόμωσης με μεθόδους συγκολλήσεως.

Ανεξάρτητα από την εφαρμογή της αναγεννητικής αναγόμωσης στα φθαρμένα εξαρτήματα, αυτή η τεχνική εφαρμόζεται όλο και περισσότερο για την παραγωγή νέων εξαρτημάτων μηχανών και συσκευών.

Έτσι, κατ' αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να παραχθούν δοχεία μεγάλου πάχους και υψηλής πίεσης επικαλυμμένα με οξύμαχο χάλυβα, βαλβίδες κινητήρων εσωτερικής καύσης, εξαμιστήρες κινητήρων αεροθούμενων, έλαστρα με κεραμική επικάλυψη κ.ά..

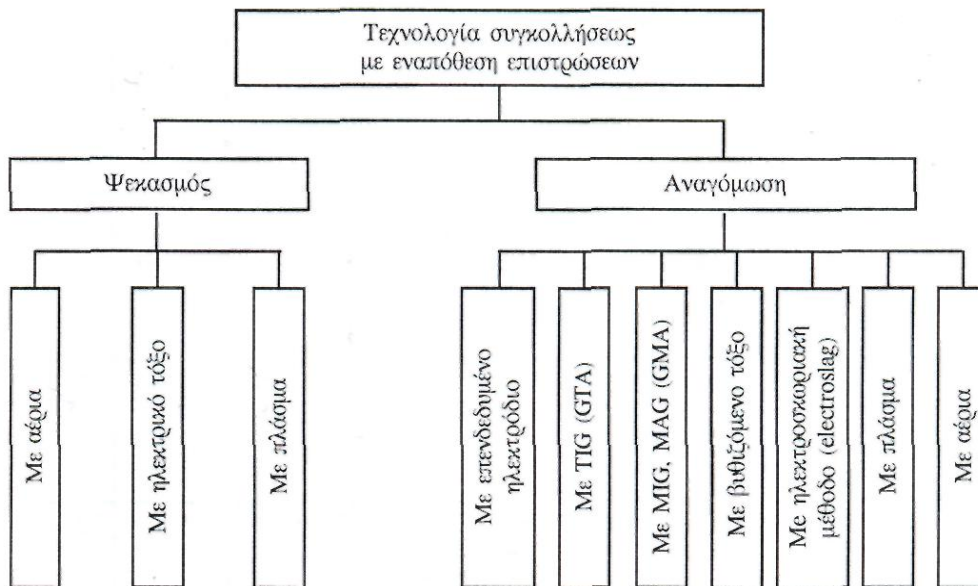
Οι μέθοδοι αναγεννητικής αναγόμεσης εφαρμόζονται επίσης για την επισκευή ελαττωματικών χυτών χαλύβδινων, χυτοσιδήρων, αλουμινίου και κραμάτων χαλκού έτσι χάρη αυτού μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των ελαττωματικών προϊόντων.

B. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Η εξέλιξη των συγκολλήσεων, αναγκαία στη σύγχρονη βιομηχανία, μεταξύ άλλων συνίσταται στην επεξεργασία διάφορων τεχνολογιών με εναπόθεση επιστρώσεων μεταλλικών, κεραμικών υλικών ή συνθετικών υλών στις επιφάνειες διάφορων κατασκευών εκτελουμένων από μέταλλα, κεραμικά υλικά, συνθετικές ύλες, ακόμη δε και από ύαλο.

Η εναπόθεση επιστρώσεων πετυχαίνεται με ψεκασμό ή αναγόμεση (**σχήμα1, πίνακας 1**).

Ο ψεκασμός χαρακτηρίζεται από την έλλειψη διείσδυσης στο βασικό υλικό, ενώ η ψεκασμένη επίστρωση συνδέεται με το βασικό υλικό με πρόσφυση ή μηχανικά. Η πηγή θερμότητας τήξης του πρόσθετου υλικού με μορφή σύρματος, ράβδου ή σκόνης είναι η φλόγα αερίων οξυγόνου - ακετυλίνης, το ηλεκτρικό τόξο ή το τόξο πλάσματος. Ανάλογα με την εφαρμοσμένη τεχνολογία ψεκασμού, οι εναποτιθέμενες επιστρώσεις έχουν πάχη από 0,01 - 0,5 mm μ' ένα πέρασμα και με απόδοση που φτάνει μέχρι 50 kg/h.



Σχήμα . 1. Ταξινόμηση βασικών τεχνολογιών συγκολλήσεων με εναπόθεση επιστρώσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Βασικά οικονομικοτεχνολογικά δεδομένα της τεχνολογίας συγκολλήσεων με εναπόθεση επιστρώσεων.

Ονομασία της διαδικασίας	Τρόπος εναπόθεσης επιστρώσεων	Μορφή πρόσθετου υλικού	Βασικά πρόσθετα υλικά	Περιοχή παχών επιστρώσεων* πιπί	Συμμετοχή βασικού μετάλλου στην επίστρωση %	Απόδοση της διαδικασίας.
Ψεκασμός με αέρια	X, H, A	σκόνη, σύρμα, ράβδος	μέταλλα: Al, Zn, Cu, Pb' κράματα με βάση του σιδήρου, του νικελίου, του χρωμίου, του κοβαλτίου, του χαλκού" οξειδία, καρβίδια κ.ά..	0,02 - 0.5	0	05-5
Ψεκασμός με ηλεκτρικό τόξο	X, A	σύρμα	μέταλλα: Al, Cu, Zn, Pb- κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χρωμίου, κοβαλτίου, χαλκού.	0.01 - 05	0	1-30
Ψεκασμός με πλάσμα	X, H, A	σκόνη	μέταλλα: Al, Cu, W, Ti, Cr, Ni- κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χαλκού, χρωμίου, κοβαλτίου, καρβιδίων κ.ά..	0.01 - 05	0	05-12
Αναγώμωση με αέρια	X, H, A	σκόνη, σύρμα, ράβδος	κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χρωμίου, κοβαλτίου, χαλκού, καρβιδίων κ.ά..	0.05 - 35	2-10	05-5
Αναγώμωση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	X	επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χρωμίου, κοβαλτίου, χαλκού.	1-5	10-40	1-5
Αναγώμωση Με TIG	X, H, A	σκόνη, σύρμα, ράβδος	ανθρακοχάλυβας και κραματωμένοι χάλυβες: κράματα με βάση του νικελίου, χρωμίου, κοβαλτίου.	15-5	5-10	1-8
Αναγώμωση Με MIG	H, A	σύρμα	μέταλλα: Al, Cu κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χρωμίου, κοβαλτίου, χαλκού, αλουμινίου.	05-6	5-40	2-30
Αναγώμωση με βυθιζόμενο τόξο	H, A	σύρμα. ταινία. συλλίπασμα	κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χρωμίου και κοβαλτίου.	2-8	10-40	2-40
Αναγώμωση ηλεκτροσκοπιακή	A	σύρμα, ταινία. πλάκα. συλλίπασμα	ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα και κραματωμένοι χάλυβες.	12- 100	10-60	20-200
Αναγώμωση	H, A	σκόνη, σύρμα	κράματα με βάση του σιδήρου, νικελίου, χρωμίου, κοβαλτίου, χαλκού· οξειδία, καρβίδια κ.ά..	0,2 - 15	5-15	05-40

Συμβολισμοί: X - χειρωνακτική, H - ημιαυτόματη, A - αυτόματη * το πάχος της εναποτιθέμενης επίστρωσης σ' ένα πέρασμα.

Το χαρακτηριστικό των εναποτιθέμενων επιστρώσεων με ψεκασμό είναι το πορώδες (μέχρι 10%) και η μερική οξειδωση.

Η αναγόμωση χαρακτηρίζεται από την ακριβείας μεταλλουργική σύντηξη της εναποτιθέμενης επίστρωσης, με το βασικό υλικό, η συμμετοχή του οποίου στο μέταλλο της σχηματισμένης επίστρωσης ανέρχεται μέχρι 60%.

Η πηγή θερμότητας τήξης του πρόσθετου υλικού με μορφή σύρματος, ράβδου, ταινίας ή σκόνης είναι φλόγα αερίου, ηλεκτρικό τόξο ή τόξο πλάσματος. Είναι δυνατόν να γίνει εναπόθεση στρωμάτων πάχους από 0,05 mm και μέχρι άνω των 100 mm με ένα πέρασμα.

Οι εναποτιθέμενες επιστρώσεις έχουν μεγάλη μεταλλουργική και δομική ομοιογένεια, εκτός των περιπτώσεων αναγόμωσης, όπου επιβάλλεται η σκλήρυνση με κράματα υψηλής σκληρότητας, με την προϋπόθεση ότι επιτρέπεται σ' αυτά η εμφάνιση ρηγματώσεων.

Ως επακόλουθο έχουμε κίνδυνο εμφάνισης ρηγματώσεων στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά, δημιουργία εύθραυστων φάσεων στην περιοχή σύντηξης του μετάλλου βάσης με την εναποτιθέμενη επίστρωση και σημαντικές παραμορφώσεις και παραμένουσες τάσεις συγκόλλησης.

Πριν την έναρξη εναπόθεσης επιστρώσεων με τις απαιτούμενες λειτουργικές ιδιότητες, πρέπει να είναι γνωστό με ακρίβεια το είδος του υλικού βάσης, η χημική του σύσταση και η δομική του κατάσταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά την επισκευή και αναγεννητική αναγόμωση, επειδή στο υλικό μπορούν να εμφανισθούν δομικές μεταβολές δύσκολα καθοριζόμενες από το αποτέλεσμα των φορτίσεων κατά τη λειτουργία.

Απαραίτητη είναι η προετοιμασία των επιφανειών με ακρίβεια, η αφαίρεση οποιωνδήποτε ελαττωμάτων και ιδιαίτερα ρηγμάτων καθώς και της ενδεχόμενης, με σκοπό την αποφυγή των ψαθυρών περικρυσταλλικών φάσεων στην περιοχή σύντηξης της εναποτιθέμενης επίστρωσης με το μέταλλο βάσης καθώς και τη μείωση των θερμικών τάσεων στο κύριο στρώμα.

Εάν η εναπόθεση επιστρώσεων είναι ενιαίο μέρος της παραγωγής προϊόντων, τότε η χημική σύσταση του υλικού βάσης προσαρμόζεται στην επίστρωση του υλικού και στις βέλτιστες δεδομένες συνθήκες της τεχνολογίας εναπόθεσης. Υπάρχει επίσης δυνατότητα για επόμενο βήμα σχεδιασμού προϊόντων έτσι, ώστε να είναι δυνατή η πολλαπλή αναγεννητική αναγόμωση μετά από καθορισμένο βαθμό φθοράς. Αυτή η λύση προσφέρεται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις ελαστρών, τροχών τραίνων, σφύρων θραύσης κ.ά..

Αξιοσημείωτο πλεονέκτημα της προγραμματισμένης αναγεννητικής αναγόμωσης είναι ότι η διάρκεια ζωής των προϊόντων μπορεί να είναι πολύ αυξημένη, ακόμη και πάνω από 20 φορές, με κόστος πολύ λίγο υψηλότερο από το κόστος του πρότυπου προϊόντος.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής της διαδικασίας εναπόθεσης επιστρώσεων για αναγεννητική αναγόμωση ή για την ανέγερση αντικειμένων είναι:

1. Το πλήθος και η μάζα αναγεννητικής αναγόμωσης ή η ανέγερση αντικειμένων.
2. Το πλήθος του υλικού του αντικειμένου, η κατάσταση του και η συγκολλητότητα του.

3. Η θέση εναπόθεσης της στρώσης.
4. Οι απαιτούμενες ιδιότητες της επίστρωσης, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, δηλ. τη φθορά, τη δυναμική φόρτιση, την τριβή, τη διάβρωση, τους κραδασμούς, τη θερμική φόρτιση ή τις σύνθετες συνθήκες λειτουργίας.
5. Η απαιτούμενη ποιότητα της επίστρωσης, το πάχος της, η μορφή της, όπως και το μέγεθος και η κατάσταση της επιφάνειας.
6. Ο τύπος, η μορφή και το κόστος των πρόσθετων υλικών.
7. Η απαιτούμενη απόδοση απόθεσης της επίστρωσης.
8. Το είδος των παρεχόμενων συσκευών ή το κόστος νέων συσκευών.

Γ. ΨΕΚΑΣΜΟΣ

1. Ψεκασμός με αέρια

α) Γενικά

Ο ψεκασμός με αέρια είναι διαδικασία εναπόθεσης επιστρώσεων από μέταλλα, ενώσεων μη μεταλλικών, κεραμικών υλικών ή συνθετικών υλών σε ρευστή κατάσταση στο μεταλλικό **υπόβαθρο** ή **υπόστρωμα** ή στο μη μεταλλικό, με σκοπό την επίτευξη στο υπόβαθρο προστατευτικής επίστρωσης ή διαμόρφωσης αντικειμένων με σύνθετη μορφή. Η πηγή θερμότητας είναι η φλόγα αερίων που επιτυγχάνεται με την καύση του οξυγόνου με καύσιμο αέριο, το οποίο μπορεί να είναι ασετυλίνη, προπάνιο, βουτάνιο, υδρογόνο, φωταέριο κ.ά..

Το σύνηθες χρησιμοποιούμενο αέριο είναι η ασετυλίνη με την υψηλότερη θερμοκρασία φλόγας, της τάξεως των 3100 °C.

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ψεκασμένων μετάλλων και κραμάτων είναι δυνατόν να διαφέρουν σημαντικά από το αρχικό υλικό. Η ψεκασμένη μεταλλική ή κεραμική επίστρωση έχει δομή ανομοιογενή, πορώδη και περιέχει κάποια ποσότητα οξειδίων. Το πορώδες της επίστρωσης αποκτά τιμή μέχρι 12%, ανάλογα με το είδος του ψεκασμένου υλικού, τη χρησιμοποιούμενη τεχνική και τις παραμέτρους ψεκασμού. Τα μεταλλικά στρώματα, τα οποία πρέπει να είναι ομοιογενή και χωρίς πορώδες, μετά τον ψεκασμό ξανατήκονται με πρόσθετη διαδικασία.

Η αντοχή στον εφελκυσμό και η πλαστικότητα των επιστρώσεων είναι σχετικά χαμηλή. Τα κεραμικά υλικά δε μεταβάλλουν τις ιδιότητες τους μετά τον ψεκασμό, αλλά μπορεί να επέλθει μεταβολή στην κρυσταλλική δομή τους.

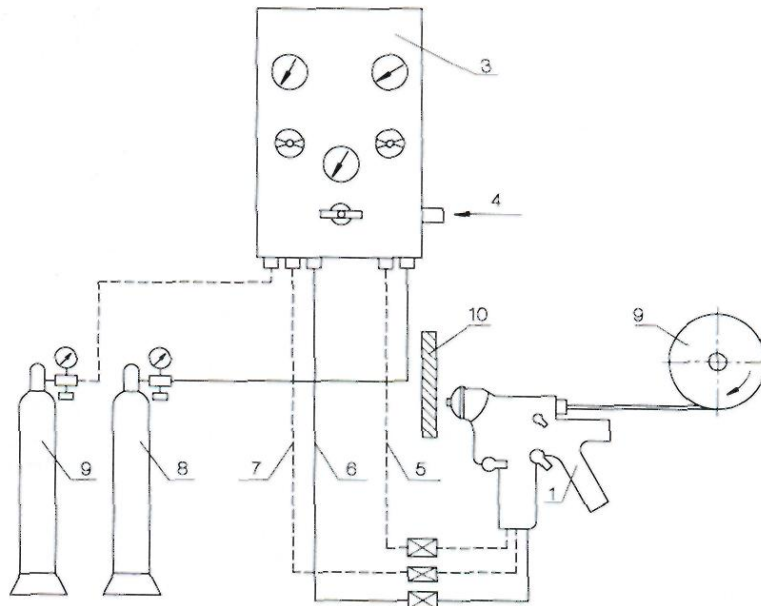
Ένας από τους βασικότερους παράγοντες και καθοριστικός για τη διενέργεια του ψεκασμού αερίου είναι η προετοιμασία της επιφάνειας.

Εφαρμόζονται πολλές και διάφορες μέθοδοι προετοιμασίας των επιφανειών των αντικειμένων για τον ψεκασμό, ανάλογα με το είδος του υπόβαθρου του υλικού, την τεχνική ψεκασμού, το σχήμα και το μέγεθος του αντικειμένου και τις διατεθειμένες συσκευές (μηχανές).

Εάν ο χρόνος διαλείμματος μεταξύ προετοιμασίας και ψεκασμού υπερβαίνει τις 1-2 h, τότε οι επιφάνειες των αντικειμένων πρέπει να προστατευθούν από την υγρασία και τις ακαθαρσίες.

β) Ψεκασμός με αέρια με χρήση σύρματος

Ο ψεκασμός με αέρια, με χρήση σύρματος (ονομάζεται επίσης και επιμετάλλωση με ψεκασμό), συνίσταται στην τήξη και κονιορτοποίηση στη φλόγα του σύρματος, τροφοδοτούμενου κατά συνεχή τρόπο. Ενώ το κονιορτοποιημένο μέταλλο εκτοξεύεται με ροή αέρος στο προετοιμασμένο υπόβαθρο του αντικειμένου (σχήμα 2).

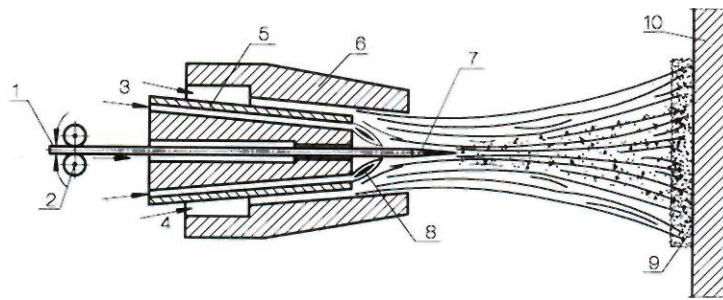


Σχήμα . 2. Σχήμα -ψεκασμού με αέρια, με χρήση σύρματος: 1 - καυστήρας, 2 - τύμπανο με το σύρμα, 3 πίνακας ελέγχου, 4 - εισαγωγή πεπιεσμένου αέρα, 5 - αγαν/ός αέρος, 6 - αγωγός ακετυλίνης, 7 -αγωγός οξυγόνου, 8 - φιάλη ακετυλίνης, 9 - φιάλη οξυγόνου, 10 - αντικείμενο προς ψεκασμό[1].

Η λειτουργία των πιστολιών ψεκασμού με αέρια επιτυγχάνεται χειρωνακτικά ή κινούμενα σε σουπόρτ (support) και αυτά έχουν βάρος συνήθως 1,5 - 3 kg. Τα χρησιμοποιούμενα σύρματα έχουν διάμετρο μέχρι 4,8 mm. Για μεγαλύτερη απόδοση ψεκασμού, για αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων, εφαρμόζεται ψεκασμός ημιαυτόματος με σύρματα διαμέτρου 4,8 mm.

Τα σύγχρονα πιστόλια είναι προσαρμοσμένα για κάθε καύσιμο αέριο. Μια τυπική κατασκευή πιστολιού (σχήμα 3) αποτελείται από: α) το σύστημα τροφοδοσίας του σύρματος - πνευματικό ή ηλεκτρικό, β) την κεφαλή αερίου, που ελέγχει τη ροή του καύσιμου αερίου, του οξυγόνου και του πεπιεσμένου αέρα (με πίεση 0,4-1, MPa).

Ο ψεκασμός με αέριο με χρήση σύρματος μπορεί να εφαρμοσθεί για την επίστρωση αντικειμένων με ελεύθερη μορφή και μέθοδο, εκτελούμενων από μέταλλα, κράματα, κεραμικά υλικά, συνθετικές ύλες, ύαλο και ξύλο. Η διαδικασία ψεκασμού δεν ασκεί αρνητική επίδραση στις ιδιότητες του υπόβαθρου του αντικειμένου, στο οποίο η θερμοκρασία κατά τον ψεκασμό δεν υπερβαίνει τους 159 - 200 °C.



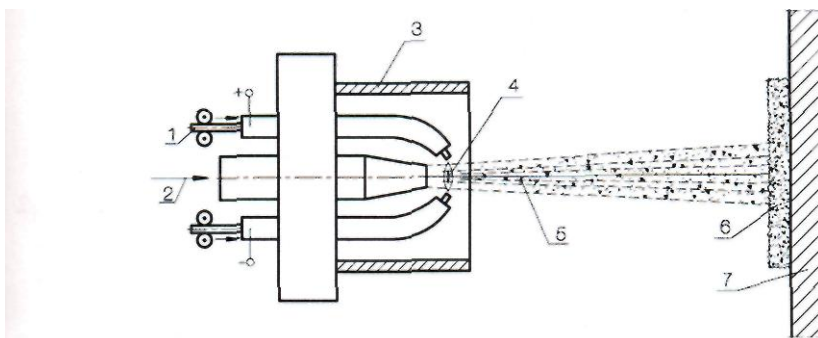
Σχήμα 3. Τυπικός καυστήρας για ψεκασμό με αέρια, με χρήση σύρματος: 1 - σύρμα, 2 - ράουλα προώθησης, 3 - καύσιμα αέρια, 4 - πεπιεσμένος αέρας, 5 - ακροφύσιο αερίου, 6 - ακροφύσιο αέρος, 7 - ρευστό άκρο του σύρματος, 8 - φλόγα αερίου, 9 - ψεκασμένο μέταλλο, 10 - υπόβαθρο.

Προβλέπεται, όμως, αρχική προθέρμανση του υπόβαθρου του μετάλλου μέχρι τη θερμοκρασία των $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, με σκοπό την αποφυγή της υγρασίας, η οποία μπορεί να συσ-σωρευθεί στην επιφάνεια του αντικειμένου και να ελαττώσει τις διαφορές της θερμικής διαστολής του εναποτιθέμενου στρώματος επί της επιφάνειας του αντικειμένου. Η απόδοση ψεκασμού των κραμάτων ανέρχεται σε $7,5 - 10\text{ kg/h}$, ο ψευδάργυρος (Zn) - με απόδοση 25 kg/h , ενώ ο μόλυβδος (Pb) και μέχρι 50 kg/h .

Ο ψεκασμός των επίπεδων επιφανειών διενεργείται συνήθως χειρωνακτικά, ο δε καυστήρας οδηγείται με κίνηση προωθητική - επιστροφής τρεις έως έξι φορές έτσι, ώστε το πρώτο στρώμα να έχει πάχος από $0,08 - 0,15\text{ mm}$. ενώ τα επόμενα περ. $0,25\text{ mm}$. Μετά την εναπόθεση του πρώτου στρώματος, το αντικείμενο ή το πιστόλι πρέπει να περιστραφεί κατά γωνία 90° και να γίνει η εναπόθεση του επόμενου στρώματος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μετά από κάθε διαδοχικό στρώμα μέχρι την απόκτηση του απαιτούμενου πάχους.

2. Ψεκασμός με ηλεκτρικό τόξο

Κατά τον ψεκασμό με ηλεκτρικό τόξο, το μέταλλο των δύο άκρων των συρμάτων μεταξύ των οποίων είναι αναμμένο το τόξο τήκεται και με ροή πεπιεσμένου αέρα προσπίπτει στο υπόβαθρο (**σχήμα 4**). Η καθοδήγηση διενεργείται χειρωνακτικά ή αυτόματα.



Σχ. 4. Σχήμα ψεκασμού με ηλεκτρικό τόξο: 1 - σύρμα ηλεκτροδίου, 2 - πεπιεσμένος αέρας, 3 - κάλυμμα, 4 - ηλεκτρικό τόξο, 5 - σταγόνες ρευστού μετάλλου, 6 - ψεκασμένο μέταλλο, 7 - υπόβαθρο.

Παράμετροι - τεχνικά δεδομένα:

— Για τον ψεκασμό χρησιμοποιούνται σύρματα από μέταλλα και κράματα με διάμετρο από 1,6 + 3,2 mm, ανάλογα με τη θερμοκρασία τήξης, του μετάλλου του σύρματος και τον τύπο της συσκευής.

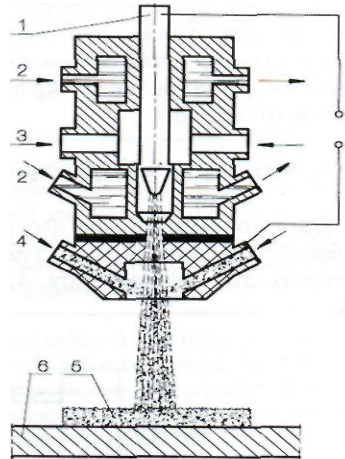
— Οι βασικές παράμετροι ψεκασμού με ηλεκτρικό τόξο είναι: η ένταση και η τάση ρεύματος, η ταχύτητα τροφοδοσίας σύρματος, η πίεση διοχέτευσης του αέρα, η διάμετρος του σύρματος, η απόσταση του ακροφυσίου του πιστολιού από την επιφάνεια του υπόβαθρου και η ταχύτητα προώθησης του πιστολιού.

— Το πάχος επιτευχθέντων στρωμάτων με ένα πέρασμα κυμαίνεται στα όρια 0,01 - 0,5 mm, η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου ισούται με 0%, ενώ η απόδοση της διαδικασίας ισούται από 1 - 30 kg/h.

3. Ψεκασμός με πλάσμα

Ο ψεκασμός με πλάσμα έγκειται στην τήξη της σκόνης εκτελεσμένης από μέταλλα και οξείδια στη ροή του πλάσματος και στην εναπόθεση των λιωμένων σωματιδίων με τη ροή του πλασμικού αερίου στο προετοιμασμένο υπόβαθρο.

Το τόξο του πλάσματος με θερμοκρασία 6000 - 20000 °C είναι αναμμένο μεταξύ του μη τηκόμενου ηλεκτροδίου βολφραμίου - κάθοδος - και του εμπρόσθιου χάλκινου ηλεκτροδίου - άνοδος -, που συγχρόνως αποτελεί και το ακροφύσιο εξόδου της ροής του πλάσματος και των ψεκασμένων σωματιδίων. Ο πλασμικός καυστήρας ψύχεται εντατικά με νερό, για την εξασφάλιση του ηλεκτροδίου από την τήξη του (**σχήμα 5**).



Παράμετροι - τεχνικά δεδομένα:

— Το πλάσμα εξέρχεται με θερμοκρασία 12000 - 15000 °C, με ταχύτητα 100 - 300 m/s.

— Τα χρησιμοποιούμενα πλασμικά αέρια είναι το AR, He και N₂ ως βοηθητικό χρησιμοποιείται το H₂. Το οξυγόνο πρέπει να είναι O₂ < 0,3%.

— Οι βασικές πλασμικές παράμετροι είναι:

- 1) η απόδοση τροφοδοσίας της σκόνης (μέχρι 12 kg/h)
- 2) το είδος και η πίεση των πλασμικών αερίων
- 3) η απόσταση του καυστήρα από το αντικείμενο (50 - 150 mm)
- 4) η ταχύτητα προώθησης του καυστήρα
- 5) η κοκκομετρία της σκόνης (0,044 - 0,075 mm)
- 6) τα επιτευχθέντα πάχη των στρωμάτων με ένα πέρασμα κυμαίνονται από 0,01 - 0,3 mm

— τα περισσότερα μέταλλα και κράματα που επικαλύπτονται με ψεκασμό προθερμαίνονται στη θερμοκρασία 100 - 150 °C, με σκοπό την αποφυγή της συμπύκνωσης

Σχ. 5. Καυστήρας για πλασμικό ψεκασμό:
1 - ηλεκτρόδιο βολφραμίου, 2 - νερό, 3 - πλασμικό αέριο, 4 - προσαγωγή

των ατμών στην επιφάνεια και τη μείωση των τάσεων στο επίστρωμα μετά την απόψυξη.

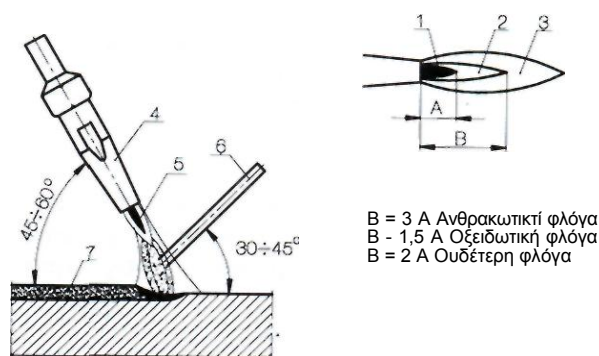
Χρησιμοποίηση. Ο πλαστικός ψεκάσμος εφαρμόζεται ευρέως στη βιομηχανία για την παραγωγή μηχανών και αεροπλάνων, στη διαστημική, ηλεκτρονική, χημική και ενεργειακή πυρηνική.

Είναι δυνατόν να επιτυγχάνονται επιστρώσεις με ψεκάσμο από μέταλλα, κεραμικά και υλικά με πάχος από εκατοστά μέχρι 12 - 15 mm σε διάφορα ανομοιογενή υπόβαθρα (υποστρώματα). Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η θερμική ανθεκτικότητα, η διάβρωση, η ανθεκτικότητα στην εκτριβή, η δυναμική φόρτιση καθώς η ηλεκτρική μόνωση και άλλων παρόμοιων βιομηχανικών προϊόντων. Σε πολλές περιπτώσεις επιβάλλεται ο συνδυασμός αυτών των ιδιοτήτων, π.χ. τα ακροφύσια των αερωθούμενων κινητήρων πρέπει να διασφαλίζονται από την υψηλή θερμοκρασία της φλόγας όπως και από τη διαβρωτική επίδραση των αερίων εξαγωγής και των στερεών σωματιδίων.

Δ. ΑΝΑΓΟΜΩΣΗ

1. Αναγόμευση με φλόγα οξυγόνου - ασετυλίνης

Η αναγόμευση με αέρια είναι η εναπόθεση στην επιφάνεια του αντικειμένου στρώματος ρευστού μετάλλου λιωμένου με τη φλόγα αερίων (**σχήμα 6**).



Σχήμα 6. Αναγόμευση με φλόγα οξυγόνου - ασετυλίνης: 1 - πυρήνας, 2 - αναγωγική ζώνη, 3 - οξειδωτική ζώνη, 4 - καυστήρας αερίων, 5 - φλόγα αερίων, 6 - ράβδος, 7 - επίστρωση.

Το εναποτιθέμενο υλικό που χρησιμοποιείται είναι συμπαγές σύρμα ή σκόνη. Η αναγόμευση επιτυγχάνεται χειρωνακτικά, ημιαυτόματα ή αυτόματα. Το βασικό καύσιμο αέριο είναι το ακετυλένιο, με θερμοκρασία της φλόγας περ. 3100 °C.

Με την αναγόμευση αερίων μπορεί να επιτευχθεί εναπόθεση επιστρώσεων με λεία και πολύ υψηλή ποιότητα και ελάχιστη διείδυση στο υλικό του υπόβαθρου.

Το πάχος των εναποτιθέμενων επιστρώσεων με ένα πέρασμα κυμαίνεται στην επίστρωση από 0,05 -3.5 mm, ενώ η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου ανέρχεται σε 2 - 10%.

Η απόδοση αναγόμευσης εξαρτάται από το μέγεθος του καυστήρα και την ικανότητα του χειριστή και μπορεί να ισούται από 0,5-5 kg/h.

Παρά τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα της αναγόμευσης, που συνίστανται κυρίως στην ελάχιστη διείδυση του υλικού του υπόβαθρου, στην υψηλή ποιότητα της επίστρωσης, το χαμηλό κόστος των συσκευών και την οικονομικότητα της αναγόμευσης, ιδιαίτερα των λεπτών στρωμάτων με μικρή επιφάνεια, υπάρχουν και τα ακόλουθα ελαττώματα:

- η αναγκαιότητα της αρχικής προθέρμανσης και, συχνά, η θερμική κατεργασία μετά την αναγόμευση,
- ο κίνδυνος ανάπτυξης σημαντικών τάσεων συγκολλησεως και οι μη ωφέλιμες δομικές μεταβολές στα αναγομωμένα εξαρτήματα,
- η αναγκαιότητα της πολύ επιμελούς προετοιμασίας των επιφανειών των αντικειμένων για αναγόμευση,
- η χαμηλή απόδοση της διαδικασίας.

2. Αναγόμευση με ηλεκτρική ενέργεια

Η αναγόμευση με ηλεκτρική ενέργεια (θερμότητα) είναι διαδικασία στην οποία το πρόσθετο υλικό τήκεται στο ηλεκτρικό τόξο και εναποτίθεται στο τηκόμενο συγχρόνως υπόβαθρο, σχηματίζοντας με μεταλλουργική διεργασία τη μεταλλική επίστρωση.

Η θερμοκρασία του τόξου, ανάλογα με τη μορφή του και το βαθμό συγκέντρωσης, κυμαίνεται γύρω στους 5000 °C για το τόξο με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο και πάνω από 20000 °C για το πλασμικό τόξο.

Πρόσθετο υλικό κατά την ηλεκτρική αναγόμευση, πρακτικά, μπορεί να είναι κάθε μέταλλο και κράμα με μορφή επενδεδυμένου ηλεκτροδίου με πυρήνα συμπαγή ή σκόνης, με μορφή συμπαγούς σύρματος, σύρματος σκόνης, συμπαγούς ταινίας και ταινίας σκόνης. Η ηλεκτρική αναγόμευση εφαρμόζεται στις εργασίες επισκευών και αναγέννησης.

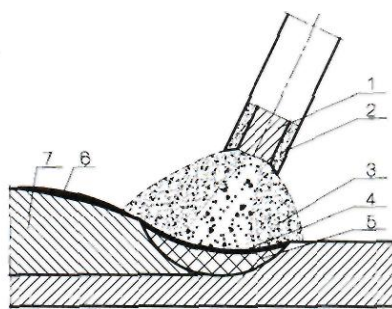
Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται συνήθως:

- αναγόμευση τόξου χειρωνακτικά με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο (M M A – Manual Metal Arc),
- αναγόμευση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων - TIG
- αναγόμευση τόξου με ηλεκτρόδιο τηκόμενο στην ατμόσφαιρα αερίων - MIG
- αναγόμευση με πλάσμα.

α) Αναγόμευση τόξου χειρωνακτικά με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο

Κατά την αναγόμευση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, η θερμότητα του ηλεκτρικού τόξου λιώνει το υλικό του ηλεκτροδίου όπως και το υλικό του υπόβαθρου, με αποτέλεσμα το σχηματισμό της μεταλλικής επίστρωσης με τις απαιτούμενες ιδιότητες (**σχήμα 7**).

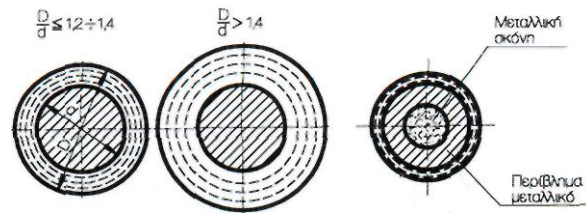
Η υψηλή θερμοκρασία του τόξου που φτάνει τους 6000 °C λιώνει το υπόβαθρο σε τέτοιο βαθμό, ώστε η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση να είναι σημαντική και να κυμαίνεται στα όρια από 10 - 40%, ανάλογα με την τεχνική και τις παραμέτρους αναγόμευσης. Πρακτικά, μόνο στο τρίτο στρώμα επιτυγχάνεται η απαιτούμενη χημική σύσταση της επίστρωσης, που καθορίζεται από την



Σχ. 7. Διαδικασία αναγόμευσης με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο: 1 - πυρήνας, 2 - επένδυση, 3 - προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, 4 - ρευστή σκουριά, 5 - λουτρό συγκόλλησης, 6 - ρευστή σκουριά, 7 - λουτρό συγκόλλησης.

ποιότητα του ηλεκτροδίου. Με ένα πέρασμα είναι δυνατή η εναπόθεση στρώματος με πάχος 1-5 mm. Η αναγόμευση επιτυγχάνεται με εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα με πολικότητα θετική ή αρνητική, ενώ οι πηγές ρεύματος είναι απλές στο χειρισμό και φθηνές. Οι μετασχηματιστές ή ανορθωτές συγκόλλησης, με φθίνουσα ή κατακόρυφη στατική χαρακτηριστική.

Τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια για την αναγόμευση εκτελούνται συνήθως με μέτρια ή παχιά επένδυση ρουτιλίου, βασική, ρουτιλίου - βασική, με πυρήνα συμπαγή ή σκόνης (**σχήμα 8**). Τα ηλεκτρόδια με συμπαγή πυρήνα έχουν διάμετρο 2,5- 6 mm, ενώ τα ηλεκτρόδια πυρήνας σκόνης 4 - 11 mm (**πίνακας 2**).



Σχήμα 8 Τύποι επενόεδνμένων ηλεκτροδίων για την αναγόμευση τόξου.

Τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια με πυρήνα σκόνης επιτρέπουν τη ρύθμιση της χημικής σύστασης της εναποτιθέμενης επίστρωσης και, επιπροσθέτως, χάρη της αυξημένης ηλεκτρικής αντίστασης του πυρήνα, είναι δυνατή πάνω από 100% η αύξηση της αναγόμευσης μέχρι 4 - 5 kg/h και η σημαντική μείωση του χρόνου τήξης. Εκτεταμένη είναι επίσης, η επιτρεπόμενη περιοχή της έντασης του ρεύματος για δεδομένη διάμετρο του ηλεκτροδίου και μικρότερη η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση. Τα ηλεκτρόδια επικαλύπτονται με λεπτό στρώμα ανθεκτικού συλλιπάσματος στην υγρασία, εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα της έναυσης του τόξου.

Οι βασικές παράμετροι αναγόμευσης είναι:

- το είδος και η ένταση του ρεύματος αναγόμευσης
- η τάση του τόξου
- η ταχύτητα αναγόμευσης
- η διάμετρος του ηλεκτροδίου και ο τρόπος οδήγησης του ηλεκτροδίου.

Από το μέγεθος της έντασης του ρεύματος εξαρτάται ο ρυθμός τήξης του ηλεκτροδίου, η γραμμική ενέργεια του τόξου, η συμμετοχή του μητρικού υλικού στην επίστρωση και η δυνατότητα εναπόθεσης στρωμάτων σε εξαναγκασμένες θέσεις, όπως και ο δομικοί μετασχηματισμοί στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά (ΖΕΘ).

Η τάση του τόξου εξαρτάται από το μήκος και είναι καθοριστική για τη μεταφορά του μετάλλου στο τόξο, την ταχύτητα τήξης και την απόδοση της αναγόμευσης. Με την αύξηση της τάσης του τόξου αυξάνεται η γραμμική ενέργεια του τόξου και, απ' αυτό, η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην εναποτιθέμενη επίστρωση. Μειώνεται, όμως, η απόδοση και η ταχύτητα τήξης, εξαιτίας των αυξημένων πιτσιλισμάτων και του καγίματος των κραματικών στοιχείων στο επιμηκυνόμενο τόξο. Δυσχεραίνεται, επίσης, και η εναπόθεση επιστρώσεων σε θέσεις εξαναγκασμένες (δύσκολες).

Συμπέρασμα: με το μικρότερο μήκος του τόξου εξασφαλίζεται η βέλτιστη πορεία της διαδικασίας αναγόμευσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Τυπικά επενδεδυμένα ηλεκτρόδια αναγόμεσης, οι ιδιότητες και η χρησιμοποίησή τους.

Τύπος ηλεκτροδίου	Είδος ρεύματος	Σκληρότητα εναποτιθέμενης επίστρωσης	Διάμετρος ηλεκτροδίου mm	Ένταση ρεύματος A	Χρησιμοποίηση
Ρουτίλιου 0,7% C6,0% G2,0% Mo	Σ(+) E	650 HV	3,25 4,0 5,0 6,0	90- 115 120- 145 155- 185 190-260	Σιαγόνες θραυστήρων, δόντια, λεπίδες εκσκαφέων, αντλίες χαλικοκονιάματος.
Ρουτίλιου 20,5% Cr 2,0% Μη 8,5% Ni	Σ (+, -) E	220 HVμετά τη σφυρηλ. 500HV	3,25 4,0 5,0 6,0	70- 110 120- 145 140- 180 180-210	Επισκευή φθαρθέντων εξαρτημάτων με χάλυβα 13%Mη" διασταυρώσεις σιδηροδρομικών γραμμών, κρουστικές σφύρες, έλαστρα.
Βασικά 1,0%C 8,0% Cr 9,6% Mo	Σ(+) E	800 HV	3,25 4,0 5,0	80- 110 100- 130 140- 170	Έλαστρα, μαχαίρια αναμικτήρων μαζών φορμαρίσματος, ακμές κοπτικών εργαλείων, υνία γεωργικών μηχανημάτων.
Σκόνης" στη μεταλλική μήτρα περιέχει 70% καρβιδίων βολφραμίου	Σ(-) E	η μήτρα 600HVτα καρβίδια βολ- φραμίου 2000 HV	3.5 5,0 6,0	80- 110 100- 130 140- 170	Πτερύγια αναμικτήρων μαζών φορμαρίσματος, συνδετήρες σωλήνων γεώτρησης, υνία, μεταφορικοί κοχλίες.
Σκόνης 3,0% C, 23% Cr, 2% Μη η ωστενιτική μήτρα περιέχει καρβίδια χρωμίου	Σ(+)	η μήτρα 560 Hv τα καρβ. χρωμίου 1400 HV	5,0 6,3 8,0 11,0	60- 110 70- 150 120- 250 150- 350	Ακρα κάδων εκσκαφέων, δόντια εκσκαφέων, σιαγόνες σπαστήρων, έλαστρα, ακμές κοπής γεωργικών εργαλείων, κορμοί αντλιών.
Ειδική επένδυση 75% Cu 8% AI 13% Μη	Σ(+)	200 HB	2,5 3,25 4,0 5,0 6,0	50-75 60- 100 80- 130 110- 160 150- 170	Επισκευή ολισθέντων εξαρτημάτων, υποδοχές βαλβίδων, έδρανα, άξονες, ναυπηγικοί κοχλίες, αναμικτήρες.

Συμβολισμοί: Σ (+, -) συνεχές ρεύμα, με πολικότητα θετική ή αρνητική, E - εναλλασσόμενο ρεύμα.

Τεχνική αναγόμωσης. Η ταχύτητα με την οποία επιτυγχάνεται η αναγόμωση είναι σύνθετη παράμετρος και εξαρτάται κυρίως από τις παραμέτρους του ρεύματος και την εφαρμοζόμενη από το χειριστή τεχνική οδήγησης του άκρου του ηλεκτροδίου κατά μήκος της επιφάνειας επίστρωσης.

— Οι επιφάνειες νέων αντικειμένων δεν απαιτούν ιδιαίτερη προετοιμασία, εκτός από την αφαίρεση της σκουριάς, χρωμάτων κ.ά..

— Κατά την αναγέννηση των αντικειμένων που υπέστησαν βλάβη ή των εκ νέου αναγομένων αντικειμένων με στρώματα ενίσχυσης, πρέπει να αφαιρεθούν τα κατεστραμμένα στρώματα με τórνευση ή λείανση.

— Η αναγόμωση πρέπει να διενεργείται σε θέση επίπεδη, ώστε να εξασφαλίζει την υψηλότερη ποιότητα και απόδοση.

— Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με κλίση του αντικειμένου κάτω των 30° και με αναγόμωση σε όλο το πλάτος της επιφάνειας.

— Η τεχνική αναγόμωσης πρέπει να εξασφαλίζει την ωφέλιμότερη κατανομή των παραμορφώσεων. Ιδιαίτερα ουσιώδης είναι κατά την εναπόθεση επιστρώσεων με μικρή επιφάνεια και πάχος σε μεγάλα αντικείμενα.

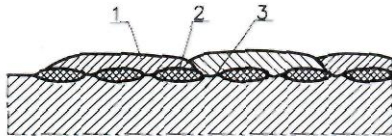
— Συχνά επιβάλλεται η εφαρμογή αρχικής προθέρμανσης και θερμικής κατεργασίας μετά την αναγόμωση, π.χ. κατά την αναγόμωση ταχυχαλύβων (με περιεκτικότητα 18% W αρχικά προθερμαίνεται στους 500 - 600 °C και μετά την αναγόμωση στη θερμοκρασία βαφής των 1180 °C σε αλατούχο λουτρό των 600 °C και διπλής επαναφοράς στη θερμοκρασία των 500 °C).

— Η αναγόμωση των μαγγανιούχων εξαρτημάτων απαιτεί την ελάχιστη γραμμική ενέργεια του τόξου, την εναπόθεση μικρών ίσιων επιστρώσεων και την άμεση ψύξη με φύσημα αέρος ή την άμεση ψύξη στο νερό.

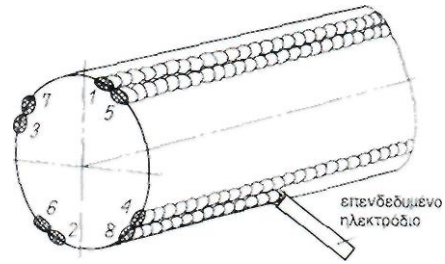
— Κατά τη συγκόλληση υλικών ευαίσθητων σε ρηγματώσεις στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά (ΖΕΘ), υποδεικνύεται η εκτέλεση μικρών κορδονιών, με πλάτος 1 - 2 φορές της διαμέτρου του ηλεκτροδίου και ελάχιστη ένταση ρεύματος. Επιστρώσεις πλατιές και υψηλή ένταση ρεύματος εφαρμόζονται κατά την αναγόμωση μεγάλων επιφανειών αντικειμένων από μέταλλα με καλή ή μέτρια συγκολλητότητα.— Για την αύξηση της απόδοσης αναγόμωσης χοντρών στρωμάτων από σκληρά υλικά, προτείνεται η εναπόθεση του πρώτου στρώματος με ίσια διατεταγμένα κορδόνια, με ηλεκτρόδιο νικελίου ή ωστενιτικό, ενώ τα επόμενα στρώματα με πλάτος μέχρι 10 διαμέτρους του ηλεκτροδίου με μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος (**σχήμα 9**).

— Στην περίπτωση εναπόθεσης επιστρώσεων με υλικά πολύ μεγάλης σκληρότητας και χαμηλής δυσθραυστότητας, η επίστρωση δεν μπορεί να περιέχει περισσότερο από δύο στρώματα, ενώ τα πάχη των στρωμάτων της επίστρωσης κυμαίνονται στα όρια 2 – 3 mm . Εάν απαιτείται μεγαλύτερο πάχος της επίστρωσης, τότε πρέπει το πρώτο στρώμα να εναποτεθεί με ηλεκτρόδια ωστενιτικά ή κράματος νικελίου.

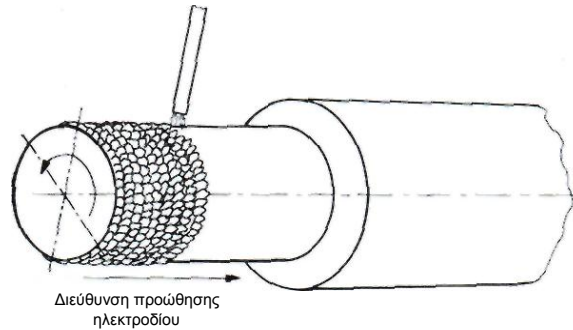
— Κατά την αναγόμωση περιστροφικών επιφανειών αξόνων, στροφείων κ.ά. υποδεικνύεται η εναπόθεση των κορδονιών κατά μήκος του άξονα των αντικειμένων, με αντίστοιχη σειρά (**σχήμα 10**). Εάν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ιδιοσυσκευές -ιδιαίτερα για την αναγόμωση αντικειμένων μεγάλης διαμέτρου, τότε προβλέπεται με τροχιά σπείρας από την εξωτερική πλευρά προς το κέντρο (**σχήμα 11**). Η σειρά εναπόθεσης κορδονιών κατά την αναγόμωση τροχιών σιδηροδρόμων και λεπίδων εκσκαφών φαίνεται στα **σχήματα 12 και 13**.



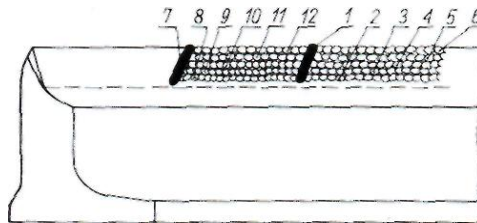
Σχήμα 9. Προτεινόμενος τρόπος αναδόμωσης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια χοντρών στρωμάτων με σκληρά υλικά: 1 - επίστρωση με κράμα σε μήτρα Ρο που περιέχει 60% ΨΟ, 2 - επίστρωση με χάλυβα 18.8. 3 - χάλυβας 5135.



Σχήμα 10. Προτεινόμενη σειρά εναπόθεσης κορδονιών κατά την αναδόμωση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια περιστροφικών εξαρτημάτων, με σκοπό την αποφυγή των παραμορφώσεων.

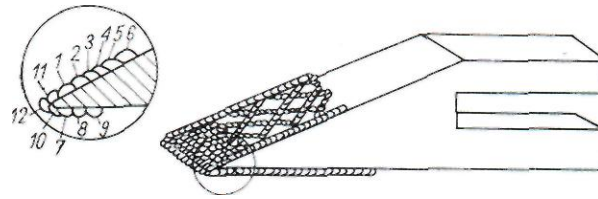


Σχήμα 11. Προτεινόμενος τρόπος εναπόθεσης κορδονιών κατά την αναδόμωση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, με τη χρήση περιστροφικού μηχανισμού του άξονα.



Σχήμα 12. Σειρά εναπόθεσης κορδονιών κατά την αναδόμωση τμήμα σιδηροδρομικής γραμμής. Το πρώτο κορδόνι πρέπει να εναποθεθεί από κάτω προς τα πάνω και να περατωθεί στην κεφαλή. Τα κορδόνια 2 -6 εναποτίθενται έτσι, ώστε οι τελικοί κρατήρες να βρίσκονται στο μέτωπο του πρώτου κορδονίου.

— Η χειρωνακτική αναδόμωση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, χάρη της μεγάλης πολλαπλότητας και ευκολίας, του χαμηλού κόστους εξοπλισμού, της μεγάλης προσφοράς πρόσθετων υλικών με, πρακτικά, ελεύθερη χημική σύσταση, συνεχίζει να χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία. Αναντικατάστατη είναι σε απλές επισκευές, στις εργασίες υπαίθρου καθώς και κατά την αναδόμωση επιφανειών των οποίων η πρόσβαση είναι δύσκολη. Είναι δυνατή η εναπόθεση επιστρώσεων με ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα, ελαφρά κραματωμένους, ισχυρά κραματωμένους, ειδικούς, κραμάτων νικελίου, κραμάτων χαλκού, κραμάτων αλουμινίου και κραμάτων κοβαλτίου.



Σχήμα 13.

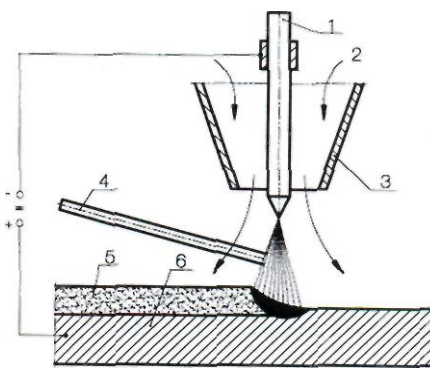
Προτεινόμενη σειρά εναπόθεσης
κορδονιών κατά την αναγόμωση σκλήρυνσης
λεπίδων εκσκαφών

Τα αντικείμενα προς αναγόμωση μπορούν να είναι ελεύθερου σχήματος και μεγέθους, π.χ. κατασκευές από χάλυβα, χυτοσίδηρο, κράματα χαλκού, κράματα αλουμινίου, κράματα νικελίου. Το πάχος που επιτυγχάνεται με ένα πέρασμα κυμαίνεται στα όρια 1 - 5 mm, η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση ισούται από 10 - 40%, ενώ η απόδοση της διαδικασίας ισούται από 1 - 5 kg/h. Η διαδικασία διενεργείται αποκλειστικά χειρωνακτικά.

β) Αναγόμωση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων.

Η αναγόμωση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο, ονομαζόμενη συνήθως αναγόμωση με τη μέθοδο TIG, συνίσταται στην προσαγωγή πρόσθετου υλικού στην περιοχή του αναμμένου τόξου μεταξύ του ηλεκτροδίου βολφραμίου και του αντικειμένου προς αναγόμωση, στην ατμόσφαιρα αδρανών αερίων. Το πρόσθετο υλικό τήκεται και με τη σύντηξη της επιφάνειας του αντικειμένου σχηματίζεται η επίστρωση (**σχήμα 14**).

— Το πρόσθετο υλικό προσάγεται με μορφή σύρματος, ράβδου συμπαγούς ή σκόνης και είναι δυνατόν να προσάγεται χειρωνακτικά ή αυτόματα.



Η αναγόμωση διενεργείται με **συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας** ή με εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ η πηγή ρεύματος πρέπει να έχει πτωτική ή κατακόρυφη χαρακτηριστική, όπως συμβαίνει και με τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια. Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται, όταν η αναγόμωση διενεργείται με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας και χρησιμοποιείται ηλεκτρόδιο βολφραμίου με θόριο. Τότε εξασφαλίζεται μεγάλη σταθερότητα του

τόξου, εύκολη ρύθμιση των παραμέτρων αναγόμωσης μικρή συμμετοχή του μητρικού υλικού στην επίστρωση, της τάξεως των 10%, με απόδοση 1 - 3 kg/h.

Σχήμα 14. Σχήμα αναγόμωσης με τη μέθοδο TIG 1 - ηλεκτρόδιο βολφραμίου, 2 - αέριο προστασίας, 3- ακροφύσιο αερίου, 4 - σύρμα, 5 - επίστρωση, 6 - υπόβαθρο.

Λόγω της έξοχης προστασίας του τόξου με το αδρανές αέριο, το μέταλλο της επίστρωσης παρουσιάζει υψηλή ποιότητα, ενώ με ένα πέρασμα εναποτίθεται στρώμα από 1,5 -5,0 mm.

Οι βασικές παράμετροι αναγόμεσης με τη μέθοδο TIG είναι:

- το είδος και η ένταση ρεύματος
- η τάση του τόξου
- η ταχύτητα (ρυθμός) αναγόμεσης
- το είδος και η ένταση ροής του αερίου προστασίας
- η διάμετρος του ηλεκτροδίου βολφραμίου
- η διάμετρος του πρόσθετου υλικού.

Παραδειγματικές παράμετροι αναγόμεσης με στελλίτες με τη μέθοδο TIG δίνονται στον πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Παράμετροι αναγόμεσης με τη μέθοδο TIG και ράβδος από στελλίτες

Ράβδος στελλίτη mm	Ηλεκτρόδιο βολφραμίου, Mm	Ένταση ρεύματος, A
3	1,6-2,4	60-75
4	2,4 - 32	80-90
4-5	4,8	100 – 120

Προσοχή: Η αναγόμεση με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας, το αργό με καθαρότητα min 99,95% και ένταση ροής 10 -12 l/min.

Οι άριστες παράμετροι αναγόμεσης επιλέγονται όπως και κατά τη συγκόλληση με τη μέθοδο TIG , συσχετίζοντας, επί πλέον, τις απαιτήσεις που προκύπτουν από την ιδιομορφία της διαδικασίας και ιδιαίτερα:

- τις απαιτούμενες ιδιότητες λειτουργίας της επίστρωσης
- την πρόσβαση και το μέγεθος της περιοχής αναγόμεσης
- την επιτρεπόμενη συμμετοχή του μητρικού υλικού στην επίστρωση.

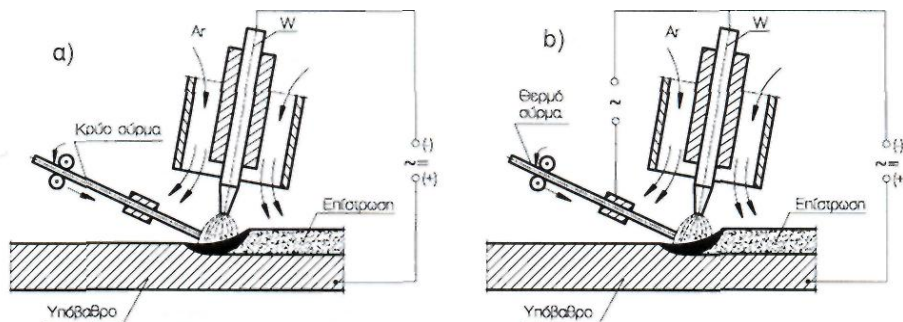
Η χειρωνακτική μέθοδος αναγόμεσης TIG εκτελείται με παρόμοια τεχνική όπως κατά την αναγόμεση με τη φλόγα οξυγόνου - ασετυλίνης. Με τη μέθοδο TIG επιτυγχάνεται λίγο μεγαλύτερη διείσδυση στο υλικό του υπόβαθρου, αλλά αποφεύγονται οι αρνητικές επιδράσεις της φλόγας οξυγόνου - ασετυλίνης για μερικά μέταλλα και κράμματα. Επειδή είναι δυνατόν η αναγόμεση να γίνεται με μεγαλύτερες ταχύτητες, άρα προκύπτει μικρότερη θέρμανση των αντικειμένων και χάρη αυτού οι παραμορφώσεις και τάσεις συγκόλλησης είναι μικρότερες.

Το σύρμα ή η ράβδος με διάμετρο περ. με 1- 8 mm και μήκος με 0,5 - 3 m προσάγεται περιοδικά στην περιοχή του τόξου, ενώ ο καυστήρας προωθείται προς τα αριστερά ή δεξιά.

Η συχνότητα τροφοδότησης του σύρματος εξαρτάται από το απαιτούμενο πάχος του στρώματος της κόλλησης, το οποίο κυμαίνεται στα όρια από 1,5-5 mm . Η τεχνική προς τα αριστερά επιτρέπει μικρότερη διείσδυση στο υλικό του υπόβαθρου, απ' ότι η προς τα δεξιά. Η μέθοδος αυτή συχνά χρησιμοποιείται για την αναγόμεση των επιφανειών των σωλήνων γεώτρησης ή μικρών επιφανειών εργαλείων κοπής ορυκτών υλικών.

Η αυτόματη αναγόμευση με τη μέθοδο TIG εκτελείται συνήθως με κρύο ή θερμό σύρμα σχήμα 15.

Η αυτόματη αναγόμευση με θερμό σύρμα χρησιμεύει στην ελάττωση της συμμετοχής του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση και την αύξηση της απόδοσης της αναγόμευσης μέχρι 5 – 8 kg/h. Το θερμαινόμενο σύρμα με αντίσταση τήκεται με γρήγορο ρυθμό, σχηματίζοντας λουτρό συγκόλλησης με μεγάλο όγκο, «εξασθενίζοντας»



Σχήμα 15. Αρχή αυτόματης αναγόμευσης με τη μέθοδο TIG : a) με κρύο σύρμα, b) με θερμό σύρμα.

τη σύντηξη του υλικού του υπόβαθρου.

Με τη χρήση συρμάτων σκόνης μπορεί να επιτευχθεί αναγόμευση στρωμάτων με μεγάλη σκληρότητα, τα οποία δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν με τη χρήση συμπαγών συρμάτων.

Με τη μέθοδο TIG η αναγόμευση επιτυγχάνεται, βασικά, σε επίπεδη θέση ή με κλίση της επιφάνειας προς αναγόμευση με γωνία τουλάχιστον 30°.

Είναι δυνατόν να διενεργείται αναγόμευση αντικειμένων που εκτελούνται από χάλυβα, χυτοσίδηρο, χυτοχάλυβα, κράματα χαλκού και κράματα αλουμινίου.

Το πάχος των επιτευχθέντων στρωμάτων με ένα πέρασμα ισούται από 1,5-5 mm, η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση ισούται από 5 - 10% ενώ η απόδοση της διαδικασίας από 1 - 8 kg/h. Η διαδικασία διενεργείται χειρωνακτικά, ημιαυτόματα και αυτόματα.

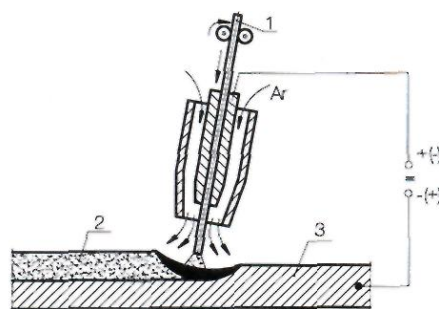
γ) Αναγόμευση τόξου με τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων

Η αναγόμευση τόξου με τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων, ονομαζόμενη αναγόμευση με τη μέθοδο MIG, MAG, συνίσταται στο ότι το αναμμένο τόξο μεταξύ του τηκόμενου ηλεκτροδίου και του αντικειμένου προς αναγόμευση -στην ατμόσφαιρα αδρανούς ή δραστικού αερίου - λιώνει το υλικό του ηλεκτροδίου και του υπόβαθρου, σχηματίζοντας την επίστρωση (σχήμα 16).

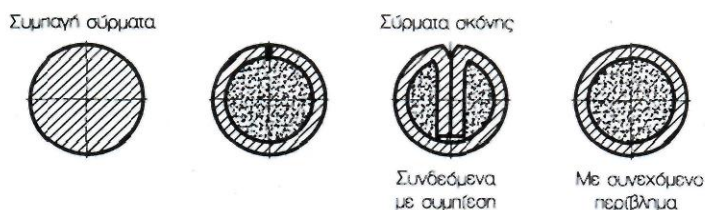
Η αναγόμευση διενεργείται ημιαυτόματα ή αυτόματα, με ταλάντωση ή χωρίς ταλάντωση της κεφαλής συγκόλλησης. Τα κραματικά στοιχεία, απαραίτητα για την επίτευξη της χημικής σύστασης της εναποτιθέμενης επίστρωσης, εμπεριέχονται στο υλικό του συμπαγούς ηλεκτροδίου ή σκόνης (σχήμα 17).

Για την αναγόμωση χρησιμοποιούνται σύρματα συμπαγή με διαμέτρους από 0,5 - 1,6 (2,4) mm, καθώς και σύρματα σκόνης με διάμετρο από 1,2 μέχρι 4,0 - 8,0 mm.

Τα αέρια προστασίας, που προστατεύουν το τόξο και το λουτρό συγκόλλησης από την εισροή των αερίων της ατμόσφαιρας, είναι: το αργό, το ήλιο και το CO₂. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή με διάφορες αναμίξεις ή με προσθήκη του οξυγόνου, του υδρογόνου ή του αζώτου, με σκοπό τη βελτίωση της σταθερότητας



Σχήμα 16. Αναγόμωση με τη μέθοδο MIG: 1 - τηκόμενο ηλεκτρόδιο, 2 - επίστρωση, 3 - υπόβαθρο αντικειμένου.



Σχήμα 17. Τυπικές διατομές στρωμάτων ηλεκτροδίων, χρησιμοποιούμενων για την αναγόμωση με τη μέθοδο MIG.

ανάμματος του τόξου ή για την αύξηση της γραμμικής ενέργειας αναγόμωσης. Το είδος της ατμόσφαιρας των αερίων ασκεί ουσιώδη επίδραση στη χημική σύσταση της επίστρωσης και στις ιδιότητες της καθώς και στο μηχανισμό μεταφοράς του μετάλλου στο τόξο.

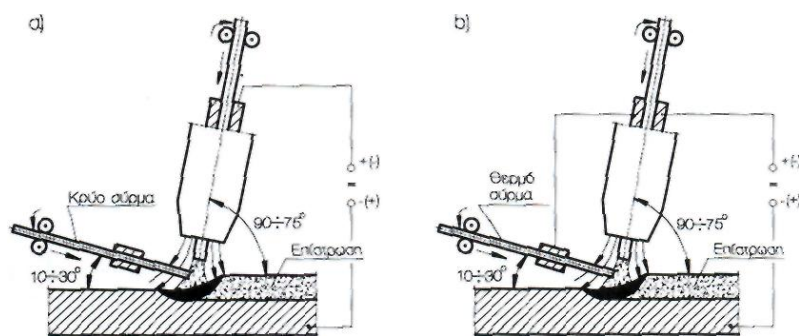
Η αναγόμωση με τη μέθοδο MIG βασικά διενεργείται με συνεχές ρεύμα με **πολικότητα θετική**, με ψεκαστικό τρόπο μεταφοράς του μετάλλου στο τόξο. Για να μειωθεί η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση και για να αυξηθεί η απόδοση της αναγόμωσης με κόστος της σταθερότητας του ανάμματος του τόξου και του διασκορπισμού, χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα με **αρνητική πολικότητα**. Εάν χρησιμοποιηθούν σύρματα σκόνης, τότε είναι δυνατόν η αναγόμωση να διενεργηθεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. Η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση με ψεκαστική μεταφορά του μετάλλου στο τόξο είναι υψηλή και ανέρχεται από 20 - 40%, με απόδοση από 4 και άνω των 10 kg/h.

Η αναγόμωση με τόξο βραχυκύκλωσης και με σύρματα διαμέτρου 0,5 - 1,2 mm εξασφαλίζει την ελάχιστη σύντηξη του υλικού του υπόβαθρου, ακόμη και κάτω του 5%. Παρέχει τη δυνατότητα αναγόμωσης σε θέσεις εξαναγκασμένες και δημιουργούνται μικρές παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις συγκόλλησης. Η απόδοση αναγόμωσης με τη μέθοδο MIG, όμως, είναι μόλις λίγο μεγαλύτερη από την απόδοση αναγόμωσης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια και δεν ξεπερνά τα 2 - 3,5 kg/h.

Ο μηχανισμός μεταφοράς του μετάλλου στο τόξο εξαρτάται από τις παραμέτρους του ρεύματος αναγόμωσης, το είδος της ατμόσφαιρας αερίων προστασίας, τη χημική σύσταση και τη διάμετρο του ηλεκτροδίου καθώς και από το μήκος προεξοχής του ηλεκτροδίου. Εάν η αναγόμωση διενεργείται με σύρματα σκόνης, τότε είναι δυνατή μόνο η μεταφορά του μετάλλου με σταγόνες ή ψεκασμό. Πολύ σταθερό άναμμα του τόξου επιτυγχάνεται σε ατμόσφαιρα που περιέχει τουλάχιστον 80% AR ή He τότε το μέταλλο μεταφέρεται με ψιλές σταγόνες χωρίς διασκορπισμό. Στην ατμόσφαιρα του μετάλλου με ψεκασμό στο τόξο, η αποκοπή των σταγόνων από το άκρο του ηλεκτροδίου δυσχεραίνεται και εμφανίζεται σημαντικός διασκορπισμός του μετάλλου.

Η χρησιμοποίηση παλμικού ρεύματος επιτρέπει στη συνέχεια τη μείωση του κρίσιμου ρεύματος, σε σχέση με την αναγόμωση με σταθερό συνεχές ρεύμα θετικής κοιλότητας και χάρη αυτού μειώνεται η σύντηξη στο υπόβαθρο, καθώς δημιουργούνται και δυνατότητες αναγόμωσης σε θέσεις εξαναγκασμένες.

Για την αύξηση της απόδοσης της αυτόματης αναγόμωσης MIG, χρησιμοποιείται πρόσθετο σύρμα που προσάγεται στην περιοχή και προθερμαίνεται με αντίσταση, το λεγόμενο **θερμό σύρμα** ή **κρύο σύρμα** χωρίς προθέρμανση (**σχήμα 18**).



Σχήμα 18. Αρχή αυτόματης αναγόμωσης με τη μέθοδο MIG. α) με κρύο σύρμα, β) με θερμό σύρμα.

Αυτό το σύστημα αναγόμωσης εξασφαλίζει απόδοση που ανέρχεται σε 20-30 kg/h και χρησιμοποιείται κυρίως για την αναγόμωση μεγάλων επίπεδων επιφανειών.

Οι βασικές παράμετροι αναγόμωσης με τη μέθοδο MIG είναι:

- η ένταση του ρεύματος
- η τάση του τόξου
- η ταχύτητα αναγόμωσης
- το είδος και η ένταση ροής του προστατευτικού αερίου
- η διάμετρος του σύρματος ηλεκτροδίου
- η θέση του αντικειμένου αναγόμωσης.

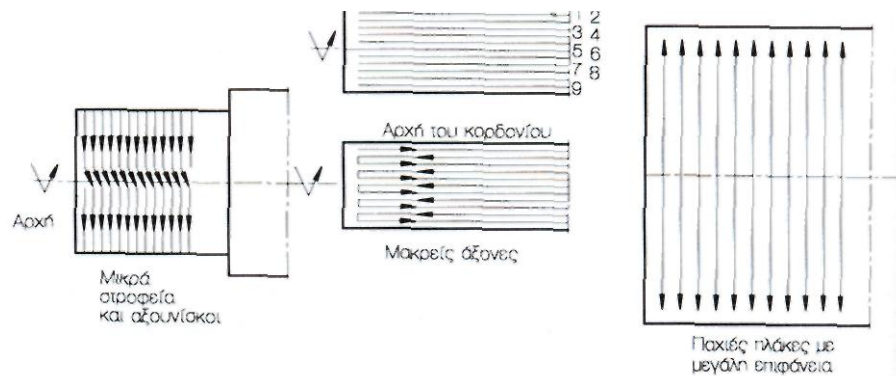
Οι παράμετροι αναγόμωσης επιλέγονται όπως και οι παράμετροι συγκόλλησης με τη μέθοδο MIG. Επιπροσθέτως, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες που προκύπτουν από την ιδιομορφία της διαδικασίας αναγόμωσης:

- οι απαιτούμενες ιδιότητες λειτουργίας της επίστρωσης
- η πρόσβαση και το μέγεθος της περιοχής αναγόμωσης
- η επιτρεπόμενη συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση.

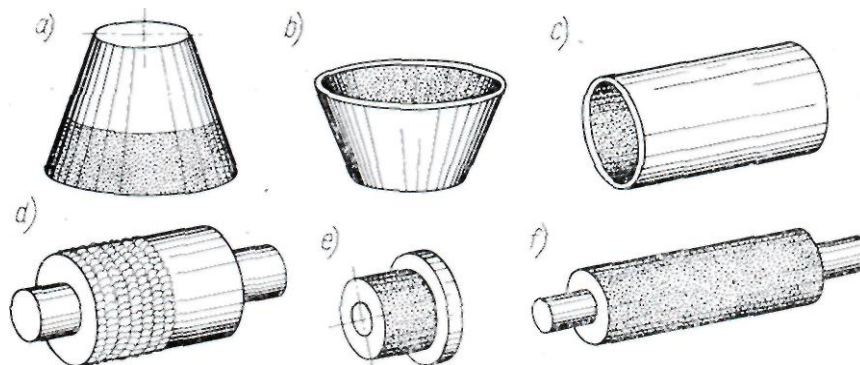
Η αναγόμωση με τη μέθοδο MIG χρησιμεύει για την εναπόθεση επιστρώσεων

σε επιφάνειες επίπεδες και περιστροφικές με πάχη από 0,5 - 6 mm σε ένα πέρασμα. Κατά την αναγόμωση με σύρματα σκόνης, ήδη στο πρώτο στρώμα μπορούν να επιτευχθούν οι απαιτούμενες ιδιότητες λειτουργίας. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις απαιτείται η εναπόθεση τουλάχιστον δύο στρωμάτων. Το πάχος των εναποτιθέμενων στρωμάτων με σύρματα σκόνης μ' ένα πέρασμα κυμαίνεται στα όρια από 3 - 6 mm. Κατά την αναγόμωση με σύρματα σκόνης υλικών ψαθυρών με μεγάλη σκληρότητα, προοριζομένων για εργασία σε συνθήκες σημαντικών φορτίσεων φθοράς, π.χ. επιστρώσεις με χυτοσίδηρο χρωμίου ή καρβιδίων βολφραμίου με βάση κραματωμένων χαλύβων ή με βάση του σιδήρου, το πάχος δεν υπερβαίνει τα 6 mm και εκτελούνται με ένα ή δύο στρώματα.

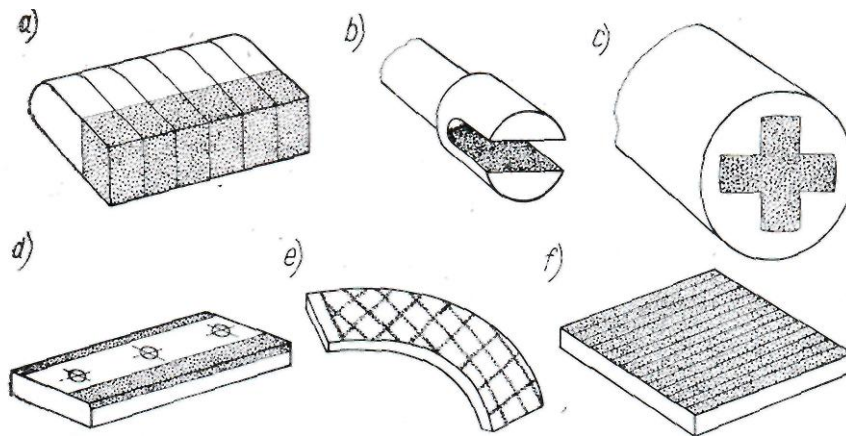
Η αναγόμωση με τη μέθοδο MIG επιτρέπει την εκτέλεση στρωμάτων με υψηλές ιδιότητες λειτουργίας από χάλυβες ελαφρά κραματωμένους, ισχυρά κραματωμένους, κραματωμένους χυτοσίδηρους, ειδικά κράματα, κράματα νικελίου, τιτανίου, χαλκού και αλουμινίου.



Σχήμα 19. Προτεινόμενη διαδοχική σειρά εναπόθεσης κορδονιών κολλήσεων κατά την αναγόμωση με τη μέθοδο MIG



Σχήμα 20. Παραδείγματα στοιχείων μηχανών με περιστροφικές επιφάνειες, αναγομωμένα/ν αυτόματα με τη μέθοδο MIG (οι αναγομωμένες επιφάνειες - με τελείες): a) κώνος σπαστήρα, b) λεκάνη σπαστήρα, c) σωλήνας μεταφοράς αραιών υλικών (χαλίκι, άμμος), d) έλαστρο χαλυβουργικό, e) τροχός φορείου ορυχείου, f) ράουλλο σπαστήρα.



Σχήμα 21 Παραδείγματα στοιχείων μηχανών με επίπεδες επιφάνειες εργασίας, αναγομωμένων αυτόματα με τη μέθοδο MIG (οι αναγομωμένες επιφάνειες - σημειώνονται με τελείες): α) σφυριά σπαστήρα, β) άτρακτος μετάδοσης ελάστρου, γ) σύνδεσμος του ελάστρου, δ) μαχαιρί για την κοπή εν θερμώ, ε) πτερύγια ανάμιξης τσιμέντου, ς) πλάκα αντίστασης.

Τα σύρματα σκόνης εκτείνουν σημαντικά την περιοχή χρησιμοποίησης με τη μέθοδο MIG, επειδή η δυνατότητα ανέγερσης συμπαγών συρμάτων με σύνθετη χημική σύσταση περιορίζεται από τις απαιτήσεις της πλαστικής κατεργασίας.

Η τωρινή παραγωγή συρμάτων σκόνης επιτρέπει την αναγόμωση στρωμάτων στην ατμόσφαιρα αερίων (συνήθως CO₂ ή Ar + CO₂) ή χωρίς ατμόσφαιρα, πρακτικά με ελεύθερη χημική σύσταση.

Η διαδοχική σειρά εναπόθεσης κορδονιών πρέπει να καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η κατανομή των τάσεων και παραμορφώσεων να είναι συμμετρική, ενώ τα μεγέθη τους όσο το δυνατόν χαμηλότερα (**σχήμα 19**). Παραδείγματα αναγόμωσης με αυτόματη μέθοδο MIG φαίνονται στα **σχήματα 20 και 21**.

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο MIG για την εναπόθεση επιστρώσεων, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πρόσθετα υλικά, όπως μέταλλα και κράματα μετάλλων, με μορφή σύρματος συμπαγούς ή σκόνης.

Το πάχος των επιτευχθέντων στρωμάτων με ένα πέρασμα ισούται από 0,5 - 6 mm, η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου ισούται από 5 - 40%, ενώ η απόδοση της διαδικασίας από 2- 30 kg/h. Η διαδικασία διενεργείται ημιαυτόματα ή αυτόματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διαμαντούδης Θεοδόσιος .Α : Συγκολλήσεις μετάλλων, Θεσσαλονίκη 2000
2. Μάρκου Αθανάσιος : Σημειώσεις Τ.Ε.Ι Σερρών περί συγκολλήσεων
3. Πηγές Internet