



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΣΧΟΙΝΑΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ

ΚΑΘ. ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΝΕΛΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΚΑΘ. ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΠΠΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	3660
----------------------	------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1	2
1. Γενικά για τις αυτογενείς και ετερογενείς συγκολλήσεις	2
1.1 Μέθοδοι αυτογενών συγκολλήσεων	2
1.2 Τεχνολογία της συγκόλλησης με επενδυμένα ηλεκτρόδια	3
1.3 Τεχνολογία INVERTER	5
Κεφάλαιο 2	8
Αντοχή των συγκολλήσεων σε ερπυσμό, θραύση και ανθεκτικότητα σε διάφορες συνθήκες.	
2. Δοκιμές των υλικών	8
2.1 Δοκιμές σκληρότητας	8
2.1.1 Μέθοδοι δοκιμών σκληρότητας	9
2.2 Αντοχή των συγκολλητών συνδέσεων σε εναλλασσόμενα φορτία	9
2.2.1 Είδη φορτίσεων	10
2.3 Η επίδραση των σφαλμάτων στις συγκολλητές συνδέσεις	12
2.4 Εσωτερικές τάσεις	15
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των τάσεων συγκόλλησης	18
2.6 Συνέπειες των τάσεων συγκόλλησης στις συγκολλητές κατασκευές	19
2.7 Τρόποι μείωσης των παραμορφώσεων και των τάσεων συγκόλλησης	20
2.8 Ηλεκτρόδια με επένδυση	23
2.8.1 Είδη επενδεδυμένων ηλεκτροδίων	24
2.8.2 Κωδικοποίηση των ηλεκτροδίων	26
2.8.3 Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χαλύβων	30
2.8.4 Μη τηκόμενα ηλεκτρόδια συγκόλλησης	31
2.8.5 Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου	33
2.8.6 Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση μη σιδηρούχων μετάλλων	39
Κεφάλαιο 3	44
Πρακτικές εφαρμογές πάνω στις συγκολλήσεις	
3.1 Ηλεκτροσυγκολλήσεις σε διάφορα κομμάτια χυτοσιδήρου και χυτοσιδήρου με κοινό χάλυβα st37	44

3.2 Ηλεκτροσυγκόλληση σε χυτοσίδηρο με κακή συγκολλητικότητα και γάνωμα πλευρών με ειδικά ηλεκτρόδια	44
3.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε παλιά κομμάτια χυτοσιδήρου και χάλυβα	45
3.4 Ηλεκτροσυγκόλληση ελασμάτων μεγάλου πάχους σ' οριζόντια θέση και οροφής σε λοξοτομή V	45
3.5 Ηλεκτροσυγκόλληση σε οριζόντια θέση	45
3.6 Ηλεκτροσυγκόλληση σωλήνων υψηλής πίεσεως	46
3.7 Βολταϊκό τόξο	46
3.8 Ο ρόλος της επένδυσης των ηλεκτροδίων	47
Κεφάλαιο 4	49
Μέθοδοι συγκόλλησης, τύποι συγκόλλησης	
4.1 Μη καταστρεπτικές μέθοδοι	49
4.1.1 Οπτικός έλεγχος	49
4.1.2 Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια	50
4.1.3 Εφαρμογή του ραδιογραφικού ελέγχου στις συγκολλήσεις	52
4.2 Δοκιμές σκληρότητας	54
4.2.1 Δοκιμή σκληρότητας BRINELL	55
4.2.2 Δοκιμή σκληρότητας ROCKWELL	55
4.2.3 Δοκιμή σκληρότητας VICKERS	56
4.2.4 Δοκιμή σε υδραυλική πίεση	56
4.3 Τήξη και στερεοποίηση μετάλλων	56
4.4 Κράματα	58
4.4.1 Θερμικές κατεργασίες	59
4.4.2 Ανόπτηση	59
4.4.3 Εξομάλυνση	60
4.4.4 Βαφή	60
4.4.5 Επαναφορά	61
4.5 Επιφανειακές σκληρύνσεις	61
4.6 Κατεργασίες εν ψυχρώ (ψυχρηλασία)	62
Κεφάλαιο 5	63
Μέθοδοι παραγωγής, κατηγορίες και ιδιότητες των κυριότερων κραμάτων	
5.1 Παραγωγή χυτοσιδήρου	63
5.2 Παραγωγή χαλύβων	64
5.3 Ιδιότητες σιδηρούχου κράματος χυτοσιδήρου	64

5.4 Χάλυβες και χαλυβοκράματα	65
5.5 Χαλκός και τα κράματά του	66
5.6 Αλουμίνιο και τα κράματά του	67
Κεφάλαιο 6	68
Σύγχρονοι μέθοδοι συγκόλλησης	
6.1 Συγκόλληση με εστιασμένη δέσμη ενέργειας	68
6.2 Συγκόλληση με πλάσμα	70
6.3 Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων	72
6.4 Συγκόλληση με δέσμη laser	73
6.4.1 Συσκευές συγκόλλησης laser	74
6.4.2 Τεχνολογία και τεχνική συγκόλλησης laser	74
Κεφάλαιο 7	81
Γενικά για τις συγκολλήσεις χαλύβων	
7.1 Γενικά χαρακτηριστικά της ψαθυρότητας των χαλύβων	81
7.2 Παράγοντες που προξενούν την ψαθυρότητα των χαλύβων	82
7.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ψαθυρότητα των χαλύβων	83
7.4 Κατασκευαστικοί ανθρακοχάλυβες και ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες (λεπτά και χοντρά ελάσματα)	84
7.5 Κραματωμένοι χάλυβες	85
7.6 Συγκόλληση χαλύβων ισχυρά κραματωμένων, ανοξειδωτων και οξύμαχων	85
Κεφάλαιο 8	87
Διάφορα συστήματα συγκόλλησης	
8.1 Αυτόματη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο SAW	87
8.1.1 Αυτόματη μηχανή συγκόλλησης με βυθιζόμενο τόξο SAW	88
8.2 Τεχνική εκτέλεσης μετωπικών κολλήσεων	89
8.3 Τεχνική εκτέλεσης αυχενικών κολλήσεων	93
8.4 Αναγόμευση με βυθιζόμενο τόξο	94
Κεφάλαιο 9	96
Μη καταστρεπτικοί έλεγχοι συγκολλητών συνδέσεων	
9.1 Γενικός χαρακτηρισμός των μη καταστρεπτικών ελέγχων	96
9.1.1 Οπτικός έλεγχος (Visual testing)	97
9.1.2 Ραδιογραφικός έλεγχος (Radiography testing) Φυσικές ιδιότητες – χαρακτηριστικά ραδιογραφικού ελέγχου	98

9.1.3 Ηλεκτρομαγνητικοί έλεγχοι (Electromagnetic testing)	100
9.2 Καταστρεπτικές μέθοδοι ελέγχου συγκολλητών συνδέσεων	102
9.2.1 Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων	102
9.2.2 Μεταλλογραφικός έλεγχος	106
9.3 Χημικός έλεγχος	108
9.4 Έλεγχος στη διάβρωση	109

Εισαγωγή

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις και συσκευές είναι, σχεδόν αποκλειστικά, μέταλλα. Για να έχουμε τις επιθυμητές ιδιότητές τους εφαρμόζουμε ειδικές μεθόδους παραγωγής, κατεργασίας, ανάμιξης των μετάλλων. Αυτές τις εξετάζει η ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑ.

Τα μικρότερα κομμάτια στα οποία μπορούμε να χωρίσουμε την ύλη ενός απλού σώματος λέγονται «Άτομα». «Αν τα άτομα είναι τοποθετημένα σύμφωνα με ένα κανονικά γεωμετρικό σχήμα μέσα στο χώρο, το αντίστοιχο σώμα λέγεται ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ. Τέτοια σώματα είναι τα ΜΕΤΑΛΛΑ. «Αν τα άτομα είναι τοποθετημένα ακανόνιστα μέσα στο χώρο, το σώμα λέγεται ΑΜΟΡΦΟ. Τέτοια σώματα είναι τα ΑΜΕΤΑΛΛΑ. Η θέση των ατόμων μπορεί να προσδιοριστεί με ακτίνες Χ. Η κανονική διάταξη των ατόμων των κρυσταλλικών σωμάτων λέγεται ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ. Υπάρχουν 14 τύποι κρυσταλλικών πλεγμάτων, ανάλογα με ποιο κανονικό σχήμα ακολουθούν στη διάταξή τους τα άτομα (κύβος, εξαγωγικό πρίσμα, κ.λ.π.). Το στοιχειώδες κανονικό σχήμα που σχηματίζουν τα άτομα των μετάλλων λέγεται ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣ. Για να πάρουμε μια ιδέα των διαστάσεων, σημειώνουμε ότι σε μήκος 1 mm χωράνε περίπου 3.000.000 τέτοιοι κύβοι σχηματιζόμενοι από άτομα σιδήρου.

Οι κρύσταλλοι ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τους ΔΕΝΔΡΙΤΕΣ. Ο Δενδρίτης αποτελείται από τον κεντρικό άξονα (κορμός), τους δευτερεύοντες άξονες (που είναι κάθετοι προς τον κεντρικό άξονα και πιο κοντοί), άλλους ακόμη κοντότερους άξονες (κάθετους προς τους δευτερεύοντες) κ ο κ. Λόγω του τρόπου σχηματισμού των κρυστάλλων (άρα παρακάτω: ΤΗΞΗ – ΣΤΕΡΝΟ - ΠΟΙΗΣΗ) ο κάθε δενδρίτης αναπτύσσεται μέχρι που να συναντήσει τους γειτονικούς τους δενδρίτες, που δεν έχουν την ίδια διεύθυνση με αυτόν.

Κεφάλαιο 1

1. Γενικά για τις αυτογενείς και ετερογενείς συγκολλήσεις

Συγκόλληση: Μόνιμη σύνδεση δύο ή περισσότερων μετάλλων μεταξύ τους με προσθήκη ή όχι συγκολλητικού υλικού

Αυτογενείς συγκολλήσεις: Τήξη των άκρων των μετάλλων με συγκολλητικό υλικό της ίδιας δομής με τα συγκολλούμενα μέταλλα

Ετερογενείς συγκολλήσεις: Προσθήκη συγκολλητικού υλικού διαφορετικού από τα συγκολλούμενα μέταλλα. Η θερμοκρασία στα άκρα δεν ξεπερνά το βαθμό πλαστικότητας

1.1 Μέθοδοι αυτογενών συγκολλήσεων

- Θέρμανση τεμαχίων στο καμίνι και σφυρηλάτηση
- Τήξη των άκρων με ειδικό καυστήρα συγκόλλησης θερμαντικής ικανότητας 3000°C και με βοήθεια αερίων οξυγόνου και ασετιλίνης
- Τήξη των άκρων με ηλεκτρικό τόξο (ηλεκτροσυγκόλληση)

Συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο (Ηλεκτροσυγκόλληση)

Η συγκόλληση αυτή επιτυγχάνεται με την υψηλή θερμοκρασία, η οποία παράγεται από το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα είδη των ρευμάτων είναι δύο: το συνεχές και το εναλλασσόμενο. Το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα έχει μια μόνο ορισμένη φορά. Το εναλλασσόμενο αλλάζει φορά μέσα στον αγωγό μερικές φορές το δευτερόλεπτο.

Χαρακτηριστικά μεγέθη

Τάση ενάρξεως τόξου

Βοηθά στο ξεκίνημα του τόξου και κυμαίνεται από 45-100V, δηλ. η μηχανή ηλεκτροσυγκολλήσεως είναι εν κινήσει, αλλά δεν πραγματοποιείται συγκόλληση.

Τάση συγκολλήσεως

Είναι η τάση κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και κυμαίνεται από 25-40V. Η τάση αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τη διάμετρο του συγκολλητικού υλικού (ηλεκτρόδιο).

Ένταση

Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που διέρχεται ανά δευτερόλεπτο από μια τομή ενός αγωγού.

1.2 Τεχνολογία της συγκόλλησης με επενδυμένα ηλεκτρόδια

Ορισμός της μεθόδου

Η συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο με ηλεκτρόδιο επενδεδυμένο είναι μία μέθοδος για σύνδεση των άκρων των τεμαχίων.

Το ηλεκτρικό τόξο διεγείρεται μεταξύ του ηλεκτροδίου και του τεμαχίου για συγκόλληση.

Συσκευές συγκολλήσεως

α. Συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος

Μετασχηματιστές : (στατικές)

Περιστροφικές : σταθερής τάσεως αυτορρυθμιζόμενες με μαγνητική ροή

β. Συσκευές συνεχούς ρεύματος

Ανορθωτές (στατικές συσκευές)

Γεννήτριες (περιστροφικές συσκευές)

Ηλεκτρόδια

Το ηλεκτρόδιο αποτελείται από ένα μεταλλικό πυρήνα γενικά κυλινδρικό μεταβλητής διαμέτρου, ο οποίος είναι καλυμμένος στην περιφέρειά του με μία επένδυση της οποίας το πάχος είναι λίγο ή πολύ σημαντικό (λεπτή επένδυση, ημι-λεπτή, παχιά).

Ρόλος της επένδυσης

α. Ηλεκτρικός ρόλος

Η επένδυση περιέχει διάφορα στοιχεία όπως ανθρακικά, πυριτικά και κυρίως μεταλλικά οξειδία, στοιχεία τα οποία ιονίζοντας τον αέρα μεταξύ του τεμαχίου και της άκρης του ηλεκτροδίου, ευνοούν το ξεκίνημα και την σταθεροποίηση του τόξου.

β. Φυσικός και μηχανικός ρόλος

Είναι η καθυστερημένη τήξη της επένδυσης σε σχέση με αυτή του μεταλλικού πυρήνα, που δημιουργεί έναν κρατήρα στο άκρο του ηλεκτροδίου και που επιτρέπει την οδήγηση του τόξου.

γ. Μεταλλουργικός ρόλος

Ο πρώτος μεταλλουργικός ρόλος της επένδυσης είναι να προστατεύει το κορδόνι της συγκολλήσεως από τον περιβάλλοντα αέρα και από την οξείδωση.

Διάφοροι τύποι επένδυσης

Οξειδωτική επένδυση (O)

Όξινη επένδυση (A)

Ρουτιλίου επένδυση (R)

Βασική επένδυση (B)

Κυτταρική επένδυση (C)

Τύπος επενδύσεως που δεν μπορεί να περιληφθεί σε μια από τις πέντε τάξεις
(VuS)

Ρύθμιση της έντασης – Ampers

Σε κάθε πακέτο ηλεκτροδίων ο κατασκευαστής αναγράφει μία μέση συνιστώμενη ένταση και πόλο (-,+)

Η ένταση σε (A) δίνεται και από τον εμπειρικό τύπο $I(A) = 50 (D-1)$ όπου D η διάμετρος του ηλεκτροδίου.

1.3 Τεχνολογία INVERTER

Το οδοιοπορικό των μηχανών συγκολλήσεως

Η επανάσταση των Inverters

Η περιστρεφόμενη ηλεκτροσυγκόλληση εμφανίστηκε γύρω στο 1920.

Ακολούθησαν οι πρώτες στατές ηλεκτροσυγκολλήσεις κατά τη δεκαετία του 1950, συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος όπου το ρεύμα ρυθμιζόταν με καθαρά ηλεκτρικό ή ηλεκτρομαγνητικό τρόπο.

Το 1970 η ηλεκτρονική κάνει δυναμικά την εμφάνισή της με την παραγωγή των ημιαγωγών ισχύος ΘΥΡΙΣΤΟΡ.

Έκτοτε «ηλεκτρονική» και «τεχνολογία των συγκολλήσεων» εξελίσσονται μαζί προς το 2000 σε μία εντελώς νέα τεχνολογική φιλοσοφία των συγκολλήσεων, εκείνη των εναλλακτών συχνότητας INVERTERS.

Τι σημαίνει τεχνολογία Inverter

Η συχνότητα του ρεύματος εισόδου από 50 ή 60 HZ πολλαπλασιάζεται σε αρκετές χιλιάδες HZ (KHZ), γίνεται δηλαδή υψίσυχο και στη συνέχεια ανορθώνεται και παρέχεται στην έξοδο για χρήση.

Ο κωδικός αριθμός των ηλεκτροδίων έχει την ακόλουθη μορφή
π.χ. STABELECTRODE. E43 32 AR7 DIN 1913

Η σημασία των διαφόρων ψηφίων αριθμών του κωδικού είναι η εξής:

α) E43XXXXDIN1913:

Ο αριθμός E43 αφορά τα όρια θραύσης του εναποτιθεμένου μετάλλου στον εφελκυσμό και ελαστικότητα. Έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΡΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ	ΟΡΙΟ
E 43.....	430 έως 510 N/mm ²	≥ 360 N/mm ²
E 51.....	510 έως 650 N/mm ² (10 N/mm ² = 1 kgs/mm ² περίπου)	≥ 380 N/mm ²

Άρα το υπό εξέταση ηλεκτρόδιο δίνει όριο θραύσης μεταξύ 43 και 51 kgs/mm² και όριο ελαστικότητας μεγαλύτερο ή ίσο του 36 kgs/mm².

β) EXX3XXXXDIN1913:

Ο τρίτος αριθμός μετά το αρχικό E αφορά τον συνδυασμό επιμήκυνσης και δυσθραυστότητας ίσης με 28J (απαιτούμενο έργο για θραύση του τυποποιημένου δοκιμίου ISC).

Ας σημειωθεί ότι το έργο των 28J για το συγκεκριμένο δοκίμιο αντιστοιχεί σε μια δυσθραυστότητα 3,5 daj/cm² ή 3,5 kgm/cm².

Στην περίπτωση αυτή έχουμε:

Πρόκειται για τη νέα γερμανική τυποποίηση των ηλεκτροδίων που αντικατέστησε την προηγούμενη του τύπου π.χ. ETIVI Im κ.λ.π.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΣΗ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ % (l = 5d)	ΔΥΣΘ/ΤΑ (KERESCHLAGARBEIT) 28J σε θερμοκρασία
0	- καμία απαίτηση	-
1	22	+ 20 ⁰ C
2	22	0 ⁰ C
3	24	- 20 ⁰ C
4	24	- 30 ⁰ C
5	24	- 40 ⁰ C

Άρα το εξεταζόμενο ηλεκτρόδιο με αριθμό «3» έχει επιμήκυνση 24% και δυσθραυστότητα 28J στους -20°C .

γ) EXXX2XXDIN1913:

Ο τέταρτος μετά το E αριθμός θραύσης έχει την ίδια σημασία με τον προηγούμενο μόνο που εδώ ως έργο θραύσης λαμβάνεται 47J ($5,9 \text{ daJ/cm}^2$).

Κεφάλαιο 2

Αντοχή των συγκολλήσεων σε ερπυσμό, θραύση και ανθεκτικότητα σε διάφορες συνθήκες.

2. Δοκιμές των υλικών

Για να υπολογίσουμε τις σωστές διαστάσεις ενός τεμαχίου, δεν φτάνει να ξέρουμε τι δυνάμεις εξασκούνται πάνω του (επομένως και τι εσωτερικές τάσεις προκαλούν), αλλά και πόσο αντέχει το υλικό αυτού του τεμαχίου στις διάφορες περιπτώσεις καταπόνησης από φορτία (δυνάμεις). Το πόσο αντέχει το κάθε υλικό, τα μηχανικά χαρακτηριστικά του δηλαδή, το προσδιορίζουμε με κατάλληλες δοκιμές. Π.χ. στα προηγούμενα είδαμε πως καθορίζουμε τα όρια: Θραύσης, Διαρροής και Ελαστικότητας με τη ΔΟΚΙΜΗ του ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ.

Εκτός από αυτήν υπάρχουν άλλες δοκιμασίες των υλικών, που οι κυριότερές τους είναι:

2.1 Δοκιμές σκληρότητας

Σκληρότητα είναι η αντίσταση στη διείσδυση ενός σκληρότερου σώματος, υπό πίεση ή κρούση. Προκειμένου για μέταλλα προτιμάμε τις στατικές μεθόδους (με πίεση, όχι με κρούση).

Γενικά σ' αυτές τις δοκιμές δεν καταστρέφεται το κομμάτι.

Η δοκιμή γίνεται πιέζοντας πάνω στη δοκιμαζόμενη επιφάνεια ένα πρότυπο πολύ σκληρό σαν σώμα (μπίλια ή πυραμίδα) με μια καθορισμένη δύναμη για ορισμένο χρόνο. Μετά μετράμε την επιφάνεια του αποτυπώματος που άφησε το πρότυπο σώμα. Τη σκληρότητα την προσδιορίζουμε διαιρώντας τη δύναμη που εφαρμόσαμε δια της επιφάνειας του αποτυπώματος.

Η επιφάνεια που δοκιμάζεται πρέπει να είναι προσεκτικά κατεργασμένη και γυαλισμένη, χωρίς ίχνος από υπερθέρμανση ή επιφανειακή σφυρηλάτηση.

Υπάρχουν λεπτομερείς κανονισμοί που καθορίζουν: τη δύναμη, τη διάρκεια πίεσης και το υλικό του πρότυπου σώματος διείσδυσης.

2.1.1 Μέθοδοι δοκιμών σκληρότητας

- Δοκιμή BRINELL HB: Προοδευτική διείδυση μπίλιας από βαμμένο χάλυβα. Συνιστάται να εφαρμόζεται σε υλικά με μεγάλη σκληρότητα (σκληρότητα BRINELL HB = 400 Kp/mm²)
- Δοκιμή VICKERS HV: Προοδευτική διείδυση διαμαντιού σχήματος πυραμίδας. Είναι από τις πιο ακριβείς μεθόδους και εφαρμόζεται σε πολύ σκληρά υλικά (π.χ. χάλυβες εναζώτωσης ή ενανθράκωσης). Δεν συνιστάται για φαιό ή μαλακτικοποιημένο χυτοσίδηρο. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μικρά και λεπτά τεμάχια.
- Δοκιμή ROCKWELL HRS ή HRC: Διείδυση μπίλιας ή κωνικού διαμαντιού, αντίστοιχα. Ούτε αυτή συνιστάται για φαιό ή μαλακτικοποιημένο χυτοσίδηρο.
- Δοκιμή KNOOP: Διείδυση διαμαντιού σε σχήμα πυραμίδας με ρομβοειδή βάση. Κατάλληλη για πολύ σκληρά και εύθραυστα υλικά.

Σημειώνουμε ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ της αντοχής σ' εφελκυσμό (όριο θραύσης) και της σκληρότητας BRINELL : $HB \approx 3 \times \sigma_{\theta\beta}$.

Αυτή η σχέση όμως είναι πολύ προσεγγιστική και με κανένα τρόπο δεν επιτρέπει ν' αντικαταστήσουμε τη δοκιμή εφελκυσμού με δοκιμή BRINELL ή αντίστροφα.

2.2 Αντοχή των συγκολλητών συνδέσεων σε εναλλασσόμενα φορτία

Οι συγκολλητές κατασκευές χρησιμοποιούνται και για τη μεταφορά εναλλασσόμενων φορτίων. Τέτοιου είδους κατασκευές είναι: Οι σιδηροδρομικές γέφυρες, οι γερανογέφυρες, τα πλαίσια κινητήρων υψηλής πίεσης, τα πλαίσια φορτηγών αυτοκινήτων. Με την επίδραση των εναλλασσόμενων φορτίων στα συνδεόμενα εξαρτήματα εμφανίζονται εναλλασσόμενες τάσεις εξίσου ως προς το μέγεθος και τη διεύθυνση. Επαναλαμβανόμενες περιοδικά οι τάσεις, προξενούν μετά από κάποια περίοδο εκμετάλλευσης, ρηγματώσεις κόπωσης, άρα επέρχεται βαθμιαία απώλεια της ικανότητας μεταφοράς φορτίου. Οι ρηγματώσεις κόπωσης, χωρίς την αλλαγή της μορφής του εξαρτήματος, εμφανίζονται απρόβλεπτα, συνήθως με σχετικά χαμηλό επίπεδο των τάσεων. Οι ρηγματώσεις κόπωσης αναπτύσσονται όταν το μη μετακινούμενο εξάρτημα ή η σύνδεση μπορεί να μεταφέρει φορτίο κατά στατικό τρόπο. Η υπέρβαση της αντοχής θραύσης στο τέλος της ρηγματώσης κόπωσης

προξενεί την ολική καταστροφή της διατομής. Στα συγκολλητά εξαρτήματα η ρηγμάτωση κόπωσης δημιουργείται συνήθως με απότομες μεταβολές των διατομών, στα εξωτερικά και εσωτερικά σφάλματα των συνδέσεων και στους κρατήρες της κόλλησης. Το θραύσμα κόπωσης έχει ειδικό χαρακτήρα. Στο θραύσμα κόπωσης εμφανίζονται δύο ζώνες – η ζώνη ρηγμάτωσης με ομαλή επιφάνεια και η ζώνη ρηγμάτωσης με τραχεία επιφάνεια.

2.2.1 Είδη φορτίσεων

Οι φορτίσεις που μεταφέρονται από τις κατασκευές διαιρούνται σε: στατικές, δυναμικές και εναλλασσόμενες.

Στατικές φορτίσεις είναι οι φορτίσεις που δε μεταβάλλονται στο χρόνο ή δεν προξενούν σημαντικές επιταχύνσεις. Οι στατικές φορτίσεις είναι: η μάζα της κατασκευής, τα φορτία δεξαμενών, η φόρτιση με χιόνια, με ανέμους.

Δυναμικές φορτίσεις είναι οι φορτίσεις που επιδρούν σε πολύ μικρή χρονική διάρκεια, προξενώντας σημαντικές επιταχύνσεις και αύξηση των δυνάμεων κατά τη διαδικασία κρούσης. Η κρούση προξενεί την εμφάνιση ελαστικών ή πλαστικών παραμορφώσεων της κατασκευής. Οι φορτίσεις που μεταβάλλονται στο χρόνο ονομάζονται **εναλλασσόμενες φορτίσεις**. Η πορεία των εναλλασσόμενων φορτίων στο χρόνο ορίζεται ως φάσμα φόρτισης. Το φάσμα αυτό μπορεί να είναι μη ρυθμικό ή επίσης να παρουσιάζει ορισμένη ορθότητα. Η επανάληψη του ορθού φάσματος στα επιλεγμένα σταθερά τμήματα του χρόνου, που ονομάζονται περίοδοι, είναι χαρακτηριστικό για την περιοδική εναλλασσόμενη φόρτιση. Ιδιαίτερο παράδειγμα περιοδικής εναλλασσόμενης φόρτισης είναι η ημιτονοειδής εναλλασσόμενη φόρτιση. Ο κύκλος των ημιτονοειδών εναλλασσόμενων τάσεων καταγράφεται δια των μέγιστων τάσεων σ_{max} των ελάχιστων τάσεων σ_{min} της περιόδου εναλλαγών T ή της συχνότητας f (**σχήμα 1**).



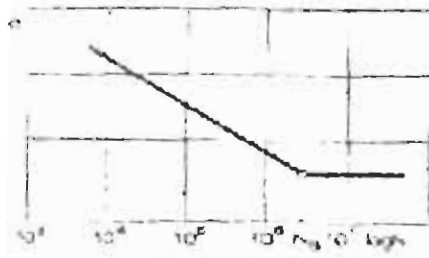
Σχήμα 1 Παράδειγμα φάσματος τάσεων εναλλασσόμενων ημιτονοειδώς

Η μέση τάση του κύκλου είναι: $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ ενώ το εύρος των τάσεων

$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$. Ο λόγος της ελάχιστης τάσης προς τη μέγιστη ονομάζεται

συντελεστής ασυμμετρίας του κύκλου. $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$. Περισσότερο τυπικοί κύκλοι είναι

ο μονόπλευρος και ο δίπλευρος κύκλος. Στο μονόπλευρο κύκλο η τάση εναλλάσσει την τιμή της, αλλά δεν εναλλάσσει το πρόσημό της. Οι κύκλοι αυτοί δημιουργούν τέμνουσα κατάσταση. Ειδική περίπτωση μονόπλευρου κύκλου είναι ο κύκλος που περνάει από το μηδέν, του οποίου η $\sigma_{min}=0$ ή επίσης η $\sigma_{max}=0$. Στο δίπλευρο κύκλο, οι τάσεις εναλλάσσουν το πρόσημο και την τιμή τους. Ειδική περίπτωση του δίπλευρου κύκλου είναι ο εκκρεμής κύκλος,



Σχήμα 2 Διάγραμμα κόπωσης Wöhler.



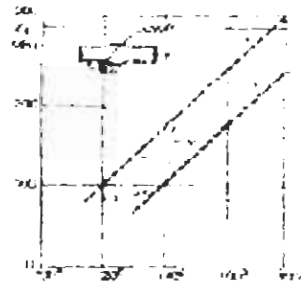
Σχήμα 3 Πλήρες διάγραμμα κόπωσης ΛΑ στο σύστημα, σ περιοχή της λιγοκυκλικής αντοχής, ΠΑΚ περιοχή περιορισμένης αντοχής κόπωσης, ΑΚ αντοχή κόπωσης

του οποίου $\sigma_{max} = \sigma_{min}$. Αυτός ο κύκλος είναι συμμετρικός. Οι κύκλοι, στους οποίους οι σ_{max} και σ_{min} διαφέρουν ως προς την τιμή, είναι ασύμμετροι κύκλοι. Κύκλοι με τον ίδιο συντελεστή ασυμμετρίας K είναι όμοιοι κύκλοι.

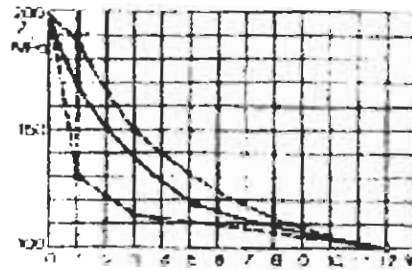
2.3 Η επίδραση των σφαλμάτων στις συγκολλητές συνδέσεις

Βασική επίδραση για τη διάρκεια εκμετάλλευσης των συγκολλητών κατασκευών, εργαζομένων με εναλλασσόμενα φορτία, ασκεί η ποιότητα εκτέλεσης των συνδέσεων. Στις περισσότερες μη ωφέλιμες περιπτώσεις πρέπει να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη πτώσης της αντοχής κόπωσης των συνδέσεων με σφάλματα κατά 50%-60% σε σύγκριση με τις συνδέσεις που εκτελέστηκαν σωστά. Στα κύρια σφάλματα ανήκουν: οι υποκοπές στη μετάβαση της κόλλησης προς το μητρικό υλικό, το τραχύ και διογκωμένο μέτωπο της κόλλησης, οι κρατήρες στα άκρα της κόλλησης, οι ρηγματώσεις, η ελλιπής διείσδυση, η σκωρίαση και οι πόροι. Οι υποκοπές υπάρχουν στη μετάβαση της κόλλησης προς το μητρικό υλικό. Στις κατασκευές που εργάζονται με σταθερές φορτίσεις, δεν ασκούν μεγάλη επιρροή στη διάρκεια εκμετάλλευσης της κατασκευής. Το βάθος της υποκοπής μειώνει τη διατομή των συνδεόμενων εξαρτημάτων και βάσει των προδιαγραφών που εμπεριέχονται στους κανονισμούς εκτέλεσης των κολλήσεων, πρέπει να ξανακολληθούν. Οι υποκοπές ασκούν μεγάλη επίδραση στην αντοχή κόπωσης των μετωπικών συνδέσεων. Οι υποκοπές με βάθος $3\%-5\%$ ελαττώνουν την αντοχή κόπωσης της μετωπικής σύνδεσης μέχρι $Z_f=90[MP_a]-100[MP_a]$. Η αφαίρεση των υποκοπών με λείανση προς τη διεύθυνση, σύμφωνα με τη δράση των δυνάμεων, επιτρέπει την επίτευξη αντοχής κόπωσης της μετωπικής σύνδεσης $Z_f=160[MP_a]-180[MP_a]$. Στις αυχενικές συνδέσεις, οι υποκοπές δεν ασκούν μεγάλη επίδραση στην αντοχή.

Μεγάλη επίδραση στην αντοχή κόπωσης των μετωπικών συνδέσεων ασκεί το ύψος της ενίσχυσης. Η ποσοτική επίδραση της μορφής της σύνδεσης με ενίσχυση, που καθορίζεται με τη γωνία μεταξύ του ελάσματος και της εφαπτομένης της ενίσχυσης, φαίνεται στο **σχήμα 4**. Η αντοχή κόπωσης των συνδέσεων με ενίσχυση ορίζεται με τη σταθερά $N=2 \cdot 10^6$ κύκλων. Τα εσωτερικά σφάλματα με μορφή πόρων, σκουριών και ελλιπείς διείσδυσης ασκούν μεγάλη επιρροή στην αντοχή κόπωσης. Από τις έρευνες που έγιναν για τον καθορισμό του ορίου των επιτρεπόμενων σφαλμάτων στις μετωπικές κολλήσεις παρουσιάστηκαν δυσκολίες για την ασφαλή εκμετάλλευση της κατασκευής. Μερικοί ερευνητές νομίζουν ότι ως επιτρεπόμενα σφάλματα μπορούν να θεωρηθούν οι πόροι που προξενούν ελάττωση της διατομής της κόλλησης αλλά όχι μεγαλύτερη από 1,7%.



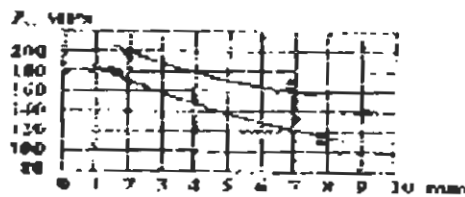
Σχήμα 4 Επίδραση της ενίσχυσης κολλήσεως στην αντοχή κόπωσης μετωπικής σύνδεσης: 1 μητρικό υλικό κατεργασμένο μηχανικά, 2 μητρικό υλικό στην αρχική του κατάσταση.



Σχήμα 5 Επίδραση των πόρων στην αντοχή κόπωσης μετωπικών συνδέσεων.

Περισσότερο επικίνδυνοι είναι οι αλυσιδωτοί πόροι, καθώς και οι πόροι που επιπλέουν στην επιφάνεια της κόλλησης. Σε πολλές περιπτώσεις η συγκέντρωση των τάσεων στο σημείο μετάβασης της κόλλησης προς το μητρικό υλικό μπορεί να προξενήσει μεγαλύτερη επίδραση στην αντοχή κόπωσης της σύνδεσης απ' ό,τι οι πόροι που υπάρχουν στην κόλληση. Στο **σχήμα 5** φαίνεται η επίδραση των πόρων στην αντοχή κόπωσης της μετωπικής σύνδεσης με αφαιρούμενη ενίσχυση, ανάλογα με την ελάττωση της διατομής. Η ελάττωση της διατομής καθορίζεται από τη φωτομετρική μέθοδο, που συνίσταται στη μέτρηση της αμαύρωσης του ραδιογραφήματος της σύνδεσης με τα σφάλματα. Η σκωρίαση, συμπαγής και κατά ζώνες, ανήκει στα σφάλματα που συνήθως ανιχνεύονται κατά το ραδιογραφικό έλεγχο της σύνδεσης συγκολλητών κατασκευών. Οι συμπαγείς σκουριές έχουν μορφή πλησιέστερη στους πόρους αερίων. Γι' αυτό έχουν παρόμοια με τους πόρους επίδραση στην αντοχή κόπωσης. Οι σκουριές κατά ζώνες δημιουργούν γραμμικά σφάλματα. Ορίζεται ότι μεταξύ της αντοχής κόπωσης και της διάστασης του σφάλματος υπάρχει συσχετισμός του καθορισμένου μήκους της σκουριάς που φαίνεται στο ραδιογράφημα. Ο συσχετισμός αυτός για τις μετωπικές συνδέσεις που εκτελούνται με ηλεκτρόδια χαμηλής ποσότητας υδρογόνου και ρουτιλίου φαίνεται στο **σχήμα 6**. Από το συσχετισμό αυτό συμπεραίνεται ότι τα μικρά σφάλματα προξενούν σημαντική ελάττωση της αντοχής κόπωσης. Στο **σχήμα 7** φαίνονται οι

τιμές της αντοχής κόπωσης μετωπικών συνδέσεων με χάλυβα St3S πάχους 15[mm] με σκουριές κατά ζώνες. Στις συνδέσεις χωρίς σφάλματα η ενίσχυση παρέμεινε, ενώ στις υπόλοιπες συνδέσεις αφαιρέθηκε.



Σχήμα 6 Επίδραση του μήκους σκουριών – κατά ζώνες στην αντοχή κόπωσης μετωπικών συνδέσεων εκτελεσθέντων: 1 με ηλεκτρόδια χαμηλού υδρογόνου, 2 με ηλεκτρόδια ρουτιλίου.

Περιγραφή σφάλματος Χωρίς σφάλματα με την ενίσχυση	Κλάση ελαττωματικότητας	Αντοχή κόπωσης Z_{σ} 0,2 MP _a
	1	180
Bp11	2	174
Bp12	2	148
Bp13	3	112
Bp14	4	117
Bp23	4	108
Bp24	5	100
Bp34	5	

Σχήμα 7 Αντοχή κόπωσης μετωπικής σύνδεσης με χάλυβα St 3S με σκουριές κατά ζώνες, με βάση $N=2 \cdot 10^6$ κύκλων.



Σχήμα 8 Επίδραση στην ελάττωση εγκάρσιας επιφάνειας από έλλειψη διείδυσης στην αντοχή κόπωσης

Μεγάλη επίδραση στην αντοχή κόπωσης ασκεί η ελλειπής ή ατελής διείδυση στις μετωπικές συνδέσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ελλειπής διείδυση χαρακτηρίζεται από αιχμηρά τοιχώματα και μικρές ακτίνες των καμπυλών. Αυτό οδηγεί στις μεγάλες συγκεντρώσεις των τάσεων και την ελάττωση της αντοχής κόπωσης. Στο **σχήμα 8** φαίνεται ο συσχετισμός μεταξύ της αντοχής κόπωσης μετωπικής σύνδεσης από κατασκευαστικό ανθρακοχάλυβα και με ποσοστιαία ελάττωση της επιφάνεια διατομής με μονόπλευρο εφελκυσμό και με $N=2 \cdot 10^6$ κύκλων.

Τα αποτελέσματα των δοκιμασιών, που φαίνονται στο **σχήμα 8**, αποδεικνύουν μονοσήμαντα ότι το μήκος και το πλάτος του σφάλματος, έχουν σημαντική επιρροή στην αντοχή κόπωσης της σύνδεσης. Μερικοί ερευνητές συνδέουν την αντοχή κόπωσης των μετωπικών συνδέσεων με την ελλiptή διείσδυση από το βάθος αυτού του σφάλματος. Στο **σχήμα 9** φαίνονται οι τιμές της αντοχής κόπωσης μετωπικής σύνδεσης με πάχος 18[mm] από χάλυβα S13. Η αντοχή κόπωσης ορίζεται με $N=2 \cdot 10^6$ κύκλων και με συντελεστή ασυμμετρίας κύκλου $R=+0,2$. Και σ' αυτήν την περίπτωση με ασήμαντη έλλειψη διείσδυσης ελαττώνεται ξεκάθαρα η αντοχή κόπωσης της σύνδεσης. Η παραπέρα αύξηση του σφάλματος ελαττώνει την αντοχή κόπωσης αναλογικά με τη διατομή.

Περιγραφή σφάλματος	Z _{ij} MP _a
Χωρίς σφάλματα η ενίσχυση κατεργασμένη	265
Έλλειψη διείσδυσης βάθους (0,05-0,6)g	190
Έλλειψη διείσδυσης βάθους (0,11-0,16)g	135
Έλλειψη διείσδυσης βάθους (0,24-0,28)g	83
Έλλειψη διείσδυσης βάθους (0,43-0,46)g	65

Σχήμα 9 Αντοχή κόπωσης μετωπικών συνδέσεων με ελλiptή διείσδυση, με βάση $N=2 \cdot 10^6$ κύκλων.

2.4 Εσωτερικές τάσεις

Κατά τη διαδικασία συγκόλλησης των μετάλλων, λόγω ανομοιόμορφης θέρμανσης προξενείτε πάντα η εμφάνιση τάσεων και παραμορφώσεων στις συγκολλητές συνδέσεις. Οι τάσεις αυτές ονομάζονται εσωτερικές τάσεις. Μπορούν να χαρακτηριστούν ως τάσεις, οι οποίες ισορροπούν μεταξύ τους στο εσωτερικό κάποιας περιοχής του σώματος και εμφανίζονται χωρίς εξωτερικές φορτίσεις. Τότε πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- ♦ Το άθροισμα όλων των εσωτερικών δυνάμεων σε τυχαία περιοχή του σώματος είναι ίσο με μηδέν, $\Sigma F=0$
- ♦ Το άθροισμα των προξενούμενων ροπών από τη δράση των εσωτερικών δυνάμεων σε τυχαία περιοχή του σώματος, είναι ίσο με μηδέν, $\Sigma M=0$
- ♦ Οι εσωτερικές τάσεις διαιρούνται, ανάλογα με τον τρόπο εμφάνισής τους:
 - (α) i. Είδη εσωτερικών τάσεων αναλόγως των αιτιών δημιουργίας τους

- ii. Θερμικές-χρονικές που προξενούν μόνο ελαστικές παραμορφώσεις
 - iii. Μόνιμες δημιουργούμενες από το αποτέλεσμα των πλαστικών παραμορφώσεων σε σώμα που χαρακτηρίζεται με ελαστοπλαστική κατάσταση
 - iv. Μόνιμες δημιουργούμενες κατά την ανομοιόμορφη θέρμανση και ψύξη του σώματος
 - v. Μόνιμες δημιουργούμενες λόγω μετασχηματισμών φάσεων και δοκιμών στοιχείων
- (β)
- i. Είδη εσωτερικών τάσεων αναλόγως των διαστάσεων του όγκου της μάζας του σώματος στην οποία αυτές ισορροπούν
 - ii. Είδος ισορρόπησης σε μακρο-μεγέθη δεδομένου σώματος
 - iii. Είδος ισορρόπησης σε μακρο-μεγέθη του όγκου δηλαδή στα όρια των γειτονικών κόκκων. Η πηγή αυτών είναι ο προσανατολισμός των κρυστάλλων.
 - iv. Είδος ισορρόπησης στα κρυσταλλικά πλέγματα
- (γ)
- i. Είδη εσωτερικών τάσεων τη θέση τους στο χώρο
 - ii. Μονοαξονικές – όταν παράγεται θερμότητα σε λεπτή πλάκα
 - iii. Διαξονικές – όταν προσάγεται θερμότητα σε δύο κάθετες διευθύνσεις
 - iv. Τριαξονικές – εμφανίζονται στις κολλήσεις χοντρών ελασμάτων

Κατά τη διαδικασία συγκόλλησης προκύπτει τοπική θέρμανση και ψύξη του μετάλλου, λόγω της θερμικής διαστολής, το θερμαινόμενο μέταλλο διαστέλλεται, το ψυχόμενο συστέλλεται. Το μέρος του μετάλλου που συγκολλήθηκε δημιουργεί δυσκαμψία, που περιορίζει την ελεύθερη μεταβολή των διαστάσεων της θερμαινόμενης ζώνης. Ο περιορισμός ελευθερίας των παραμορφώσεων προξενεί την εμφάνιση τάσεων $\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$ όπου: E μέτρο ελαστικότητας, α γραμμικός συντελεστής

θερμικής διαστολής, Δt διαφορά θερμοκρασίας της θερμαινόμενης και της μη θερμαινόμενης ζώνης του μετάλλου. Οι τιμές E και α μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό στην περιοχή της εμφανιζόμενης θερμοκρασίας, κατά τη διαδικασία συγκόλλησης. Επίσης, μεταβάλλεται, σε μεγάλο βαθμό, και το όριο πλαστικότητας του μετάλλου, η Δt λίγο μεγαλύτερη από τους $100[^\circ\text{C}]$, προξενεί την εμφάνιση τάσεων ίσων με το όριο πλαστικότητας. Η μεγάλη διαφορά των θερμοκρασιών κατά τη συγκόλληση είναι και η αιτία της δημιουργίας των πλαστικών παραμορφώσεων. Επίσης, από την άποψη των χαμηλών μηχανικών ιδιοτήτων στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς και του μικρού όγκου του θερμαινόμενου μετάλλου, σε σύγκριση με το μέγεθος ολόκληρου του συγκολλούμενου στοιχείου, εμφανίζονται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις στη ζώνη της σύνδεσης.

Οι πρόσθετες παραμορφώσεις δημιουργούνται από τις μεταβολές του όγκου, συνοδευόμενες από τους μετασχηματισμούς των φάσεων του μετάλλου. Το πρόβλημα των ιδίων τάσεων από το μετασχηματισμό των φάσεων δεν είναι ουσιώδες κατά τη συγκόλληση μαλακών ανθρακοχαλύβων, επειδή οι μετασχηματισμοί των φάσεων γίνονται στην περιοχή θερμοκρασιών, στην οποία το όριο ελαστικότητας είναι χαμηλό και οι μεταβολές στον όγκο εύκολα ισορροπούνται από τις πλαστικές παραμορφώσεις. Ενώ στην περίπτωση των κραματωμένων χαλύβων, οι μετασχηματισμοί φάσεων γίνονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Για το λόγο αυτό, στους χάλυβες αυτούς η επίδραση των μετασχηματισμών των φάσεων στην κατάσταση των ιδίων τάσεων είναι μεγάλη. Στις συγκολλητές συνδέσεις, κατά την ψύξη, αναπτύσσονται εφελκυστικές και θλιπτικές εσωτερικές τάσεις, προξενούμενες από τη μεταβολή της θερμοκρασίας και από την ύπαρξη σ' αυτές τυχόν μετασχηματισμών φάσεων. Οι καταστάσεις των τάσεων και παραμορφώσεων, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης μεταβάλλονται ως προς το μέγεθος και το πρόσημο. Είναι οι λεγόμενες **μεταβατικές**. Οι μεταβατικές καταστάσεις των τάσεων και παραμορφώσεων ασκούν επίδραση στη δημιουργία ρωγμών, κυρίως θερμών. Μετά την ψύξη στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στο μέταλλο εμφανίζονται εσωτερικές **παραμένουσες τάσεις** συγκόλλησης. Στα μεταλλικά στοιχεία, επίσης, εμφανίζονται εσωτερικές τάσεις, που δημιουργούνται με τις διαδικασίες έλασης, πλαστικής κατεργασίας, χύτευσης, θερμικής κατεργασίας, μηχανικής κατεργασίας. Η τελική κατάσταση των τάσεων δημιουργείται από τη συνάθροιση των διαδοχικών καταστάσεων των εσωτερικών τάσεων, δημιουργημένων κατά τις διαδικασίες παρασκευής του μετάλλου. Το τελευταίο στάδιο στις

συγκολλητές κατασκευές είναι συνήθως η συγκόλληση, η οποία ασκεί τη μεγαλύτερη επίδραση για την τελική κατάσταση των εσωτερικών παραμενουσών τάσεων.

2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των τάσεων συγκόλλησης

Για να αναλυθεί το πρόβλημα των τάσεων συγκόλλησης, πρέπει να διαχωριστεί σε δύο υποθέσεις: το πρόβλημα των τάσεων συγκόλλησης και το πρόβλημα των εσωτερικών δυνάμεων συστολής, που επιδρούν στη συγκολλητή κατασκευή. Το μέγεθος των τάσεων συγκόλλησης εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. την τιμή του συντελεστή θερμικής διαστολής του συγκολλούμενου υλικού
2. τη γραμμική συστολή, προξενούμενη από τη στερεοποίηση του μετάλλου (χυτοσίδηρος 1%, χάλυβας 2%)
3. το ύψος του ορίου πλαστικότητας
4. τη δυσκαμψία της κατασκευής

Οι παράγοντες αυτοί, γενικά, συνδέονται με τις φυσικές ιδιότητες του συγκολλούμενου υλικού, γι' αυτό δεν μπορούν να έχουν αποφασιστική επίδραση. Μόνο η δυσκαμψία της κατασκευής μπορεί να βελτιωθεί σε μεγαλύτερη περιοχή. Όλοι οι προαναφερθέντες παράγοντες αποτελούν το αίτιο αύξησης των τάσεων. Η πλαστικότητα του υλικού ασκεί επίδραση όχι στην τιμή των τάσεων, αλλά στο είδος των παραμορφώσεων – στα υλικά με υψηλή πλαστικότητα οι τάσεις δημιουργούν πλαστικές παραμορφώσεις, ενώ στα ψαθυρά υλικά προξενούν θραύσεις.

Οι δυνάμεις συστολής, δημιουργούμενες στη συγκολλητή σύνδεση, εξαρτώνται από:

- α. το πλάτος της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά (ΖΕΘ)
- β. τον τρόπο εναπόθεσης των κολλήσεων

Αυτοί οι δύο παράγοντες εξαρτώνται από την αποδειχθείσα τεχνολογία. Η αύξηση του πλάτους της ΖΕΘ ευνοεί την αύξηση των δυνάμεων που προξενούν την παραμόρφωση του συγκολλούμενου υλικού. Το μέγεθος αυτής της ζώνης εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του συγκολλούμενου υλικού και την εντατικότητα της πηγής θερμότητας. Μικρή ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση πηγής ενέργειας με αυξημένη εντατικότητα.

2.6 Συνέπειες των τάσεων συγκόλλησης στις συγκολλητές κατασκευές

Όπως προκύπτει από την επίδραση των τάσεων συγκόλλησης, τα συνδεόμενα εξαρτήματα παραμορφώνουν όλη την κατασκευή ή προξενούν τοπική παραμόρφωση στην περιοχή της κόλλησης. Η μία, όπως και η δεύτερη μορφή παραμορφώσεων, οδηγεί στη μερική ελευθέρωση των τάσεων στη συγκολλούμενη σύνδεση. Η παραμορφωμένη κατασκευή παρατηρείται στην περίπτωση συγκόλλησης εξαρτημάτων λεπτού πάχους, εκτελεσμένων από υλικά με σημαντική πλαστικότητα. Όμως, στην περίπτωση συγκολλητής κατασκευής με μεγάλη δυσκαμψία δημιουργείται τοπική παραμόρφωση στην περιοχή της κόλλησης των συνδεόμενων εξαρτημάτων, με μορφή πλαστικής παραμόρφωσης ή θραύσης. Ο βαθμός της παραμορφωμένης κατασκευής καθώς και η τοπική της παραμόρφωση εξαρτάται από την εμφανιζόμενη συστολή, μετά το πέρας της συγκόλλησης. Διακρίνονται τρία είδη συστολών στα συγκολλούμενα εξαρτήματα: *διαμήκης, εγκάρσια συστολή και συστολή στο πάχος των υλικών.*

Διαμήκης συστολή. Η τιμή της διαμήκους συστολής εξαρτάται από το λόγο της διατομής της κόλλησης ως προς την εγκάρσια διατομή της σύνδεσης. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο λόγος τόσο μεγαλύτερη είναι και η συστολή. Από τα πειράματα προκύπτει ότι αυτή η συστολή κυμαίνεται στα όρια $0,1[\text{mm/m}]$ - $0,3[\text{mm/m}]$ της κόλλησης.

Η επιμήκης συστολή, εκτός από τη σμίκρυνση της σύνδεσης, μπορεί να προκαλέσει και το λυγισμό της, εφόσον η κόλληση έχει εκτελεστεί στον άξονα του κέντρου βάρους.

Η εμφανιζόμενη εδώ δύναμη συστολής F , κατά μήκος της απόστασης προξενεί ροπή κάμψης: $M=P \cdot e$. Ως επακόλουθο της δράσης αυτής της ροπής η δοκός

θα υποστεί λυγισμό με τιμή f .
$$f = \frac{M \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{P \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I}$$
 όπου: M ροπή συστολής, P

δύναμη συστολής, β απόσταση από τον άξονα του κέντρου βάρους, l μήκος της κόλλησης, E μέτρο ελαστικότητας, I ροπή αδρανείας.

Η εγκάρσια συστολή, αναπτυσσόμενη στη σύνδεση, προξενεί την εγκάρσια σμίκρυνσή της, στην περίπτωση εναπόθεσης της κόλλησης συμμετρικά, καθώς και σμίκρυνση και λυγισμό γωνιακό, κατά την εναπόθεση της κόλλησης ασύμμετρα. Η τιμή της εγκάρσιας συστολής είναι ευθέως ανάλογη προς τον όγκο του εναποτιθέμενου υλικού στο αυλάκι της κόλλησης. Η εγκάρσια συστολή λαμβάνει

σημαντικές τιμές. Ως εκ τούτου στην περίπτωση στερέωσης της σύνδεσης ως προς την εγκάρσια διεύθυνση, θα πρέπει να αναμένουμε την εμφάνιση μεγάλων τάσεων συστολής. Η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης β σε κόλληση μονής στρώσης εξαρτάται από τη γωνία της αυλάκωσης της κόλλησης ϕ .

$$\beta = 2 \cdot \alpha_t \cdot T_{\mu,\sigma} \cdot t_s \cdot \frac{\phi}{2} [^\circ] \quad \beta = 2 \cdot \frac{2\pi}{360} \cdot \alpha_t \cdot T_{\mu,\sigma} \cdot t_s \cdot \frac{\phi}{2} [rad] \quad \text{όπου: } \alpha_t \text{ γραμμικός}$$

συντελεστής θερμικής διαστολής, $T_{\mu,\sigma}$ μέση θερμοκρασία μετάβασης του τηκόμενου μετάλλου από πλαστική κατάσταση σε ψαθυρή για τους περισσότερους κατασκευαστικούς χάλυβες είναι $600[^\circ\text{C}]$. Για τους κατασκευαστικούς χάλυβες, ο παραπάνω τύπος παίρνει τη μορφή:

$$\beta = 0,0144 \cdot t_s \cdot \frac{\phi}{2} [^\circ] \quad \beta = \frac{2\pi}{360} \cdot 0,0144 \cdot t_s \cdot \frac{\phi}{2} [rad]. \quad \text{Στην περίπτωση των}$$

κολλήσεων με πολλές στρώσεις, η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης μεταβάλλεται και εξαρτάται από τον αριθμό των στρώσεων της κόλλησης, τη μορφή της αυλάκωσης της κόλλησης και το πάχος της σύνδεσης.

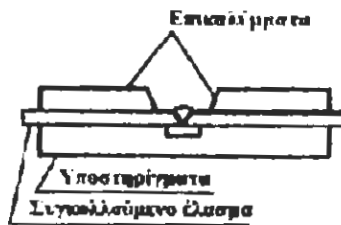
Συστολή στο πάχος. Αυτού του είδους η συστολή, από την άποψη των χαμηλών τιμών και της διεύθυνσης δράσεως, δεν ασκεί πρακτική επίδραση στις παραμορφώσεις της κατασκευής.

2.7 Τρόποι μείωσης των παραμορφώσεων και των τάσεων συγκόλλησης

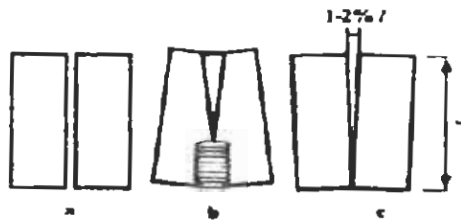
Οι εμφανιζόμενες τάσεις για να μη στρεβλώνουν αρκετά τις συγκολλητές κατασκευές, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, επιβάλλεται να χρησιμοποιούνται ιδιοσυσκευές συγκόλλησης. Η διαδικασία συγκόλλησης των εξαρτημάτων λεπτού πάχους πρέπει να εκτελείται με τη χρησιμοποίηση ιδιοσυσκευών συγκόλλησης. Οι ιδιοσυσκευές αυτές επιτρέπουν την ισχυρή συγκράτηση-δέσιμο των συνδεόμενων εξαρτημάτων, και ως αποτέλεσμα αυτού οι στρεβλώσεις μειώνονται σημαντικά. Άλλοι τρόποι για την μείωση των εμφανιζόμενων παραμορφώσεων κατά τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων επιτυγχάνονται:

- α) με την τοποθέτηση υποστηριγμάτων επαγωγής θερμότητας (**σχήμα 10**)
- β) με κατάλληλη τοποθέτηση ελασμάτων για τη συγκόλληση (**σχήμα 11**)
- γ) εκτέλεση μετωπικής κόλλησης αντί γωνιακής (**σχήμα 12**)

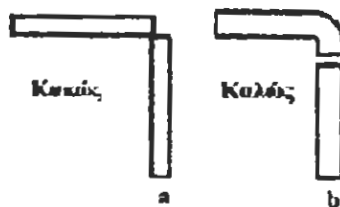
Με σκοπό την αποφυγή ανεπιθύμητων παραμορφώσεων κατά τη συγκόλληση παχέων ελασμάτων, λοξοτομημένων σε σχήμα V, ή στις επιφανειακές κολλήσεις, πρέπει να τοποθετηθούν καταλλήλως τα εξαρτήματα (**σχήμα 13**). Παράδειγμα που παρουσιάζει την επίδραση της διαδοχικής σειράς εκτέλεσης των κολλήσεων, για να μην παραμορφωθεί η κατασκευή, είναι η συγκόλληση της δοκού διπλού ταυ (**σχήμα 14**).



Σχήμα 10 Συγκόλληση με υποστηρίγματα για την επαγωγή της θερμότητας



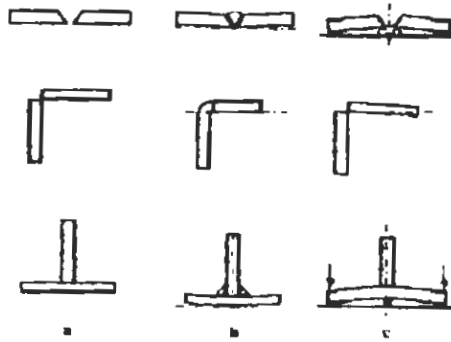
Σχήμα 11 Τοποθέτηση των ελασμάτων για τη συγκόλληση και την αποφυγή παραμόρφωσης της σύνδεσης: a) τα ελάσματα προ της συγκόλλησης, b) η συμπεριφορά των ελασμάτων κατά τη συγκόλληση, c) ορθή τοποθέτηση των ελασμάτων, λαμβάνοντας υπόψη την εγκάρσια διαστολή.



Σχήμα 12 Τρόπος τοποθέτησης των ελασμάτων για την αποφυγή των παραμορφώσεων.

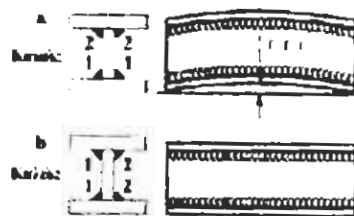
Για τη μείωση του λυγισμού, σε μεγάλα μήκη των κολλήσεων, πρέπει το όλο μήκος της κόλλησης να διαφεθεί σε τμήματα με ποντάρισμα και, στη συνέχεια, να γίνει η συγκόλληση με κορδόνι «βηματικό», «αναπήδησης» ή «βηματικό-αναπήδησης». Γενική αρχή σ' αυτούς τους τρόπους συγκόλλησης είναι να εκτελούνται διαδοχικά τα τμήματα, μετά από το κρύωμα των γειτονικών. Η αρχή των διάφορων τρόπων εναπόθεσης των κολλήσεων φαίνεται στο **σχήμα 15**. Οι τρόποι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα αποφεύγουν μόνο σε κάποιο βαθμό την παραμορφωμένη κατάσταση της κατασκευής, ενώ δε μειώνουν αποφασιστικά τις τάσεις και τις

δυνάμεις συστολής. Η τιμή των εσωτερικών δυνάμεων που επικρατούν στη σύνδεση μπορεί να μειωθεί με ειδική εναπόθεση των κορδονιών και κατάλληλη σειρά των στρώσεων.

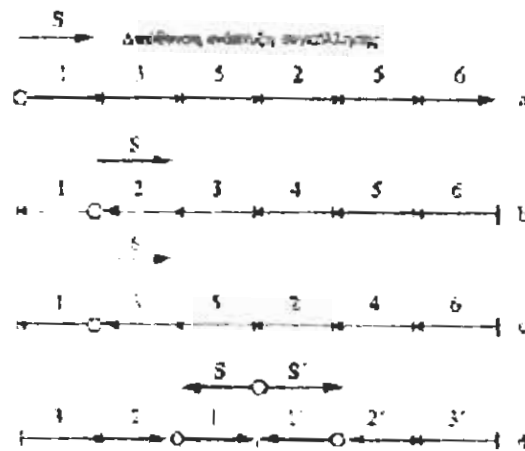


Σχήμα 13 Τρόπος αποφυγής της παραμόρφωσης της συγκολλητής κατασκευής με κολλήσεις V για αχενικές: a) κακή τοποθέτηση, b) η συνέπεια της κακής τοποθέτησης, c) σωστή τοποθέτηση.

Κατά την εκτέλεση κολλήσεων πολλών στρώσεων, η εναπόθεση κάθε επόμενης στρώσης προξενεί αποτατική ανόπτηση στην προηγούμενη στρώση. Σε τέτοιες περιπτώσεις προτείνεται η εναπόθεση των διαδοχικών στρώσεων κλιμακωτά (σχήμα 16).



Σχήμα 14 Η επίδραση του τρόπου εναπόθεσης των κολλήσεων για την αποφυγή της παραμόρφωσης της δοκού τύπου τω: a) κακώς, b) καλώς σειρά των στρώσεων κόλλησης.



Σχήμα 15 Τύποι κορδονιών που μειώνουν την παραμόρφωση της συγκολλητής κατασκευής: a) κορδόνι αναπήδησης, b) βηματικό κορδόνι, c) κορδόνι βηματικό αναπήδησης, d) αναπήδησης βηματικό κορδόνι, e) αρχή της συγκόλλησης



Σχήμα 16 Κλιμακακό κορδόνι.

2.8 Ηλεκτρόδια με επένδυση

Τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται για την χειρωνακτική συγκόλληση τόξου αποτελούνται από δύο στοιχεία: τον πυρήνα και το μεταλλικό μέρος του ηλεκτροδίου με μορφή σύρματος, σιδηρόσκονης, κραματικών σκονών, χυτής ράβδου και από την επένδυση με ειδικά συστατικά.

Η δημιουργούμενη ποσότητα αερίου και η σκουριά, που καλύπτουν το τόξο, καθώς και η χημική τους σύνθεση, εξαρτώνται από το είδος της επένδυσης και το πάχος της. Χρησιμοποιούνται επενδύσεις με διάφορα πάχη, ανάλογα με τη διάμετρο του πυρήνα. Χρησιμοποιούνται επενδύσεις: ρουτιλίου, όξινης, βασικής, οξειδωτικές, κυτταρίνης, ρουτιλίου – βασικές και εξαρτώνται από τις χημικές ιδιότητες των συστατικών τους.

Οι βασικές λειτουργίες των επενδύσεων είναι:

- η προστασία του τόξου από την εισχώρηση του ατμοσφαιρικού αέρα
- η εισροή στην περιοχή της κόλλησης στοιχείων αποξειδοτικών και εξευγενισμού του ρευστού μετάλλου της κόλλησης
- η δημιουργία σκουριάς πάνω από το ρευστό λουτρό και από το στερεοποιημένο μέταλλο της κόλλησης
- η ρύθμιση της χημικής σύνθεσης της κόλλησης.

Τα πολλά στρώματα των επενδύσεων έχουν σαν σκοπό να πληρούν δύο ή τρεις από τις αναφερόμενες λειτουργίες. Το πρώτο στρώμα που εφάπτεται στο μεταλλικό πυρήνα πληροί μόνο τη μεταλλουργική λειτουργία, ενώ το δεύτερο εξωτερικό στρώμα μπορεί να δημιουργεί μεγάλες ποσότητες προστατευτικού αερίου. Τα περισσότερα ηλεκτρόδια έχουν μεταλλικό πυρήνα κατασκευασμένο από ράβδο. Πολύ καλά αποτελέσματα πετυχαίνονται με τη χρησιμοποίηση πυρήνα από μεταλλική σκόνη, συγχωνευμένη σε σωλήνα από ψιλή ταινία, αποτελούμενη από

μαλακό ανθρακοχάλυβα. Με την προσαγωγή στην επένδυση σιδηρόσκονης ή σιδηροκραμάτων, συνήθως μέχρι 30-50% της μάζας της επένδυσης, αυξάνεται η απόδοση της συγκόλλησης.

2.8.1 Είδη επενδεδυμένων ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση κατασκευαστικών χαλύβων χωρίζονται ανάλογα, με το πάχος της επένδυσης και τη σύστασή τους.

Κατηγορία των ηλεκτροδίων ανάλογα με το πάχος της επένδυσης

Ηλεκτρόδια λεπτής επένδυσης. Χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων. Το διπλό πάχος της επένδυσης είναι 20% της διαμέτρου του πυρήνα. Τα ηλεκτρόδια λεπτής επένδυσης μπορούν να έχουν επένδυση βασική ή όξινη, που χρησιμοποιείται μόνο για τη βελτίωση των ιδιοτήτων συγκόλλησης, με την αύξηση του βαθμού ιονισμού του τόξου και τη διατήρησή του. Τα ηλεκτρόδια αυτού του τύπου έχουν μικρή επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες των συγκολλήσεων.

Ηλεκτρόδια μέσης επένδυσης. Τα ηλεκτρόδια αυτά με το διπλό πάχος της επένδυσης, από 20%-40% της διαμέτρου του πυρήνα, χρησιμοποιούνται τακτικά για τις εργασίες συναρμολόγησης, ενώ σπάνια για την εκτέλεση κύριων συγκολλήσεων.

Ηλεκτρόδια παχιάς επένδυσης. Το διπλό πάχος της επένδυσης υπερβαίνει το 40% της διαμέτρου του πυρήνα, ενώ, συνήθως, είναι περίπου 60% του πάχους του πυρήνα. Χρησιμοποιούνται επίσης και ηλεκτρόδια μεγάλου πάχους επένδυσης (περίπου 100% της διαμέτρου του πυρήνα), τα οποία είναι μεγάλης ωφελιμότητας και υψηλής απόδοσης, και έχουν στην επένδυση μεγάλη ποσότητα σιδηρόσκονης, η οποία, μετά την τήξη, δημιουργεί, μαζί με τον πυρήνα, την κόλληση.

Κατηγορία των ηλεκτροδίων ανάλογα με τη σύνθεσή τους. Ανάλογα με τη σύνθεση της επένδυσης του ηλεκτροδίου για τη συγκόλληση τόξου τα ηλεκτρόδια χωρίζονται σε:

Όξινα
Βασικά
Ρουτίλιου
Κυτταρίνης
Οξειδωτικά

Όξινα ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια έχουν επένδυση υψηλής περιεκτικότητας σε οξείδια σιδήρου, μαγγανίου, πυριτίου και σιδηρομαγγανίου. Επίσης μπορούν να περιέχουν και σιδηρόσκονη σε μικρό ή και μεγάλο βαθμό. Η σκουριά από τα όξινα ηλεκτρόδια μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο όξινη. Τα όξινα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται με μέση ή παχιά επένδυση, η τήξη τους είναι σχετικά ταχεία και μπορούν να φορτιστούν με μεγάλη πυκνότητα ρεύματος. Χρησιμοποιούνται για όλες τις θέσεις συγκόλλησης, για συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι μηχανικές ιδιότητες των εκτελούμενων κολλήσεων με όξινα ηλεκτρόδια είναι αρκετά καλές, μπορούν να ελεγχθούν και ραδιογραφικά (απαιτείται θετικό αποτέλεσμα). Χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων, χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, με καλή συγκολλητότητα, επειδή, σε αντίθετη περίπτωση, στις κολλήσεις μπορούν να εμφανισθούν ρωγμές εν θερμώ. Η σκουριά από τα όξινα ηλεκτρόδια είναι ισχυρά πορώδης.

Βασικά ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια έχουν επένδυση μεγάλων ποσοτήτων ενώσεων ασβεστίου του άνθρακα και μαγνησίου. Τα βασικά ηλεκτρόδια είναι με παχιά επένδυση, η τήξη τους γίνεται με αργότερο ρυθμό απ' την αντίστοιχη των όξινων ηλεκτροδίων, δεν πρέπει να φορτίζονται με μεγάλη ένταση και προσφέρονται για όλες τις θέσεις συγκόλλησης. Με αυτά τα ηλεκτρόδια η συγκόλληση συνήθως γίνεται με συνεχές ρεύμα. Τα βασικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται πρωταρχικά για τη συγκόλληση μεγάλων διατομών και στιβαρών κατασκευών, καθώς επίσης και για τη συγκόλληση χαλύβων που συγκολλούνται δύσκολα. Οι εκτελούμενες κολλήσεις με βασικά ηλεκτρόδια έχουν πάρα πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες – ιδιαίτερα πλαστικές ιδιότητες. Η δυσθραυστότητα αυτών των κολλήσεων είναι πολύ υψηλή ακόμη και σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός. Για την αποφυγή πόρων στις κολλήσεις πρέπει η συγκόλληση να γίνεται με ηλεκτρόδια στεγνωμένα, άμεσα πριν την συγκόλληση, σε θερμοκρασία 250[°C]-350[°C], σε χρόνο από 1,5 έως 2 ώρες. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να διατηρούνται σε χώρο, του οποίου η σχετική υγρασία δεν ξεπερνά το 40% και η θερμοκρασία δεν είναι χαμηλότερη από 15[°C]. Η σκουριά από τα βασικά ηλεκτρόδια είναι χωρίς πόρους.

Ηλεκτρόδια ρουτιλίου. Η επένδυση των ηλεκτροδίων είναι μέσης ή παχιάς. Περιέχουν μεγάλες ποσότητες ρουτιλίου TiO_2 . Επίσης έχουν πάρα πολύ καλές ιδιότητες συγκόλλησης, τήκονται γρήγορα, χωρίς πιτσιλίσματα προσφέρονται για όλες τις θέσεις συγκόλλησης με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Η περιοχή χρησιμοποίησής τους είναι παρόμοια με αυτή των όξινων ηλεκτροδίων. Πρέπει να

χρησιμοποιούνται χάλυβες που συγκολλούνται εύκολα, επειδή, σε αντίθετη περίπτωση, είναι δυνατόν να εμφανισθούν ρωγμές εν θερμώ. Η σκουριά με αυτά τα ηλεκτρόδια είναι ισχυρά πορώδης.

Οξειδωτικά ηλεκτρόδια. Η επένδυση των ηλεκτροδίων είναι παχιά, αποτελείται κυρίως από οξείδια του σιδήρου ή του μαγγανίου. Η οξειδωτική σκουριά μειώνει την περιεκτικότητα του άνθρακα και του μαγγανίου στην κόλληση. Τα ηλεκτρόδια αυτά χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, ιδιαίτερα όταν απαιτείται καλή εμφάνιση των κολλήσεων και λιγότερο οι μηχανικές ιδιότητες. Τα ηλεκτρόδια αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται συνήθως στις αυχενικές συγκολλήσεις. Οι μηχανικές ιδιότητες είναι πολύ χαμηλές, η σκουριά ισχυρά πορώδης.

Ηλεκτρόδια κυτταρίνης. Τα ηλεκτρόδια έχουν επένδυση σημαντικής ποσότητας καυστικών οργανικών ουσιών. Κατά τη συγκόλληση δημιουργείται μεγάλη ποσότητα αερίων και οι σκουριές αφαιρούνται εύκολα. Τα ηλεκτρόδια κυτταρίνης δημιουργούν βαθιά τήξη, προσφέρονται για συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Η επιφάνεια των κολλήσεων δεν είναι ωραία, αλλά οι μηχανικές τους ιδιότητες είναι ικανοποιητικές.

2.8.2 Κωδικοποίηση των ηλεκτροδίων

Οι επικρατέστεροι κανονισμοί τυποποίησης που χρησιμοποιούνται διεθνώς είναι: AWS (Η.Π.Α.) – DIN (Γερμανία) – NFA (Γαλλία) – I.S.O. (INTERNATIONAL SYSTEM ORGANIZATION) – ΔΙΣ (Διεθνές Ινστιτούτο Συγκολλήσεων). Σύμφωνα με τους κανονισμούς ISO 2560-73, τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια για τη χειρωνακτική συγκόλληση ανθρακοχαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και ελαφρά κραματωμένων χαλύβων, τα ταξινομούνται βάσει:

- των μηχανικών ιδιοτήτων του εναποτιθέμενου υλικού
- του είδους της επένδυσης
- της θέσης συγκόλλησης
- του είδους του ρεύματος της ωφελιμότητας του εναποτιθέμενου υλικού
- της περιεκτικότητας υδρογόνου στο εναποτιθέμενο υλικό

Τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια για τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου συμβολίζονται με το γράμμα E. Διαίρουνται σε δύο κλάσεις, ανάλογα με τις ιδιότητες αντοχής του εναποτιθέμενου υλικού. Τα ηλεκτρόδια των οποίων το εναποτιθέμενο υλικό έχει αντοχή στον εφελκυσμό από 430[MP_a]-510[MP_a] συμβολίζονται με τον κώδικα 43, ενώ τα ηλεκτρόδια με αντοχή του εναποτιθέμενου υλικού στον εφελκυσμό από 510[MP_a]-610[MP_a] συμβολίζονται με τον κώδικα 51. Η κάθε αναφερθείσα κλάση διαιρείται σε πέντε κατηγορίες, ανάλογα με την αντοχή του εναποτιθέμενου υλικού στη δυσθραυστότητα και την επιμήκυνση, σύμφωνα με το **σχήμα 17**.

Κωδικοποίηση του	Αντοχή σε εφελκυσμό	Σχετική επιμήκυνση	Θερμοκρασία στην
E430	430-510	-	-
E431	430-510	20	+20
E432	430-510	22	0
E433	430-510	24	-20
E434	430-510	24	-30
E435	430-510	24	-40
E510	510-610	-	-
E511	510-610	18	+20
E512	510-610	18	0
E513	510-610	20	-20
E514	510-610	20	-30
E515	510-610	20	-40

Σχήμα 17 Κωδικοποίηση των ηλεκτροδίων, ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες του εναποτιθέμενου υλικού (σύμφωνα με το ISO 2560-1973).

Το είδος της επένδυσης συμβολίζεται με τα γραμματικά στοιχεία:

A	όξινη
AR	όξινη – ρουτίλιου
B	βασική
C	κυτταρίνης
O	οξειδωτική
R	ρουτίλιου (ηλεκτρόδιο μέσης επένδυσης)
RR	ρουτίλιου (ηλεκτρόδιο παχιάς επένδυσης)
S	άλλο είδος επένδυσης

Ανάλογα με την ικανότητα συγκόλλησης σε διάφορες θέσεις, τα ηλεκτρόδια κωδικοποιούνται ως ακολούθως: α) όλες οι θέσεις, β) όλες οι θέσεις με εξαίρεση την

κατακόρυφη από πάνω προς τα κάτω, γ) επίπεδη και πλευρική, δ) επίπεδη, ε) επίπεδη, πλευρική, τοίχου, κατακόρυφη από πάνω προς τα κάτω. Ανάλογα με την ωφελιμότητα του εναποτιθέμενου υλικού, τα ηλεκτρόδια κωδικοποιούνται ως εξής: ηλεκτρόδια με όφελος του εναποτιθέμενου υλικού 105% δεν κωδικοποιείται, ηλεκτρόδια με όφελος του εναποτιθέμενου υλικού 105%-115% κώδικας 110, ηλεκτρόδια με όφελος του εναποτιθέμενου υλικού 115%-125%, κώδικας 120, ηλεκτρόδια με όφελος του εναποτιθέμενου υλικού 125%-135%, κώδικας 130. Παρόμοια, χρησιμοποιώντας τη στρογγύλευση των τιμών του οφέλους του εναποτιθέμενου υλικού, κωδικοποιείται η τιμή του οφέλους επίσης για το ηλεκτρόδιο με όφελος του εναποτιθέμενου υλικού πάνω από 135%. Παραδείγματα κωδικοποίησης ηλεκτροδίων, σύμφωνα με το ISO 2560-73: Ηλεκτρόδιο ρουτιλίου μέσης επένδυσης με μηχανικές ιδιότητες του εναποτιθέμενου υλικού ελάχιστο: $R_m=500[MP_a]$, σχετική επιμήκυνση 23%, δυσθραυστότητα $71[J/m^2]$ σε θερμοκρασία $+20^{\circ}C$, $31[J/cm^2]$ σε θερμοκρασία $0[^{\circ}C]$, $20[J/m^2]$ θερμοκρασία $-20[^{\circ}C]$. Προσφέρεται για όλες τις θέσεις συγκόλλησης, με εναλλασσόμενο ρεύμα με ελάχιστη τάση στην εν κενό λειτουργία μετασχηματιστή 50[V] και με συνεχές ρεύμα – θετικός πόλος στο ηλεκτρόδιο – το όφελος είναι μικρότερο απ' ό,τι 105%. Η κωδικοποίησή του είναι E432R13, ενώ η σύντημσή του E432R. Επενδεδυμένα ηλεκτρόδια με βασική επένδυση υψηλό όφελος και υψηλές μηχανικές ιδιότητες του εναποτιθέμενου υλικού, ελάχιστο: $R_m=560[MP_a]$, σχετική επιμήκυνση 22%, δυσθραυστότητα $47[J/cm^2]$ σε $20[^{\circ}C]$, όφελος εναποτιθέμενου υλικού 158% προσφέρεται για όλες τις θέσεις συγκόλλησης, με εξαίρεση την κατακόρυφη κατεβατού. Μόνο με συνεχές ρεύμα, η περιεκτικότητα του διαχυόμενου υδρογόνου είναι κάτω από $15[cm^3]$ στα $100[gr]$ του εναποτιθέμενου υλικού. Η κωδικοποίησή του είναι E513D 16020 H, ενώ η σύντημση του E513B. Η κωδικοποίηση των ηλεκτροδίων για τη συγκόλληση ανθρακοχαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και ελαφρά κραματωμένων χαλύβων, με τους πολωνικούς κανονισμούς που βασίζονται στο ISO, αποτελείται από δύο γραμματικά στοιχεία και τρεις αριθμούς. Το πρώτο γράμμα E συμβολίζει το ηλεκτρόδιο, το δεύτερο γράμμα (A, B, C, O, R, S) συμβολίζει το είδος της επένδυσης:

- A όξινη
- B βασική
- C κυτταρίνης
- O οξειδωτική
- AR όξινη-ρουτιλίου

- R ρουτιλίου (μέσης επένδυσης)
- RH ρουτιλίου (παχιάς επένδυσης)
- S άλλο είδος επένδυσης

Ο πρώτος αριθμός συμβολίζει το διαδοχικό νούμερο του ηλεκτροδίου για δεδομένο είδος επένδυσης, οι δύο επόμενοι την ελάχιστη αντοχή θραύσεως, για παράδειγμα EK 146 συμβολίζει ηλεκτρόδιο ρουτιλίου R1, με ελάχιστη αντοχή στον εφελκυσμό $46^{daN}/[mm^2]$, EK246-συμβολίζει ηλεκτρόδιο με επένδυση ρουτιλίου R2, που εκφράζει στο εναποτιθέμενο μέταλλο την ελάχιστη αντοχή στον εφελκυσμό $R_m=46^{daN}/[mm^2]$. Τα ηλεκτρόδια διαιρούνται σε κλάσεις ανάλογα με την τιμή της αντοχής στον εφελκυσμό του εναποτιθέμενου μετάλλου (σχήμα 18) και της θερμοκρασίας δοκιμασίας της δυσθραυστότητας (σχήμα 19). Η κωδικοποίηση της κλάσης πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα στη σειρά δεδομένα: τον κώδικα του ηλεκτροδίου E, το χαρακτηριστικό αριθμό της αντοχής στον εφελκυσμό και τον αριθμό που αφορά τη θερμοκρασία δοκιμασίας της δυσθραυστότητας του εναποτιθέμενου μετάλλου (σχήμα 20 και σχήμα 21).

Αντοχή στον εφελκυσμό του εναποτιθέμενου υλικού $R_m=[daN/mm^2]$	430-550	510-610	600-700	650-850	700-1000
Αριθμός που χαρακτηρίζει την αντοχή	43	51	60	65	70

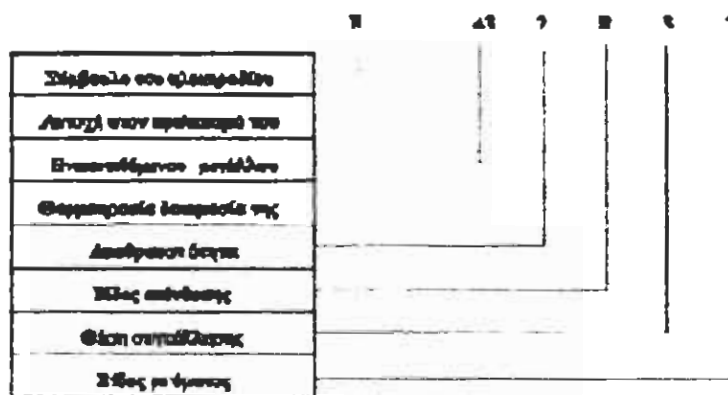
Σχήμα 18 Υποδιαίρεση των ηλεκτροδίων σε κλάσεις ανάλογα με την αντοχή σε εφελκυσμό.

Θερμοκρασία °C	Δεν καθορίζεται	+20	0	-20	-30	-40	-50	-60
Αριθμός που χαρακτηρίζει τη δυσθραυστότητα	0	1	2	3	4	5	6	7

Σχήμα 19 Υποδιαίρεση των ηλεκτροδίων σε κλάσεις ανάλογα με τη θερμοκρασία δοκιμασίας στη δυσθραυστότητα.

Ελάχιστη αντοχή στον εφελκυσμό R_m			Επιμήκυνση ελάχιστη A_5		Ελάχιστη δυσθραυστότητα U		
Αριθμός	[Kgr/mm ²]	[DaN/mm ²]	Αριθμός	%	Αριθμός	[Kgr/cm ²]	[J/cm ²]
0	-	-	0	-	0	-	-
1	41	403	1	14	1	5	49
2	44	432	2	18	2	7	68,7
3	48	471	3	22	3	9	88,2
4	52	510	4	26	4	11	108
5	56	550	5	30	5	13	138
6	60	590	-	-	-	-	-

Σχήμα 20 Αριθμητική κωδικοποίηση που αντιστοιχεί στις μηχανικές ιδιότητες του εναποτιθέμενου μετάλλου R_m , A_5 και U.



Πολικότητα ηλεκτροδίου	Εναλλασσόμενο και συνεχές ρεύμα Ελάχιστη τάση της εν κενό λειτουργίας μετασχηματιστή, [V]			Μόνο συνεχές ρεύμα
	50	70	90	
Ελεύθερη	1	4	7	-
Αρνητικός πόλος	2	5	8	-
Θετικός πόλος	3	6	9	0

Σχήμα 21 Αριθμητική κωδικοποίηση της πολικότητας και του είδους ρεύματος.

2.8.3 Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χαλύβων

Τα κραματωμένα ηλεκτρόδια έχουν συνήθως βασική επένδυση, που επιδρά στη μείωση του καψίματος των κραματικών στοιχείων κατά τη συγκόλληση. Μερικά ηλεκτρόδια ισχυρά κραματωμένα, τα οξύμαχα, έχουν επένδυση ρουτιλίου, μεταξύ άλλων για την επίτευξη καλύτερων ιδιοτήτων συγκόλλησης, κατά τη συγκόλληση σε εξαναγκασμένες θέσεις. Οι επενδύσεις ρουτιλίου στα οξύμαχα ηλεκτρόδια ευνοούν, επίσης, την επίτευξη τήγματος χαμηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα. Μερικά ηλεκτρόδια ελαφρά κραματωμένα, προορισμένα για τη συγκόλληση σε εξαναγκασμένες θέσεις ή για την εκτέλεση στρώσεων διείδυσης. Τα ισχυρά κραματωμένα ηλεκτρόδια (ανοξειδωτά, οξύμαχα, πυρίμαχα) έχουν πυρήνες από κραματωμένους χάλυβες. Ενώ τα σύρματα πυρήνων των ελαφρά κραματωμένων ηλεκτροδίων εκτελούνται συνήθως από ανθρακοχάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Οι προσθήκες κραμάτωσης εισάγονται στο τήγμα δια των επενδύσεων. Τα ισχυρά κραματωμένα ηλεκτρόδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- ♦ για τη συγκόλληση ελαφρά κραματωμένων χαλύβων προοριζόμενων για εργασίες σε κανονικές θερμοκρασίες,

- ◆ για τη συγκόλληση ελαφρά κραματωμένων χαλύβων για εργασίες σε ανυψωμένες θερμοκρασίες,
- ◆ για τη συγκόλληση ανοξειδωτων χαλύβων,
- ◆ για τη συγκόλληση οξύμαχων χαλύβων,
- ◆ για τη συγκόλληση πυρίμαχων χαλύβων.

2.8.4 Μη τηκόμενα ηλεκτρόδια συγκόλλησης

Τα μη τηκόμενα ηλεκτρόδια παράγονται ως ανθρακούχα και βολφραμιούχα. Τα ανθρακούχα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση τόξου λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων, για τη συγκόλληση και προθέρμανση του χαλκού και των κραμάτων του, για την κοπή και την αυλάκωση, όπως, επίσης, και για τη συγκόλληση στην ατμόσφαιρα αδρανών αερίων (αργό, ήλιο). Τα βολφραμιούχα χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση στην ατμόσφαιρα αργού, ήλιου και υδρογόνου.

Ανθρακούχα ηλεκτρόδια. Τα ανθρακούχα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση, την κοπή και την αυλάκωση. Η τιμή της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης επηρεάζει την επιτρεπόμενη φόρτιση

Διαστάσεις ηλεκτροδίων (διάμετρος ή διατομή)	Τύποι ηλεκτροδίων		
	Ανθρακούχα και ανθρακούχα-γραφίτη	Γραφίτιασής	Ανθρακούχα-γραφίτη επιχάλκωμένα
Ένταση ρεύματος, [A]			
4	3-40	40-50	50-70
6	40-50	50-70	75-100
8	50-75	75-100	100-150
10	75-100	100-150	150-200
12	100-125	150-200	200-250
14	125-150	200-250	250-300
16	150-200	250-300	300-350
18	200-250	300-350	350-400
20	250-300	350-400	400-450
22	300-350	400-450	450-500
25	375-425	475-525	525-575
3x10	40-50	50-75	75-100
4x10	50-75	75-100	100-150
3x25	75-100	100-150	150-200
4x40	125-150	200-250	250-300

Σχήμα 22 Προτεινόμενες εντάσεις ρεύματος για ανθρακούχα ηλεκτρόδια συγκόλλησης με στρογγυλή και ορθογωνική διατομή.

ρεύματος, η οποία ανέρχεται από $30[\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}]$ - $40[\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}]$. Για την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των ανθρακούχων ηλεκτροδίων και της φόρτισης

ρεύματος, επικαλύπτονται με στρώμα γαλβανισμένου χαλκού ή αλουμινίου. Τα παραγόμενα ηλεκτρόδια συγκόλλησης σε σειρά έχουν τις ακόλουθες διαστάσεις: διάμετροι στρογγυλών ηλεκτροδίων: 4[mm], 6[mm], 8[mm], 10[mm], 12[mm], 14[mm], 16[mm], 18[mm], 20[mm], 22[mm] και 25[mm], διατομές ορθογώνιων ηλεκτροδίων: 3x10, 40x20, 3x25 και 4[mm] x 40[mm]. Τα τυποποιημένα μήκη των ορθογώνιων ηλεκτροδίων είναι 200[mm], 300[mm] και 400[mm], ενώ των στρογγυλών ηλεκτροδίων είναι και 500[mm]. Το πάχος του στρώματος χαλκού των επιχαλκωμένων ηλεκτροδίων είναι 0,04[mm]-0,08[mm]. Οι προτεινόμενες τιμές της έντασης ρεύματος για τα ανθρακούχα ηλεκτρόδια συγκόλλησης δίνονται στο **σχήμα 22**. Τα ανθρακούχα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για την αυτόματη σημειακή συγκόλληση ανθρακοχάλυβα. Συνδέονται στον αρνητικό πόλο, επειδή, σε αντίθετη περίπτωση, μπορεί να εμφανισθεί σημαντική απανθράκωση των κολλήσεων.

Ηλεκτρόδια βολφραμίου. Τα ηλεκτρόδια βολφραμίου χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση τόξου με τη μέθοδο GTA (TIG) στην προστατευτική ατμόσφαιρα (συνήθως αργού και ήλιου ή και μιγμάτων αυτών). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση κραματωμένων χαλύβων, μη σιδηρούχων μετάλλων καθώς και για λεπτά ελάσματα από μαλακό χάλυβα. Τα ηλεκτρόδια αυτά κατασκευάζονται με διαμέτρους 1[mm], 1,5[mm], 2[mm], 3[mm], 4[mm], 5[mm], 6[mm] και 8[mm], με μήκος 125[mm] και 175[mm]. Επίσης παράγονται με προσθήκες Τογ, Τα και Ζr ή επικαλύπτονται με οξειδία αυτών των μετάλλων. Το βολφράμιο, ως μέταλλο, δύσκολα τήκεται (η θερμοκρασία τήξης του είναι 380[°C]). Κατά τη συγκόλληση στην ατμόσφαιρα αδρανών αερίων με μικρή καθαρότητα, που περιέχουν κάποια ποσότητα οξυγόνου, αυξάνεται η φθορά των ηλεκτροδίων βολφραμίου. Η φθορά αυτή αυξάνεται επίσης, και με μεγάλη πυκνότητα ρεύματος, επειδή τα ηλεκτρόδια υπερθερμαίνονται. Ακόμη με σημαντικά χαμηλή ένταση δε διατηρείται το τόξο και αιωρείται στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Τα ηλεκτρόδια βολφραμίου συνδεόμενα με τον αρνητικό πόλο, μπορούν να φορτιστούν με μεγαλύτερο ρεύμα από ό,τι αν συνδεθούν με το θετικό πόλο.

2.8.5 Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου

Τα ηλεκτρόδια συγκόλλησης χυτοσιδήρου διαίρουνται ανάλογα με, τη μέθοδο συγκόλλησης του χυτοσιδήρου σε εν ψυχρώ ή εν θερμώ. Για τη συγκόλληση τόξου του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ χρησιμοποιούνται:

- ηλεκτρόδια επενδεδυμένα σύνδεσης, προοριζόμενα για τη συγκόλληση κατασκευαστικών χαλύβων
- ηλεκτρόδια νικελίου και κράματά του
- ηλεκτρόδια μπρούντζου
- ηλεκτρόδια εναλλακτικά χαλύβδινα – χαλκού.

Για τη συγκόλληση τόξου του χυτοσιδήρου εν θερμώ χρησιμοποιούνται επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, που δημιουργούν τήγμα με δομή χημικής σύστασης και σκληρότητα φαιού χυτοσιδήρου φερριτικού – περλιτικού. Ενώ για την οξυγονοκόλληση χυτοσιδήρου εν θερμώ χρησιμοποιούνται ράβδοι μαζί με κατάλληλα συλλυπάσματα.

Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν ψυχρώ, χαλύβδινα ηλεκτρόδια. Για τη συγκόλληση τόξου του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ, χρησιμοποιούνται βασικά επενδεδυμένα ηλεκτρόδια σύνδεσης, προοριζόμενα για τη συγκόλληση χαλύβδινων κατασκευών. Τα βασικά ηλεκτρόδια έχουν τις καλύτερες πλαστικές ιδιότητες του εναποτιθέμενου υλικού. Οι συνδέσεις από χυτοσίδηρο, εκτελούμενες με αυτά τα ηλεκτρόδια, δεν είναι στεγανές και παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα. Σκληραίνεται η ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά και η κόλληση. Ο άνθρακας από το χυτοσίδηρο μεταφέρεται στην κόλληση. Για τη μείωση της τηκόμενης ποσότητας του χυτοσιδήρου, που είναι αποφασιστικός για τη σκλήρυνση της κόλλησης, καθώς και της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά, η συγκόλληση πρέπει να εκτελείται με τη μέθοδο εν ψυχρώ, με όσο το δυνατό λιγότερη θερμότητα. Απ' αυτό το γεγονός, για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου η εν ψυχρώ, προτείνεται η χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων με όσο το δυνατόν μικρότερες διαμέτρους καθώς και με ρεύμα συγκόλλησης χαμηλότερης έντασης, κατά τη συγκόλληση χάλυβα. Για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια βασικά EB1.46, EB2.46, EB1.50 και EB2.55. Με τα αναφερθέντα βασικά ηλεκτρόδια χαμηλού άνθρακα καθώς και με τα ισχυρά κραματωμένα, οι εκτελούμενες κολλήσεις δε σφυρηλατούνται.

Ηλεκτρόδια νικελίου και κραμάτων τους. Τα ηλεκτρόδια νικελίου και των κραμάτων τους χρησιμοποιούνται για την εν ψυχρώ συγκόλληση χυτευτικών ελαττωμάτων, που, στη συνέχεια, κατεργάζονται μηχανικά με εργαλεία κοπής, για την απόδοση της τελικής μορφής τους. Οι εκτελούμενες συνδέσεις με αυτά τα ηλεκτρόδια είναι, γενικά, στεγανές. Τυπικές κατηγορίες αυτών των ηλεκτροδίων είναι:

- ηλεκτρόδια νικελίου με εναποτιθέμενο υλικό που περιέχει πάνω από 95% Ni
- ηλεκτρόδια νικελίου – χαλκού με εναποτιθέμενο υλικό που περιέχει περίπου 65% Ni και περίπου 25% Cu (κράμα Monel)
- ηλεκτρόδια νικελίου – σιδήρου με εναποτιθέμενο υλικό που περιέχει περίπου 55% Ni και περίπου 45% Fe.

Κατά τη συγκόλληση με αυτά τα ηλεκτρόδια πρέπει να:

- τηρείται η τεχνολογία συγκόλλησης εν ψυχρώ
- τήκονται με ρεύμα χαμηλής έντασης
- εκτελείται η κόλληση με μικρά τμήματα και με διακοπές
- σφυρηλατείται η κόλληση σε όλο το μήκος.

Η σκληρότητα των εκτελούμενων κολλήσεων, με ηλεκτρόδια νικελίου και με κράματα αυτού, κυμαίνεται στην περιοχή 150HB-220HB. Τα ηλεκτρόδια νικελίου έχουν καλύτερες ιδιότητες απ' αυτά των κραμάτων του. Η ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά των εκτελούμενων συνδέσεων με ηλεκτρόδια νικελίου έχει το μικρότερο πλάτος. Επίσης, η σκληρότητα του εναποτιθέμενου υλικού των ηλεκτροδίων νικελίου είναι η μικρότερη και ισούται περίπου με 160HB. Τα ηλεκτρόδια νικελίου-σιδήρου ο πυρήνας του ηλεκτροδίου από κράμα Ni-Fe έχουν τάση για υπερθέρμανση, κατά τη χρησιμοποίηση αρκετά υψηλής έντασης ρεύματος. Το εναποτιθέμενο υλικό των ηλεκτροδίων με κράμα Monel έχει μεγάλη τάση για ρηγμάτωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα ηλεκτρόδια νικελίου συμβολίζονται με το σύμβολο EGGNi, τα νικελίου-σιδήρου με EGGFe-Ni ενώ τα Monel με το σύμβολο EGGM. Στο **σχήμα 23** δίνεται η ένταση ρεύματος συγκόλλησης ανάλογα με την κατηγορία και τη διάμετρο των ηλεκτροδίων.

Κατηγορία ηλεκτροδίου	Ένταση ρεύματος, [A]				
	Διάμετρος ηλεκτροδίου, [mm]				
	2	2,5	3,25	4	5
EGGNi	-	40-70	70-100	100-140	-

EGGFe-Ni	30-60	50-80	80-120	110-170	150-200
EGGM	30-60	50-80	80-120	110-170	150-200

Σχήμα 23 Εντάσεις ρεύματος που προτείνονται για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου με ηλεκτρόδια EGGNi, EGGFe-Ni και EGGM.

Τα αναφερθέντα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται με βασική – ιονίζουσα επένδυση. Η συγκόλληση με αυτά τα ηλεκτρόδια γίνεται με συνεχές ρεύμα και σε επίπεδη θέση. Τα ηλεκτρόδια νικελίου προσφέρονται και για τη συγκόλληση σε θέση τοίχου.

Ηλεκτρόδια μπρούντζου. Για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ με ηλεκτρόδια μπρούντζου με κράματα Cu-Sn ή χαλκού, τα ηλεκτρόδια περιέχουν μικρές ποσότητες στοιχείων, όπως Mn, Al, Si και Cr. Οι εκτελούμενες συνδέσεις με ηλεκτρόδια μπρούντζου είναι γενικά στεγανές. Οι κολλήσεις που διενεργούνται με ηλεκτρόδια μπρούντζου, και ιδιαίτερα με κράματα Cu-Sn, είναι μαλακές και μπορούν να κατεργασθούν με εργαλεία κοπής. Επίσης, έχουν καλές πλαστικές ιδιότητες και η σφυρηλάτησή τους είναι ικανοποιητική. Η ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά είναι σκληρή και μπορεί να κατεργασθεί μόνο με λείανση. Το πλάτος της ζώνης επηρεαζόμενη θερμικά είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με αυτό που προκύπτει στις συγκολλητές συνδέσεις με ηλεκτρόδια νικελίου ή κραμάτων του.

Η διαλυτότητα του χυτοσιδήρου στο χαλκό είναι περιορισμένη και για το λόγο αυτό ο λιωμένος χυτοσίδηρος ως λευκός λεδεμβουρικός, εμφανίζεται, συνήθως, στις κολλήσεις με μορφή σφαιρικών εγκλεισμάτων. Τα εγκλείσματα αυτά δυσχεραίνουν τη μηχανική κατεργασία με εργαλεία κοπής, καθώς αυξάνουν και την ευθραυστότητα και τη σκληρότητα των κολλήσεων. Για την επίτευξη μαλακών και πλαστικών κολλήσεων, αν είναι δυνατόν χωρίς χυτοσίδηρο εγκλείσματα, πρέπει να τηρηθούν με ακρίβεια οι αρχές της τεχνολογίας συγκόλλησης εν ψυχρώ. Για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ κατασκευάζονται ηλεκτρόδια μπρούντζου ECuSn7, ECuMnAl και EGGCu. Τα ηλεκτρόδια EcuSn7 έχουν ιονίζουσα επένδυση και εκτελούνται με λεπτή επένδυση. Το εναποτιθέμενο υλικό ηλεκτροδίων EcuSn7 περιέχει περίπου 7% Sn, 0,2% P, 0,3% Mn, 0,3% Si, 0,3% Fe και το υπόλοιπο Cu. Ο πυρήνας του ηλεκτροδίου είναι σύρμα από μπρούντζο κασιτέρου, με περιεκτικότητα περίπου 7% Sn και 0,2% P. Η σκληρότητα του εναποτιθέμενου υλικού είναι περίπου 80 HB. Τα ηλεκτρόδια, προ της συγκόλλησης, πρέπει να στεγνώνονται στη θερμοκρασία των 120[°C] σε χρόνο 1 ώρας. Τα ηλεκτρόδια ECuMnAl έχουν, επίσης, ιονίζουσα επένδυση και εκτελούνται με λεπτή επένδυση. Το εναποτιθέμενο υλικό ηλεκτροδίων

ECuMnAl περιέχει περίπου 13% Al, 1% Mn, 0,3% Si και το υπόλοιπο Cu. Ο πυρήνας του ηλεκτροδίου είναι σύρμα χαλκού. Τα αναφερθέντα στοιχεία εισάγονται στο τήγμα δια της επένδυσης των ηλεκτροδίων. Η σκληρότητα του εναποτιθέμενου υλικού ηλεκτροδίων ECuMnAl είναι περίπου 100HB. Τα αναφερθέντα ηλεκτρόδια, προ της συγκόλλησης, πρέπει να στεγνώνονται στη θερμοκρασία των 250[°C] σε χρόνο 2 ωρών. Τα ηλεκτρόδια EGGCu έχουν επένδυση βασική – ιονίζουσα και εκτελούνται με μέση επένδυση. Το εναποτιθέμενο υλικό ηλεκτροδίων EGGCu, εκτός του χαλκού, περιέχει περίπου 1% Cr, 2% Fe, 0,3 Si. Ο πυρήνας του ηλεκτροδίου είναι σύρμα χαλκού. Τα στοιχεία που αναφέρονται περιέχονται στην επένδυση των ηλεκτροδίων. Η σκληρότητα του εναποτιθέμενου υλικού ηλεκτροδίων EGGCu είναι περίπου 120HB.

Κατηγορία ηλεκτροδίου	Ένταση ρεύματος, [A]			
	Διάμετρος ηλεκτροδίου, [mm]			
	2,5	3	3,25	4
EcuSn7	60-90	90-120	100-130	120-150
ECuMnAl	60-90	90-120	100-130	120-150
EGGCu	70-100	100-130	110-130	130-160

Σχήμα 24 Χρησιμοποιούμενη ένταση ρεύματος για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν ψυχρώ με ηλεκτρόδια EcuSn7, ECuMnAl και EGGCu.

Τα ηλεκτρόδια EGGCu χρησιμοποιούνται για συγκόλληση, εφόσον στεγνωθούν σε θερμοκρασία 200[°C], επί 2 ώρες. Η τεχνολογία συγκόλλησης του χυτοσιδήρου με τη μέθοδο εν ψυχρώ επιβάλλει, μεταξύ άλλων, τη χρησιμοποίηση έντασης ρεύματος με περιορισμένη τιμή (**σχήμα 24**). Τα ηλεκτρόδια EcuSn7, ECuMnAl και EGGCu προορίζονται για τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα και θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο.

Ηλεκτρόδια εναλλακτικά χαλύβδινα – χαλκού. Σε μερικές περιπτώσεις για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν ψυχρώ, συνήθως για την επισκευή χυτών, που δεν καταπονούνται με μεγάλες στατικές δυνάμεις, και ιδιαίτερα με δυναμικές, χρησιμοποιούνται εναλλακτικά ηλεκτρόδια χαλύβδινα – χαλκού, με διάφορες εναλλαγές, ή χαλύβδινα – ορείχαλκου. Για την εκτέλεση των εναλλακτικών ηλεκτροδίων, χρησιμοποιούνται τυποποιημένα ηλεκτρόδια χαλύβδινα χαμηλού άνθρακα, με επένδυση αποκλειστικά βασική, καθώς και λεπτά σύρματα 1-2 mm. Για την εκτέλεση ηλεκτροδίων εναλλακτικών αντί σύρματος, χρησιμοποιείται, επίσης, ταινία χαλκού ή ορείχαλκου, συνήθως με διαστάσεις 3[mm]-5[mm] και πάχος

0,1[mm]-0,5[mm]. Αυτές οι ταινίες, όπως και τα σύρματα, περιτυλίγονται σε μορφή σπείρας στα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια. Οι δέσμες των εναλλακτικών ηλεκτροδίων εκτελούνται από ένα ή μερικά χαλύβδινα ηλεκτρόδια χαμηλού άνθρακα, με βασικές επενδύσεις και με μία ή μερικές ράβδους χαλκού ή ορείχαλκου με διαφορετικές διατομές, δεμένες σε μερικά σημεία με λεπτό σύρμα χαλκού. Οι δέσμες επενδεδυμένων ηλεκτροδίων και ράβδων χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την επισκευή ελαττωμάτων με σημαντικές διαστάσεις. Οι εκτελούμενες κολλήσεις με αυτά τα ηλεκτρόδια έχουν πολύ διαφοροποιημένη σκληρότητα, δομή και χημική σύσταση. Η κόλληση αποτελείται από μίγμα χαλκού και σιδήρου με διάφορη αναλογία ανάμιξης που εξαρτάται από τη σύσταση των εναλλακτικών ηλεκτροδίων ή από τη δέση των ηλεκτροδίων και ράβδων με πολλά εγκλείσματα λευκού χυτοσιδήρου. Οι κολλήσεις αυτές δύσκολα κατεργάζονται με εργαλεία κοπής. Για την εκτέλεση των εναλλακτικών ηλεκτροδίων καθώς και της δέσης ηλεκτροδίων και ράβδων χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια με βασική επένδυση EB 1.46, EB 1.50, EB 1.55, EB 2.46. Προ της συγκόλλησης, τα ηλεκτρόδια αυτά πρέπει να στεγνώνονται σε θερμοκρασία περίπου 300[°C] και χρόνο περίπου 2-4 ώρες, ανάλογα με τη διάμετρο.

Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου εν θερμώ. Για τη συγκόλληση τόξου του χυτοσιδήρου εν θερμώ χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια επενδεδυμένα, που δημιουργούν τήγμα με χημική σύσταση, σκληρότητα και δομή (με κατάλληλη αργή ψύξη) φαιού χυτοσιδήρου φερριτικού – περλιτικού. Το εναποτιθέμενο υλικό αυτών των ηλεκτροδίων, εκτός του σιδήρου, περιέχει συνήθως 3%-4% C και 2,5%-4% Si. Τα ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν ψυχρώ εκτελούνται με παχιά βασική επένδυση. Ο πυρήνας των ηλεκτροδίων είναι σύρμα με χαμηλό άνθρακα. Μεγάλες ποσότητες άνθρακα και πυριτίου εισάγονται στο τήγμα δια της επένδυσης. Τα ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν θερμώ εκτελούνται με διαμέτρους 4[mm]-12[mm], με κανονικά μήκη 440[mm] και μεγαλύτερα. Τα ηλεκτρόδια είναι προορισμένα για τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα (συνδεδεμένα με θετικό πόλο) και, μερικές φορές, με εναλλασσόμενο ρεύμα. Για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου εν θερμώ, χρησιμοποιούνται, επίσης, επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, εκτελούμενα για ίδιες ανάγκες. Ο πυρήνας είναι από χυτοσίδηρο ράβδο με χημική σύσταση φαιού χυτοσιδήρου ή χυτοσίδηρο ράβδο που χρησιμοποιείται για την οξυγονοκόλληση χυτοσιδήρου. Στο χυτοσίδηρο πυρήνα μεταφέρεται με εμβάπτιση ή επένδυση, η οποία περιορίζει το κάψιμο του άνθρακα και του πυριτίου όπως και διευκολύνει το άναμμα του τόξου για την τήξη του ηλεκτροδίου. Οι

επενδεδυμένες χυτοσιδηρές ράβδοι στεγνώνονται αρχικά, σε θερμοκρασία δωματίου, το ελάχιστο δύο 24ωρα, και, στη συνέχεια, στη θερμοκρασία των 300[°C], σε χρόνο 3[h]-5[h], ανάλογα με τη διάμετρο του ηλεκτροδίου. Για τη συγκόλληση του χυτοσιδήρου με τη μέθοδο εν θερμώ, παράγονται ηλεκτρόδια EGGO. Τα ηλεκτρόδια αυτά έχουν επένδυση βασική – ιονίζουσα και εκτελούνται με παχιά επένδυση. Το εναποτιθέμενο υλικό των ηλεκτροδίων EGGO περιέχει, εκτός του σιδήρου, περίπου 3% C, 4% Si. Ο πυρήνας του ηλεκτροδίου αποτελείται από σύρμα με χαμηλό άνθρακα. Ο άνθρακας και το πυρίτιο βρίσκονται στην επένδυση του ηλεκτροδίου. Η σκληρότητα του εναποτιθέμενου υλικού των ηλεκτροδίων, με σχετικά αργή ψύξη, είναι 200-250HB. Το υλικό όφελος $U_{\text{συν}}$ του εναποτιθέμενου υλικού για τα ηλεκτρόδια EGGO είναι περίπου 75% (για τα ηλεκτρόδια EB 1,46 το όφελος $U_{\text{συν}}$, είναι περίπου 70%). Στο **σχήμα 25** δίνονται τα μεγέθη των εντάσεων ρεύματος συγκόλλησης. Τα ηλεκτρόδια EGGO προσφέρονται για τη συγκόλληση σε θέση πλευρική και επίπεδη. Προ της συγκόλλησης επιβάλλεται το στέγνωμα αυτών των ηλεκτροδίων σε θερμοκρασία 250[°C] και χρόνο περίπου 2[h].

Διάμετρος ηλεκτροδίου [mm]	Ένταση ρεύματος [A]	
2	30	-60
2,5	50	-80
3,25	80	-120
4	110	-170
5	150	-200

Σχήμα 25 Ένταση ρεύματος, χρησιμοποιούμενη για τη συγκόλληση χυτοσιδήρου με τη μέθοδο εν θερμώ, με ηλεκτρόδια EGGO.

Ράβδοι και συλλιπάσματα για την οξυγονοκόλληση χυτοσιδήρου εν θερμώ. Για την οξυγονοκόλληση του χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται ράβδοι μαζί με κατάλληλο συλλίπασμα. Οι χυτοσιδηρές ράβδοι εκτελούνται με διάφορες διατομές, συνήθως στρογγυλές, με διαμέτρους 4[mm]-6[mm]. Οι χυτοσιδηρές ράβδοι έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε πυρίτιο και φώσφορο σε σχέση με το φαιό χυτοσίδηρο. Κατά τη συγκόλληση με χυτοσιδηρές ράβδοι με αρκετά χαμηλή περιεκτικότητα πυριτίου και συγχρόνως υψηλή περιεκτικότητα μαγγανίου, μπορούν να εμφανιστούν στις κολλήσεις σκληρά σημεία λευκού χυτοσιδήρου. Η προσθήκη φωσφόρου μέχρι 0,5% επιδρά θετικά στη ρευστότητα του τήγματος συγκόλλησης, χωρίς να προκαλεί ρηγματώσεις. Το θείο δεν πρέπει να υπερβαίνει την ποσότητα του 0,1%. Είναι στοιχείο επιβλαβές, αυξάνει την πυκνότητα του ρευστού τήγματος συγκόλλησης,

καθώς και το πορώδες της κόλλησης. Η χημική σύσταση των χυτοσιδήρων ράβδων για την οξυγονοκόλληση είναι η ακόλουθη:

C	3-4%
Si	3-3,8%
Mn	0,5-0,8%
P	max 0,5%
S	max 0,08%
Ni	max 0,3%

Τα συλλιπάσματα είναι δυσθερμαγωγά. Χρησιμοποιούμενα για την οξυγονοκόλληση του χυτοσιδήρου, χαμηλώνουν τη θερμοκρασία τήξης και δύσκολα επιπλέον τα τηκόμενα οξείδια στην επιφάνεια του τήγματος. Οι προσθήκες των στερεών συλλιπασμάτων είναι: Βόρακας ή βορικό νάτριο $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ και άλλες ενώσεις βορίου, χλωρίου, ποτάσας NaCl , ανθρακικής σόδας Na_2CO_3 , φθορίτη CaF_2 όπως και σιδηροπυρίτης. Ωφέλιμα αποτελέσματα πετυχαίνονται με τη χρησιμοποίηση συλλιπάσματος με την ακόλουθη σύσταση: Βόρακας 40%, ανθρακική ποτάσα 30%, φθορίτης 25% και σιδηροπυρίτης 45% Si 5%. Τα συλλιπάσματα στο λουτρό συγκόλλησης εισάγονται κατά διάφορο τρόπο. Γενικά η πυρωμένη χυτοσίδηρο ράβδος εμβαπτίζεται στο ξηρό συλλίπασμα.

2.8.6 Ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση μη σιδηρούχων μετάλλων

Τα ηλεκτρόδια για τη συγκόλληση μη σιδηρούχων μετάλλων είναι επενδεδυμένα και διακρίνονται σε:

- ηλεκτρόδια χαλκού
- ηλεκτρόδια μπρούντζου
- ηλεκτρόδια νικελίου
- ηλεκτρόδια αλουμινίου.

Σκοπός της επένδυσης των ηλεκτροδίων είναι:

- η διατήρηση του τόξου
- η προφύλαξη του ρευστού μετάλλου από την εισροή του ατμοσφαιρικού αέρα
- η αποξείδωση του μετάλλου της κόλλησης
- η ένωση με το υδρογόνο
- ο σχηματισμός υψηλών εξωθερμικών αντιδράσεων.

Ηλεκτρόδια χαλκού. Τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια χαλκού επιτρέπουν τη σύνδεση του δύσκολου συγκολλούμενου χαλκού εν ψυχρώ (χωρίς αρχική προθέρμανση) κατά τρόπο επίσης απλό και τεχνικά τέλειο, όπως στην περίπτωση χαλύβων, πράγμα που προ δεκαετιών θεωρούνταν ακατόρθωτο στη βιομηχανική πρακτική. Τα χρησιμοποιούμενα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια χαλκού πρέπει να ανταποκρίνονται στις βασικές συνθήκες συγκόλλησης των κατασκευών χαλκού όπως:

- στη θερμική απόδοση
- στη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα
- στη θερμική διαστολή
- στη διαβρωτική ανθεκτικότητα
- στις ιδιότητες αντοχής.

Τα ηλεκτρόδια τύπου ECuGT έχουν παχιά επένδυση και ικανότητα διείσδυσης, προοριζόμενα για τη χειρωνακτική συγκόλληση χαλκού εν ψυχρώ με τη δημιουργία μιας ή πολλαπλών στρώσεων. Μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν και για τη συγκόλληση κραμάτων χαλκού, ορειχάλκου καθώς και για τη σύνδεση χαλύβων ανθρακωμένων και ωστενιτικών με χαλκό, για διάφορες συνδέσεις επικάλυψης, μετωπικές, ταν (αυχενικές κολλήσεις). Σε αυτές τις περιπτώσεις, το τόξο πρέπει να οδηγείται στο χαλκό, επειδή από αυτό εξαρτάται η ποιότητα των συνδέσεων. Τα ηλεκτρόδια παράγονται με τέσσερις διαμέτρους: 3[mm], 4[mm], 5[mm] και 6[mm] και σε δύο μήκη: 350[mm] και 450[mm]. Τα στεγνωμένα με επιμέλεια ηλεκτρόδια προμηθεύονται συσκευασμένα σε αεροστεγείς σακούλες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δύο ημέρες μετά το άνοιγμα του πακέτου, χωρίς προθέρμανση, εάν η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας δεν υπερβαίνει το 45%. Για μεγαλύτερη σχετική υγρασία, πρέπει να στεγνώνονται στη θερμοκρασία 400[°C] 450[°C] επί 2[h]-4[h]. Ωφελιμότερο είναι να διατηρούνται τα ηλεκτρόδια θερμαινόμενα σε φουρνάκι, στη θερμοκρασία των 200[°C]. Επιτρέπεται μόνο μία φορά να γίνεται η επαναστέγνωση των ηλεκτροδίων. Με περισσότερες φορές στεγνώματος, η επένδυση γίνεται εύθραυστη, και κατά τη διαδικασία συγκόλλησης, θραύεται και αποχωρίζεται από τον πυρήνα του ηλεκτροδίου. Η συγκόλληση γίνεται με συνεχές ρεύμα (θετική πολικότητα), με τάση έντασης πάνω από 60[V]. Ανάλογα με τη διάμετρο του ηλεκτροδίου και την ένταση του ρεύματος, η τάση του τόξου κυμαίνεται στα όρια 30[V]- 40[V]. Η ένταση του ρεύματος ρυθμίζεται στα όρια 50[A]- 100[A] ανά 1[mm] της διαμέτρου του πυρήνα του ηλεκτροδίου, ανάλογα με:

- το είδος του συγκολλούμενου μετάλλου (χαλκός, κράματα χαλκού, μέταλλα διάφορα) και το πάχος του
- την τεχνική συγκόλλησης (μιας στρώσης, βαθιάς διείσδυσης, πολλαπλών στρώσεων, θέση συγκόλλησης)
- το είδος των κολλήσεων (μετωπική, αυχενική).

Οι ιδιότητες της βαθιάς διείσδυσης των ηλεκτροδίων ECuGT επιτρέπουν τη σύνδεση, σε θέση επίπεδη, ελασμάτων μη λοξοτομημένων, με πάχη:

- μέχρι 8[mm] για κόλληση I μιας στρώσης (ωφελιμότερα σε στεγνωμένο υποστήριγμα από γραφίτη)
- 4[mm]-14[mm] για δίπλευρη κόλληση I.

Επίσης, καλά αποτελέσματα δίνει η συγκόλληση πολλαπλών στρώσεων (σύμφωνα με τις αρχές για χάλυβα) σε επίπεδη, θέση λοξοτομημένων ελασμάτων, με πάχη μέχρι 50[mm]. Η σκουριά εύκολα αφαιρείται, οι κολλήσεις είναι ομαλές, ομοιόμορφες και δεν απαιτούν σφυρηλάτηση ούτε θερμικές κατεργασίες. Οι κολλήσεις περιέχουν 99,5[Cu], με όριο αντοχής $R_m=200[MP_a]$, με σχετική επιμήκυνση $A_5=25\%$, ενώ η δυσθραυστότητα, σύμφωνα με τη δοκιμασία Charpy V, υπερβαίνει τα 10[MJ/m²]. Η συγκόλληση με τα ηλεκτρόδια ECuGT ελασμάτων από χαλκό με πάχος 20[mm] μπορεί να είναι δέκα φορές γρηγορότερη και φθηνότερη απ' ό,τι η συγκόλληση με άλλες μεθόδους. Τα οικονομικά οφέλη συγκόλλησης με ηλεκτρόδια ECuGT γίνονται μεγαλύτερα με την αύξηση του πάχους των ελασμάτων.

Ηλεκτρόδια μπρούντζου. Τα ηλεκτρόδια μπρούντζου χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση:

- ◆ μπρούντζου και ορείχαλκων χυτών, και πλαστικά κατεργασμένων
- ◆ χαλκού με πάχος μέχρι 10[mm]
- ◆ χυτοσιδήρου εν ψυχρώ και για αναγόμωση χαλύβων και χυτοχαλύβων.

Αυτά είναι ηλεκτρόδια από μπρούντζους κασσιτέρου, αλουμινίου, αλουμινίου-μαγγανίου, πυριτίου-μαγγανίου (**σχήμα 26** και **σχήμα 27**).

Συμβολισμός ηλεκτροδίων	Χημική σύσταση, %							
	Sn	Al	Si	Fe	Cr	Mn	P	Cu
ECuSn7	7,0	-	0,6	0,5		0,5	0,15	υπόλοιπο
ECuMnAl	-	1-2	0,3	-	-	1,0	-	υπόλοιπο
EBACr	-	0,8	1,0	1,0	0,3	0,5	-	υπόλοιπο

Σχήμα 26 Χημική σύσταση εναποτιθέμενων υλικών ηλεκτροδίων μπρούντζου.

Συμβολισμός ηλεκτροδίων	Μηχανικές ιδιότητες εναποτιθέμενου υλικού				Χρησιμοποίηση
	R _m [MP _a]	A ₅ [%]	[KJ/cm ²]	HB	
ECuSn7 ECuMnAl	200-300 180-230	20-35 20-40	- 60-120	120 60	Συγκόλληση χαλκού με πάχος μέχρι 5[mm] με ηλεκτρόδια ECuMnAl και μέχρι 10[mm] με ηλεκτρόδια ECuSn, με αρχική προθέρμανση (200[°C]-500[°C]), με σφρηγιάτηση των κολλήσεων, συγκόλληση ορείχαλκων, συγκόλληση χυτοσιδήρων, αναγόμευση χαλύβων.
EBACr	400-440	20-25	-	110	Συγκόλληση και αναγόμευση εν ψυχρώ και εν θερμώ (200[°C]-500[°C]) πολυσυστατικών μπρούντζων αλουμινίου. Σε κάθε περίπτωση προτείνεται σφρηγιάτηση των κολλήσεων, αναγόμευση χάλυβα και χυτοχάλυβα.

Σχήμα 27 Χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων μπρούντζου και μηχανικές ιδιότητες του εναποτιθέμενου υλικού.

Άμεσα απαραίτητο, προ της συγκόλλησης, είναι το στέγνωμα των ηλεκτροδίων, ανάλογα με τις συνθήκες: ECuSn7-120[°C]-1[h], ECuMnAl-250[°C]-2[h], EBACr-300[°C]-3[h]. Με τα ηλεκτρόδια μπρούντζου η συγκόλληση πρέπει να εκτελείται σε επίπεδη θέση ή, το πολύ, ελαφρά κεκλιμένη, με ρεύμα συνεχές και θετικής πολικότητας. Η ποιότητα των κολλήσεων σύνδεσης ή αναγόμευσης εξαρτάται από την ουσιώδη επιλογή της θερμοκρασίας αρχικής προθέρμανσης του υλικού, απ' την επιλογή της διαμέτρου του ηλεκτροδίου όπως και απ' την ένταση του ρεύματος. Οι συνθήκες αυτές καθορίζονται, κάθε φορά, βάσει των αρχικών δοκιμών, σύμφωνα με την υπόθεση ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος και η θερμική χωρητικότητα των συγκολλούμενων εξαρτημάτων τόσο υψηλότερη πρέπει να είναι η θερμοκρασία προθέρμανσης, μεγαλύτερη η διάμετρος του ηλεκτροδίου και υψηλότερη η ένταση ρεύματος.

Ηλεκτρόδια νικελίου. Η καλύτερη μέθοδος συγκόλλησης του νικελίου είναι η συγκόλληση στην ατμόσφαιρα του αργού (μέθοδος TIG), αλλά η συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται ακόμη. Τα ηλεκτρόδια νικελίου χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση και αναγόμευση του νικελίου και των κραμάτων αυτού. Αυτά τα ηλεκτρόδια είναι παχιάς και οξειδωτικής-φθοριτικής επένδυσης. Μ' αυτά η συγκόλληση εκτελείται αποκλειστικά σε επίπεδη θέση, με συνεχές ρεύμα και θετική πολικότητα. Τα ηλεκτρόδια νικελίου έχουν εναποτιθέμενο υλικό με περιεκτικότητα 99% Ni και διαβρωτική ανθεκτικότητα που πλησιάζει αυτήν του καθαρού νικελίου, R_m, περίπου 300[MP_a]A₅ =περίπου 15% όπως και σκληρότητα

HB=130-150. Η ένταση ρεύματος συγκόλλησης για τα ηλεκτρόδια με διαμέτρους 2,50[mm], 3,25[mm] και 4[mm] ρυθμίζεται αναλόγως στην περιοχή 90[A]-100[A], 100[A]-140[A] και 140[A]-200[A]. Με αυτές τις εντάσεις, ο συντελεστής τήξης των ηλεκτροδίων ισούται με 9,0[g/A H]-9,6[g/A h]. Τα ηλεκτρόδια νικελίου επιβάλλεται, άμεσα, προ της συγκόλλησης, να στεγνώνονται στη θερμοκρασία των 150[°C] σε χρόνο 2[h]-4[h].

Ηλεκτρόδια αλουμινίου. Τα ηλεκτρόδια αλουμινίου είναι ηλεκτρόδια παχιάς επένδυσης, με πυρήνα τριών κατηγοριών (Al 99,5%, Al 99,8% και Al 99,9%) και διαμέτρων: 3[mm], 4[mm], 5[mm], 6[mm], 8[mm], 10[mm] και 12[mm]. Οι κατηγορίες αυτές διαφέρουν αποκλειστικά, ανάλογα με την καθαρότητα του αλουμινίου που χρησιμοποιείται για τους πυρήνες των ηλεκτροδίων. Επιλέγονται ανάλογα με την καθαρότητα του συγκολλούμενου αλουμινίου. Για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κολλήσεων στην διάβρωση, σκόπιμο είναι να χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια με καθαρότητα το ελάχιστο κατά ένα βαθμό υψηλότερο από το συγκολλούμενο αλουμίνιο. Κατά τη συγκόλληση τόξου του αλουμινίου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο ισχύει η αρχή ότι η εναπόθεση μιας στρώσης της κόλλησης πρέπει να εκτελείται με διάμετρο ηλεκτροδίου κατά 1[mm] μεγαλύτερη από το πάχος του συγκολλούμενου ελάσματος (η συγκόλληση πολλαπλών στρώσεων προξενεί ρηγματώση). Κατά τη συγκόλληση: σε I και V η διάμετρος του ηλεκτροδίου ισούται με το πάχος του ελάσματος συν 1 mm, ενώ σε X η διάμετρος του ηλεκτροδίου ισούται με ½ του πάχους του ελάσματος συν 1[mm]. Το κάτω όριο συγκολλούμενου ελάσματος ισούται με 2[mm], ενώ το πάνω δεν περιορίζεται. Τα ηλεκτρόδια που έχουν αποκτήσει υγρασία από την ακατάλληλη διατήρησή τους, επιβάλλεται να στεγνωθούν εκ νέου στη θερμοκρασία των 250[°C], σε χρόνο 2[h] 3[h]. Η συγκόλληση πρέπει να γίνεται αποκλειστικά με συνεχές ρεύμα, σε επίπεδη θέση, με θετική πολικότητα στο ηλεκτρόδιο. Οι μηχανές συγκόλλησης πρέπει να έχουν φθίνουσα στατική χαρακτηριστική. Η αντοχή στον εφελκυσμό για τις ορθολογικά εκτελούμενες συνδέσεις αλουμινίου φτάνει το 90%-100% R_m , του μητρικού υλικού στην κατάσταση ανακρυστάλλωσης, ενώ η γωνία κάμψης 180°.

Κεφάλαιο 3

Πρακτικές εφαρμογές πάνω στις συγκολλήσεις

3.1 Ηλεκτροσυγκολλήσεις σε διάφορα κομμάτια χυτοσιδήρου και χυτοσιδήρου με κοινό χάλυβα st37

- Κάνετε σχολαστικό καθαρισμό στα παλιά κομμάτια χυτοσιδήρου.
Αν έχουν λάδια ή γράσα τότε καθαρίστε τα με τον καυστήρα οξυγονοκολλήσεως καίγοντάς τα.
Μετά στρώστε τις επιφάνειες με τον τροφό και συγκολλείστε με ηλεκτρόδια \varnothing 3,25 χιλ.
- Λοξοτομήστε τα άκρα των κοινών χαλύβων και του χυτοσιδήρου, με γωνία 90° περίπου.
Τοποθετείστε και τα τρία σε μια επίπεδη επιφάνεια και ποντάρτε τα.
Χρησιμοποιήστε ηλεκτρόδια χυτοσιδήρου \varnothing 3,25 και 4 χιλ. Το πλάτος του κορδονιού να είναι ίσο με $2 \frac{1}{2}$ φορές το πάχος του ελάσματος (e).

3.2 Ηλεκτροσυγκόλληση σε χυτοσίδηρο με κακή συγκολλητικότητα και γάνωμα πλευρών με ειδικά ηλεκτρόδια

- Τοποθετήστε τα ελάσματα σε επίπεδη θέση.
Για να μη «φύγουν απ' τη θέση τους», ποντάρτε μια λάμα που θα τα κρατά σταθερά.
Τοποθετήστε κάτω από τα ελάσματα χυτοσιδήρου μία πλάκα χάλκινη.
Με ειδικό ηλεκτρόδιο «γάνωμα» τη μια πλευρά με κορδόνια λεπτά, το ένα πάνω στο άλλο.
Αν είναι απαραίτητο κάντε το ίδιο «γάνωμα» και στην άλλη πλευρά.
- Συγκολλήστε τώρα τα δοκίμια με ηλεκτρόδια χυτοσιδήρου χαμηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο (χαμηλού κόστους).

3.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε παλιά κομμάτια χυτοσιδήρου και χάλυβα

- Εξετάστε σχολαστικά τα παλιά κομμάτια χυτοσιδήρου και μετά πραγματοποιήστε τις παρακάτω εργασίες:
 - α) Καθαρίστε την επιφάνεια από κάθε λιπαρή ουσία ή βαφές.
 - β) Αφαιρέστε κάθε ανώμαλη επιφάνεια με την μέθοδο ARCAIR ή τον τροχό.
 - γ) Προθερμάνετε την επιφάνεια αν δεν έχετε ειδικά ηλεκτρόδια για συγκόλληση εν ψυχρώ.
- Συγκολλήστε τα κομμάτια, πρώτα χυτοσιδήρου και μετά με τον κοινό χάλυβα. Χρησιμοποιήστε ηλεκτρόδια για συγκολλήσεις εν ψυχρώ Ni=95%, Si, Mn και C 1% περίπου.

3.4 Ηλεκτροσυγκόλληση ελασμάτων μεγάλου πάχους σ' οριζόντια θέση και οροφής σε λοξοτομή V

- Ποντάρτε τα ελάσματα των δύο δοκιμίων.
Χρησιμοποιήστε υποστηρίγματα πάχους 2-3 χιλ.
Ηλεκτρόδια βασικής επενδύσεως \varnothing 2,5 χιλ.
- Τοποθετήστε τα ελάσματα σε οριζόντια θέση.
Το έλασμα με τη μικρότερη λοξοτομή να βρίσκεται κάτω.
Χρησιμοποιήστε ηλεκτρόδια βασικής επενδύσεως \varnothing 3,25.
- Τοποθετήστε τα ελάσματα σε θέση οροφής.
Συγκολλήστε τη λοξοτομή με λεπτά ή στενά κορδόνια, χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια βασικής επενδύσεως \varnothing 3,25 χιλ.

3.5 Ηλεκτροσυγκόλληση σε οριζόντια θέση

- Προετοιμάστε τα ελάσματα.
Η γωνία λοξοτομής είναι 70° .
Στο κάτω έλασμα η γωνία να είναι 5-10 $^\circ$ μικρότερη από το πάνω. Ποντάρτε.
- Τοποθετήστε τα ελάσματα σε κάθετη θέση με το έλασμα των 60° προς τα κάτω.

Συγκολλήστε το πρώτο κορδόνι και προσέξτε τη διείδυση να είναι ίση, σ' όλο το μήκος της ραφής.

Γεμίστε τη λοξοτομή με λεπτά κορδόνια.

3.6 Ηλεκτροσυγκόλληση σωλήνων υψηλής πίεσεως

- Ποντάρτε τους σωλήνες στην ιδιοσυσκευή ή σε μία γωνία.
Προσέξτε η απόσταση άκρων να είναι 2 χιλ. και μετά το ποντάρισμα, καθαρίστε καλά όλο το μήκος της ραφής.
- Συγκολλήστε τους σωλήνες σε δύο χρόνους.
1^{ος} Από πάνω προς τα κάτω (κατεβατό) με ηλεκτρόδια ρουτιλίου.
2^{ος} Από κάτω προς τα πάνω (ανεβατό) με ηλεκτρόδια βασικά.
Προσέξτε τις ενώσεις των κορδονιών. Το κάθε κορδόνι να καλύπτει το άλλο, κατά 1 cm περίπου. Κάντε σχολαστικό καθαρισμό πριν από κάθε συγκόλληση.
Συγκολλήστε 2-6 σωλήνες μεταξύ τους.

3.7 Βολταϊκό τόξο

Παράγεται από την καύση των στοιχείων της επενδύσεως και του μετάλλου του ηλεκτροδίου με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ του κενού που υπάρχει απ' το άκρο του ηλεκτροδίου και του ελάσματος.

Το κενό αυτό είναι το γνωστό μήκος τόξου και είναι ίσο με τη διάμετρο του ηλεκτροδίου.

Έναρξη του τόξου

Γίνεται με δύο τρόπους:

1. Χτυπητά: Πλησιάζουμε το ηλεκτρόδιο στο έλασμα και με μία κίνηση προς τα κάτω, αρχίζει η παραγωγή τόξου.
2. Ξυστά: Το ηλεκτρόδιο τρίβεται στην επιφάνεια του ελάσματος, όπως γίνεται και με ένα σπέρτο.

3.8 Ο ρόλος της επένδυσης των ηλεκτροδίων

Χωρίζεται σε τρεις βασικές ιδιότητες:

Ηλεκτρικές ιδιότητες

Η επένδυση επιτρέπει τη συγκόλληση με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε αν συγκολλήσουμε με γυμνό ηλεκτρόδιο. Θα παρατηρήσουμε ότι συνέχεια «κολλάει σαν βεντούζα», χωρίς να επιτρέπει τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου.

Δημιουργία συνεχούς και σταθερού ηλεκτρικού τόξου χωρίς διακοπές ή κολλήματα.

Μεταλλουργικές ιδιότητες

Η επένδυση παράγει κατά τη συγκόλληση διάφορους καπνούς που προέρχονται από την καύση διαφόρων στοιχείων της επένδυσης. Έτσι, ενώ είναι επιβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό, προστατεύουν το λιωμένο μέταλλο απ' την οξειδωση, γιατί δεν επιτρέπουν στον ατμοσφαιρικό αέρα να έρθει σ' επαφή μ' αυτό. (Γνωστό από τη φυσική, όταν ένα ερυθροπυρωμένο σώμα έρθει σ' επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, τότε οξειδώνεται).

Η επένδυση εμπλουτίζει τις ραφές συγκολλήσεως και τις κάνει πιο ισχυρές, χάρη στα διάφορα στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Οι καταστροφικοί έλεγχοι που γίνονται με την πρέσα και ειδικά στα δοκίμια των ηλεκτροσυγκολλητών αποτελούν ένα αδιάσπαστο γεγονός, γιατί σε μία σωστή συγκόλληση δύο μετάλλων, σπάνε τα μέταλλα και παραμένει η ραφή συμπαγής και αναλλοίωτη.

Στερεοποιεί το λιωμένο μέταλλο σιγά-σιγά και δεν επιτρέπει την απότομη συστολή κατά την ψύξη των κορδονιών. Γι' αυτό και ο ηλεκτροσυγκολλητής δε θα πρέπει να αφαιρεί πάστα από το κορδόνι, όταν είναι ακόμη ερυθροπυρωμένο.

Μηχανικές ιδιότητες

Οι θέσεις των ελασμάτων που πρόκειται να συγκολληθούν ποικίλουν (ανεβατό, κατεβατό, οριζόντιο, οροφή). Η επένδυση επιτρέπει τη συγκράτηση του λιωμένου μετάλλου σ' αυτές τις θέσεις χωρίς «κρεμάσματα».

Τέλος η επένδυση επιτρέπει τη συγκόλληση με κορδόνια ωραίας εμφανίσεως στρωτά και λεία.

Κεφάλαιο 4

Μέθοδοι συγκόλλησης, τύποι συγκόλλησης

4.1 Μη καταστρεπτικές μέθοδοι

Με τον όρο μη καταστρεπτικό έλεγχο, εννοούμε την αποκάλυψη των ελαττωμάτων κάποιου υλικού χωρίς να προκαλείται η καταστροφή και η αχρήστευσή του.

Η ευκολία, η μεγάλη ταχύτητα και το χαμηλό κόστος με το οποίο γίνονται οι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι, έδωσαν την δυνατότητα να αναπτυχθούν πολλές μέθοδοι.

4.1.1 Οπτικός έλεγχος

Όλα τα μηχανουργικά υλικά, καθώς και οι συγκολλήσεις που δεν είναι κρίσιμες για μία κατασκευή, μπορούν να εξετασθούν με οπτικό έλεγχο. Όσο και αν οι προδιαγραφές ορίζουν και άλλους τρόπους ελέγχου, ο οπτικός έλεγχος παραμένει ένα σημαντικό τμήμα του ελέγχου ποιότητας. Τα μόνα εργαλεία που χρειάζονται για τον σκοπό αυτό είναι:

1. ένας φακός έστω και μικρής μεγέθυνσης,
2. ένας φακός για εσωτερική εξέταση σωλήνων,
3. ένας καθρέπτης οδοντογιατρού,
4. ένας μετρητής διαστάσεων και
5. μία κλίμακα.

Η οπτική εξέταση χρησιμοποιείται για να ελέγχει:

- 1) Την ακρίβεια των διαστάσεων: Η ακρίβεια των διαστάσεων των δοκιμίων προσδιορίζεται με συνήθεις μεθόδους που χρησιμοποιούν κλίμακες, μικρόμετρα, παχύμετρα ή άλλα όργανα μετρήσεων. Ειδικά για το μέγεθος και το περιβλήμα των συγκολλήσεων χρησιμοποιούνται μετρητές συγκολλήσεων.
- 2) Την εμφάνιση των δοκιμίων: Η καλή εμφάνιση της επιφάνειας των δοκιμίων, μπορεί να κριθεί κάνοντας οπτική σύγκριση με πρότυπα. Ένα πρότυπο συγκολλήσεως είναι μία τομή συγκολλητής συνδέσεως παρόμοια με αυτά που

κατασκευάζεται και που το κάθε πάσο της συγκόλλησης μπορεί να φανεί με το μάτι.

Έτσι κάθε πάσο συγκόλλησης που πραγματοποιείται μπορεί να συγκριθεί με το αντίστοιχο πάσο του προτύπου.

Με την οπτική εξέταση της επιφάνειας της συγκολλήσεως μπορεί να διαπιστωθεί αν υπάρχουν σ' αυτή σκόρπιες σταγόνες μετάλλου συγκόλλησης, οξειδία και κομμάτια σκουριάς που έμειναν στην συγκόλληση και στην γύρω περιοχή.

- 3) Ασυνέχειες και ελαττώματα της συγκόλλησης: Οι ασυνέχειες που μπορούν να έχουν κακές συνέπειες στην συμπεριφορά της συγκόλλησης κατά την χρήση, είναι πολύ σημαντικότερα ελαττώματα από την κακή εμφάνιση της συγκόλλησης. Προκειμένου να διαπιστωθούν οι επιφανειακές ασυνέχειες της συγκόλλησης, ρωγμές, ανεπαρκής διείσδυση του μετάλλου, υποσκαφές ή επικαλύψεις η επιφάνεια της συγκόλλησης πρέπει να καθαριστεί καλά από τα οξειδία και την σκουριά. Το καλύτερο καθάρισμα βρέθηκε ότι γίνεται με μία βούρτσα από σκληρά σύρματα.

4.1.2 Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια

Η αρχή που στηρίζεται ο έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια, είναι το γεγονός πως όταν, σε ένα κομμάτι από σιδηρομαγνητικό υλικό που περιέχει μία ή περισσότερες ρωγμές και άλλες ασυνέχειες αναπτυχθεί μαγνητικό πεδίο, οι ασυνέχειες αυτές παραμορφώνουν τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου και δημιουργούν μικρούς μαγνητικούς πόλους.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος μιας επιφάνειας με αυτή τη μέθοδο, αυτή καλύπτεται από λεπτότατα σιδηρομαγνητικά σωματίδια που, αντιδρώντας στο μαγνητικό πεδίο του αντικειμένου και των ελαττωμάτων, συγκεντρώνονται κατά προτίμηση πάνω στα ελαττώματα. Έτσι σχηματίζεται ένα διάγραμμα κατανομή των σωματιδίων στην επιφάνεια του αντικειμένου, που περιλαμβάνει τα σημεία όπου υπάρχουν τα ελαττώματα.

Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να ανιχνευθούν ρωγμές του βασικού μετάλλου, της ζώνης θερμικής επιρροής και του μετάλλου συγκόλλησης, στρωματικά ελαττώματα του μετάλλου ή άλλες ανωμαλίες στα χείλη συναρμογής του βασικού

μετάλλου, ατελείς τήξεις και υποσκαφές, ρωγμές κάτω από την επιφάνεια και ατελείς διεισδύσεις του μετάλλου στην ρίζα της συγκόλλησης.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο σε σιδηρο-μαγνητικά υλικά και όταν το μέταλλο συγκολλησεως είναι και αυτό σιδηρομαγνητικό.

Η δυνατότητα ανίχνευσης μίας ασυνέχειας ελαττώνεται όσο μικραίνει το μέγεθός της και αυξάνεται το βάθος της κάτω από την επιφάνεια. Η καλύτερη ανίχνευση γίνεται όταν η ασυνέχεια είναι κάθετη προς την επιφάνεια.

Ερμηνεία των διαγραμμάτων των μαγνητικών σωματιδίων

Τα ελαττώματα μπορούν να προσδιοριστούν από το σχήμα, την αιχμηρότητα, το πλάτος και το ύψος που εμφανίζουν οι συγκεντρώσεις των μαγνητικών σωματιδίων στις διάφορες περιοχές του γενικού διαγράμματος διατάξεων των σωματιδίων πάνω στο αντικείμενο. Προκειμένου για μία επιφανειακή ρωγμή, στο σχήμα της συγκέντρωσης των μαγνητικών σωματιδίων στις διάφορες περιοχές του γενικού διαγράμματος διατάξεων είναι αιχμηρό, στενό και γεμάτο σωματίδια. Όσο βαθύτερη είναι η ρωγμή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η συγκέντρωση των σωματιδίων. Αν η ρωγμή είναι πλατιά, η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι μικρή γιατί το μαγνητικό πεδίο δεν μπορεί να γεφυρώσει το άνοιγμα της ρωγμής.

Στην περίπτωση ασυνεχειών κάτω από την επιφάνεια, το σχήμα της συγκέντρωσης των σωματιδίων είναι πιο αραιό, λιγότερο αιχμηρό και τα σωματίδια είναι συγκεντρωμένα σε λιγότερο στενή περιοχή.

Μία ατελής τήξη εμφανίζεται με μία μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων στα άκρα της συγκόλλησης.

Οι υποσκαφές (καψίματα) παράγουν διαγράμματα σωματιδίων στην άκρη της συγκόλλησης που είναι αραιότερο απ' αυτό που αντιστοιχεί στην ατελή τήξη. Εξάλλου, τα διάφορα καψίματα μπορούν να ανιχνευθούν και με οπτικό έλεγχο.

Ενδείξεις άσχετες με τα ελαττώματα

Πολλές φορές στο διάγραμμα παρουσιάζονται ενδείξεις που δεν έχουν σχέση με τις ενδείξεις των ασυνεχειών. Αυτές οι ενδείξεις μπορούν να γίνουν από οποιοδήποτε παράγοντα που προκαλεί απότομη αλλαγή στην διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου και παραμόρφωση των μαγνητικών γραμμών, π.χ.:

- Μία ανεπαρκής διείσδυση του μετάλλου, στην ρίζα μπορεί να προκαλέσει μία ένδειξη των σωματιδίων στην επιφάνεια.
- Αν συγκολλούνται μέταλλα με διαφορετικές ιδιότητες, τότε μπορεί να αναπτυχθεί μία ένδειξη μαγνητικών σωματιδίων κατά μήκος της σύνδεσης. Η ένδειξη αυτή είναι όμοια με την ένδειξη της ρωγμής.

Η τεχνική της μεθόδου ελέγχου

Για την μαγνήτιση του δοκιμίου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τόσο το συνεχές ρεύμα όσο και το εναλλασσόμενο. Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι αποτελεσματικό για να εντοπίσει επιφανειακές ασυνέχειες, γιατί μαγνητίζει κυρίως την επιφάνεια. Το συνεχές ρεύμα, είναι πιο ευαίσθητο από το εναλλασσόμενο για την ανίχνευση ασυνεχειών κάτω από την επιφάνεια.

4.1.3 Εφαρμογή του ραδιογραφικού ελέγχου στις συγκολλήσεις

Τα επιφανειακά ελαττώματα που μπορούν ν' ανιχνευθούν με την ραδιογραφία είναι: οι υποσκαφές ή καψίματα, διαμήκης αυλακώσεις, ατελές γέμισμα των αυλακώσεων, υπερβολικές ενισχύσεις, επικαλύψεις, ίχνη τροχίσματος.

Οι επιφανειακές αυτές ανωμαλίες μπορεί να προκαλέσουν σύγχυση με τις ενδείξεις άλλων εσωτερικών ελαττωμάτων. Γι' αυτό τα επιφανειακά ελαττώματα θα πρέπει να αφαιρούνται, στο μέτρο του δυνατού, πριν γίνει ο ραδιογραφικός έλεγχος. Αν δεν αφαιρεθούν πρέπει να παρθούν υπόψη κατά την ερμηνεία της ραδιογραφίας.

Οι υποσκαφές

Εμφανίζονται στην ραδιογραφία, σαν μία σκοτεινή γραφή μεταβλητού πάχους και πυκνότητας ανάλογα με το βάθος της υποσκαφής.

Οι διαμήκεις επιφανειακές αυλακώσεις

Εμφανίζονται, σαν σκοτεινές γραμμές, αν η ραδιογραφία έχει παρθεί παράλληλα προς το δοκίμιο. Οι γραμμές αυτές έχουν διάχυτες ακμές και από αυτό

ξεχωρίζουν, δηλ. από τις αντίστοιχες γραμμές σκουριάς που είναι πιο στενές και πιο αιχμηρές.

Μια μεταλλική ενίσχυση

Εμφανίζεται, εφόσον έχει προστεθεί σαν μία πιο φωτεινή γραμμή πάνω στη γραμμή που η ενίσχυση συναντάει το βασικό μέταλλο, ενώ η φωτεινότητα της εικόνας αλλάζει απότομα.

Τα ίγνη τροχίσματος

Επειδή προέρχονται από αφαίρεση υλικού, εμφανίζονται στην ραδιογραφία, σαν σκοτεινότερες γραμμές (ή περιοχές) από την γύρω περιοχή του μετάλλου.

Όταν το πάχος του υλικού μεγαλώνει η ευαισθησία της ραδιογραφίας σαν μέθοδος ελέγχου ελαττώνεται. Έτσι, για παχιά υλικά χρησιμοποιούνται άλλες μη καταστρεπτικές μέθοδοι ελέγχου.

Τα ελαττώματα και οι ατέλειες που είναι κάτω από την επιφάνεια

Τα ελαττώματα αυτά που μπορούν να ανιχνευθούν με την ραδιογραφία είναι: οι φυσαλίδες, τα εγκλείσματα σκουριάς, οι ρωγμές, η ανεπαρκής διείσδυση μετάλλου, η ατελής τήξη και τα εγκλείσματα βολφραμίου από τα ηλεκτρόδια.

Οι πόροι ή οι φυσαλίδες εμφανίζονται στην ραδιογραφία σαν ωσειδή ή στρογγυλά σκοτεινά σημεία που έχουν καμιά φορά και μια ουρά με διάφορα μεγέθη και κατανομή.

Οι επιμήκεις φυσαλίδες, όταν έχουν, τον άξονά τους κάθετο στην διεύθυνση της ακτινοβολίας, εμφανίζονται σαν σκοτεινά ορθογώνια και όταν ο άξονάς τους είναι παράλληλος προς την ακτινοβολία, εμφανίζονται, σαν δύο ομόκεντροι κύκλοι, ο ένας σκοτεινότερος από τον άλλο.

Τα εγκλείσματα σκουριάς

Τα εγκλείσματα σκουριάς, που συνήθως βρίσκονται στην άκρη της συγκολλησεως, εμφανίζονται σαν ακανόνιστες ή συνεχείς σκοτεινές γραμμές. Η

εικόνα μιας ρωγμής που εμφανίζεται στην ραδιογραφία είναι μία σκοτεινή στενή γραμμή που γενικά είναι ακανόνιστη.

Αν το επίπεδο της ρωγμής είναι σχεδόν παράλληλο με την ακτινοβολία, τότε η εικόνα που παρουσιάζεται στην ραδιογραφία είναι μία στενή σκοτεινή γραμμή. Αν το επίπεδο δεν είναι ακριβώς παράλληλο προς την δέσμη της ακτινοβολίας, τότε η εικόνα που εμφανίζεται είναι μία αμυδρή σκοτεινή γραμμικά σκιά. Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει να παρθούν ραδιογραφίες από διαφορετική κατεύθυνση, για να εξεταστεί η φύση της ανωμαλίας που παρατηρείται.

Επιπλέον, τα εγκλείσματα σκουριάς μαζί με τις τρύπες με αέριο, εμφανίζονται καμία φορά συνδεδεμένες με ανεπαρκή διείσδυση μετάλλου και έχουν σαν συνέπεια, να εμφανίζεται γραμμή πλατιά και ανώμαλη.

Η ανεπαρκής διείσδυση του μετάλλου στην ραφή

Εμφανίζεται στην ραδιογραφία, σαν μία σκοτεινή γραμμή κοντά στο κέντρο της συγκόλλησης.

Η ατελής τήξη

Εμφανίζεται σαν μία πολύ στενή και ευθεία γραμμή, παράλληλη προς μία πλευρά της συγκόλλησης.

Τα εγκλείσματα βολφραμίου

Εμφανίζονται είτε σαν απομονωμένα φωτεινά σημεία, είτε σαν συνοθυλεύματα μικρών φωτεινών σημείων. Τα σημεία αυτά έχουν συνήθως ακανόνιστο σχήμα. Μερικές φορές είναι σαν ορθογώνια φωτεινά σημεία.

4.2 Δοκιμές σκληρότητας

Οι μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο για την μέτρηση της σκληρότητας είναι οι δοκιμές Brinell, Rockwell και Vickers. Γενικά, οι δοκιμές

σκληρότητας δεν είναι καταστρεπτικές γι' αυτό το κομμάτι το οποίο θα σκληρομετρηθεί μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Η επιφάνεια στην οποία θα γίνει δοκιμή πρέπει να είναι καθαρή, στεγνή, να μην έχει οξείδια και άλλα ξένα υλικά που μπορούν να μετατοπιστούν κάτω από την πίεση της δοκιμής, με συνέπεια να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της σκληρομέτρησης.

Κάθε μία από τις τρεις δοκιμές σκληρότητας παρουσιάζει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα. Η δοκιμή Brinell δημιουργεί μεγάλο ίχνος στην επιφάνεια που εξετάζεται και χρησιμοποιείται για μέτρηση σκληρότητας σε σχετικά μεγάλη κλίμακα τιμών.

Οι δοκιμές Rockwell και Vickers χρησιμοποιούνται συνήθως για να ελεγχθούν οι σκληρότητες μικρών περιοχών.

4.2.1 Δοκιμή σκληρότητας BRINELL

Γίνεται με την διείσδυση σφαίρας από ειδικό σκληρηθέντα χάλυβα σε μία επιφάνεια δοκιμίου με την εφαρμογή ορισμένου φορτίου, για ορισμένο χρόνο και μετά μετρίεται η διάμετρος του ίχνους της διείσδυσης.

Τα προτυποποιημένα σφαιρίδια διεισδύσεως έχουν διάμετρο $10 \pm 0,0025$ mm τα εφαρμοσμένα φορτία είναι 3.000, 1.500 ή 500 KGF και εξαρτώνται από την σκληρότητα του υλικού που δοκιμάζεται.

Η διάρκεια της εφαρμογής του φορτίου είναι 10-15'' αλλά μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τα υλικά και τις συνθήκες.

4.2.2 Δοκιμή σκληρότητας ROCKWELL

Δίδεται με μέτρηση του βάθος διείσδυσης ενός μικρού σφαιριδίου από σκληρηθέντα χάλυβα ή ενός κώνου διαμαντιού και η διείσδυση καταγράφεται σαν ισοδύναμη σκληρότητα σε καταγραφικό όργανο. Ο αριθμός που εκφράζει την σκληρότητα Rockwell στηρίζεται στην διαφορά, διεισδύσεως. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τόσο μικρότερος είναι ο βαθμός σκληρότητας και τόσο μαλακότερο είναι το υλικό.

4.2.3 Δοκιμή σκληρότητας VICKERS

Γίνεται με διείσδυση ενός διαμαντιού στην επιφάνεια του δοκιμίου κάτω από ένα προκαθορισμένο φορτίο για ορισμένο χρόνο. Ο αριθμός σκληρότητας Vickers εκφράζεται σαν λόγος του φορτίου διεισδύσεως προς την επιφάνεια του ίχνους που προκύπτει.

Η εφαρμογή και η αφαίρεση του φορτίου ύστερα από ορισμένο χρόνο γίνεται αυτόματα.

4.2.4 Δοκιμή σε υδραυλική πίεση

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται με την εφαρμογή στο δοκίμιο υδραυλικής πίεσης, για να προσδιοριστεί αν το δοκίμιο θα αντέξει στην εφαρμογή των φορτίων λειτουργίας χωρίς να καταστραφεί ή να παραμορφωθεί μόνιμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνήθως τα εφαρμοζόμενα φορτία είναι μεγαλύτερα από αυτά που το δοκίμιό μας θα φέρει κατά την χρήση του, άλλα όμως είναι μικρότερα από το όριο ελαστικότητας του μετάλλου.

Τα κλειστά δοχεία δοκιμάζονται συνήθως με εφαρμογή εσωτερικής πίεσης με πεπιεσμένο αέρα ή με νερό υπό πίεση (όχι πάνω από 35 KPa) από τον φόβο της έκρηξης κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Κατά την υδροστατική δοκιμή η πίεση που εφαρμόζεται είναι συνήθως το επιτρεπόμενο φορτίο που καθορίστηκε από τον υπολογισμό συν ένα ποσοστό πίεσεως για ασφάλεια. Κατά την διάρκεια της δοκιμής ελέγχουμε το δοκίμιο, για να διαπιστωθεί αν υπάρχει κάποια διαρροή. Αν πρόκειται να δοκιμασθούν ανοιχτά δοχεία, αυτά γεμίζουν με νερό ή άλλα υγρά και εξετάζονται οπτικώς για διαρροή.

4.3 Τήξη και στερεοποίηση μετάλλων

Αν θερμάνουμε ομοιόμορφα και συνεχώς ένα μέταλλο, η θερμοκρασία του ανεβαίνει ομαλά μέχρις ότου φτάσει στο σημείο τήξης, οπότε το μεταλλικό σώμα αρχίζει να λιώνει. Κατά την διάρκεια της τήξης (λιώσιμο), όσο και αν το θερμαίνουμε η θερμοκρασία του δεν ανεβαίνει, μέχρι να λιώσει (δηλαδή να υγροποιηθεί) τελείως. Όλη η ενέργεια που δίνουμε χρησιμεύει για ν' αλλάξει την κατάσταση του σώματος

από στερεά (κρυσταλλική) σε υγρή. Μετά, αν συνεχίσουμε να θερμαίνουμε το υγρό μέταλλο, ανεβαίνει ξανά η θερμοκρασία του.

Το αντίστροφο θα συμβεί αν αφήσουμε να κρυώσει ένα μέταλλο που το είχαμε θερμάνει, μέχρι να υγροποιηθεί. Στην αρχή ελαττώνεται η θερμοκρασία του υγρού, ώσπου να φτάσει στο σημείο πήξης, που είναι η ίδια θερμοκρασία με το σημείο τήξης του σώματος. Σ' αυτήν αρχίζει η στερεοποίηση και διατηρείται σταθερή, μέχρις ότου ολοκληρωθεί η στερεοποίηση, δηλαδή όλο το μεταλλικό σώμα ξαναγίνει στερεό με την κρυσταλλική δομή του.

Στην αρχή της στερεοποίησης σχηματίζεται μέσα στη μάζα του υγρού μετάλλου ένας μικροσκοπικός κρύσταλλος και στη συνέχεια σχηματίζονται και άλλοι, σε τυχαίες θέσεις του τήγματος. Αυτοί οι πρωτοσχηματιζόμενοι μικροσκοπικοί κρύσταλλοι λέγονται **φύτρα** ή **κέντρα κρυσταλλώσεως**. Γύρω από τα φύτρα προστίθενται άτομα στις θέσεις που καθορίζονται από το είδος του κρυσταλλικού πλέγματος αυτού του μετάλλου. Ταυτόχρονα, σε άλλες τυχαίες θέσεις που υπάρχει ακόμα υγρό μέταλλο, σχηματίζονται νέα φύτρα. Τα φύτρα με τα άτομα που τους προστίθενται σχηματίζουν δενδρίτες. Ο δενδρίτης αναπτύσσεται μέχρις ότου οι εξωτερικοί κλάδοι του συναντήσουν τους εξωτερικούς κλάδους των γειτονικών δενδριτών (που σχηματίστηκαν ξεκινώντας ανεξάρτητα, από άλλα φύτρα και έχουν άλλη κατεύθυνση). Έτσι εξηγείται το ακανόνιστο σχήμα, γενικά, των κόκκων του μετάλλου (πολυκρυσταλλικά μέταλλα).

Οι επιφάνειες επαφής των δενδριτών αποτελούν τα **όρια των κόκκων**. Στα όρια των κόκκων (λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού των κόκκων), τα άτομα δεν μπορούν να διαταχθούν ακολουθώντας το κανονικό πλέγμα. Γι' αυτό το λόγο και – επιπλέον – επειδή μεταξύ των κόκκων συγκεντρώνονται οι τυχόν ακαθαρσίες του μετάλλου (θείο, φώσφορος, κ.λ.π.), οι μηχανικές ιδιότητες των κόκκων είναι διαφορετικές από τις ιδιότητες των ορίων των κόκκων. Έχει βρεθεί ότι τα όρια των κόκκων έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τους κόκκους, σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα, σε υψηλές θερμοκρασίες οι κόκκοι έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τα όρια των κόκκων. Επομένως, ο λεπτόκοκκος κρυσταλλικός ιστός (που έχει πολλά όρια κόκκων και μικρούς κόκκους) έχει μεγαλύτερη αντοχή από τον χοντρόκοκκο (που έχει μεγάλους κόκκους και λίγα όρια κόκκων) σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το αντίθετο συμβαίνει σε υψηλές θερμοκρασίες. Στην πρώτη έχει πολύ μεγάλη σημασία η ταχύτητα απόψυξης του τήγματος. Όσο πιο γρήγορα κρυώσουμε το υγρό μέταλλο, τόσο πιο πολλά φύτρα (επομένως και κόκκοι) σχηματίζονται, οι κόκκοι είναι λεπτοί

και το πλέγμα έχει πολλά όρια κόκκων. Και αυτό είναι καθοριστικό για την αντοχή του μετάλλου σε διάφορες θερμοκρασίες.

4.4 Κράματα

Σπάνια χρησιμοποιείται ένα μέταλλο καθαρό (τελείως μόνο του), π.χ. όταν ενδιαφερόμαστε για τις ιδιαίτερες ιδιότητές του, όπως είναι η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού ή του αλουμινίου. Στην συντριπτική πλειονότητα των εφαρμογών της πράξης χρησιμοποιούμε τα **κράματα** που σχηματίζονται από την ανάμειξη δύο ή περισσότερων μετάλλων ή / και αμέταλλων και που έχουν πολύ καλύτερες ιδιότητες από τα καθαρά μέταλλα (μηχανική αντοχή, αντοχή σε κόπωση, αντοχή σε διάβρωση, σκληρότητα, κ.λ.π.). Για να φτιάξουμε το κράμα, λιώνουμε τα συστατικά του, τα ανακατεύουμε και τ' αφήνουμε να κρυώσουν. Οι ιδιότητες αυτές των κραμάτων εξαρτώνται ουσιαστικά από τον τρόπο που σχηματίζονται οι κρύσταλλοί τους: Με συνδυασμό ατόμων των συστατικών τους ή με παρεμβολή ατόμων του ενός στοιχείου ανάμεσα στους κρυστάλλους του άλλου ή και με ανάμειξη κρυστάλλων μίγματος ορισμένης αναλογίας ανάμεσα στους κρυστάλλους ενός από τα άλλα συστατικά.

Οι ουσιαστικοί παράγοντες που καθορίζουν πως θα σχηματιστεί το κρυσταλλικό πλέγμα του κράματος είναι:

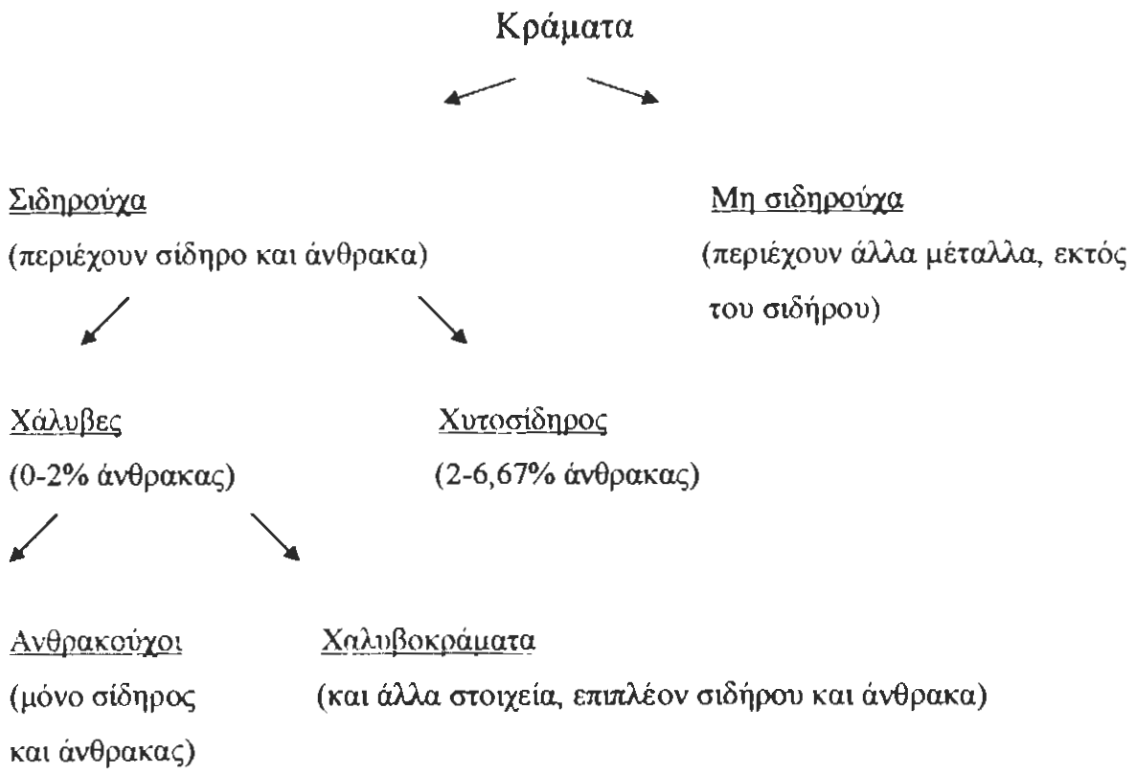
- η αναλογία του κάθε συστατικού,
- η θερμοκρασία ανάμειξης και κυρίως η ταχύτητα και ο τρόπος απόψυξης και στερεοποίησης.

Για παράδειγμα, από τα κράματα σιδήρου και άνθρακα μπορεί να έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

		Περιεκτικότητα		Τρόπος απόψυξης ή και κατεργασία	Όριο θραύσης (kp/mm ²)	Δυσθραυστότητα (kp/cm ²)	Σκληρότητα Brinell (kp/mm ²)
		Άνθρακας	Σίδηρος				
Χάλυβας		0,3	99,7	Αργή σε ήρεμο αέρα (όχι ρεύμα)	52,0	16,0	141
		0,3	99,7	Βαφή σε νερό (μετά από θέρμανση στους 850°C)	134,0	2,0	394
Χυτοσίδηρος	Λευκός	3	97	Ήρεμη	15,0-50,0	Πολύ μικρή	400-500

	Μαλακτικο ποιημένοις	3	97	Παρατεταμένη ανόπτηση (ως 900°C) και αργή απόψυξη	35,0-40,0	Αξιόλογη	110-120
--	----------------------	---	----	---	-----------	----------	---------

Γενικά, τα κράματα παρουσιάζονται ως εξής:



4.4.1 Θερμικές κατεργασίες

Κάνουμε κατάλληλο συνδυασμό θέρμανσης και απόψυξης (θερμοκρασία – χρόνος), ώστε να αποκτήσει το κράμα την κρυσταλλική δομή και το μέγεθος κόκκων που θέλουμε, και κατά συνέπεια τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες. Δεν αλλάζουμε ούτε τη μορφή, ούτε τη χημική σύνθεση του σώματος. Οι κυριότερες θερμικές κατεργασίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

4.4.2 Ανόπτηση

Έχει σκοπό να κάνει το υλικό πιο μαλακό, ευκολοκατέργαστο, λεπτόκοκκο, ομοιογενές. Αν στο σώμα έχουν δημιουργηθεί εσωτερικές τάσεις (π.χ. από έντονη

κατεργασία κοπής ή έλασης), αποβάλλονται. Αν η κρυσταλλική δομή του υλικού έχει αλλοιωθεί (π.χ. σκλήρυνση λόγω έλασης εν ψυχρώ), η ανόπτηση έχει σκοπό την αποκατάσταση της αρχικής του δομής (ανακρυστάλλωση). Γενικά, ξαναφέρει το κράμα στη φυσιολογική του κατάσταση, αν αυτή έχει διαταραχθεί από μηχανικές ή θερμικές κατεργασίες, ή και από άλλες αιτίες (βαφή, χύτευση, υπερθέρμανση, κ.λ.π.). Η ανόπτηση γίνεται με θέρμανση μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία – συνήθως μέσα σε ειδικό κλίβανο, παραμονή σε αυτή τη θερμοκρασία όσο χρειάζεται, και μετά απόψυξη – μέσα στον κλίβανο – μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σπουδαιότατη σημασία έχει ο χρόνος που διαρκούν οι φάσεις: Θέρμανση – Παραμονή – Απόψυξη.

4.4.3 Εξομάλυνση

Είναι σχεδόν σαν την ανόπτηση, μόνο που η απόψυξη γίνεται σε ήρεμο αέρα (όχι σε ρεύμα) και όχι στον κλίβανο, άρα είναι ταχύτερη και επομένως μας δίνει πιο λεπτόκοκκο κράμα.

4.4.4 Βαφή

Έχει σκοπό ν' αυξήσει τη σκληρότητα, κάνοντας όμως το υλικό πιο εύθραυστο. Η διαδικασία είναι: Θέρμανση – Παραμονή – Απόψυξη. Συνήθως κάνουμε πρώτα: α) Προθέρμανση (αργά και προοδευτικά ως π.χ. 600-650°C για ανθρακούχους χάλυβες), β) Θέρμανση και διατήρηση στη θερμοκρασία βαφής (μέσα σε κατάλληλο κλίβανο), γ) Απόψυξη (αιώτομα) μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Συχνά χρειάζεται να κάνουμε, πριν από τη βαφή, ανόπτηση για να φύγουν οι εσωτερικές τάσεις (κίνδυνος ρηγκατώσεων). Ανάλογα με το είδος του κράματος η απόψυξη μπορεί να γίνει είτε σε λουτρό νερού (έντονη βαφή, που γίνεται ακόμη αποτελεσματικότερη αν προσθέσουμε στο νερό μαγειρικό αλάτι), είτε σε λουτρό λαδιού ή σε ρεύμα αέρα (μέτρια βαφή). Καθοριστικοί παράγοντες της βαφής είναι: η σύνθεση του κράματος, η θερμοκρασία βαφής, η διάρκεια θέρμανσης και απόψυξης, το μέσο όπου γίνεται η απόψυξη και επίσης: το ανακάτεμα του λουτρού απόψυξης και το μέγεθος του τεμαχίου που βάζουμε. Σχεδόν ποτέ δεν μπορούμε να

χρησιμοποιήσουμε το βαμμένο χάλυβα, έτσι σκληρός και εύθραυστος που είναι. Κατά γενικό κανόνα, χρειάζεται επαναφορά.

4.4.5 Επαναφορά

Έχει σκοπό να αποβάλλει τα δυσάρεστα αποτελέσματα (εσωτερικές τάσεις) τα απότομης απόψυξης, κατά την βαφή, που είναι η αιτία της μεγάλης ευθραυστότητας. Γίνεται με θέρμανση μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία (που κυμαίνεται από 100 έως 650°C), παραμονή σ' αυτή τη θερμοκρασία και ψύξη (συνήθως στον αέρα). Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία επαναφοράς, τόσο ελαττώνεται το όριο θραύσης και η σκληρότητα και τόσο αυξάνεται (βέβαια κάτω των 650°C) η αντοχή σε θραύση και η πλαστικότητα.

4.5 Επιφανειακές σκληρύνσεις

Έχουν σκοπό να κάνουν το τελειωμένο τεμάχιο εξωτερικά σκληρό (όπως ο βαμμένος χάλυβας) και ταυτόχρονα ανθεκτικό και δύσθραυστο. Προκαλούν ετερογενή σύνθεση του υλικού, έτσι ώστε: Το εσωτερικό της μάζας να είναι μαλακό (με αρκετή αντοχή και δυσθραυστότητα) και η εξωτερική επιφάνειά του να είναι σκληρή (και ν' αντέχει στη φθορά). Αυτό μπορεί να γίνει με:

- ✓ Ενανθράκωση: Στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου από μαλακό χάλυβα εμποτίζουμε άνθρακα με τη βοήθεια της θερμότητας (σε βάθος 0,2 mm έως μερικά χιλιοστά) και κατόπιν βάφουμε αυτή την επιφάνεια.
- ✓ Εναζώτωση: Εκθέτουμε το χάλυβα (υπό 500°C περίπου) σε ρεύμα αμμωνίας, η οποία εκλύει άζωτο που εισχωρεί στην επιφάνεια του χάλυβα και σχηματίζει μια πολύ σκληρή ένωση με το σίδηρο (σιδηρονιτρίδιο). Βάθος αζώτωσης έως 0,5 mm το πολύ. Δεν χρειάζεται άλλη κατεργασία.
- ✓ Φλογοβαφή: Είναι σαν την βαφή, αλλά η θέρμανση γίνεται (συνήθως με φλόγα οξυγόνου – ασετιλίνης) μόνο στην εξωτερική επιφάνεια και αμέσως κρυώνουμε απότομα το τεμάχιο με εκτόξευση νερού. Έτσι, μόνο η εξωτερική επιφάνεια προλαβαίνει να βαφεί και να γίνει σκληρή και εύθραυστη.

- ✓ Επαγωγική βαφή: Τη θέρμανση την πετυχαίνουμε με επαγωγή επιφανειακών δινορρευμάτων στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου. Μετά κάνουμε γρήγορη απόψυξη, όπως στη φλογοβαφή. Η βαφή γίνεται σε βάθος που κυμαίνεται από 1,5 έως 10 mm. Αυτή η μέθοδος δίνει πολύ καλή ποιότητα επιφάνειας του τεμαχίου.

4.6 Κατεργασίες εν ψυχρώ (ψυχρηλασία)

Είναι μηχανικές κατεργασίες που εκτελούνται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Προκαλούν σκλήρυνση, δηλαδή αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες του κράματος, που οφείλεται στη μεταβολή του κρυσταλλικού ιστού υπό την επίδραση των μεγάλων μηχανικών δυνάμεων. Για να εξαφανίσουμε τα αποτελέσματα της σκλήρυνσης, κάνουμε (όταν χρειαστεί) ανόπτηση για ανακρυστάλλωση (βλέπε παρ. 4.1.1.).

Σημείωση

Αν οι παραπάνω κατεργασίες γίνουν σε μεγαλύτερη θερμοκρασία (και μάλιστα άνω της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης) έχουμε τη: θερμηλασία. Τότε η σκλήρυνση και η ανακρυστάλλωση γίνονται σχεδόν ταυτόχρονα. Ανάλογα με την θερμοκρασία που τελειώνει η θερμηλασία, το κράμα μπορεί να γίνει λεπτόκοκκο (με καλές μηχανικές ιδιότητες) ή χοντρόκοκκο ή με στρεβλωμένους κρυσταλλίτες (σκλήρωση).

Κεφάλαιο 5

Μέθοδοι παραγωγής, κατηγορίες και ιδιότητες των κυριότερων κραμάτων

5.1 Παραγωγή χυτοσιδήρου

Γίνεται είτε με την **υψικάμινο**, είτε με **ηλεκτρικό φούρνο**.

❖ **Υψικάμινος:** Είναι η σχεδόν αποκλειστική μέθοδος παραγωγής (το 99% της παγκόσμιας παραγωγής). Παραγωγική ικανότητα: Άνω των 2.000 T το 24ωρο. Η υψικάμινος είναι μια εγκατάσταση ύψους 30 μ περίπου, αποτελούμενη από δύο (πάνω και κάτω) κολουρους κώνους ενωμένους στη μεγάλη βάση τους. Η λειτουργία τους είναι συνεχής όλο το 24ωρο. Από το άνω στόμιο φορτώνονται σε διαδοχικά στρώματα, το μέταλλευμα, μεταλλουργικό κωκ, συλλιπάσματα. Το μέταλλευμα αποτελείται από οξειδία του σιδήρου και ξένες προσμίξεις. Τα συλλιπάσματα είναι βοηθητικά υλικά (ασβεστόλιθος ή μαγνήσιο) που ενώνονται με τις ξένες προσμίξεις και σχηματίζουν τη σκουριά. Αυτή είναι ελαφριά και επιπλέει στην επιφάνεια του λιωμένου μετάλλου, έτσι ώστε να μπορεί να ξεχωρίζεται και ν' απομακρύνεται εύκολα. Στο κάτω μέρος ανάβουμε φωτιά και στη συνέχεια στέλνουμε την ποσότητα του αέρα που χρειάζεται για να κάψει το κωκ. Εκτός απ' αυτόν τον αέρα, στην καύση χρησιμοποιείται και το οξυγόνο από το μέταλλευμα (οξειδία του σιδήρου) και έτσι παίρνουμε καθαρό σίδηρο ανακατεμένο με άνθρακα. Αυτό το μίγμα είναι σε υγρή κατάσταση, στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται από την καύση (1.600 έως 1.800°C), και κυλάει προς τον πυθμένα της υψικάμινου, απ' όπου προλαμβάνεται αφού αφαιρεθούν οι σκουριές που επιπλέουν (ξάφρισμα). Αυτό το κράμα είναι ο Χυτοσίδηρος.

❖ **Ηλεκτρικός φούρνος:** Είναι η πιο σύγχρονη μέθοδος. Ο φούρνος είναι πιο κοντός και με αρκετά μεγαλύτερη διάμετρο από την υψικάμινο. Η θέρμανση γίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα που διαβιβάζεται μέσω ηλεκτροδίων και του κράματος που είναι στον πυθμένα του φούρνου. Επομένως χρειαζόμαστε πολύ λιγότερο άνθρακα απ' ότι στην υψικάμινο (αφού είναι μόνο για ν' απορροφήσει το οξυγόνο των οξειδίων του σιδήρου και δεν χρησιμοποιείται καθόλου για θέρμανση) και δεν έχουμε καυσαέρια.

5.2 Παραγωγή χαλύβων

Για να πάρουμε χάλυβα από χυτοσίδηρο, πρέπει ν' αφαιρέσουμε ένα μέρος του άνθρακα (και του πυριτίου και του μαγγανίου), καθώς και όλη την ποσότητα φωσφόρου και ξένων σωμάτων που περιέχει ο χυτοσίδηρος. Επίσης πρέπει να προσθέσουμε τις κατάλληλες προσμίξεις (μέταλλα) για να φτιάξουμε τα χαλυβοκράματα. Η αφαίρεση του άνθρακα και των άλλων ανεπιθύμητων στοιχείων γίνεται με «καύση» με οξυγόνο που το παίρνουμε είτε φυσώντας αέρα, είτε καθαρό οξυγόνο, είτε προσθέτοντας μέταλλευμα (οξειδία του σιδήρου). Τα ανεπιθύμητα προϊόντα της καύσης αποβάλλονται είτε σαν αέρια (πτητικά), είτε σαν στερεά (σκουριά). Η διαδικασία αυτή γίνεται:

- Σε στρόμβους που έχουν σχήμα αχλαδιού (π.χ. στρόμβος Bessemer, Thomas, στρόμβοι καθαρού οξυγόνου), ή
- σε φούρνους που καίνε: υγραέρια ή οξυγόνο ή κονιοποιημένο γαιάνθρακα (π.χ. φούρνος Martin), ή
- σε φούρνους ηλεκτρικού τόξου, όπου η θέρμανση γίνεται με ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται μεταξύ ηλεκτροδίων από γραφίτη και των λιωμένων υλικών του πυθμένα του φούρνου, ή
- σε φούρνους ηλεκτρικής επαγωγής, όπου η θέρμανση γίνεται με ισχυρά υψίσυχνα επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούνται στη μάζα του υλικού που τοποθετούμε στο φούρνο (χυτοσίδηρος, παλιοσίδηρα, προσμίξεις).

5.3 Ιδιότητες σιδηρούχου κράματος χυτοσιδήρου

Είναι κράματα σιδήρου – άνθρακα, όπου η περιεκτικότητα άνθρακα είναι 2,5 έως 6,67%. Είναι πιο εύκολος στη χύτευση, πιο εύτηκτος (σημείο τήξης 1.150 έως 1.250°C), πιο ικανός στην απόσβεση κραδασμών (κατάλληλος για βάση μηχανών) και πιο φτηνός από τον χάλυβα. Αντίθετα, έχει χαμηλότερο όριο θραύσης, πολύ χαμηλή δυσθραυστότητα και ασήμαντη πλαστικότητα (πολύ δύσκολη η κατεργασία του). Οι ιδιότητες του χυτοσιδήρου εξαρτώνται από την κρυσταλλική του δομή που καθορίζεται από τη χημική του σύνθεση και τις θερμικές κατεργασίες που του κάνουμε. Έτσι, έχουμε τις εξής κατηγορίες:

✓ Λευκός χυτοσίδηρος: Προέρχεται συνήθως από ταχεία απόψυξη. Είναι πολύ σκληρός, αντέχει στη φθορά, αλλά είναι πάρα πολύ εύθραυστος και – λόγω της μεγάλης του σκληρότητας – δεν μπορούμε πρακτικά να τον κατεργαστούμε με κοπτικά εργαλεία. Αυτός έχει καλή μηχανική αντοχή, δυσθραυστότητα και πλαστικότητα (άρα είναι ευκολοκατέργαστος). Χρησιμοποιείται για να κατασκευάσουμε πωξίδες (Κάρτερ) διαφορετικού, πλήμνες (αφαλούς) τροχών, ταμπουρά φρένων, εξαρτήματα σωληνώσεων, τεμάχια αγροτικών μηχανημάτων, κ.λ.π.

✓ Φαιός χυτοσίδηρος: Προέρχεται συνήθως από βραδύτερη απόψυξη. Η κρυσταλλική του μορφή (που καθορίζει τις μηχανικές τους ιδιότητες) εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα σε πυρίτιο (Si 1% έως 3%, ενώ ο λευκός χυτοσίδηρος έχει μόνο 0,5%). Έχει χαμηλό όριο θραύσης και είναι εύθραυστος. Με ανόπτηση μπορεί να δώσει μαλακτικοποιημένο χυτοσίδηρο (όπως και ο λευκός χυτοσίδηρος, άρα πιο πάνω). Εξάλλου, προσθέτοντας λίγο μαγνήσιο (δηλαδή Mn 0,6% - 0,8%) στο λιωμένο φαιό χυτοσίδηρο πριν από τη χύτευση, και χωρίς καμιά άλλη κατεργασία, παίρνουμε το **χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη**. Αυτός έχει ψηλό όριο θραύσης, αρκετή σκληρότητα και πλαστικότητα. Χρησιμοποιείται για να κατασκευάσουμε: κεφαλές κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσης, τροχαλίες, σφονδύλους, τύμπανα ανυψωτικών μηχανημάτων, σωλήνες ατμού και νερού, κ.λ.π.

✓ Ειδικοί χυτοσίδηροι: Είναι κράματα που περιέχουν χυτοσίδηρο και ένα ή περισσότερα άλλα μέταλλα (νικέλιο, χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, χαλκός), για να βελτιώσουμε ακόμη τις μηχανικές τους ιδιότητες.

5.4 Χάλυβες και χαλυβοκράματα

Αποτελούν το κυριότερο και πολύ εκτεταμένο κεφάλαιο της μεταλλουργίας και μεταλλογνωσίας. Εδώ θα περιοριστούμε να αναφέρουμε την επίδραση που έχει η προσθήκη διάφορων στοιχείων στους χάλυβες για τη δημιουργία των χαλυβοκραμάτων.

Τα χαλυβοκράματα ή ειδικούς χάλυβες, τα φτιάχνουμε για να αποφύγουμε μειονεκτήματα που έχουν οι κοινοί χάλυβες, δηλαδή:

- για ν' αυξήσουμε το όριο θραύσης, μαζί με μεγάλη δυσθραυστότητα και πλαστικότητα,
- για ν' αυξήσουμε την «βαφτικότητα» (ομοιόμορφη βαφή σ' ολόκληρη τη διαταραχή μεγάλων τεμαχίων, καθώς και αποφυγή ρωγμών και στραβώματος από γρήγορη απόψυξη),
- για ν' αυξήσουμε την αντίσταση στην οξείδωση (ακόμη και σε υψηλή θερμοκρασία),
- για να έχουμε αρκετή σκληρότητα ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες (για εργαλεία κοπής). Οι κοινοί χάλυβες παθαίνουν επαναφορά και ελάττωση της σκληρότητας,
- για να πετύχουμε μερικές επιθυμητές ηλεκτρικές ή μαγνητικές ιδιότητες που δεν έχουν οι κοινοί ανθρακούχοι χάλυβες.

Τα στοιχεία που προσθέτουμε στους κοινούς χάλυβες (κράματα σιδήρου και άνθρακα) λέγονται **προσθήκες**. Αυτές είναι:

- Κατά κύριο λόγο: Μαγγάνιο Mn, Νικέλιο Ni, Χρώμιο Cr, Πυρίτιο Si.
- Κατά δεύτερο λόγο: Μολυβδαίνιο Mo, Βολφράμιο W, Βανάδιο V, Κοβάλτιο Co, Αλουμίνιο Al.

5.5 Χαλκός και τα κράματά του

Η παραγωγή του χαλκού γίνεται από τα μεταλλεύματά του είτε με την βοήθεια της θέρμανσης (θερμομεταλλουργία), είτε και με την ηλεκτρολυτική μέθοδο (που είναι καταλληλότερη και για τον εξευγενισμό του – ραφινάρισμα). Πριν από τη θερμική κατεργασία, τα μεταλλεύματα υπόκεινται σε μηχανική επεξεργασία για τον εμπλουτισμό τους και την αφαίρεση των ξένων προσμίξεων (λειοτριβήση, πλύση, διαχωρισμός με επίπλευση).

Ο χαλκός είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού (ιδιαίτερα κατάλληλος για ηλεκτρικούς αγωγούς), πλαστικός (παραμορφώνεται πολύ εύκολα τόσο εν θερμώ όσο και εν ψυχρώ), έχει καλή αντοχή στη διάβρωση και αρκετά καλή μηχανική αντοχή. Είναι αμαγνητικός και επιμεταλλώνεται εύκολα (επιχρωμίωση, επινικέλωση). Τα κυριότερα κράματά του είναι ο **ορείχαλκος** (Cu-Zn) και το **κρατέρωμα** (μπρούντζος Cu-Sn).

5.6 Αλουμίνιο και τα κράματά του

Η παραγωγή του αλουμινίου γίνεται σε δύο φάσεις:

- Παραγωγή οξειδίου του αλουμινίου (Αλουμίνα). Αυτή γίνεται με χημική επεξεργασία του μεταλλεύματος, που είναι σχεδόν αποκλειστικά ο Βωξίτης, ώστε να απομακρυνθούν οι ξένες προσμίξεις που είναι κυρίως οξείδια του πυριτίου και του σιδήρου (αδρανή κατάλοιπα).
- Παραγωγή καθαρού αλουμινίου με ηλεκτρόλυση της Αλουμίνας, μέσα στις ειδικές ηλεκτρολυτικές λεκάνες, με τη βοήθεια ισχυρότατου ηλεκτρικού συστήματος.

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά με την μορφή των κραμάτων του.

Κεφάλαιο 6

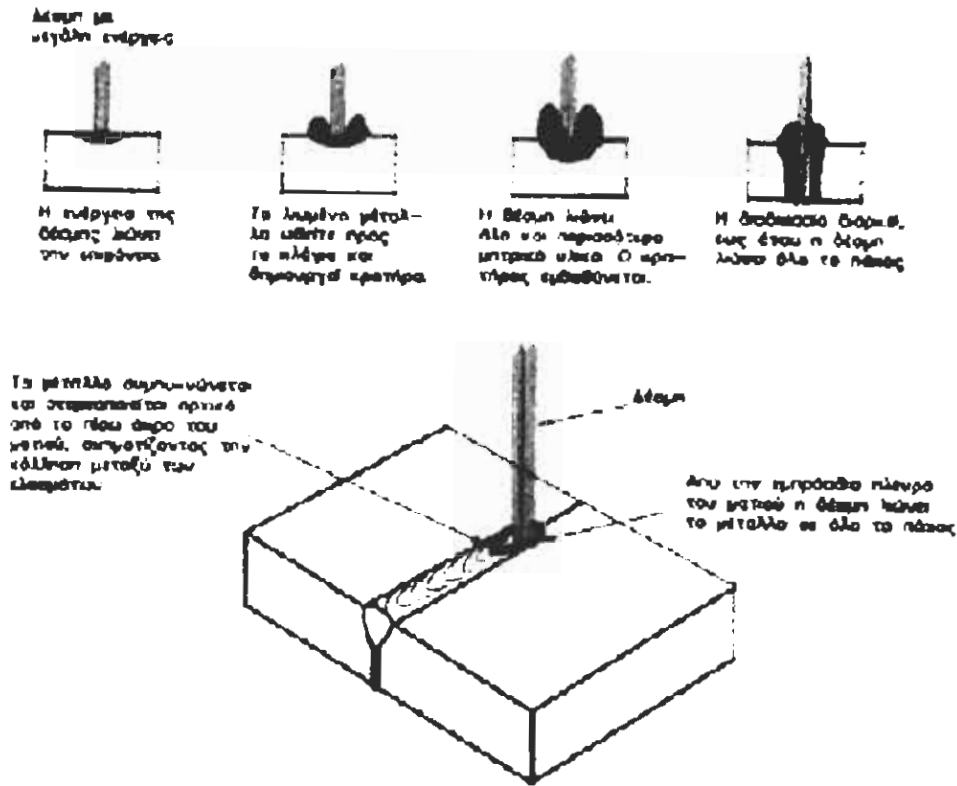
Σύγχρονοι μέθοδοι συγκόλλησης

6.1 Συγκόλληση με εστιασμένη δέσμη ενέργειας

Κατά τη συγκόλληση τόξου η διάμετρος της επιφάνειας του λουτρού συγκόλλησης ισούται με 5[mm]-10[mm]. Αυτό σημαίνει ότι η θερμότητα του τόξου διασκορπίζεται σε επιφάνεια που ισούται με 40[mm²]-180[mm²], ανάλογα με την τάση του τόξου, την ένταση του ρεύματος και την ταχύτητα συγκόλλησης. Εάν η θερμότητα αναπτύσσεται στη σύνδεση, το λουτρό σχηματίζεται με χαρακτηριστική μορφή ποδώματος. Εντελώς διαφορετική προσέγγιση για τη διαμόρφωση της κόλλησης έχουμε με την αξιοποίηση των τριών σχετικά σύγχρονων μεθόδων συγκόλλησης: με πλάσμα, δέσμη ηλεκτρονίων και Laser. Σε καθεμιά απ' αυτές η τήξη και η σύνδεση επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας την τεχνική της συγκόλλησης «ματιού». Για αυτή την κατάσταση απαιτείται δέσμη ακτινών με μεγάλη ενέργεια.

Σχηματισμός του ματιού στην κόλληση. Ο τρόπος λειτουργίας του ματιού, μπορεί να παρατηρηθεί με την κάθετη οδήγηση στη μεταλλική πλάκα της δέσμης ενέργειας (**σχήμα 28**). Η δέσμη με μικρή διάμετρο 1[mm]-2[mm] εστιάζεται στο σημείο που βρίσκεται στη μεταλλική επιφάνεια της πλάκας. Η δέσμη έχει, επίσης, μεγάλη κινητική ενέργεια η οποία ελευθερώνεται κατά την πρόσπτωση στο αντικείμενο που βρίσκεται σε στερεή φάση. Για το σχηματισμό ορθής κόλλησης, η προσπίπτουσα ενέργεια πρέπει να υπερβαίνει τα 10[KW/mm²]. Στο ελεγχόμενο σημείο η θερμοκρασία της δέσμης αυξάνεται γρήγορα σε μικρή περιοχή. Το μέταλλο λιώνει και γίνεται μερική εξάχνωσή του. Το υπόλοιπο ρευστό μέταλλο ωθείται προς τα έξω και σχηματίζεται κρατήρας. Με τη συνεχιζόμενη δράση της δέσμης των ακτινών δημιουργείται κρατήρας στο σημείο πρόσκρουσης, το δε υλικό ωθείται προς τις πλευρές του κρατήρα, όπου και συγκρατείται, λόγω της επιφανειακής τάσης και πίεσης των υπαρχόντων ατμών του μετάλλου στην οπή. Σ' αυτή την κατάσταση η δέσμη διέρχεται απ' την οπή με μικρή απώλεια ενέργειας. Εάν μετατοπισθεί η δέσμη, θα προσκρούσει στα τοιχώματα και θα απολέσει αυτή την ενέργειά της. η οπή προς στιγμή διανοίγεται, ενώ στη θέση που ελευθερώθηκε από τη δέσμη αρχίζει η στερεοποίηση του μετάλλου λόγω έλλειψης θερμότητας. Προ του λιωμένου μετάλλου, σε σχέση με τη δέσμη, σχηματίζεται οπή με την επίδραση της

επιφανειακής τάσης, διατηρώντας την κυλινδρική διατομή. Η μετατόπιση της δέσμης κατά μήκος της γραμμής συγκόλλησης διατηρεί τη διαδικασία τήξης στο μέτωπο και από πίσω στερεοποιείται με τη διατήρηση της σταθερής μορφής της οπής. Κατά μήκος της γραμμής διαπέρασης της δέσμης σχηματίζεται στενή λωρίδα λιωμένου μετάλλου, που διέρχεται απ' όλο το πάχος του ελάσματος.



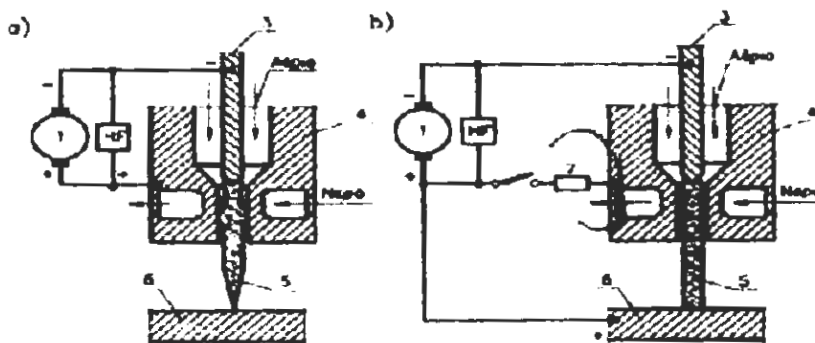
Σχήμα 28 Αρχή συγκόλλησης με δέσμη υψηλής ενέργειας με την τεχνική του «ματιού».

Η πορεία που περιγράφηκε ονομάζεται συγκόλληση ματιού. Αυτή είναι ωφέλιμη μέθοδος συγκόλλησης. Η μετατόπιση της δέσμης κατά μήκος της γραμμής σύνδεσης με ορθογώνια άκρα και με τη διατήρηση στενού διακένου ανάμεσα στα μέτωπα προξενεί τη σύνδεση αμφοτέρων των στοιχείων με το ρευστό μέταλλο, που καλύπτει τα τοιχώματα της οπής. Η βαθμιαία στερεοποίηση του ρευστού μετάλλου από την πίσω πλευρά της οπής συνδέει αμφοτέρα τα στοιχεία όπως και σε άλλες μεθόδους συγκόλλησης. Οι κολλήσεις, εκτελεσμένες με την τεχνική του ματιού έχουν μεγάλο λόγο του βάθους προς το πλάτος, που φτάνει περίπου μέχρι 20:1. Στη συνήθη συγκόλληση τόξου, στην οποία η στερεοποίηση συμβαίνει από τα όρια της σύντηξης προς το κέντρο, με το σχηματισμό χοντρών κόκκων, με βεβαιότητα θα αναπτυχθούν ρηγματώσεις, προϋποθέτοντας όμως, ότι θα επιτευχθεί τέτοια κόλληση. Κατά τη συγκόλληση με την τεχνική του ματιού με δέσμη υψηλής ενέργειας, άνω των

10[KW/mm²], για δεδομένη χρονική στιγμή, μόνο στενό στρώμα μετάλλου στερεοποιείται. Σχηματίζονται μικροί κόκκοι, ενώ το μέταλλο της κόλλησης έχει καλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, διευκολύνεται η τροφοδοσία πρόσθετου απαραίτητου ρευστού μετάλλου εξαιτίας της συστολής, επειδή η στερεοποίηση της κόλλησης συμβαίνει κατά μήκος της γραμμής μετατόπισης της δέσμης και όχι κάθετα, κατά μήκος του πάχους της κόλλησης. Η τεχνική συγκόλλησης του ματιού με δέσμη υψηλής ενέργειας έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα: εύκολη επίτευξη ενιαίας σύντηξης των κορδονιών και μ' αυτό η κόλληση με παράλληλα άκρα εξασφαλίζει την ομοιόμορφη συστολή με ελάχιστη, συνήθως, παραμόρφωση. Για την συγκόλληση μ' αυτήν την τεχνική, έγιναν δοκιμές αξιοποίησης διάφορων πηγών ενέργειας, αλλά στην πρακτική χρησιμοποιούνται μόνο τρεις: το τόξο πλάσματος, η δέσμη ηλεκτρονίων και η δέσμη των Laser.

6.2 Συγκόλληση με πλάσμα

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. Με τη στένωση του τόξου επιτυγχάνεται συγκεντρωτική ροή του πλάσματος, με σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία απ' ό,τι η θερμοκρασία του ελεύθερα αναμμένου τόξου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή στην ατμόσφαιρα άλλων αερίων. Η συγκόλληση με πλάσμα μοιάζει πολύ με τη συγκόλληση GTA (TIG) 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, δια του οποίου ρέει το αργό (σχήμα 29), ενώ στην έξοδο του



Σχήμα 29 Πλασμικός καυστήρας. α) τόξο εσωτερικό ή μη εξαρτώμενο: 1 πηγή ρεύματος, HF ενισχυτής, 3 ηλεκτρόδιο βολφραμίου, 4 ακροφύσιο χάλκινο, 5 ροή πλάσματος, 6 συγκολλούμενο αντικείμενο. β) τόξο εξωτερικό ή εξαρτώμενο, 7 αντιστάτης.

ακροφυσίου διέρχεται το αργό ήδη με μορφή πλάσματος, του οποίου η θερμοκρασία είναι τουλάχιστον 2 φορές υψηλότερη από αυτήν του τόξου της μεθόδου GTA (TIG). Το ηλεκτρόδιο από βολφράμιο συνδέεται ή το ακροφύσιο του καυστήρα – εσωτερικό τόξο (**σχήμα 29α**) ή το συγκολλούμενο αντικείμενο – εξωτερικό τόξο (**σχήμα 29β**). Το ακροφύσιο δεν είναι μόνο άνοδος με το εσωτερικό τόξο, αλλά πληρεί και το ρόλο της ανόδου για κάθε άναμμα του τόξου, το οποίο επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των υψίσυχνων παλμών και της υψηλής τάσης από ξεχωριστή πηγή ρεύματος – ιονιστή. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το τόξο προξενεί στένωση στη ροή του πλάσματος και πολύ μεγάλη συγκέντρωση της θερμικής ενέργειας στο εσωτερικό. Η θερμοκρασία σ' αυτό το τμήμα, η οποία αποτελεί το 20%-40% της διαμέτρου της ροής του πλάσματος ανέρχεται στην έξοδο του ακροφυσίου από 8000[°C]-30.000[°C]. Η πτώση της θερμοκρασίας προς την εγκάρσια διεύθυνση της ροής του πλάσματος είναι πολύ ταχεία, εξαιτίας της χαμηλής θερμικής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας που προστατεύει τον πυρήνα. Σε αυτό προστίθεται και η ενεργητική ψύξη του ακροφυσίου με την κυκλοφορία του νερού, η οποία, προστατεύοντας αυτό από την ακτινοβολία του τόξου, αποφεύγει συγχρόνως και τον ιονισμό. Με διάμετρο του ακροφυσίου 2,5[mm]-3[mm] η ροή του πλάσματος είναι αρκετά συγκεντρωμένη, ώστε να προστατεύσει το λιωμένο μέταλλο από την εισχώρηση του ατμοσφαιρικού αέρα. Γι' αυτό ο καυστήρας έχει πρόσθετο δακτυλιοειδές ακροφύσιο, δια του οποίου ρέει το αργό ή το υδρογόνο, που προστατεύουν το λιωμένο μέταλλο. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλασμικού τόξου σε σχέση με το τόξο GTA δεν αποτελεί το βασικό πλεονέκτημα, επειδή οι θερμοκρασίες του τόξου GTA είναι επαρκείς για την τήξη όλων των συγκολλούμενων μετάλλων. Τα κύρια πλεονεκτήματα του πλασμικού τόξου είναι: η υψηλή σταθερότητα εστιασμένου τόξου, η ανεξάρτητη μορφή του τόξου από τις μεταβολές της απόστασης του καυστήρα (πιστολιού) από το συγκολλούμενο αντικείμενο, δυνατότητα ρύθμισης της γραμμικής ενέργειας του τόξου.

6.3 Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων

Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων στο εξής ονομαζόμενη και ηλεκτρονοδέσμη είναι μία από τις σύγχρονες μεθόδους σύνδεσης μετάλλων και κραμάτων. Αρχικά, εξαιτίας του υψηλού κόστους και της μικρής ισχύος αυτών των συσκευών συγκόλλησης, διενεργούνταν συγκολλήσεις μόνο με υπεύθυνες κατασκευές, κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία και σε εξαρτήματα πυρηνικών αντιδραστήρων. Οι καλές ιδιότητες των συνδέσεων και οι μεγάλες τεχνολογικές δυνατότητες αυτής της μεθόδου συγκόλλησης οδήγησαν στην εντατική ερευνητική προσπάθεια για την εξέλιξη αυτών των μηχανών και τη χρησιμοποίησή τους. Τώρα η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων είναι ευρέως διαδεδομένη και εφαρμόζεται με επιτυχία στη μαζική παραγωγή για την ανέγερση μεταλλικών προϊόντων και στην επισκευή εξαρτημάτων μηχανών.

Η χρησιμοποίηση της δέσμης ηλεκτρονίων εξαλείφει πολλά προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων συγκόλλησης. Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων πρέπει να πούμε ότι έχει πολλά πλεονεκτήματα, τα σπουδαιότερα απ' τα οποία είναι:

- ελάχιστη προσαγόμενη ποσότητα θερμότητας στα συγκολλούμενα αντικείμενα
- επίτευξη κολλήσεων με απαιτούμενο βάθος με ένα πέρασμα της δέσμης
- ελάχιστο εύρος της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά (ΖΕΘ)
- η συγκόλληση επιτυγχάνεται συνήθως χωρίς πρόσθετα υλικά
- ασήμαντες παραμορφώσεις συγκόλλησης, που κυμαίνονται στα προδιαγραμμένα όρια ανοχών των συγκολλητών συνδέσεων
- μεγάλη καθαρότητα των κολλήσεων
- δυνατότητα συγκόλλησης εξαρτημάτων με μεγάλη διαφορά διατομών
- δυνατότητα συγκόλλησης μετάλλων με διαφορετικές φυσικό-χημικές ιδιότητες (ανομοιογενείς)
- ευκολία αλλαγής παραμέτρων συγκόλλησης, επίσης κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης
- δυνατότητα συγκόλλησης σε θέσεις με δύσκολη πρόσβαση
- μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης

Για τη χρησιμοποίηση της δέσμης ηλεκτρονίων στις συγκολλήσεις **οι καθοριστικοί παράγοντες** είναι οι ακόλουθοι: η ευκολία με την οποία η δέσμη ηλεκτρονίων εστιάζεται σε μικρή επιφάνεια, που δίνει μεγάλη πυκνότητα ενέργειας $10^7[\text{W}/\text{cm}^2]$ - $10^9[\text{W}/\text{cm}^2]$ η δυνατότητα επίτευξης μεγάλης κινητικής ενέργειας με την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων στο ηλεκτρικό πεδίο, με μεγάλη διαφορά δυναμικού η ευκολία καθοδήγησης της δέσμης και η ακρίβεια καθορισμού της μεταφερόμενης ισχύος.

6.4 Συγκόλληση με δέσμη laser

Η συγκόλληση με δέσμη των Laser διενεργείται με την αξιοποίηση της ροής των φωτονίων ως πηγής ενέργειας της θερμότητας, που επιτρέπει την εκτέλεση συνδέσεων. Αποδείχθηκε ότι μερικά σώματα και αέρια το ρουμπίνιο με περιεκτικότητα 0,05%Cr, ύαλος νεοδημίου, CO₂, μίγμα He-Ne με την επίδραση του φωτός απορροφούν φωτόνια, με αποτέλεσμα τα άτομά τους να έχουν ικανότητα διαπέρασης σε υψηλότερο ενεργητικό επίπεδο. Εάν η εντατικότητα του φωτός της λυχνίας που φωτίζει το σώμα με τέτοιες ικανότητες υπερβεί κάποιο κρίσιμο επίπεδο, τότε από το ημιδιαφανές μέτωπο εκτοξεύεται εντατική ροή φωτονίου με ορισμένο χαρακτηριστικό μήκος ακτινοβολίας. Η συγκόλληση με δέσμη των Laser είναι μια από τις πλέον σύγχρονες διαδικασίες σύνδεσης των μετάλλων και κραμάτων με θέρμανση, η οποία ανταγωνίζεται με τις τεχνολογικές και οικονομικές ιδιότητές της τη συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων. Η διαδικασία συγκόλλησης με Laser συνίσταται στην τήξη της περιοχής επαφής των συνδεόμενων αντικειμένων με θερμότητα που επιτυγχάνεται με το αιοτέλεσμα προσαγόμενης σε αυτήν την περιοχή εστιασμένης δέσμης συνεχούς φωτός με πολύ μεγάλη πυκνότητα ισχύος. Η συγκόλληση μπορεί να επιτυγχάνεται με τη δημιουργία λουτρού συγκόλλησης, όπως με την κλασική μέθοδο, ή με πλήρη τήξη της σύνδεσης με ένα πέρασμα ή με πολλαπλά στρώματα, με ή χωρίς πρόσθετο υλικό. Οι πολύ μεγάλες πυκνότητες της ισχύος της δέσμης Laser εξασφαλίζονται με γραμμικές ενέργειες συγκόλλησης στο επίπεδο των ελάχιστων ενεργειών απαιτούμενων για την τήξη, ενώ η ΖΕΘ και η ζώνη σύντηξης έχουν πολύ μικρό εύρος. Συγχρόνως η παραμόρφωση της σύνδεσης είναι τόσο μικρή, που τα συγκολλητά αντικείμενα δεν απαιτούν καμία πρόσθετη μηχανική

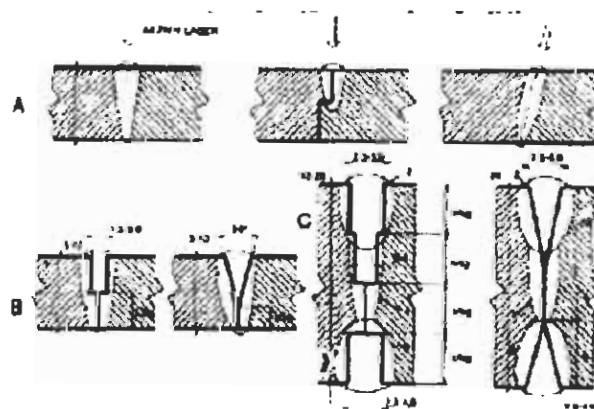
κατεργασία. Οι θεωρητικές βάσεις κατασκευής των Laser και Maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

6.4.1 Συσκευές συγκόλλησης laser

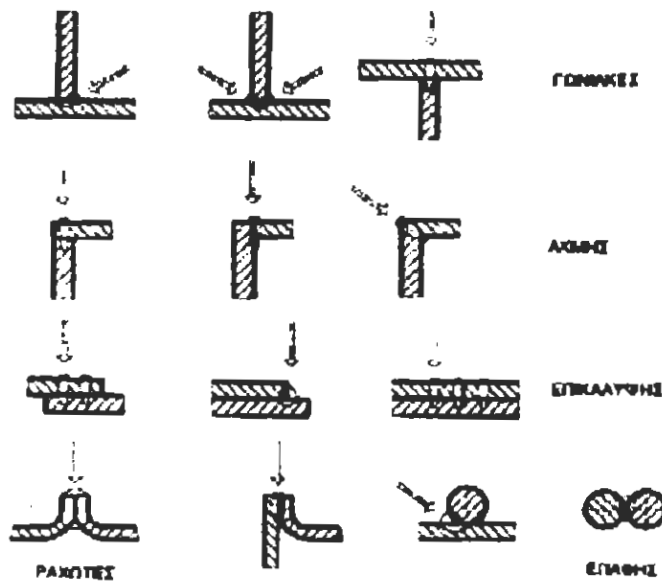
Οι υπάρχουσες συσκευές Laser, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κοπή και συγκόλληση των μετάλλων λειτουργούν με τη χρήση ενεργών μέσων, τα οποία βρίσκονται σε μορφή στερεή ή αερίου. Συνεπώς οι δύο αυτοί τύποι συσκευών συγκόλλησης Laser αναφέρονται ως Laser στερεής και αέριας κατάστασης. Οι συσκευές Laser στερεής κατάστασης διακρίνονται σε τρεις κύριους τύπους: ρουμπινίου-Rb, νεοδημίου ύαλου, Nd: Glass, και νεοδυμίου υτρίου αλουμινίου garnet φυσικός λίθος – Nd: YAG. Το Nd: YAG, το οποίο έχει μήκος κύματος εξόδου 1,06[μm], ουσιαστικά έχει αντικαταστήσει τους υπόλοιπους δύο τύπους στερεής κατάστασης Laser, επειδή μπορεί να πετύχει υψηλότερες πυκνότητες ισχύος για μεγάλες περιόδους χωρίς να υπερθερμαίνεται. Τα αέρια [CO₂] Laser, τα οποία χρησιμοποιούνται τώρα στο χώρο των συγκολλήσεων, με μήκος κύματος 10,6[μm], έχουν αποδειχθεί πιο αποδοτικά και παράγουν υψηλότερες πυκνότητες ισχύος.

6.4.2 Τεχνολογία και τεχνική 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 και τα πιο λεπτά παραγόμενα στη βιομηχανία φύλλα και σύρματα με πάχος ή διάμετρο από 0,0025[mm] μέχρι 25-32[mm] (σχήμα 30 και σχήμα 31).



Σχήμα 30 Παραδείγματα μετωπικών συγκολλητών συνδέσεων με Laser. Α συγκολλητή σύνδεση με ένα κορδόνι χωρίς πρόσθετο υλικό, Β συγκολλητή σύνδεση με ένα κορδόνι με πρόσθετο υλικό, C συγκολλητή δίπλευρη σύνδεση με πολλαπλά κορδόνια με τροφοδοτούμενο πρόσθετο υλικό.



Σχήμα 31 Παραδείγματα συνδέσεων ται, ακμής, επικάλυψης και ραχωτών συγκολλήσεων με Laser.

Στη συγκόλληση Laser εφαρμόζονται δύο τεχνικές συγκόλλησης: συγκόλληση με το λουτρό και συγκόλληση με βαθιά διείσδυση, με την τεχνική του ματιού, όπως και στη συγκόλληση με ηλεκτρονοδέσμη. 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 συνίσταται 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 επιφάνειάς 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 ουσιαστικό ρόλο και δεν περιορίζουν το βάθος

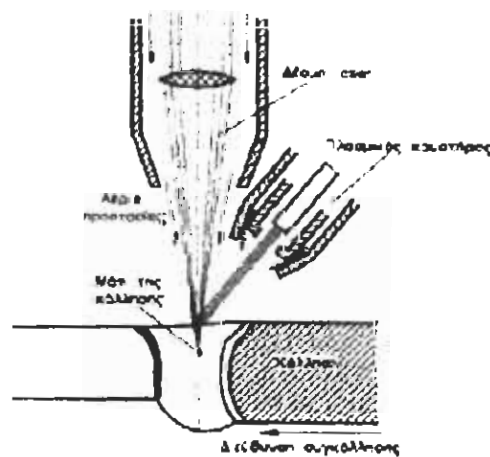
διείσδυσης. Η ενέργεια της δέσμης Laser είναι απορροφημένη σε όλο το βάθος της σύνδεσης και όχι μόνο στην επιφάνεια. Ο μηχανισμός σχηματισμού του ματιού είναι παρόμοιος μ' αυτόν που εμφανίζεται στη συγκόλληση με ηλεκτρονοδέσμη. Η τεχνική συγκόλλησης του ματιού εφαρμόζεται για τη συνεχή και σημειακή σύνδεση. Η εκτέλεση σημειακών κολλήσεων που αλληλοκαλύπτονται μεταξύ τους κατά 30%-50% επιτρέπει την εκτέλεση συνεχούς σύνδεσης και συγχρόνως τη ρύθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων, με τη μεταβολή του μεγέθους του κόκκου προς τη διεύθυνση κρυστάλλωσης. Η ΖΕΘ της σύνδεσης είναι πολύ στενή, ενώ οι τάσεις και παραμορφώσεις συγκόλλησης πρακτικά παραλείπονται. Η συγκόλληση με σημειακές κολλήσεις μπορεί να διενεργηθεί με στερεά Laser Nd: YAG ή Nd: ύαλου, ρουμπινίου όπως και με παλμικά Laser αερίου CO₂. Τα αντικείμενα για συγκόλληση με Laser πρέπει να προετοιμάζονται όπως και για τη συγκόλληση με ηλεκτρονοδέσμη. Άρα είναι απαραίτητος ο ακριβής μηχανικός και χημικός καθαρισμός της περιοχής συγκόλλησης. Δεν είναι αναγκαίος ο καθαρισμός όλου του αντικειμένου, επειδή οι ακαθαρσίες που βρίσκονται εκτός της περιοχής συγκόλλησης δεν εμποδίζουν τη διαδικασία συγκόλλησης, όπως αυτό εμφανίζεται κατά τη συγκόλληση με ηλεκτρονοδέσμη στο κενό. Κατά τη συγκόλληση Laser συνήθως χρησιμοποιούνται συνδέσεις μετωπικές, επικάλυψης και ραχωτές (**σχήμα 30** και **σχήμα 31**). Οι μετωπικές συγκολλητές συνδέσεις με ένα πέρασμα με πλήρη διείσδυση χωρίς πρόσθετο υλικό δεν απαιτούν λοξοτόμηση των άκρων, ενώ η εφαρμογή των άκρων πρέπει να είναι πολύ ακριβής. Υποδεικνύεται με ακρίβεια μεταλλική επαφή καθαρών επιφανειών. Εάν αυτό είναι δύσκολο να εκτελεστεί, εξαιτίας της μορφής και του πάχους της σύνδεσης, το διάκενο στη σύνδεση πρέπει να είναι κάτω από 3%-5% του πάχους της σύνδεσης, συνήθως κάτω από 0,1[mm]-3[mm]. Με υπερβολικό διάκενο της σύνδεσης μπορεί να εμφανισθεί κοίλωμα του μετώπου της κόλλησης ή, σε ακραίες περιπτώσεις, ατελής τήξη. Η δέσμη Laser μπορεί ακόμη να διαπεράσει σε όλο το πάχος της σύνδεσης, χωρίς την τήξη των άκρων της, η μη εφαρμογή δεν πρέπει να ξεπερνά το 25% του πάχους, ενώ η σύνδεση πρέπει να είναι ελαφρά συμπιεσμένη. Πλήρης σύντηξη της σύνδεσης μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και με μετατόπιση μέχρι 50% του πάχους της σύνδεσης. Για τη συγκόλληση Laser μπορεί να χρησιμοποιηθούν παρόμοια εργαλεία – ιδιοσυσκευές, όπως για τη συγκόλληση GTA χωρίς πρόσθετο υλικό. Σε περίπτωση ανάγκης, για την επίτευξη σύνδεσης υψηλής ποιότητας, πρέπει να εφαρμοσθούν οι ίδιες απαιτήσεις, όσον αφορά τα εργαλεία ιδιοσυσκευές, όπως κατά τη συγκόλληση με ηλεκτρονοδέσμη. Επίσης, η συγκόλληση

με Laser δεν παρουσιάζει δυσκολίες κατά τη σύνδεση αντικειμένων με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Είναι επίσης δυνατή η διενέργεια διαδικασιών συγκόλλησης διαμέσου διαφανών διαφραγμάτων για το φως Laser, άρα συγκόλληση σε κενό, σε ειδικές ατμόσφαιρες προστασίας με ελεύθερη πίεση.

Η συγκόλληση με Laser εφαρμόζεται επίσης για τη σύνδεση εξαρτημάτων οδοντωτών τροχών, μετωπικών συνδέσεων, επίπεδων και περιφερειακών διάφορων κατασκευών που φέρουν φορτία, για τη συγκόλληση διαμηκών σωλήνων, μορφοσιδήρων, σωλήνων με διάτρητα φύλλα, με πάχη των συνδέσεων που ανέρχονται μέχρι 32[mm]. Για συνδέσεις με μικρά πάχη, καθώς και για συνδέσεις μετάλλων με πολύ καλή συγκολλητότητα με δέσμη των Laser, υποδεικνύεται η συγκόλληση με ένα πέρασμα, χωρίς πρόσθετο υλικό. **Η συγκόλληση Laser με πρόσθετο υλικό** υποδεικνύεται με σκοπό: τη ρύθμιση της χημικής σύστασης στην κόλληση, για τη διόρθωση των μηχανικών ιδιοτήτων, και ιδιαίτερα τη δυσθραυστότητα ή την ανθεκτικότητα στην εν θερμώ ρηγμάτωση, τη διόρθωση της ποιότητας της κόλλησης και ιδιαίτερα την ελάττωση της ποσότητας των πόρων αερίων, τη μείωση της απαιτούμενης ακρίβειας προετοιμασίας της συγκολλούμενης σύνδεσης, την αξιοποίηση των Laser με μικρότερη ισχύ, για τη συγκόλληση πολλαπλών κορδονιών συνδέσεων με μεγαλύτερο πάχος. Για τις συνδέσεις με μεγαλύτερα πάχη προτείνεται η συγκόλληση με πολλαπλά κορδόνια με ή χωρίς πρόσθετο υλικό. Η συγκόλληση με πολλαπλά κορδόνια επιτρέπει την αύξηση της ποιότητας της σύνδεσης και ιδιαίτερα τη μείωση του πορώδους της κόλλησης, την ευαισθησία για την ατελή τήξη, καθώς και την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων της. Η συγκόλληση με την εναπόθεση πρόσθετου υλικού με μορφή μεταλλικής σκόνης, όπως και κρύου ή θερμού σύρματος, διενεργείται με ένα κορδόνι ή με πολλαπλά **(σχήμα 30)**. Η τροφοδότηση θερμού σύρματος προθερμαινόμενου με ηλεκτρική αντίσταση μέχρι τη θερμοκρασία περίπου των 600[°C]-700[°C] αυξάνει περίπου κατά 50% την ταχύτητα συγκόλλησης, σε σύγκριση με τη συγκόλληση με κρύο σύρμα, αλλά απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια ελέγχου των παραμέτρων συγκόλλησης.

Η τροφοδότηση του πρόσθετου υλικού στην περιοχή της συγκόλλησης κατά τη συγκόλληση με Laser δε δημιουργεί τέτοιες δυσκολίες, όπως αυτές εμφανίζονται κατά τη συγκόλληση με ηλεκτρονοδέσμη. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα τροφοδότησης του σύρματος ή της μεταλλικής σκόνης, όπως και κατά τη συγκόλληση GTA. Για τη διεύρυνση των τεχνικών και τεχνολογικών δυνατοτήτων

και ιδιαίτερα τη μείωση του κόστους προετοιμασίας των αντικειμένων, για τη συγκόλληση με επεξεργάστηκε η τεχνική συγκόλληση Laser, ενισχυμένη με το πλασματικό τόξο GTA (σχήμα 32). Το πλασματικό τόξο με ισχύ 0,5[KW]-15[KW] οδηγείται στην περιοχή της συγκόλλησης με Laser στο μάτι της κόλλησης και αυξάνει τη γραμμική ενέργεια συγκόλλησης. Μειώνεται επίσης σημαντικά η ανάκλαση της περιοχής συγκόλλησης και αυξάνεται η απορρόφηση της ακτινοβολίας Laser. Χάρη αυτού είναι δυνατόν η συγκόλληση να γίνεται με 100%-200% μεγαλύτερης ταχύτητας και μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης της δέσμης των Laser. Τα αντικείμενα για συγκόλληση μπορούν να προετοιμάζονται με μικρότερη ακρίβεια απ' ό,τι απαιτείται για την κλασική συγκόλληση με Laser. Οι μετωπικές συνδέσεις μπορούν να έχουν διάκενο 25%-40% του πάχους των συνδεόμενων ελασμάτων, ενώ η μετατόπιση μεταξύ των ελασμάτων ακόμη και 80% του πάχους δεν χειροτερεύει την ποιότητα της σύνδεσης. Για τα ελάσματα των κραμάτων αλουμινίου δεν επιβάλλεται ακριβής καθαρισμός αμέσως πριν τη συγκόλληση επειδή το πλασματικό τόξο αφαιρεί σχεδόν εξολοκλήρου το στρώμα των οξειδίων από την επιφάνεια της περιοχής συγκόλλησης. Η μέχρι τώρα χρησιμοποίηση της τεχνικής συγκόλλησης Laser με ενισχυμένο πλασματικό τόξο GTA αφορά στις μετωπικές συνδέσεις και στην επικάλυψη ελασμάτων με μικρά πάχη, μέχρι 3,5[mm], από ανθρακοχάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, χάλυβες με προστατευτική επικάλυψη, ελαφρά κραματομένους, ανθεκτικούς στη διάβρωση, καθώς και αλουμίνιο και τιτάνιο. Πολύ καλά αποτελέσματα επιτεύχθηκαν κατά τη συγκόλληση συνδέσεων από κράματα αλουμινίου AlSiMg και AlMg, χρησιμοποιούμενων όλο και περισσότερο από τη βιομηχανία αυτοκινήτων.



Σχήμα 32 Σχήμα συγκόλλησης Laser ενισχυμένη με πλασματικό τόξο.

Η βιομηχανία αυτοκινήτων τώρα χρησιμοποιεί για τα αμαξώματα σχεδόν αποκλειστικά χαλύβδινα ελάσματα βαθιάς κοίλανσης με προστατευτική αντιδιαβρωτική επίστρωση. Η ρομποτική συγκόλληση Laser αυτών των ελασμάτων επιτρέπει την εκτέλεση με μεγάλες ταχύτητες υψηλής ποιότητας συνδέσεων μετωπικών επικαλύψεων, αφήνοντας μετά τη συγκόλληση στενή περιοχή κατά μήκος της γραμμής της σύνδεσης, χωρίς προστατευτικό επίστρωμα. Η συγκόλληση με Laser του χαλκού και των κραμάτων του περιορίζεται μόνο από τη μεγάλη ανάκλαση των επιφανειών συνδέσεων, όπως στην περίπτωση αλουμινίου, καθώς και της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας.

Πλεονεκτήματα της συγκόλλησης

1. Βαθιάς 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 μια πλευρά.
5. Αυξημένες σχεδιαστικές πιθανότητες μεγάλη ποικιλία συνδέσεων ακόμη και μεταξύ ανομοιομορφων παχών δεν απαιτείται περαιτέρω μηχανική κατεργασία, όπως λείανση.

Μειονεκτήματα της συγκόλλησης

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 ασφάλειας οπτική σταθερότητα ανάγκη πηγής νερού ψύξης, για την εύρυθμη λειτουργία των μηχανών.

5. Υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας απαιτείται τακτική συντήρηση βοηθητικός εξοπλισμός και εργαλεία.

Κεφάλαιο 7

Γενικά για τις συγκολλήσεις χαλύβων

7.1 Γενικά χαρακτηριστικά της ψαθυρότητας των χαλύβων

Τα υλικά διαιρούνται σε: πλαστικά, ελαστικά και ψαθυρά. Ο χάλυβας ανήκει στα ελαστικο-πλαστικά υλικά. Στην καθημερινή πρακτική, για την πλαστικότητα ή την ψαθυρότητα ορισμένου υλικού αναφερόμαστε σε δοκίμιο με λεία επιφάνεια, που δοκιμάζεται σε εφελκυσμό, κάμψη ή στρέψη. Τα ψαθυρά υλικά θραύονται χωρίς πλαστικές παραμορφώσεις ή με πάρα πολύ μικρές μη αντιληπτές πλαστικές παραμορφώσεις. Για το σπάσιμό τους καταναλίσκεται σχετικά ελάχιστο έργο. Τα πλαστικά και τα ελαστικο-πλαστικά υλικά καταστρέφονται μόνο με σημαντικές εκτεταμένες παραμορφώσεις, ενώ για το σπάσιμο ή τη θραύση τους επιβάλλεται η χρήση μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας απ' ό,τι για το σπάσιμο ψαθυρών υλικών, με τις ίδιες διαστάσεις των δοκιμίων. Η εκτίμηση της ψαθυρότητας ή της πλαστικότητας του υλικού, με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμασιών εφελκυσμού, στρέψης ή κάμψης λείων δοκιμίων, για πολλούς κλάδους της τεχνικής παρουσιάζεται μη ικανοποιητική. Τέτοια εκτίμηση είναι λιγότερο σημαντική για τους χάλυβες που χρησιμοποιούνται στις συγκολλητές κατασκευές. Υλικά τα οποία κατά τον εφελκυσμό ή την κάμψη λείων δοκιμίων παρουσίασαν πολύ μεγάλη επιμήκυνση και στένωση, στις συγκολλητές κατασκευές, σε πολλές περιπτώσεις, θραύονται ολικά κατά ψαθυρό τρόπο. Είναι γνωστές οι περιπτώσεις θραύσης γεφυρών, πλοίων, δεξαμενών και αεραγωγών, στις οποίες το υλικό έσπασε κατά ψαθυρό τρόπο, παρόλο που οι δοκιμασίες αποδοχής με τη βοήθεια των δοκιμασιών εφελκυσμού και κάμψης λείων δοκιμίων παρουσίαζε μεγάλη ικανότητα για πλαστικές παραμορφώσεις.

Το φαινόμενο αυτό κατά την αρχική χρονική περίοδο ήταν δύσκολο να κατανοηθεί και να εξηγηθεί, παρόλο που η ψαθυρή θραύση εμφανιζόταν με πολύ μικρές φορτίσεις, ενώ, μερικές φορές, και με παντελή έλλειψη εξωτερικών φορτίσεων. Το φαινόμενο **μετάβασης ή μεταλλαγής** του χάλυβα από πλαστική σε ψαθυρή κατάσταση μπορεί να εμφανισθεί σε διάφορες κατασκευές, αλλά πιο ισχυρά εμφανίζεται στις συγκολλητές κατασκευές. Η συγκόλληση ασφαλώς δημιουργεί ευνοϊκές μεταλλουργικές και τάσεων συνθήκες για την ψαθυρή θραύση του υλικού. Μπορεί να ειπωθεί ότι η ψαθυρότητα του χάλυβα είναι στενά συνδεδεμένη με τη

συγκολλητότητά του και επομένως με τη συγκόλληση. Οι σημαντικές αβαρίες των σκελετών πλοίων και, επιπλέον, οι αβαρίες άλλων συγκολλητών κατασκευών προξένησαν το ενδιαφέρον για το πρόβλημα της μεταλλαγής του χάλυβα σε ψαθυρή κατάσταση. Προς την κατεύθυνση αυτή πραγματοποιήθηκαν πάρα πολλές ερευνητικές εργασίες. Σταδιακά όμως το φαινόμενο αυτό αποτέλεσε αντικείμενο πολλών θεωρητικών ερευνών και δημιουργήθηκαν θεωρίες που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των γενικών φυσικών ιδιοτήτων του υλικού, την κατασκευή του και τη δυνατότητα της ψαθυρής θραύσης. Μεταξύ αυτών των θεωριών, με τη σημαντικότερη πρακτική εφαρμογή των τελευταίων ετών, είναι η ελαστική – γραμμική μηχανική των θραύσεων, που επεξεργάστηκε κυρίως επί τη βάση της θεωρίας του Griffith και Irwin, καθώς και η μηχανική των θραύσεων για σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις, επεξεργασμένη από την αγγλική σχολή (general welding fracture mechanics). **Οι αρχές της ελαστικής – γραμμικής μηχανικής των θραύσεων** επιτρέπουν τον καθορισμό με βάση τις εργαστηριακές δοκιμασίες του συντελεστή εντάσεως των τάσεων K , με τη διατήρηση των ελαστικών – γραμμικών ιδιοτήτων του υλικού στη βάση της εγκοπής. **Η μηχανική των θραύσεων για σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις** επιτρέπει, επίσης, να καθορισθούν οι συνθήκες των τάσεων ανάπτυξης της ρωγμής για υλικά που δεν πληρούν τις συνθήκες παραμόρφωσης στην ακμή της εγκοπής, σύμφωνα με τις αρχές της ελαστικής – γραμμικής μηχανικής των θραύσεων. Τώρα, κατέχουμε το πρόβλημα της ψαθυρής θραύσης των χαλύβων αρκετά καλά και γνωρίζουμε ποια μέσα προφύλαξης πρέπει να χρησιμοποιηθούν, για να αποφευχθεί η εμφάνιση αυτού του φαινομένου. Παρά ταύτα πολλά προβλήματα παραμένουν άλυτα και επιβάλλεται η παραπέρα έρευνά τους. Αυτό αφορά ιδιαίτερα στις μεθόδους δοκιμασίας της ψαθυρής θραύσης, όπως και στα κριτήρια ερμηνείας και εκτίμησης των αποτελεσμάτων έρευνας.

7.2 Παράγοντες που προξενούν την ψαθυρότητα των χαλύβων

Οι ψαθυρές θραύσεις χαρακτηρίζονται από το ό,τι αναπτύσσονται στο υλικό χωρίς πλαστικές παραμορφώσεις ή με πάρα πολύ μικρές μη αντιληπτές πλαστικές παραμορφώσεις. Στην περίπτωση που το υλικό έχει ικανοποιητική πλαστικότητα, για καθορισμένες συνθήκες εργασίας της κατασκευής, η ψαθυρή θραύση είναι εντελώς αδύνατον να συμβεί. Η μετάβαση του πλαστικού υλικού σε ψαθυρή κατάσταση

μπορεί να προξηνηθεί από πολλούς παράγοντες. Μεταξύ αυτών, από τους βασικότερους που πρέπει να υπολογίσουμε είναι:

Οι συνθήκες εργασίας του υλικού στην κατασκευή, δηλαδή:

- η τριαξονική κατάσταση τάσεων
- η αυξημένη ταχύτητα παραμόρφωσης (δυναμική φόρτιση)
- η θερμοκρασία εργασία του υλικού στην κατασκευή.

Η μεταλλουργική κατάσταση του υλικού, δηλαδή:

- η χημική σύσταση
- ο βαθμός και ο τρόπος αποξείδωσης και απαέρωσης
- η κατάσταση μετά από θερμική κατεργασία.

Η διαδικασία δημιουργίας της κατασκευής.

Οι συνθήκες εκμετάλλευσης της κατασκευής.

7.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ψαθυρότητα των χαλύβων

Η στρωματική δομή και τα μη μεταλλικά εγκλείσματα

Με το αποτέλεσμα της διαδικασίας έλασης εξαιτίας υπαρχόντων μη μεταλλικών εγκλεισμάτων, όπως και με το δενδριτικό μικροδιαφορισμό μερικών στοιχείων, των οποίων η διαδικασία διάχυσης έχει πολύ αργή πορεία, σε πολλές περιπτώσεις δημιουργείται στρωματική δομή με διαμήκεις χημικές ενώσεις του θείου και αλυσιδωτά εγκλείσματα οξειδίων. Μερικές φορές φαίνονται και ξεχωριστά στρώματα περλίτη και φερρίτη. Τα μη μεταλλικά εγκλείσματα που εμφανίζονται σε στρωματική δομή με την επίδραση των τάσεων μπορούν να είναι πυρήνες ανάπτυξης ρωγμών, ιδιαίτερα στους χάλυβες υψηλής αντοχής.

Συνθήκες λειτουργίας της κατασκευής

Για τις συγκολλητές κατασκευές που λειτουργούν σε συνθήκες εναλλασσόμενων φορτίων, η ψαθυρή θραύση πρέπει να διερευνάται συγχρόνως με το πρόβλημα της αντοχής κόπωσης. Με την επίδραση των εναλλασσόμενων τάσεων στο υλικό, εμφανίζονται μεταβολές στη δομή, και σε ορισμένες συνθήκες τάσεων, ρηγματώσεις κόπωσης. Εάν η κατασκευή λειτουργεί πάνω από τη θερμοκρασία

μετάβασης στην ψαθυρή κατάσταση, τότε η ρηγμάτωση κόπωσης δεν είναι τόσο επικίνδυνη. Στην προκειμένη περίπτωση η μηχανική των θραύσεων επιτρέπει τον υπολογισμό του χρόνου εργασίας του εξαρτήματος με ρωγή μέχρι την εμφάνιση αβαρίας. Εάν όμως η ρωγή κόπωσης εμφανιστεί κάτω από τη θερμοκρασία μετάβασης σε ψαθυρή κατάσταση, αποτελεί πυρήνα ψαθυρής θραύσης.

Η διάβρωση

Η σύγχρονη αλληλεπίδραση του διαβρωτικού μέσου και των τάσεων μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία διάβρωσης ή να προξενήσει διαβρωτική ρηγμάτωση. Η ρηγμάτωση αυτή μπορεί να είναι το αίτιο έναρξης της ψαθυρής θραύσης. Αυτό εξαρτάται από τη μεταλλουργική κατάσταση του υλικού και από τη θερμοκρασία εργασίας. Η διαβρωτική ρηγμάτωση είναι σύνθετη, καταστροφική διαδικασία του υλικού, σε συνθήκες σύγχρονης επίδρασης των εφελκυστικών τάσεων και της ηλεκτροχημικής διάβρωσης. Η ταυτόχρονη επίδραση των τάσεων και του διαβρωτικού μέσου είναι περισσότερο επικίνδυνη απ' ό,τι η τάση και η διάβρωση που εμφανίζονται ξεχωριστά η μία από την άλλη. Με την επίδραση των τάσεων στο υλικό που εργάζεται σε διαβρωτικό μέσο αναπτύσσονται ρηγματώσεις, προωθούμενες κάθετα προς τη διεύθυνση δράσης των τάσεων. Αυτές οι ρηγματώσεις μπορούν να έχουν χαρακτήρα περικρυσταλλικό ή μεσοκρυσταλλικό ή και μικτό, ορισμένες φορές. Στην εμφάνιση της διαβρωτικής ρηγμάτωσης, ως αποτέλεσμα των τάσεων, αποκλειστική επίδραση ασκούν οι εφελκυστικές τάσεις. Ο χρόνος εμφάνισης των διαβρωτικών θραύσεων εξαρτάται από το μέγεθος των τάσεων.

7.4 Κατασκευαστικοί ανθρακοχάλυβες και ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες (λεπτά και χοντρά ελάσματα)

Κατά τη συγκόλληση ελασμάτων κάτω από 4[mm] παρουσιάζονται δυσκολίες. Τα λεπτά ελάσματα οπωσδήποτε επιβάλλεται να συγκαλούνται με προστατευτικά υποστηρίγματα. Οι παράμετροι συγκόλλησης επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο που η ένταση και η τάση του ρεύματος να έχουν μικρές τιμές. Η συγκόλληση διενεργείται με μεγάλη ταχύτητα χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια με μέγιστο πάχος

0,2[mm]. Η συγκόλληση γίνεται με συνεχές ρεύμα, δίνοντας [+] στο ηλεκτρόδιο, χρησιμοποιείται συλλίπασμα με χοντρή κοκκομετρία.

Η δυσκολία κατά τη συγκόλληση χαλύβων με μεγάλο πάχος καθιστά την ανομοιογένεια, ιδιαίτερα στην περίπτωση συγκόλλησης μη καθαυχασμένων και ημικαθαυχασμένων χαλύβων. Επιπλέον αυτού, υπάρχει και μεγάλη ευαισθησία για την εμφάνιση ρηγματώσεων, οι οποίες προξενούνται κατά τη συγκόλληση ελασμάτων μεγάλου πάχους που προκύπτει μεγάλο λουτρό ρευστού μετάλλου και αναλογικά μεγάλη συμμετοχή του μητρικού υλικού στο σχηματισμό της ρίζας. Γι' αυτό, ιδιαίτερα κατά την εναπόθεση κολλήσεων ρίζας πρέπει η συγκόλληση να γίνεται με υψηλότερη τάση $U_s=38[V]-40[V]$ και με ένταση $I_s<900[A]$ για ηλεκτρόδιο με διάμετρο 5[mm], καθώς και για $I_s<1000[A]$ για ηλεκτρόδιο με διάμετρο 6[mm]. Το χρησιμοποιούμενο συλλίπασμα με κανονική κοκκομετρία.

7.5 Κραματωμένοι χάλυβες

Κατά τη συγκόλληση κραματωμένων χαλύβων με υψηλή αντοχή εμφανίζονται συχνά δυσκολίες, επειδή παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία για ρηγματώσεις στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά και στην κόλληση. Αυτό προκαλείται από τη μεγάλη περιεκτικότητα των κραματικών στοιχείων. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η προθέρμανση ή ανόπτηση μετά τη συγκόλληση. Πρέπει επίσης να γίνεται προσπάθεια μείωσης της συμμετοχής του μητρικού μετάλλου στην κόλληση και επιπροσθέτως προσαγωγή κραματικών στοιχείων με μορφή Mn ή Mo. Οι κραματικές προσθήκες εισάγονται με ανάλογη επιλογή του σύρματος για τη συγκόλληση, ή με κατάλληλο συλλίπασμα.

7.6 Συγκόλληση χαλύβων ισχυρά κραματωμένων, ανοξειδωτων και οξύμαχων

Για τη συγκόλληση των χαλύβων ανοξειδωτων ή των οξύμαχων δεν απαιτείται μόνο η κατάλληλη μεγάλη αντοχή, αλλά επίσης η κόλληση να είναι απαλλαγμένη από ρηγματώσεις και πόρους. Απαιτούνται αυτές οι κολλήσεις να είναι ανθεκτικές στην περικρυσταλλική και στη γενική διάβρωση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σύρματα με σταθεροποιητές Nb και Ti. Επιβάλλεται επίσης η

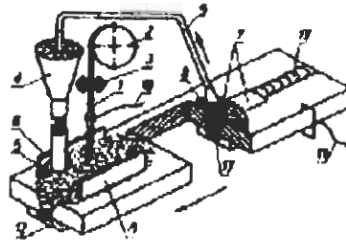
χρησιμοποίηση συλλιπάσματος με χαμηλή περιεκτικότητα SiO_2 και MnO . Κατά αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ανθεκτικότητα στην περικρυσταλλική διάβρωση, ενώ η οξείδωση του χρωμίου με τα ευρισκόμενα στο συλλίπασμα οξείδια μαγγανίου και πυριτίου, καθώς και οι ακαθαρσίες στο λουτρό σημαντικά περιορίζονται. Η συγκόλληση αυτών των χαλύβων διενεργείται με συνεχές ρεύμα και με χαμηλότερη ένταση περίπου 80% της έντασης που χρησιμοποιείται για τους ανθρακοχάλυβες, χρησιμοποιώντας μικρό ελεύθερο άκρο του ηλεκτροδίου και μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης.

Κεφάλαιο 8

Διάφορα συστήματα συγκόλλησης

8.1 Αυτόματη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο SAW

Η μηχανοποιημένη συγκόλληση τόξου με γυμνό σύρμα δεν προσφέρει στις συνδέσεις υψηλές ιδιότητες αντοχής, ενώ η μηχανοποιημένη συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, εξαιτίας των πολλών τεχνικών δυσκολιών και της χαμηλής απόδοσης δεν μπόρεσε να αναπτυχθεί. Μόνο με την προώθηση της μεθόδου συγκόλλησης με βυθιζόμενο τόξο (κάτω από συλλίπασμα) και γυμνό ηλεκτρόδιο επέτρεψε τη μηχανοποίηση της συγκόλλησης τόξου. Το γυμνό ηλεκτρόδιο 1 εκτυλίσσεται από το τύμπανο 2, ελκόμενο από τα ράουλα 3, που περιστρέφονται διαμέσου ηλεκτρικού κινητήρα. Προ του ηλεκτροδίου εισέρει από το χωνί 4 το συλλίπασμα με μορφή σκόνης 5, το οποίο παίζει περίπου τον ίδιο ρόλο με την επένδυση στα ηλεκτρόδια. Τα καλύμματα από ελάσματα 6 προφυλάσσουν το διασκορπισμό της σκόνης προς τα πλάγια. Το αναμμένο τόξο, βυθισμένο στον αύλακα, κάτω από το συλλίπασμα, δε φαίνεται και ο χειριστής δεν είναι αναγκασμένος να προστατεύεται φορώντας μάσκα. Το τηκόμενο συλλίπασμα, που λαμβάνει χώρα στη διαδικασία συγκόλλησης, επιπλέει πάνω στην επιφάνεια της κόλλησης με μορφή σκουριάς, η οποία καλύπτει την κόλληση με το στρώμα 7. Το πλεόνασμα του συλλιπάσματος απορροφάται με τη βοήθεια του αγωγού 9 και προωθείται ξανά στο χωνί 4. Η κρούστα 7, κατά τη στερεοποίησή της, θραύεται από μόνη της και εύκολα αποσύρεται με μεταλλική βούρτσα. Οι αγωγοί 10 και 11 διοχετεύουν το ρεύμα στο ηλεκτρόδιο και στο συγκολλούμενο αντικείμενο. Το χάλκινο υποστήριγμα 12 προστατεύει το μέταλλο της κόλλησης 13 πριν από την εκροή του στην άλλη πλευρά. Το τύμπανο 2 με το ηλεκτρόδιο, το χωνί 4 με το συλλίπασμα, η συσκευή απορρόφησης του περισσεύματος του συλλιπάσματος, καθώς και το κάλυμμα 6 είναι συναρμολογημένα στην κεφαλή, η οποία προωθείται κατά μήκος της κόλλησης. Μερικές φορές, η κεφαλή είναι μη κινούμενη, ενώ ωθείται το συγκολλούμενο αντικείμενο κάτω από την κεφαλή.



Σχήμα 33 Συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο: 1 ηλεκτρόδιο (γυμνό σύρμα), 2 τύμπανο, 3 τροχοί έλξης του σύρματος, 4 χωνί, 5 συλλίπασμα (με μορφή σκόνης), 6 ελάσματα προστασίας, 7 σκουριά, 8 πλεόνασμα συλλιπάσματος, 9 αγωγός απορρόφησης, 10, 11 ηλεκτρικοί αγωγοί, 12 υποστήριγμα χαλκού, 13 κόλληση.

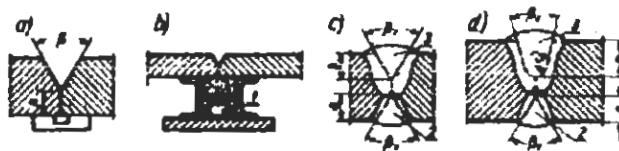
8.1.1 Αυτόματη μηχανή συγκόλλησης με βυθιζόμενο τόξο SAW

Ο αυτόματος τύπος συγκόλλησης AS7-1200, που τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα από μετασχηματιστή συγκόλλησης τύπου ETb-1000, με μέγιστη ένταση ρεύματος 1000[A] και με συντελεστή διάρκειας φόρτισης P 60%, μπορεί να εργάζεται με ένταση ρεύματος από 300[A]- 1000[A] και με σύρμα διαμέτρου 3,25[mm]-6[mm]. Η μέγιστη ταχύτητα προώθησης του σύρματος 4[m/min], ενώ η μέγιστη ταχύτητα του μηχανοκίνητου φορείου (ταχύτητα συγκόλλησης) 70[m/h]. Ο ρυθμός προώθησης του ηλεκτροδίου ρυθμίζεται από την τάση του κυκλώματος εργασίας. Όταν η τάση αυξάνεται το τόξο επιμηκύνεται, ο ρυθμός προώθησης του ηλεκτροδίου προς τη διεύθυνση του τόξου γίνεται μεγαλύτερος, το τόξο σμικρύνεται και η τάση του ελαττώνεται. Με αυτόν τον τρόπο, η τάση και η ένταση του ρεύματος διατηρείται σε σταθερό επίπεδο. Τα αυτόματα με χαμηλότερη ισχύ εργάζονται, σύμφωνα με την αρχή της σταθερής ταχύτητας προώθησης του σύρματος ηλεκτροδίου, προς τη διεύθυνση του τόξου, όταν η ταχύτητα τήξης του ηλεκτροδίου είναι στιγμιαία, μεγαλύτερη απ' την ταχύτητα προώθησης, η απόσταση μεταξύ του άκρου του ηλεκτροδίου και του αντικειμένου αυξάνεται, το τόξο επιμηκύνεται και η τάση του αυξάνει, ενώ η ένταση του ρεύματος μειώνεται και, εξαιτίας αυτού, ελαττώνεται η ταχύτητα τήξης. Το αντίθετο φαινόμενο παρατηρείται, όταν η τήξη του ηλεκτροδίου αυτοδιατηρείται σε κάποιο μέσο επίπεδο, για το οποίο πρέπει να επιλέγεται σταθερή η ταχύτητα εκτύλιξης του σύρματος. Για τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων μέχρι 5[mm] πάχους, χρησιμοποιούνται αυτόματα με συνεχές ρεύμα, στην περιοχή των 100[A]- 500[A]. Η διάμετρος του σύρματος ηλεκτροδίου είναι 1,6[mm]-3,25[mm], ο ρυθμός προώθησης του σύρματος 50[m/h]-

250[m/h]. Το αυτόματο αυτού του τύπου, για τις προαναφερθείσες παραμέτρους συγκόλλησης, μπορεί να αντικατασταθεί από το αυτόματο μεγαλύτερης ισχύος, μέχρι 600[A], και προσαρμοσμένο για τη συγκόλληση με τη μέθοδο GMA, στην ατμόσφαιρα αδρανών αερίων. Χαρακτηρίζεται, επίσης, με μικρή μάζα, περίπου 25[Kgr], και σχετικά με μικρές διαστάσεις, χάρη αυτού συναρμολογείται εύκολα. Για την τροφοδοσία αυτού του αυτόματου, με σταθερή ταχύτητα προώθησης του ηλεκτροδίου, έχουν χρησιμότητα οι πηγές συνεχούς ρεύματος, με ομαλή φθίνουσα ή σταθερά στατιστική χαρακτηριστική. Με τέτοιου είδους χαρακτηριστικές και ελάχιστη μεταβολή της τάσης του τόξου, μήκος του τόξου, προκύπτουν μικρότερες διαφορές της έντασης απ' ό,τι με τις χαρακτηριστικές με απότομη κλίση, που με τον τρόπο αυτής της ρύθμισης του ρεύματος είναι ουσιαστικά ωφελιμότερο.

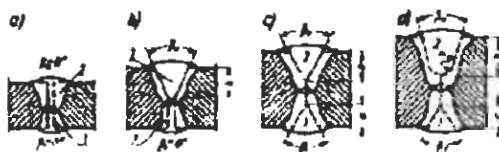
8.2 Τεχνική εκτέλεσης μετωπικών κολλήσεων

Οι μονόπλευρες μετωπικές κολλήσεις I χρησιμοποιούνται για πάχη ελασμάτων μέχρι 10[mm], εκτελούνται σε υποστηρίγματα από χαλκό ή χάλυβα, το οποίο παραμένει στο αντικείμενο. Το χαλύβδινο υποστήριγμα ισούται με 0,2 έως 0,3 του πάχους του συγκολλούμενου ελάσματος. Οι μονόπλευρες κολλήσεις V ή U εκτελούνται σε υποστηρίγματα από χαλκό (σχήμα 34a) ή σε υποστηρίγματα με συλλίπασμα (σχήμα 34b). Το υποστήριγμα με συλλίπασμα πρέπει να συμπιεσθεί ισχυρά στο έλασμα, πράγμα που επιβάλλει την πίεση του μέσου του αγωγού 1.



Σχήμα 34 Προετοιμασία των ελασμάτων για συγκόλληση: a συγκόλληση σε υποστήριγμα χαλκού, b συγκόλληση σε υποστήριγμα με συλλίπασμα, c συγκόλληση με χειρωνακτική υποσυγκόλληση, d κόλληση U, με χειρωνακτική υποσυγκόλληση.

Σε περίπτωση που υπάρχει δυσκολία στη χρησιμοποίηση υποστηριγμάτων ή όταν δεν είναι δυνατή η δίπλευρη μηχανοποιημένη συγκόλληση, από το κάτω μέρος γίνεται χειρωνακτική υποσυγκόλληση, με μικρές κολλήσεις 2 (σχήμα 34c και σχήμα 34d), οι οποίες δημιουργούν υπόβαθρο για τις μηχανοποιημένες συγκολλήσεις 3. Η γωνία του αύλακα $\beta_1=60^\circ-70^\circ$, ενώ για τη μηχανοποιημένη συγκόλληση η $\beta_2=30^\circ-60^\circ$.



Σχήμα 35 Προετοιμασία ελασμάτων για συγκόλληση, εκτελούμενων δίπλευρα, μηχανοποιημένα 1,2 η διαδοχική σειρά συγκόλλησης.

Όταν είναι δυνατή η μηχανοποιημένη εκτέλεση των δίπλευρων κολλήσεων και από τις δύο πλευρές, η ταχύτητα συγκόλλησης είναι ασφαλώς μεγαλύτερη από ό,τι στην προηγούμενη περίπτωση. Το μέρος της κόλλησης που εκτελείται πρώτα (σχήμα 35) έχει μικρότερο πάχος, επειδή χρησιμοποιείται χαμηλότερη ένταση ρεύματος, για να μην προκύψει εκροή από την επόμενη πλευρά του μετώπου της κόλλησης. Συμβολίζοντας με F_1 την εγκάρσια διατομή της κόλλησης, που προκύπτει από το εναποτιθέμενο υλικό, με F_e τη διατομή του ηλεκτροδίου, με V_s την ταχύτητα συγκόλλησης και με V_e ταχύτητα τήξης του σύρματος, η εξίσωση μπορεί να γραφεί: $F_1 V_s = F_e V_e$. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της ενίσχυσης h_n , που εκφράζεται με το συντελεστή $K=1,1+1,2$ είναι δυνατό, με βάση την παρακάτω εξίσωση, να καθορισθεί η προηγούμενη διατομή του αύλακα F_a , η οποία θα πρέπει να προκύψει από τη λοξοτόμηση των άκρων. $F_a = \frac{F_1}{K}$

Αποδεχόμενοι το άνοιγμα του αύλακα $50^\circ-70^\circ$, μπορούμε να καθορίσουμε το βάθος του καθώς, επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους συγκόλλησης, και τη λοξοτόμηση των άκρων των ελασμάτων, καθώς και τα μεγέθη και η μορφή του αύλακα, που προκύπτουν, είναι τελείως διαφορετικά με τη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο κάτω από το συλλίπασμα απ' ό,τι με τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο. Κατά τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, η διατομή του αύλακα εξαρτάται από το πάχος των συγκολλούμενων ελασμάτων και, επιπλέον, από τις τεχνικές δυνατότητες εισχώρησης του ηλεκτροδίου σε ικανοποιητικό βάθος και με σωστή εκτέλεση της κόλλησης. Ενώ, κατά τη συγκόλληση με βυθιζόμενο τόξο, το μέγεθος της διατομής του αύλακα εξαρτάται από το πάχος των ελασμάτων και τις παραμέτρους συγκόλλησης και είναι δυνατόν να υπολογισθεί. Ο καθορισμός των παραμέτρων συγκόλλησης, καθώς και του μεγέθους του αύλακα, κατά την εκτέλεση μετωπικών συνδέσεων, έχει ως ακολούθως: Καθορίζεται το μέγεθος του βάθους διείσδυσης h_n , το οποίο εξαρτάται

από τον τρόπο συγκόλλησης και ισούται: για τις κολλήσεις εκτελούμενες σε υποστηρίγματα με συλλιπάσματα, $h_w=0,8g$, g πάχος του ελάσματος, για τις κολλήσεις εκτελούμενες σε υποστηρίγματα χαλκού, $h_w=g$, για τις κολλήσεις εκτελούμενες με υποστηρίγματα, που αποτελούνται από τη χειρωνακτική εκτελούμενη κόλληση, $h_w=2/3g+(1,5[\text{mm}]-2[\text{mm}])$, για τις κολλήσεις εκτελούμενες δίπλευρα, $h_w=0,5g+(1,5[\text{mm}]-2[\text{mm}])$. Το μέγεθος της έντασης και της τάσης του ρεύματος εξασφαλίζει το καθορισμένο βάθος διείσδυσης, με την προϋπόθεση ότι η ταχύτητα συγκόλλησης είναι 20[m/h], ενώ η διάμετρος του σύρματος 5[mm], ή με βάση την εξίσωση $h_w = \frac{K}{100} \cdot I$, όπου $K=1-1,5$

Η τάση πρέπει να γίνεται αποδεκτή όσο το δυνατόν μικρότερη, ενώ η ένταση όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, λαμβάνοντας υπόψη ότι για τα ηλεκτρόδια με διάμετρο 4[mm], 5[mm], 6[mm] και 8[mm] η μέγιστη ένταση ρεύματος ισούται με 1100[A], 1700[A], 2400[A] και 3600[A]. η τάση του τόξου U_t καθορίζεται ανάλογα με την ένταση διέλευσης I:

I	500-600[A]	600-700[A]	700-850[A]	850-1000[A]	1000-1200[A]
U_t	36-40[V]	38-40[V]	40-42[V]	40-43[V]	40-44[V]

Στη συνέχεια, καθορίζεται η ταχύτητα συγκόλλησης. Για ελάσματα με πάχη από 8[mm]-30[mm], η ταχύτητα συγκόλλησης κυμαίνεται στα όρια από 15[m/h]-45[m/h]. Μετά, καθορίζεται το πλάτος του μετώπου της κόλλησης b για την αποδεκτή ταχύτητα συγκόλλησης V_s και την τάση του τόξου, καθώς και για την ένταση του ρεύματος συγκόλλησης 900[A]. εάν η ένταση του ρεύματος, για δεδομένη περίπτωση, είναι διαφορετική από 900[A], τότε, για κάθε 100[A] διαφορά, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη $\pm 0,5[\text{mm}]$. Πρέπει, επίσης, να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά του πλάτους της κόλλησης, με τη μεταβολή της διαμέτρου του ηλεκτροδίου κατά τέτοιο τρόπο, που, για κάθε χιλιοστό [mm] μεταβολής της διαμέτρου, το πλάτος της κόλλησης μεταβάλλεται $\pm 2[\text{mm}]$ [+] κατά την αύξηση, [-] κατά τη μείωση. Με βάση το πλάτος της κόλλησης b και το βάθος διείσδυσης I_s , καθορίζεται ο συντελεστής μορφής της κόλλησης $\Psi = \frac{b}{I_s}$, ο οποίος πρέπει να είναι στα όρια 1,3+2,0. Εάν η

υπολογιστική τιμή του είναι μικρότερη, τότε πρέπει να αλλαχθούν οι παράμετροι συγκόλλησης, αποδεχόμενοι μικρότερη ταχύτητα συγκόλλησης. Το μέγεθος του αύλακα που προκύπτει από τη λοξοτόμηση των άκρων των ελασμάτων μπορεί να καθορισθεί με βάση την εξίσωση: $F_1 V_s = F_c V_c$. Γνωρίζοντας την τιμή του

συντελεστή τήξης α_i , υπολογίζεται η ταχύτητα τήξης του ηλεκτροδίου-σύρματος,

$$V_c = \frac{\alpha_i}{3600 \cdot G_\sigma} \quad , \quad \text{όπου: } I \text{ ένταση του ρεύματος συγκόλλησης, } G_\sigma \text{ βάρος } l[\text{cm}]$$

σύρματος, $\alpha_i=11,6\pm 0,4[\text{g/Ah}]$, κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα ο πόλος [+]

στο ηλεκτρόδιο, $\alpha_i=A+B \cdot \frac{I}{d_c}[\text{g/A} \cdot \text{h}]$, κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα ο

πόλος [-] στο ηλεκτρόδιο, d_c διάμετρος ηλεκτροδίου, σε [mm]. Οι τιμές A και B εξαρτώνται από το είδος του συλλιπάσματος και του ρεύματος συγκόλλησης, καθώς και από την πολικότητα του ηλεκτροδίου. Μετά τον υπολογισμό της

$$F_1 = \frac{I_c \cdot V_c}{V_s} \text{ υπολογίζεται η επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής του αύλακα } F_a = \frac{F_1}{K} \text{ ,}$$

όπου: $K=1,1+1,2$. Αποδεχόμενοι το άνοιγμα του αύλακα κατά $50^\circ+70^\circ$, είναι δυνατόν να καθορισθεί το βάθος του και η τελική μορφή. Ανεξάρτητα από τις δυνατότητες υπολογισμού των παραμέτρων συγκόλλησης και του τρόπου λοξοτόμησης των ελασμάτων, επεξεργάστηκαν πίνακες για τον καθορισμό αυτών των δεδομένων, κατά τη συγκόλληση διάφορων παχών των ελασμάτων. Η μονόπλευρη συγκόλληση των ελασμάτων περιορίζεται από τη μέγιστη ένταση του ρεύματος, που είναι δυνατόν να επιτευχθεί από την πηγή τροφοδοσίας ρεύματος. Τα περισσότερα αυτόματα συγκόλλησης με βυθιζόμενο τόξο τροφοδοτούν μέγιστο ρεύμα συγκόλλησης 1000[A]-1200[A], που επιτρέπει μονόπλευρη συγκόλληση ελασμάτων με πάχος μέχρι 15[mm]. Σε περίπτωση συγκόλλησης χοντρότερων ελασμάτων, προκύπτει η ανάγκη για την εφαρμογή συγκόλλησης με μία ή πολλές στρώσεις ή δίπλευρης μορφής κόλλησης. Η τεχνική εκτέλεσης των μετωπικών, δίπλευρων συνδέσεων, με μία στρώση από κάθε πλευρά, δεν διαφέρει, κατά βάση, σε τίποτε από την τεχνική συγκόλλησης της μονόπλευρης κόλλησης. Ενώ, κατά την εναπόθεση μεγαλύτερου αριθμού στρώσεων, όπως κατά τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο, απαιτείται λίγο διαφορετική τεχνική. Η λοξοτόμηση των ελασμάτων, στην προκειμένη περίπτωση, έχει ως σκοπό την επίτευξη διείσδυσης σε όλο το πάχος του ελάσματος, και όχι μόνο την εξασφάλιση της μορφής, όπως συμβαίνει κατά τη συγκόλληση της μονόπλευρης κόλλησης. Το πλάτος εδώ είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος της κόλλησης, η οποία πετυχαίνεται για δοσμένες παραμέτρους συγκόλλησης. Οι παράμετροι εκτέλεσης πολλαπλών στρώσεων μετωπικών κολλήσεων με βυθιζόμενο τόξο καθορίζονται με τον ακόλουθο τρόπο: **Καθορίζεται η μέγιστη ένταση ρεύματος**, η οποία μπορεί να τροφοδοτηθεί από

δεδομένη πηγή ρεύματος. Με βάση το μέγεθος της έντασης ρεύματος, καθορίζεται το μέγεθος της εγκάρσιας διατομής κάθε στρώσης, η οποία μπορεί να εκτελεσθεί, βασιζόμενη στα ακόλουθα δεδομένα:

$$I \quad 400[A] \quad 500[A] \quad 700[A] \quad 800[A] \quad 900[A] \quad 1000[A]$$

η εγκάρσια διατομή μιας στρώσης, σε [mm²]

$$60[mm^2] \quad 75[mm^2] \quad 90[mm^2] \quad 120[mm^2] \quad 160[mm^2] \quad 200[mm^2]$$

Με βάση το αποδεκτό μέγεθος της έντασης του ρεύματος επιλέγεται η τάση του τόξου και η διάμετρος του ηλεκτροδίου και, στη συνέχεια, με το αποδεκτό πάχος του ηλεκτροδίου, καθορίζεται η ταχύτητα τήξης του (προώθηση). Η ταχύτητα συγκόλλησης υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$V_s = V_e \cdot \frac{F_e}{F_l}. \text{ Το σχήμα του αύλακα καθορίζεται με βάση τα αποδεκτά δεδομένα.}$$

$\alpha=50^\circ$, $t=2-4[mm]$, με $I=600[A]$, $t=4-8[mm]$, με $I=600-1000[A]$. Ο αριθμός των

στρώσεων καθορίζεται με βάση τον τύπο: $n=K \cdot \frac{F_a}{F_\sigma}$, όπου: F_a διατομή του αύλακα,

[mm²] F_σ διατομή μιας στρώσης, [mm²], K συντελεστής του πάχους της ενίσχυσης 1,1-1,2. Αναλογικά, όπως και για τη συγκόλληση μιας στρώσης επεξεργάστηκαν πίνακες που περιέχουν τις παραμέτρους και τεχνολογικά δεδομένα για τη συγκόλληση ελασμάτων διάφορων παχών, με πολλαπλές στρώσεις.

8.3 Τεχνική εκτέλεσης αυχενικών κολλήσεων

Οι αυχενικές κολλήσεις, εκτελούμενες με βυθιζόμενο τόξο, έχουν σημαντικά βαθύτερη διείσδυση, συγκρινόμενες με τους τρόπους εκτέλεσης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια και αποτελούν ωφελιμότερες συνδέσεις από την άποψη αντοχής και κατανομής των τάσεων. Όσον αφορά το σημαντικό πάχος του μητρικού υλικού, δεν υφίσταται κίνδυνος διείσδυσης υλικών κατά διαμπερή τρόπο. Αλλά, όμως εμφανίζονται δυσκολίες, συνδεδεμένες με την εκροή ρευστού μετάλλου από τα δημιουργούμενα διάκενα, ως συνέπεια της μη επαρκούς εφαρμογής των ελασμάτων μεταξύ τους. Και, ως εκ τούτου, προκύπτει ανάγκη κατάλληλης στεγανοποίησης των διακένων και, ιδιαίτερα, κατά τη συγκόλληση σε επίπεδη θέση, επειδή το πλάτος του διακένου υπερβαίνει το 1[mm]-1,5[mm]. Ανάλογα με το μέγεθος και τη μορφή του συγκολλούμενου αντικειμένου, όπως επίσης και του διακένου στη θέση

συγκόλλησης, χρησιμοποιούνται διάφορα είδη υποστηριγμάτων και τρόποι στεγανοποίησης, που εξασφαλίζουν την μη εκροή του ρευστού μετάλλου. Κατά την εκτέλεση αυχενικών κολλήσεων σε θέση τοίχου, δεν υπάρχει κίνδυνος εκροής του μετάλλου, αλλά αυτό έχει τάση για ανομοιόμορφη εναπόθεση, που είναι αποτέλεσμα της φυσιολογικής εκροής στην οριζόντια επιφάνεια. Επιπλέον, στο κατακόρυφο τοίχωμα, μπορεί να δημιουργηθούν υποκοπές. Η εκτέλεση αυχενικών κολλήσεων μιας στρώσης, σε θέση τοίχου, περιορίζεται από το πάχος, το οποίο μπορεί να ανέρχεται μέχρι $a=5[\text{mm}]-6[\text{mm}]$, με τις ακόλουθες παραμέτρους: ένταση ρεύματος $600[\text{A}]-700[\text{A}]$, τάση $30[\text{V}]-32[\text{V}]$, ταχύτητα συγκόλλησης $25[\text{m/h}]-40[\text{m/h}]$. Κατά τον καθορισμό των συνθηκών εκτέλεσης των αυχενικών κολλήσεων, σε επίπεδη θέση, μπορεί να θεωρηθεί ως εκτέλεση μετωπικών κολλήσεων με γωνία 90° . Όλα αυτά αφορούσαν την επίδραση της λοξοτόμησης των άκρων των ελασμάτων για μορφή μετωπικής κόλλησης, που γίνεται αποδεκτό και για τις κολλήσεις σε επίπεδη θέση. Η αυχενική κόλληση μπορεί να θεωρηθεί ως μετωπική, στην οποία το πλάτος του αύλακα της λοξοτόμησης είναι ίσο με το πλάτος της κόλλησης. Στις αυχενικές κολλήσεις, ο συντελεστής διαμόρφωσης, εκφραζόμενος με τη σχέση $\frac{b}{h_w}$, δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή του 2. Σε αντίθετη περίπτωση, προκύπτει κίνδυνος μη διεύθυνσης στη ρίζα, καθώς και εμφάνισης υποκοπών, κατά μήκος των άκρων.

Με σκοπό την εξασφάλιση της σωστής εναπόθεσης της κόλλησης είναι απαραίτητο, για δεδομένο πλάτος της κόλλησης, η ποσότητα του λιωμένου εναποτιθέμενου υλικού να φτάσει για το γέμισμα της διατομής του αυχενικού αύλακα. Η βασική δυσκολία εκτέλεσης των αυχενικών κολλήσεων σε επίπεδη θέση συνίσταται στην ανάγκη διατήρησης της μορφής της κόλλησης, δηλαδή η σχέση $\frac{b}{h_w} < 2$.

8.4 Αναγόμωση με βυθιζόμενο τόξο

Μεγάλη εφαρμογή στην πρακτική της συγκόλλησης βρήκε η αναγόμωση με βυθιζόμενο τόξο. Κατά κύριο λόγο εφαρμόζεται η αναγόμωση χαλύβων για εξαρτήματα μηχανών και συσκευών που εκτίθενται σε μεγάλη εντατική φθορά. Τα εξαρτήματα αυτά μπορούν να εργάζονται σε κανονικές ή σε υψηλές θερμοκρασίες. Για την αναγόμωση χρησιμοποιούνται σύρματα από χάλυβες ελαφρά ή ισχυρά

κραματωμένους. Σημαντικά επεκτείνεται η χρησιμοποίηση συρμάτων με πυρήνα σκόνης με ειδική σύσταση. Εισάγονται επίσης και μερικές προσθήκες κραμάτωσης στο συλλίπασμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ταινίες ηλεκτροδίου, που αυξάνουν σημαντικά την απόδοση συγκόλλησης. Η αναγόμευση με βυθιζόμενο τόξο βρήκε πλατιά χρησιμοποίηση από την άποψη των ακολούθων πλεονεκτημάτων πολύ μεγάλη απόδοση της διαδικασίας μέχρι 40[Kgr/h], καλή ποιότητα της κόλλησης αναπλήρωσης, ομαλή και ομοιόμορφη η κόλληση αναπλήρωσης, συνεχόμενη η διαδικασία αναγόμευσης, δυνατότητα μηχανοποίησης και αυτοματισμού. Από την άποψη ότι για την αναγόμευση σχεδόν πάντοτε χρησιμοποιείται ισχυρά κραματωμένο υλικό και συλλίπασμα σε κραματικές προσθήκες, υπάρχει το ενδιαφέρον, για τη συμμετοχή του μητρικού υλικού στην κόλληση αναπλήρωσης να είναι το δυνατόν μικρή. Για το λόγο αυτό η αναγόμευση διενεργείτε κατά το δυνατόν με χαμηλή ένταση και με υψηλή τάση. Χρησιμοποιούνται σύρματα ηλεκτροδίου με μεγάλη διάμετρο, με σχετικά χαμηλή ταχύτητα συγκόλλησης και με κατάλληλη κλίση του ηλεκτροδίου. Τα συλλιπάσματα πρέπει να έχουν χαρακτήρα αδρανή ή βασικό. Υπάρχουν επίσης δυνατότητες αύξησης της απόδοσης με τη χρησιμοποίηση αυτόματων πολλαπλών κεφαλών ή η αναγόμευση με ταινίες ηλεκτροδίου.

Κεφάλαιο 9

Μη καταστρεπτικοί έλεγχοι συγκολλητών συνδέσεων

9.1 Γενικός χαρακτηρισμός των μη καταστρεπτικών ελέγχων

Οι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι είναι έλεγχοι, με τους οποίους επιτυγχάνονται πληροφορίες για τη φυσική κατάσταση των ελαττωμάτων και ιδιοτήτων του αντικειμένου υλικού, προϊόντος κατασκευής χωρίς την προξένηση μεταβολών στις ιδιότητες της χρήσης του. Οι έλεγχοι που έχουν ως σκοπό την ανίχνευση σφαλμάτων τύπου ασυνεχειών του υλικού ονομάζονται έλεγχοι ανίχνευσης ελαττωμάτων. Οι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι διενεργούνται κυρίως με τις ακόλουθες μεθόδους: *ραδιογραφικές, ακουστικές, ηλεκτρομαγνητικές, διεισδυτικές*. Οι **ραδιογραφικές μέθοδοι** είναι μέθοδοι στις οποίες γίνεται η χρήση του φαινομένου που συνοδεύεται από την ιονίζουσα ακτινοβολία, κυρίως με *ακτινοβολία-Χ* και *γάμμα-γ*. Στις **ακουστικές μεθόδους** γίνεται η χρήση του φαινομένου που συνοδεύεται από τη διέγερση και τη διάδοση των μηχανικών ταλαντώσεων στα ελεγχόμενα αντικείμενα. Μεταξύ των ακουστικών μεθόδων διακρίνονται οι εξής μέθοδοι: *υπερηχητικοί, ακουστικής απορρόφησης, συντονισμού ταλαντώσεων*. Οι **υπερηχητικές μέθοδοι** είναι οι σημαντικότερες: Σ' αυτές γίνεται η χρήση του φαινομένου που συνοδεύεται από τη διάδοση των κυμάτων, με συχνότητα της τάξης των εκατοντάδων χιλιάδων και άνω [Hz]. Αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση εσωτερικών ελαττωμάτων εξίσου με μεταλλικά και μη μεταλλικά αντικείμενα. Με τις **ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους** γίνεται χρήση του φαινομένου συνοδευόμενου από τη διέγερση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με τις ασυνέχειες του υλικού. Στην περιοχή αυτών των ασυνεχειών δημιουργείται το λεγόμενο μαγνητικό πεδίο σκέδασης, ανιχνευόμενο με τη συγκέντρωση της μαγνητικής σκόνης – μέθοδος μαγνητικών σωματιδίων, με τη βοήθεια της μαγνητικής ταινίας ή με τη βοήθεια μετρητών μαγνητικών πεδίων. Με τις μαγνητικές μεθόδους ανιχνεύονται επιφανειακά και υποεπιφανειακά – εσωτερικά ελαττώματα σε αντικείμενα χαλύβδινα και μαγνητικών κραμάτων. Στις επαγωγικές μεθόδους γίνεται χρήση του φαινομένου συνοδευόμενου από την παρουσία των δινορρευμάτων – στρεφόμενων ρευμάτων, διεγερμένων στο ελεγχόμενο αντικείμενο με εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία. Τα ελαττώματα του υλικού επιδρούν στην ένταση και στη διανομή αυτών των ρευμάτων. Με κατάλληλη μέτρηση του

δημιουργούμενου μαγνητικού πεδίου απ' αυτά επιτυγχάνονται πληροφορίες για την παρουσία, το μέγεθος και τη θέση των ελαττωμάτων, καθώς και τη δομή του ελεγχόμενου υλικού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό των επιφανειακών ρηγμάτων. Στις **διεισδυτικές (Penetrate)** γίνεται χρήση του φαινομένου διείσδυσης υγρού σε ανοιχτά επιφανειακά διάκενα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ανοιχτών επιφανειακών ελαττωμάτων σε αντικείμενα μεταλλικά, κεραμικά.

9.1.1 Οπτικός έλεγχος (Visual testing)

Ο οπτικός έλεγχος των εξωτερικών ατελειών και ελαττωμάτων των συγκολλήσεων είναι βασικός τρόπος ελέγχου, υποχρεωτικά εφαρμοζόμενος σε κάθε είδος κατασκευών. Ο έλεγχος αυτός συνιστάται στην παρατήρηση με πρότυπα και μετρήσεις των συγκολλήσεων, με σκοπό την εξακρίβωση εάν οι μορφές τους και οι διαστάσεις συμφωνούν με τις τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης ή μήπως περιέχουν αυτές επιφανειακά σφάλματα. Πριν τον έλεγχο, η ραφή και το μητρικό υλικό που εφάπτεται σε αυτήν 10[mm]-20[mm] από κάθε πλευρά καθαρίζονται με ακρίβεια από σκουριές, πιτσιλίσματα, χρώματα και άλλες ακαθαρσίες που δυσχεραίνουν τη διενέργεια της παρατήρησης και των μετρήσεων. Με τον οπτικό έλεγχο είναι δυνατόν να εξακριβωθούν οι ακόλουθες αστοχίες:

1. *Οι παραμορφώσεις της κατασκευής στρέβλωση διαμήκης, εγκάρσια και ελικοειδής, η αλλαγή των ονομαστικών διαστάσεων της κατασκευής.*
2. *Οι λανθασμένες διαστάσεις των αυχενικών συγκολλήσεων: το πάχος, το μήκος του τμήματος της συγκόλλησης και του βήματος.*
3. *Το μη ορθό σχήμα της αυχενικής συγκόλλησης, όπως η αρκετά μεγάλη κυρτότητα ή το μη ίσιο μέτωπο και το κρέμασμα του μετώπου, καθώς και το ανόμοιο μήκος των πλευρών της κόλλησης (ανομοιομορφία).*
4. *Η κοιλότητα του μετώπου των μετωπικών συγκολλήσεων, η αρκετά μεγάλη ενίσχυση του μετώπου, το άπλωμα του μετώπου, οι υποκοπές του μετώπου, η μετατόπιση των άκρων [ψηλό-χαμηλό (Fo)].*
5. *Η έλλειψη διείσδυσης, η κοιλότητα στη ρίζα, οι υποκοπές της ρίζας και το κρέμασμα στις μονόπλευρες μετωπικές συγκολλήσεις.*

6. *Οι μη συγκολλημένοι κρατήρες, τα καψίματα, το πορώδες του μετώπου, τα ίχνη ανάμματος τόξου στο μητρικό υλικό και άλλες μηχανικές βλάβες στις μετωπικές και γωνιακές συνδέσεις.*
7. *Οι ρωγμές στην κόλληση ή στη ΖΕΘ τα σφάλματα αυτά είναι πολύ επικίνδυνα και γι' αυτό η βεβαιότητα για την ύπαρξή τους και η πορεία (το μήκος) πρέπει να καθορισθούν με ακρίβεια μ' έναν από τους ακόλουθους τρόπους: α) η οπτική αναγνώριση του ελαττωματικού τμήματος με μεγεθυντικό φακό, β) η λείανση και η προσβολή του ελαττωματικού τμήματος με 10% υδατικού διαλύματος αζωτούχου οξέος ή με αντιδραστήριο για το μακροσκοπικό έλεγχο, γ) με διεισδυτικούς ελέγχους, με πετρέλαιο ή με χρωματικό διεισδυτικό ή φθορικό.*

Για τον έλεγχο των διαστάσεων των συγκολλήσεων χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα μετρήσεων των κολλήσεων με τη μορφή προτύπου. Με το πρότυπο ελέγχεται μόνο το πάχος των αυχενικών κολλήσεων, ενώ το παχύμετρο χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του μεγέθους των κοιλωμάτων, των ενισχύσεων του ψηλού – χαμηλού, των μετωπικών κολλήσεων, του πάχους των αυχενικών κολλήσεων, τον έλεγχο των γωνιών λοξοτόμησης, του αύλακα, τον έλεγχο του μεγέθους του διακένου του αυχένα του αύλακα. Για την αναγνώριση των εσωτερικών επιφανειών των σωλήνων και μικρών δοχείων με σκοπό την παρατήρηση της διεισδυτικής ποιότητας της ακμής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενδοσκόπιο. Τα μη επιτρεπτά ελαττώματα πρέπει να αφαιρούνται και οι κολλήσεις να επιδιορθώνονται πριν την παραλαβή ή πριν άλλων ελέγχων στη συνέχεια ραδιογραφικοί, υπερηχητικοί.

9.1.2 Ραδιογραφικός έλεγχος (Radiography testing) Φυσικές ιδιότητες – χαρακτηριστικά ραδιογραφικού ελέγχου

Ο ραδιογραφικός έλεγχος είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος ελέγχου: έγκειται στην εκτέλεση ραδιογραφημάτων – ακτινογραφιών ελεγχόμενων συγκολλητών συνδέσεων ή άλλων συμπαγών υλικών με ακτίνες-Χ (Röntgen) ή γάμμα-γ. Στη συνέχεια η περιγραφή των εντοπισμένων σφαλμάτων στα ραδιογραφήματα και η αξιολόγηση της ποιότητας της ελεγχόμενης συγκόλλησης. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην ικανότητα που διαθέτουν οι ακτίνες Χ και γ να διεισδύσουν σε μέταλλα και συμπαγή υλικά να δημιουργούν είδωλο του αντικειμένου πάνω στην επιφάνεια ενός

ευαίσθητου φιλμ ή στην επιφάνεια μιας φθορίζουσας οθόνης. Η ολική διαμόρφωση της έντασης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια μέτρησης σχηματίζει τη ραδιομετρική εικόνα (είδωλο) του ελεγχόμενου αντικειμένου. Η εικόνα αυτή εξαρτάται από την ενέργεια και την σκεδασμένη ένταση της ακτινοβολίας, καθώς και τη σύνθεση του αντικειμένου. Η διαφορά της έντασης ακτινοβολίας στις γειτονικές περιοχές της ραδιομετρικής εικόνας ονομάζεται ραδιομετρική αντίθεση αντικειμένου. Η αντίθεση του αντικειμένου δεν επηρεάζεται από την έκθεση του φιλμ (χρόνος, milliamper, ισχύς πηγής), απόσταση έκθεσης και από την κατεργασία του φιλμ. Η αντίθεση του αντικειμένου της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Όσο αυξάνεται η τάση ή χρησιμοποιείται ισότοπο υψηλότερης ενέργειας, μειώνεται ο λόγος των εντάσεων των ακτινοβολιών που διαπερνούν διαφορετικές περιοχές του αντικειμένου. Με την έκθεση του φιλμ σε ακτινοβολία ομοιόμορφης έντασης παράγεται ραδιογραφία με ομοιόμορφη αμαύρωση. Η πρακτική της ανίχνευσης για το ραδιογραφικό έλεγχο έγκειται στο να: *α) χρησιμοποιηθεί ακτινοβολία που να παρέχει μεγάλη ραδιομετρική αντίθεση των σφαλμάτων ως προς το υπόβαθρο, β) να ανιχνευθεί αυτή η αντίθεση κατά ευαίσθητο δυνατό τρόπο με κατάλληλο ανιχνευτή (detector). Ανάλογα με τον τρόπο ανίχνευσης της ακτινομετρικής αντίθεσης, διακρίνονται οι μέθοδοι: ραδιογραφική, φθοροσκοπική.*

Η ραδιογραφική μέθοδος (ραδιογραφία) έγκειται στον τρόπο ανίχνευσης της ραδιομετρικής εικόνας ελεγχόμενου αντικειμένου με τη χρησιμοποίηση φιλμ κατάλληλης ευαισθησίας. Το αποτέλεσμα του ραδιογραφικού ελέγχου είναι το ραδιογράφημα, που αποτελεί το εμφανισμένο φιλμ, το οποίο είναι ευαίσθητο στην ακτινοβολία και περιέχει τη ραδιογραφική εικόνα (ή ραδιογράφημα) του ελεγχόμενου αντικειμένου. Το πλεονέκτημα της ραδιογραφικής μεθόδου είναι ότι δίνει αποδεικτικό διαρκείας με τη μορφή του ραδιογραφήματος. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αργοπορία. Η φθοροσκοπική μέθοδος συνίσταται στην ανίχνευση της ραδιομετρικής εικόνας σε φθορίζουσα οθόνη. Το πλεονέκτημα της φθοροσκοπίας είναι η δυνατότητα της τρέχουσας παρατήρησης της εικόνας του ελεγχόμενου αντικειμένου, ακόμα και κατά την κίνησή του. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί η κατώτερη ανιχνευσιμότητα των σφαλμάτων σε σύγκριση με τη ραδιογραφία.

Γενικές αρχές ραδιογραφικού ελέγχου. Κατά το ραδιογραφικό έλεγχο, το ελεγχόμενο αντικείμενο τοποθετείται ανάμεσα στην πηγή των **ακτίνων-X** ή των **γάμα-γ** και στο φιλμ. Οι ακτίνες που διαπερνούν το αντικείμενο προξενούν την

έκθεση του φιλμ σε βαθμό, ο οποίος εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής τους από το ελεγχόμενο υλικό. Στο εμφανισμένο φιλμ, τμήμα του αντικειμένου με μικρότερο πάχος αντιπροσωπεύεται με περιοχές μεγαλύτερης αμαύρωσης, ενώ τμήματα με μεγαλύτερα πάχη με περιοχές μικρότερης αμαύρωσης. Τα σφάλματα (ασυνέχειες υλικού) εμφανίζονται ως κηλίδες με μεγαλύτερη αμαύρωση από το τοπικό υπόβαθρο. Για να σμικρυνθεί ο χρόνος έκθεσης και έτσι να αυξηθεί η απόδοση του ελέγχου, χρησιμοποιούνται ενισχυτικές πλάκες. Αλατούχες (φθορισμού), οι οποίες με την επίδραση των ακτίνων-Χ προκαλούν φθορισμό με ισχυρότερη έκθεση του φιλμ (σμικρύνουν το χρόνο ακτινοβολίας μέχρι 100 φορές), μεταλλικές και συγχρόνως την προφυλάσσουν από τη σκεδασμένη ακτινοβολία. Η χρήση ενισχυτικών πλακών, καθώς και φιλμ υψηλής ευαισθησίας από μια άποψη είναι ωφέλιμη, για το λόγο ότι μειώνει το χρόνο ακτινοβολίας, από την άλλη όμως είναι επιβλαβές επειδή προξενείτε μεγαλύτερη ενυπάρχουσα δυσκρίνεια – εσωτερική, που χειροτερεύει την ποιότητα – ανάγνωση του ραδιογραφήματος.

9.1.3 Ηλεκτρομαγνητικοί έλεγχοι (Electromagnetic testing)

Η βάση ανίχνευσης ελαττωμάτων με τους ηλεκτρομαγνητικούς ελέγχους είναι η δημιουργία μαγνητικού πεδίου στο ελεγχόμενο εξάρτημα, καθώς και η ένδειξη των διαταραχών αυτού του πεδίου, ως συνέπεια των τοπικών μεταβολών διεισδυτικότητας στις θέσεις των ασυνεχειών και των ελαττωμάτων. Παρατηρώντας την πορεία των γραμμών των δυνάμεων του μαγνητικού πεδίου στο μαγνητισμένο αντικείμενο, το οποίο έχει το ελάττωμα, συμπεραίνεται ότι, το μεγαλύτερο τμήμα της γραμμής των δυνάμεων παρακάμπει τα ελαττώματα και επιλέγει δρόμο από την υπόλοιπη τομή του αντικειμένου γι' αυτό στα άκρα του ελαττώματος συμβαίνει η συμπύκνωση των γραμμών των δυνάμεων. Ένα τμήμα γραμμών των δυνάμεων έχει τη δική του αρχική πορεία, επίσης δια του ελαττώματος, οι υπόλοιπες γραμμές των δυνάμεων συνήθως όχι πολλές παραμένουν σε κάποια απόσταση μπροστά από το ελάττωμα, με απόκλιση από την αρχική διεύθυνση και εξέρχονται στην επιφάνεια του αντικειμένου πλησίον του ελαττώματος, δημιουργώντας ζεύγος μαγνητικών πόλων. Το φαινόμενο αυτό ορίζεται ως μαγνητική ροή σκέδασης (μ.ρ.σ.) και μπορεί να παρατηρηθεί σε επιφανειακές ρηγματώσεις. Για να είναι ανιχνεύσιμη η ροή της σκέδασης, το ελάττωμα πρέπει να βρίσκεται στην επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια.

Εάν το ελάττωμα βρίσκεται βαθιά, η σκευασμένη ροή δεν ανιχνεύεται. Η μαγνητική ροή σκέδασης είναι ανιχνεύσιμη, όταν το ελάττωμα σχηματίζει με τη διεύθυνση των γραμμών των δυνάμεων γωνία από 45° μέχρι 90° . Η ανίχνευση της σκεδασμένης ροής, άρα των ελαττωμάτων, διενεργείται, με τη μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων, με τη μαγνητογραφική μέθοδο.

Μέθοδος με μαγνητικά σωματίδια (Magnetic particles). Ο έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια ανήκει στις πιο χρησιμοποιούμενες μεθόδους στην πρακτική των μη καταστρεπτικών μεθόδων ελέγχου. Η αρχή της μεθόδου είναι η ακόλουθη: στο μαγνητισμένο αντικείμενο εναποθέτουμε τη μαγνητική σκόνη, η οποία είναι ελκόμενη στις περιοχές των σκεδασμένων γραμμών των δυνάμεων του μαγνητικού πεδίου. Τα σωματίδια αυτής της σκόνης σχηματίζουν συγκεντρώσεις, ανάλογα με τις συνθήκες ελέγχου, τη γεωμετρία του ελαττώματος και τη σκέδασής της, καθώς και με τη διεύθυνση της πορείας των γραμμών των δυνάμεων του μαγνητικού πεδίου. Η μέθοδος αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους, με υγρό τρόπο, που συνίσταται στον ψεκάσμο (ή στη βύθιση) του αντικειμένου (στο οποίο διεγέρθηκε μαγνητικό πεδίο) με κατάλληλο επιλεγμένο υγρό με φερρομαγνητική σκόνη, με ξηρό τρόπο, που συνίσταται στην άμεση εναπόθεση φερρομαγνητικής σκόνης στην επιφάνεια του ελεγχόμενου αντικειμένου. Ως φερρομαγνητική σκόνη, κυρίως, χρησιμοποιείται ο μαγνητίτης Fe_3O_4 και F_2O_3 , με μέγεθος κόκκων που δεν υπερβαίνει τα $0,06[mm]$. Συνήθως, για τους ελέγχους χρησιμοποιείται αραιοποιημένη σκόνη σε ορυκτέλαια ή σε πετρέλαιο. Με σκοπό την αύξηση της καθαρότητας της σύστασης των σωματιδίων της σκόνης, στις επιφάνειες των αντικειμένων με διάφορο χρωματισμό χρησιμοποιούνται χρωματιστές σκόνες. Όταν η σκόνη επικαλύπτεται με ειδική χρωματισμένη φθορίζουσα ουσία σε υπεριώδη φωτισμό, δίνει την καλύτερη ανιχνευσιμότητα των ελαττωμάτων. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης σκονών που λίγο διαφέρουν από το χρώμα της ελεγχόμενης επιφάνειας, πρέπει αυτή προηγουμένως να καλυφθεί με λεπτό στρώμα που γρήγορα στεγνώνει, καλύτερα με λευκό χρώμα. Κατά την ξηρή μέθοδο η φερρομαγνητική σκόνη ψεκάζεται στην ελεγχόμενη επιφάνεια. Η ευαισθησία αυτής της μεθόδου είναι μικρότερη, αλλά το αντικείμενο δε λερώνεται. Αυτό είναι σημαντικό, ιδιαίτερα για την παραπέρα κατεργασία των αντικειμένων.

Μαγνητογραφική μέθοδος. Η μαγνητογραφική μέθοδος συνίσταται στη στερέωση του σκεδασμένου μαγνητικού πεδίου από το ελάττωμα στη μαγνητική ταινία (μαγνητοφωνική). Η εγγραφή της μαγνητικής ταινίας μεταφέρεται συνήθως με

καθοδικό παλμογράφο, στον οποίο φαίνονται αντίστοιχοι φωτεινοί παλμοί. Η μέθοδος αυτή είναι αισθητά πιο ευαίσθητη από τη μέθοδο της μαγνητικής σκόνης. Εφαρμόζεται για το συνεχή αυτόματο έλεγχο της ποιότητας ράβδων, συγκολλητών με πίεση σωληνώσεων και άλλων συνδέσεων.

9.2 Καταστρεπτικές μέθοδοι ελέγχου συγκολλητών συνδέσεων

9.2.1 Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων

Οι δοκιμασίες διερεύνησης των μηχανικών ιδιοτήτων εφαρμόζονται για τον έλεγχο:

- των βασικών υλικών
- των πρόσθετων υλικών
- για την πιστοποίηση των χειριστών (συγκολλητών)
- των δοκιμαστικών συνδέσεων, πειραματικών, εκτελούμενων στα πλαίσια

σχεδιασμού επεξεργασίας νέων μεθόδων συγκόλλησης ειδικών τεχνολογιών, χρησιμοποίησης νέων υλικών της τελικής σύνδεσης συγκολλητών κατασκευών εκτελούμενων με: α) δοκίμια κομμένα άμεσα από την κατασκευή, που σπάνια διενεργείται, επειδή απαιτείται μερική καταστροφή της κατασκευής, β) δοκίμια επιλεγμένα από τις δοκιμαστικές συνδέσεις, συγκολλούμενες με τις ίδιες συνθήκες με τις οποίες ελέγχεται η κατασκευή. Οι τύποι των δοκιμαστικών συνδέσεων, οι διαστάσεις τους, καθώς και τα είδη και ο επιλεγμένος απ' αυτές αριθμός δοκιμίων αντοχής καθορίζονται με αντίστοιχες προδιαγραφές ή κανονισμούς. Πριν την κοπή των δοκιμίων, επιβάλλονται οι συνδέσεις για δοκιμή να χαραχθούν και να σηματοδοτούν αντίστοιχα σ' αυτές ο αριθμός της κόλλησης, η σήμανση της κατασκευής, ο αριθμός του συγκολλητή (χειριστή), το σύμβολο της θέσης συγκόλλησης, ο αριθμός του ελεγκτή, όπως και στις διάφορες επίπεδες ζώνες τα απαραίτητα σύμβολα των τύπων των δοκιμίων. Τα δοκίμια μπορούν να κόβονται με πριόνι ή με καυστήρα οξυγόνου – ασετιλίνης στην τελευταία περίπτωση μόνο οι μαλακοί ανθρακοχάλυβες που δε βάνονται. Τα κομμένα δοκίμια, στη συνέχεια, επεξεργάζονται μηχανικά κι έτσι επιδέχονται τη δοκιμασία τους. Το σχήμα των δοκιμίων και οι τρόποι διενέργειας των δοκιμίων δίνονται σε αντίστοιχους κανονισμούς, οι οποίοι περιέχουν τους

ακόλουθους τύπους δοκιμών: εφελκυσμό, κάμψη, κρουστική – δυσθραυστότητας, σπάσιμο – θραύση, σκληρότητα.

Δοκιμή εφελκυσμού. Στις συγκολλήσεις εφαρμόζονται τα ακόλουθα είδη στατικών δοκιμών εφελκυσμού: μετωπική επίπεδη δοκιμή ή σωλήνας, μετωπική σύνδεση ράβδων, κολλήσεων, εναποτιθέμενου υλικού – πρόσθετου υλικού, αυχενικών – γωνιακών συνδέσεων. Δοκιμή εφελκυσμού επίπεδης μετωπικής σύνδεσης. Για τη δοκιμή αυτή, προβλέπονται δύο τύποι δοκιμών: *δοκίμιο Α* για τον καθορισμό της αντοχής της σύνδεσης ως συνέπεια της στένωσης του δοκιμίου έχουμε τον εξαναγκασμό της θραύσης στην κόλληση. Κατά τη δοκιμή εφελκυσμού της σύνδεσης καθορίζεται μόνο η αντοχή στον εφελκυσμό, σύμφωνα με τον τύπο:

$$R_m = \frac{F_m}{k \cdot S_0} [MPa] \quad , \quad \text{όπου: } F_m \text{ μέγιστη δύναμη εφελκυσμού κατά τη δοκιμή}$$

[daN], S_0 αρχική διατομή του δοκιμίου [mm^2], ($S_0 = a_0 \cdot b_0$): $k=1,0$ για τα δοκίμια τύπου Α, ανεξάρτητα από τον τύπο του μετάλλου, $k=1,08$ για τα δοκίμια τύπου Β από κατασκευαστικό ανθρακοχάλυβα ή ελαφρά κραματωμένο χάλυβα. Δοκιμή εφελκυσμού περιφερειακής σύνδεσης σωλήνα ή στρογγυλών ράβδων. Για ράβδους, όπως και για σωλήνες, με διάμετρο εξωτερική $D_{εξ} < 51$ [mm], εκτελείται εφελκυσμός της σύνδεσης στην ολότητα, αφαιρώντας προηγουμένως την ενίσχυση του μετώπου σε όλη την περιφέρεια μέχρι το πάχος του υλικού. Για τις σωλήνες με εξωτερική διάμετρο $D_{εξ} > 51$ [mm], κόβεται από τη σύνδεση δοκίμιο ζώνης. Για ράβδους με διάμετρο $D_{εξ} > 25$ [mm], επιτρέπεται η εκτέλεση δοκιμίου με διάμετρο μέτρησης $d_0 > 40$ [mm]. Για τα παραπάνω δοκίμια δεν επιτρέπεται η αφαίρεση. Στην περίπτωση μετατόπισης των άκρων των συνδεόμενων ελασμάτων, με μέγεθος που δεν υπερβαίνει την επιτρεπόμενη αντοχή, σύμφωνα με αντίστοιχες προδιαγραφές το δοκίμιο πρέπει να κατεργασθεί και από τις δύο πλευρές για το ίσιωμα και των δύο συνδεόμενων εξαρτημάτων.

Δοκιμή εφελκυσμού της κόλλησης, όπως και όλες οι δοκιμές, διενεργείται σύμφωνα με τις κρατούσες προδιαγραφές (για τη χώρα μας ASTM, DIN, ISO, IIW και ΕΛΟΤ) σε δοκίμια κομμένα από μετωπικές ή αυχενικές συγκολλήσεις, με πάχος όχι μικρότερο από 10 [mm]. Ο τρόπος επιλογής του τμήματος δοκιμής από μετωπική συγκόλληση είναι ο εξής: Από το τμήμα δοκιμής εκτελείται στρογγυλό δοκίμιο με πενταπλάσιο $L_0 = 5 \cdot d_0$, διάμετρο $d_0 = 5$ [mm], $d_0 = 8$ [mm] ή $d_0 = 10$ [mm]. Η διάμετρος πρέπει να επιλεγεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, έτσι, όμως, ώστε το περίγραμμα της επιφάνειας της διατομής του τμήματος μέτρησης του δοκιμίου να μην εξέχει του

περιγράμματος της κόλλησης. Τα ανωτέρω δοκίμια μπορούν να εκτελεσθούν ως δοκίμια με κεφαλές για τη συγκράτησή τους: με σιαγώνες, δακτυλίους, ή με σπείρωμα. Η δοκιμή εφελκυσμού διενεργείται σε δύο τουλάχιστον δοκίμια, καθορίζοντας την R_m , R_c , A_5 και Z .

Δοκιμές εφελκυσμού εναποτιθέμενου υλικού το εναποτιθέμενο υλικό προκύπτει από την αναγόμωση ή τη μετωπική συγκόλληση δοκιμαστικών πλακών, με τη συμμόρφωση προς τις συνθήκες συγκόλλησης, για διαδεδομένο είδος εναποτιθέμενου υλικού. Ένας από τους τρόπους που προτείνεται από τους κανονισμούς ISO είναι και ο ακόλουθος: Η δοκιμή εφελκυσμού του εναποτιθέμενου υλικού (η κόλληση) διενεργείται σε τρία τουλάχιστον στρογγυλά δοκίμια με διάμετρο $d_0=6$ [mm] ή σε δύο δοκίμια με διάμετρο $d_0=10$ [mm], καθορίζοντας την R_m , R_c , ή $R_{0.2}$, A_5 και Z .

Δοκιμές εφελκυσμού αυχενικών συγκολλήσεων: α δοκιμή εφελκυσμού *στρωρωτής σύνδεσης*, β δοκιμή εφελκυσμού *σύνδεσης επικάλυψης με εγκάρσιες κολλήσεις*, γ δοκιμή εφελκυσμού *σύνδεσης επικάλυψης με διαμήκεις κολλήσεις*. Για τα δοκίμια η αντοχή των κολλήσεων της σύνδεσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R = \frac{2F_m}{\Sigma(\alpha \cdot h)} [MPa], \text{ όπου: } \Sigma(\alpha \cdot h) \text{ άθροισμα των επιφανειών των διαμηκών διατομών}$$

και των τεσσάρων κολλήσεων, [mm²]. Για τα δοκίμια σύμφωνα με γ), η αντοχή των

κολλήσεων της σύνδεσης υπολογίζεται από τον τύπο: $R = \frac{F_m}{\frac{\Sigma \alpha}{4} \cdot \frac{\Sigma l}{4}} [MPa]$, όπου: $\Sigma \alpha$

– άθροισμα όλων των παχών των κολλήσεων [mm], Σl άθροισμα όλων των μηκών των 8 κολλήσεων, [mm].

Δοκιμή κάμψης. Η δοκιμή κάμψης αποτελεί το μοναδικό τρόπο καθορισμού της ολκιμότητας της σύνδεσης στην ολότητα, από την άποψη ότι κατά τη δοκιμή εφελκυσμού της σύνδεσης δεν υπολογίζεται η επιμήκυνση A . Κατά τη δοκιμή κάμψης, τμήμα ινών του υλικού, ευρισκομένων στην αντίθετη πλευρά του εμβολέα κάμψης, έγκειται σε εφελκυσμό. Άρα στις συγκολλητές συνδέσεις, ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης του δοκιμίου, η κάμψη μπορεί να διενεργείται με εφελκυσμό του μετώπου της κόλλησης ή αντίστροφα με εφελκυσμό της ρίζας. Οποιαδήποτε ελαττώματα συγκόλλησης, ιδιαίτερα τα ευρισκόμενα στην περιοχή του μετώπου και της ρίζας της κόλλησης, όπως υποκοπές, ατελείς τήξεις και διεισδύσεις, λειτουργούν ως εγκοπές, προξενώντας την ταχεία θραύση των δοκιμίων. Γι' αυτό, η δοκιμή

κάμψης δεν είναι δοκιμή μόνο της πλαστικότητας της σύνδεσης αλλά και της ποιότητας της εκτέλεσης. Οι δοκιμές κάμψης των μετωπικών επίπεδων συνδέσεων, σωλήνων και ράβδων με στρογγυλές διατομές διενεργούνται σε δοκίμια. Οι ενισχύσεις των κολλήσεων κατεργάζονται, όμως δεν πρέπει να αφαιρούνται εξωτερικά ελαττώματα τα οποία ελαττώνουν τη διατομή της κόλλησης. Τα διαμήκη άκρα των δοκιμίων *A*, *B* και *C* από την εφελκούμενη πλευρά πρέπει να στρογγυλεύουν με ακτίνα $r \sim 0.1$ του πάχους του δοκιμίου αλλά όχι μικρότερα από 1[mm]. Η κάμψη των δοκιμίων *A*, *B*, *C*, *O* διενεργείται σε συσκευή, για την επίτευξη της επιθυμητής γωνίας κάμψης ή την εμφάνιση ρηγμάτωσης στην επιφάνεια.

Δοκιμή κρούσης μετωπικής επίπεδης σύνδεσης. Για συνδέσεις με πάχος άνω των 10[mm], οι διαστάσεις του δοκιμίου και οι θέσεις επιλογής γίνονται αποδεκτές για τον έλεγχο της δυσθραυστότητας της κόλλησης και της μεταβατικής ζώνης. Δοκιμή σε κρούση του εναποτιθέμενου υλικού. Αυτή διενεργείται σε δοκίμια με διαστάσεις 5[mm]-10[mm], επιλεγμένα από κολλήσεις αναγόμενης ή από δοκιμαστικές συνδέσεις.

Δοκιμή σπασίματος – θραύσης. Η δοκιμή σπασίματος είναι απλή τεχνολογική δοκιμή και συνίσταται στο σπάσιμο του δοκιμίου στην κόλληση, με σκοπό τον έλεγχο του θραύσματος. Η οπτική παρατήρηση του θραύσματος της κόλλησης γίνεται με γυμνό οφθαλμό ή με φακό μεγέθυνσης. Με βάση την παρατήρηση μπορεί να διαπιστωθεί η παρουσία εσωτερικών ελαττωμάτων, όπως ατελείς διεισδύσεις, πόροι, σκουριές, ρωγμές, ατελείς τήξεις, καψίματα και υπερθερμάνσεις. Επιπλέον, μπορούν να προσκομισθούν και κατατοπιστικές πληροφορίες για τις πλαστικές ιδιότητες της κόλλησης. Όταν το σπάσιμο του δοκιμίου γίνει χωρίς ορατές παραμορφώσεις, ενώ η επιφάνεια του θραύσματος έχει γυαλιστερή όψη, κρυσταλλική, με χοντρούς κόκκους, αυτό φανερώνει ψαθυρότητα του υλικού, ενώ, εάν το θραύσμα είναι θαμπό, ινώδες, λεπτόκοκκο, τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κόλληση είναι όλκιμη. Οι δοκιμές σπασίματος διενεργούνται σε τρεις τύπους συνδέσεων: μετωπική επίπεδη με πάχος άνω των 4[mm], γωνιακή με αυχενική κόλληση και επικάλυψης με αυχενική κόλληση.

Δοκιμή σκληρότητας. Οι συνηθέστερες χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ελέγχου σκληρότητας είναι οι: *Brinell (HB)*, *Vickers (HV)* και *Rockwell (HR)*. Στις συγκολλήσεις τη μεγαλύτερη εφαρμογή έχει η μέθοδος *Vickers*, επειδή μπορεί αυτή να εφαρμοσθεί σε στενές ζώνες και με πολύ διαφοροποιημένη σκληρότητα και, επίσης, για μικρές φορτίσεις κατά τον έλεγχο της λεγόμενης μικροσκληρότητας

φορτίσεις της τάξης μερικών γραμμαρίων, ενώ συνήθως εφαρμόζονται 10 και 30[gr]. Ο έλεγχος της σκληρότητας διεξάγεται στο εναποτιθέμενο υλικό και στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά.

Δοκιμή σκληρότητας εναποτιθέμενου υλικού. Αυτή διενεργείται σε δοκιμαστική πλάκα υποσυγκολλούμενη με αναγόμευση. Η αναγόμευση εκτελείται με το υπό έλεγχο εναποτιθέμενο υλικό και αποτελείται από τρεις τουλάχιστον στρώσεις. Στη συνέχεια, η επιφάνεια λειαίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το ελεγχόμενο επίπεδο να είναι παράλληλο προς τη δοκιμαστική πλάκα. Μετά ακολουθεί η εκτέλεση πέντε τουλάχιστον μετρήσεων, με έναν από τους παραπάνω τρόπους (HB, HV, ή HR). Δοκιμή σκληρότητας της σύνδεσης. Αυτή εκτελείται, με σκοπό τη μέτρηση των μεταβολών της σκληρότητας σε διάφορες θέσεις της σύνδεσης: στην κόλληση, στη ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά και στο μητρικό υλικό. Η δοκιμή της σκληρότητας διενεργείται σε εγκάρσια διατομή της σύνδεσης προσβεβλημένης προηγουμένως, για την αναγνώριση των συνόρων της κόλλησης και της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά. Για το σκοπό αυτό συνήθως γίνεται χρήση δοκιμίου προοριζόμενου για το μεταλλογραφικό έλεγχο. Στην επιφάνεια του δοκιμίου που προσβλήθηκε κάθετα στην αξονική γραμμή συμμετρίας της εγκάρσιας διατομής της κόλλησης μεταφέρονται τουλάχιστον: τρεις γραμμές μέτρησης, δύο κοντά στα άκρα του δοκιμίου και μία μεταξύ αυτών, για τις συνδέσεις με πάχος άνω των 15[mm], δύο γραμμές μέτρησης στο άκρο και στο κέντρο, για τις συνδέσεις με πάχος από 5-15[mm], μια γραμμή μέτρησης στο κέντρο, για τις συνδέσεις με πάχος μέχρι 5[mm]. τα σημεία που τέμνονται από τις γραμμές μέτρησης και τις γραμμές σύντηξης σχηματίζουν τα αρχικά σημεία μετρήσεων έτσι, ώστε τουλάχιστον από κάθε δύο σημεία να βρίσκονται σε κάθε ζώνη της σύνδεσης στις δύο ζώνες, επηρεαζόμενες θερμικά και στο μητρικό υλικό και από τις δύο πλευρές της σύνδεσης. Οι μετρήσεις της σκληρότητας διεξάγονται με τη μέθοδο HB, HV, ή HR. Τα αποτελέσματα με μορφή πίνακα ή διαγράμματος αποτελούν τεκμήριο ελέγχου.

9.2.2 Μεταλλογραφικός έλεγχος

Στις συγκολλήσεις ο μεταλλογραφικός έλεγχος εφαρμόζεται για: τον έλεγχο των συνδέσεων πιστοποίησης των συγκολλητών – χειριστών, τον έλεγχο των δοκιμαστικών συνδέσεων, πειραματικών, που έχουν ως σκοπό τον καθορισμό, της

τεχνολογίας και των παραμέτρων εκτέλεσής τους, την ανάλυση των ελαττωμάτων συγκόλλησης και των αιτιών δημιουργίας τους, τον καθορισμό των αιτιών της αβαρίας της κατασκευής, τον τελικό έλεγχο των συνδέσεων συγκολλητών κατασκευών σε δοκίμια, οι οποίες εκτελέστηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες που ελέγχεται η κατασκευή ή σε δοκίμια επιλεγμένα άμεσα από την ελεγχόμενη κατασκευή (σπάνια εφαρμόζεται). Οι μεταλλογραφικοί έλεγχοι διαιρούνται σε: μακροσκοπικοί και μικροσκοπικοί.

Μακροσκοπικός έλεγχος. Ο μακροσκοπικός έλεγχος συνίσταται στην παρατήρηση με γυμνό οφθαλμό ή με φακό με μεγέθυνση μέχρι 20 φορές των καταλλήλως προετοιμασμένων δοκιμίων ή αντικειμένων. Προετοιμασία των δοκιμίων. Η επιφάνεια του δοκιμίου που κόβεται, προορισμένη για έλεγχο, επεξεργάζεται μηχανικά σε πλάνη ή σε φρεζομηχανή σε τέτοιο βάθος, ώστε να αφαιρεθούν οι ανωμαλίες που προέκυψαν από τη μηχανική κοπή ή να αφαιρεθεί το στρώμα αλλαγμένης δομής, εξαιτίας της επίδρασης της θερμότητας από τη θερμική κοπή με καυστήρα οξυγόνου – ασετιλίνης. Στη συνέχεια, το δοκίμιο λειαινεται σε δίσκο τριβής, προσέχοντας να μην υπερθερμανθεί η επιφάνεια και διαδοχικά με σμυριδόπανα ελαττωμένης κοκκομετρίας πρ 3, 2, 1, 0 ή 120, 240. Η μακροσκοπική παρατήρηση περιλαμβάνει όλη τη συγκολλητή σύνδεση κόλληση, ζώνη σύντηξης, ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά, μητρικό υλικό και επιτρέπει τον καθορισμό: του αρχικού χαρακτήρα κρυστάλλωσης, την ποιότητα σύντηξης του μετάλλου της κόλλησης, το πλάτος της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά, τη δομή του μητρικού υλικού και τα μακρό ελαττώματά της ως αποδεικτικό της μακροσκοπικής παρατήρησης που διενεργείται είναι η φωτογραφική μηχανή, προσαρμοσμένη στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο μεγέθυνσης μέχρι 20 φορές.

Μικροσκοπικός έλεγχος. Ο μικροσκοπικός έλεγχος συνίσταται στην παρατήρηση με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο καταλλήλως προετοιμασμένων δοκιμίων, με μεγέθυνση 50 φορές – 2000 φορές ή μεγαλύτερη. **Προετοιμασία δοκιμίων.** Στην πρώτη φάση γίνεται όπως για τους μακροσκοπικούς ελέγχους. Μετά τη λείανση σε σμυριδόπανα με κοκκομετρία 3, 2, 1, 0 το δοκίμιο λειαινεται με όλο και με πιο ψιλά σμυριδόπανα με κοκκομετρία 2/0, 3/0, 4/0 και, ενδεχομένως, με 5/0 (άλλες αντιστοιχίες: 320, 400, 600 και 800). Στη συνέχεια, το δοκίμιο στιλβώνεται. Εφαρμόζονται τρία είδη στιλβωσης: μηχανική, ηλεκτρολυτική, χημική. Για τη φανέρωση της δομής προσβάλλεται το δοκίμιο με κατάλληλα αντιδραστήρια. Η μικροσκοπική παρατήρηση της συγκολλητής σύνδεσης επιτρέπει τον καθορισμό: του

τύπου της δομής της κόλλησης, της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά και του μητρικού υλικού, του είδους εμφανιζόμενων δομικών στοιχείων, της διάταξης και του μεγέθους, όπως και των εμφανιζόμενων ελαττωμάτων στη συγκολλητή σύνδεση. Η αναγνώριση της δομής επιτρέπει τον καθορισμό μεταξύ άλλων: της προσεγγιστικής περιεκτικότητας του άνθρακα στο μητρικό υλικό και στα διάφορα τμήματα της χαλύβδινης συγκόλλησης (κόλλησης), των προσανατολιστικών μηχανικών ιδιοτήτων της κόλλησης, της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά και του μητρικού υλικού, τις προσεγγιστικές συνθήκες συγκόλλησης και την ταχύτητα στερεοποίησης της κόλλησης και της ΖΕΘ, του είδους θερμικής κατεργασίας που εφαρμόστηκε μετά τη συγκόλληση. Εμφανιζόμενα ελαττώματα στη συγκολλητή σύνδεση: μη μεταλλικά εγκλείσματα (καθορίζονται σε μη προσβεβλημένο δοκίμιο), οξειδία, οξίδια, θειικά, πυριτικά, μικροπόροι μικρορηγματώσεις (ενδοκρυσταλλικές ή περικρυσταλλικές), ατελείς τήξεις, καψίματα, χονδρόκοκοι χαρακτηριστική κατάσταση του υπερθερμαινόμενου χάλυβα, ανθρακοχάλυβες χαμηλού άνθρακα, με ψιλό περλίτη και βελονοειδή φερρίτη, που χαρακτηρίζει την κατάσταση χαλύβων ταχείας ψύξης, υποβαφή της κόλλησης και της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά στους χάλυβες αυξημένης ποσότητας άνθρακα και στους κραματωμένους χάλυβες, γήρανση της κόλλησης και του μητρικού υλικού στους ανθρακοχάλυβες με χαμηλό άνθρακα, τους ημικαθησυχασμένους καθίζηση οξειδίων, οξιδίων και τριτογενούς σεμεντίτη, διαφορισμός δομικών στοιχείων τοπική εξανθράκωση ή ενανθράκωση, κάψιμο μερικών στοιχείων, καθίζηση επιβλαβών φάσεων, μείωση της ανθεκτικότητας στη διάβρωση των ωστενιτικών χαλύβων, εξαιτίας καθίζησης των καρβιδίων του χρωμίου στα σύνορα των κόκκων (ιδιαίτερα στη ΖΕΘ).

9.3 Χημικός έλεγχος

Ο χημικός έλεγχος περιλαμβάνει την εκτέλεση χημικών αναλύσεων του μητρικού υλικού ή της κόλλησης για ποσοστιαία περιεκτικότητα στοιχείων, όπως: C, Mn, Si, P, S (για τους ανθρακοχάλυβες) και επιπροσθέτως: Cr, Ni, Ti, Cn, V, W, Co για τους κραματωμένους χάλυβες. Οι έλεγχοι αυτοί διενεργούνται κατά την παραλαβή ή τον έλεγχο χαλύβων για συγκολλητές κατασκευές (μεταξύ άλλων για τον καθορισμό της συγκολλητότητας, καθώς και για την παραλαβή ή τον έλεγχο πρόσθετων υλικών ανάλυση του εναποτιθέμενου υλικού. Τα δοκίμια για τη χημική

ανάλυση επιλέγονται με μορφή αποβλήτων (γρεζιών), συνήθως με διάτρηση του ελεγχόμενου εξαρτήματος της σύνδεσης (σπανιότερα με πλάνισμα ή τórνευση). Πριν τη διάτρηση η δεδομένη θέση πρέπει να καθαρισθεί καλά από τις διάφορες ακαθαρσίες. Η ποσότητα των επιλεγμένων αποβλήτων για τους ανθρακοχάλυβες είναι τουλάχιστον 15 G, ενώ για τους κραματωμένους 30 G. Οι αναλύσεις εκτελούνται από ειδικά χημικά εργαστήρια, σύμφωνα με τις μεθόδους που προβλέπονται από ανάλογες προδιαγραφές.

9.4 Έλεγχος στη διάβρωση

Οι έλεγχοι στη διάβρωση διενεργούνται για την εξακρίβωση της ανθεκτικότητας στην επιφανειακή διάβρωση ή στην περικρυσταλλική των συγκολλητών συνδέσεων, εκτελεσμένων συνήθως από ανοξείδωτους ή οξύμαχους χάλυβες. Ο έλεγχος στην επιφανειακή διάβρωση διενεργείται συνήθως με την τοποθέτηση δοκιμίων σε κατάλληλο αντιδραστήριο επιλεγμένο, ανάλογα με το είδος του διαβρωτικού μέσου που έρχεται σε επαφή με τη δεδομένη κατασκευή σε καθορισμένη θερμοκρασία και σε σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα γενικά από 7-32 ημέρες. Από την απώλεια της μάζας των δοκιμίων μετά τη δοκιμασία, σε σχέση με τη μάζα τους πριν τη δοκιμασία ή με βάση την ελάττωση της εγκάρσιας διάστασης των δοκιμίων, είναι δυνατόν να προκύψει συμπέρασμα για την εντατικότητα της διάβρωσης, η οποία καθορίζεται ως μέση ταχύτητα διάβρωσης V εκφραζόμενη σε:

$$\left(\frac{G}{m^2 (24h)} \right) \left(\frac{mm}{\text{έτος}} \right)$$

Ο έλεγχος στην περικρυσταλλική διάβρωση διενεργείται συνήθως ως επιταχυνόμενος: α) σε διάλυμα θειικού οξέος σε κατάσταση βρασμού, με προσθήκη θειικού χαλκού 24-72[h] β) σε αζωτούχο συμπυκνωμένο διάλυμα σε κατάσταση βρασμού 24[h]. Η εκτίμηση για το βαθμό της περικρυσταλλικής διάβρωσης των ελεγχόμενων δοκιμίων, σύμφωνα με τον τρόπο α) γίνεται με βάση τις δοκιμασίες σε κάμψη, καθώς και με μικροσκοπικό έλεγχο στην εγκάρσια διατομή, ενώ η εκτίμηση για το βαθμό διάβρωσης των ελεγχόμενων δοκιμίων στο διάλυμα β) γίνεται με βάση τη μέση ταχύτητα διάβρωσης V ή με βάση τη δοκιμασία κάμψης εάν η $V > 36[\text{gr}/\text{m}^2]$ 24ώρου ή τα δοκίμια θραύονται με γωνίες μικρότερες απ' ό,τι τα αρχικά δοκίμια, τότε ο χάλυβας θεωρείται μη ανθεκτικός στην περικρυσταλλική διάβρωση.

