

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : Συγκολλήσεις – Ποιοτικός έλεγχος



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Δαφνής Δ. Γεώργιος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Χατζηφωτίου Φ. Θωμάς

Μηχανολόγος Μηχανικός MSc

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2012

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : Συγκολλήσεις – Ποιοτικός έλεγχος

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Δαφνής Δ. Γεώργιος

ΑΜ : 4221

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

29-06-2012

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συγκολλήσεις είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία των μηχανολογικών κατασκευών. Μαζί με τις κοχλιώσεις είναι οι σημαντικότερες μορφές συνδέσεων. Για αυτό τον λόγο η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με τις συγκολλήσεις και τον ποιοτικό τους έλεγχο. Για καλύτερη κάλυψη του τομέα των συγκολλήσεων η εργασία χωρίζεται σε τρία ανεξάρτητα κεφάλαια και κλείνει με ένα γενικότερο κεφάλαιο συμπερασμάτων.

Το πρώτο κεφάλαιο λειτουργεί δίκην εισαγωγής και έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τις συγκολλήσεις. Αφού γίνει μια αναφορά σε γενικά στοιχεία των συγκολλήσεων όπως το τι είναι και γιατί χρησιμοποιούνται ακολουθεί μια ιστορική αναφορά. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην συγκολλητικότητα των υλικών και παρουσιάζονται τα υλικά και τα αέρια που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια κατηγοριοποίηση των συγκολλήσεων βάσει της ενέργειας που δίδεται στα υλικά ώστε να συγκολληθούν και γίνεται εκτεταμένη αναφορά στα κύρια χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας. Στο τρίτο κεφάλαιο, μετά από μια γενική αναφορά περί ποιοτικού ελέγχου γίνεται ενδελεχής ανάλυση του ποιοτικού ελέγχου στις συγκολλήσεις. Τέλος, η εργασία κλείνει με τον επίλογο στον οποίο καταγράφονται τα συμπεράσματα που προέρχονται από αυτή.

ABSTRACT

Welding is one of the most important elements of mechanical processes. Along with screwing are the major types of the connections. For this reason this thesis will deal with the welding and quality control. For the best coverage of the field of welding this thesis is divided into three separate chapters. At the end, a fourth chapter is the conclusion.

The first chapter operates by way of introduction and aims to present the welds. Once a reference to general aspects of welding such as what is the welding it follows a historical reference. Then refer to the adhesion of materials presented materials and gases used in welding and refer to symbolism of the welding.

In the second chapter there is a classification of welding and makes extensive reference to the main characteristics of each class. In the third chapter, after a general reference on quality control is thorough analysis of quality control in welding. Finally, the thesis closes with an epilogue in which placed the conclusions of this.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι συγκολλήσεις εντάσσονται στις μηχανικές κατεργασίες των συνδέσεων. Είναι η μέθοδος συνδέσεως που έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια, εκτοπίζοντας τις λυόμενες συνδέσεις. Αυτό βέβαια λαμβάνει χώρα όπου δεν απαιτείται η ύπαρξη λυόμενων συνδέσεων. Είναι πολύ χρήσιμες γιατί βοηθούν στην συνένωση τεμαχίων, κυρίως μεταλλικών, έτσι ώστε να κατασκευαστούν πολυπλοκότερες μεταλλικές κατασκευές.

Η εξέλιξη στην τεχνολογία των συγκολλήσεων είναι αλματώδης. Συνεχώς αναπτύσσονται νέες τεχνικές. Αυτό γίνεται για να μειωθούν τα μειονεκτήματά τους και να αυξηθούν τα πλεονεκτήματά τους ώστε να εφαρμόζονται σε όλο και περισσότερες σταθερές συνδέσεις. Για αυτό και με την πορεία των ετών εμφανίζονται ανθεκτικότερες συγκολλήσεις με αυξημένη αντοχή σε δύσκολα περιβάλλοντα, με την απαίτηση λιγότερου κολλητικού υλικού, πιο εμφανίσιμες και με πολλά άλλα βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

Η βελτίωση των συγκολλήσεων αύξησε κατά πολύ την χρήση τους. Τις συναντούμε σε πλειάδα εφαρμογών, από τις πιο απλές έως και τις πιο πολύπλοκες. Συγκολλήσεις έχουν τα μεταλλικά τραπέζια, έχουν οι μεταλλικές συσκευές όπως το ψυγείο, έχουν τα αυτοκίνητα, τα αεροπλάνα, τα πλοία. Το χρησιμοποιούμενο εύρος των συγκολλήσεων είναι αχανές. Βάσει αυτού είναι αντιληπτό και το νόημα της παρούσας εργασίας η οποία στοχεύει στην γενική παρουσίαση των συγκολλήσεων και των χαρακτηριστικών τους.

Λόγω της πολύ μεγάλης εφαρμογής τους, αλλά και ειδικότερα της εφαρμογής τους σε αντικείμενα τα οποία απαιτούν υψηλή ασφάλεια (όπως για παράδειγμα τα αεροπλάνα) οι συγκολλήσεις πρέπει να ελέγχονται έτσι ώστε να επιβεβαιώνεται καταρχήν η σωστή εκτέλεσή τους και κατά δεύτερον η καλή τους κατάσταση άρα και η αντοχή τους στην πορεία των ετών. Ο έλεγχος των συγκολλήσεων εντάσσεται στην γενικότερη κατηγορία του ποιοτικού ελέγχου.

Ο ποιοτικός έλεγχος είναι μια κατηγορία της μηχανολογίας η οποία ασχολείται με τον έλεγχο των κατασκευών και των παραγόμενων προϊόντων. Βάσει και του ονόματός του ελέγχει την ποιότητα των κατασκευών και των προϊόντων και το κατά πόσο αυτά ανταποκρίνονται στα αρχικά σχέδια και τις απαιτήσεις του σχεδιαστή και ικανοποιούν όλες τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Από ποιοτικό έλεγχο περνούν όλα τα παραγόμενα προϊόντα και οι συγκολλήσεις δεν θα μπορούσαν να αποτελέσουν εξαίρεση, γνωρίζοντας μάλιστα και την σημαντικότητά τους.

Με την τεχνολογική εξέλιξη εμφανίζονται συνεχώς και νέες τεχνικές ποιοτικού ελέγχου των συγκολλήσεων οι οποίες στοχεύουν στην προληπτική εμφάνιση των προβλημάτων και κυρίως χωρίς να χρειαστεί να καταστρέψουν τις συγκολλήσεις για να δουν τα προβλήματά τους. Αυτές οι μέθοδοι, μαζί με άλλες μεθόδους που ελέγχουν την συγκόλληση μετά την καταστροφή της, τα

χαρακτηριστικά τους και οι διαδικασίες που ακολουθούν είναι το δεύτερο τμήμα με το οποίο θα ασχοληθεί η παρούσα εργασία.

Εν τέλει η παρούσα εργασία στοχεύει στην καταγραφή του χώρου των συγκολλήσεων στην εποχή μας και των τάσεων που ακολουθεί. Στον χώρο των συγκολλήσεων συμπεριλαμβάνουμε τόσο την διαδικασία για την δημιουργία τους όσο και τον έλεγχο για την ποιότητα τους. Στόχος μας είναι να καταγράψουμε την τεχνολογική πρόοδο του τομέα των συγκολλήσεων και να προβλέψουμε τα επόμενά του βήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

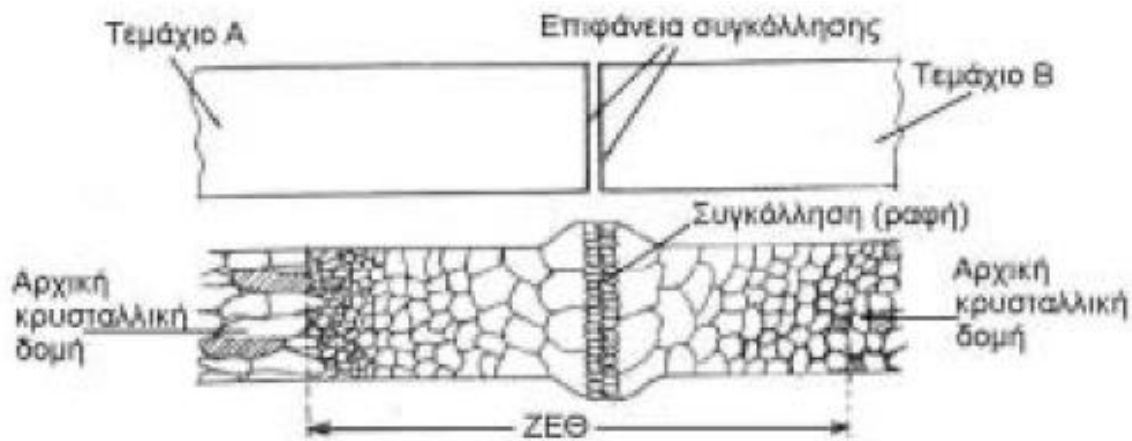
1.1 Γενικά

Οι συγκολλήσεις είναι μέρος της κατηγορίας των συνδέσεων διαφόρων τεμαχίων. Σε όλες τις τεχνολογικές εφαρμογές απαιτούνται (σχεδόν πάντα) οι συνδέσεις διαφόρων τεμαχίων ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν, το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ειδικά στις μεταλλικές εφαρμογές είναι σχεδόν πάντα απαραίτητες οι συγκολλήσεις ώστε να κατασκευαστεί ένα μηχάνημα, ένα μεταλλικό προϊόν, ένα μεταλλικό κτίριο και πολλά άλλα. Οι σημαντικότερες μέθοδοι σύνδεσης είναι τέσσερις, οι ακόλουθες:

- Κοχλιώσεις.
- Ηλώσεις.
- Κολλήσεις.
- Συγκολλήσεις.

Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν οι συνδέσεις (κατά βάση μεταλλικών τεμαχίων) με την μέθοδο των συγκολλήσεων. Οι συγκολλήσεις είναι μόνιμες συνδέσεις τεμαχίων οι οποίες επιτυγχάνονται μέσω θερμότητας ή πίεσης ή και των δύο. Είναι συνήθως κρυσταλλικές δηλαδή υπάρχει κρυσταλλική σύνδεση των δύο τεμαχίων που δημιουργεί εν τέλει ένα ενιαίο τεμάχιο. Η συγκόλληση μπορεί να είναι είτε σημειακή, δηλαδή σε ένα σημείο των δύο τεμαχίων είτε με ραφή δηλαδή σε όλο το μήκος ένωσης των δύο τεμαχίων ή μέρος του μήκους ένωσης των δύο τεμαχίων.

Κατά την διαδικασία αυτή δημιουργείται μια ζώνη συγκόλλησης η οποία φέρει την ονομασία ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά – ΖΕΘ. Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει την συγκόλληση (ραφή) και τις γειτονικές προς την συγκόλληση περιοχές των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων οι οποίες επηρεάζονται από την θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την συγκόλληση. Η μεταβολή στην κρυσταλλική δομή συντελείται σε όλη την ΖΕΘ εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας αλλά είναι σαφώς πιο έντονη στην περιοχή κοντά στην ραφή αφού είναι πολύ πιο υψηλή η θερμοκρασία. Η έκταση της ΖΕΘ και το είδος της κρυσταλλικής μεταβολής εξαρτώνται από το υλικό και την θερμοκρασία συγκόλλησης. Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία συγκόλλησης τόσο μεγαλύτερη είναι και η ΖΕΘ. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί φαίνεται η κρυσταλλική μεταβολή τόσο στην ραφή όσο και στο υπόλοιπο τμήμα της ΖΕΘ. Παρατηρείται η εντονότερη μεταβολή στο κέντρο όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω.



Σχήμα 1: Μεταβολή κρυσταλλικής δομής των συγκολλημένων τεμαχίων στην ΖΕΘ ^[1]

Κάθε μια από τις παραπάνω τέσσερις μεθόδους συνδέσεως μεταλλικών τεμαχίων έχει μια σειρά πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που την καθιστά ιδανική για κάποιες εφαρμογές και μη επιθυμητή για κάποιες άλλες. Τα πλεονεκτήματα των συγκολλήσεων είναι αρκετά για αυτό και βρίσκουν ευρύτατες εφαρμογές. Κυριότερο εξ αυτών είναι ότι δημιουργεί συνδέσεις αντοχής. Εκτός αυτού όμως υπάρχουν και άλλα όπως για παράδειγμα το ότι η σύνδεση είναι χαμηλού βάρους, πιο ελαφριά, το ότι η σύνδεση έχει καλή εμφάνιση με αποτέλεσμα να επιθυμείται για μέρη που φαίνονται, το ότι έχει χαμηλό κόστος γιατί τόσο τα υλικά όσο και οι μηχανές που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλού κόστους και το ότι υπάρχει η δυνατότητα να εκτελεστούν αυτόματα, με ρομποτισμό χωρίς παρουσία ανθρώπου, κάτι που τις κάνει ιδανικές για βιομηχανικές εφαρμογές καθώς μειώνει το κόστος παραγωγής και ανεβάζει κατακόρυφα την ποιότητα. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα των συγκολλήσεων τα καθιστούν ιδανικές για πάρα πολλές εφαρμογές συνδέσεων. Στόχος των συγκολλήσεων είναι το τελικό τεμάχιο να έχει την ίδια αντοχή με τα αρχικά τεμάχια.

Δυστυχώς όμως οι συγκολλήσεις δεν είναι άμοιρες μειονεκτημάτων. Πρώτο και ίσως μεγαλύτερο είναι το ότι αποτελούν μόνιμες συνδέσεις, δεν υπάρχει η δυνατότητα για να αποκόλληση και επανασυγκόλληση. Αυτό τις καθιστά μη επιθυμητές για σύνδεση τεμαχίων τα οποία πρέπει να συνδέονται και να αποσυνδέονται. Το δεύτερο πολύ μεγάλο μειονέκτημα τους είναι ότι για να επιτευχθεί η συγκόλληση απαιτείται τα δύο κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι είτε από το ίδιο είτε από παρεμφερές υλικό. Αυτό καθιστά αδύνατη την σύνδεση τεμαχίων από διαφορετικά υλικά με συγκόλληση.

Βάσει των παραπάνω παρατηρούμε ότι οι συγκολλήσεις είναι μια από τις κυριότερες κατηγορίες συνδέσεων. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα επιχειρηθεί μια ιστορική αναδρομή στις συγκολλήσεις. Ακολούθως θα αναφερθούμε στην συγκολλητικότητα των υλικών, τα υλικά και τα αέρια που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις, τους διεθνώς αναγνωρισμένους συμβολισμούς των

συγκολλήσεων και εν τέλει στα προβλήματα που προκύπτουν από τις συγκολλήσεις και την ασφάλεια του συγκολλητή. ^{[1],[3]}

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η συγκόλληση ως κατεργασία σύνδεσης των υλικών εμφανίστηκε από αρχαιοτάτων χρόνων. Ενδείξεις για την ύπαρξη συγκολλήσεων παραπέμπουν στην χρήση τους ακόμη και πριν από το 4000 π. Χ. Η πρώτη καταγεγραμμένη αναφορά συγκόλλησης υπάρχει στην Παλαιά Διαθήκη όπου ένα τεχνίτης κατασκεύαζε εργαλεία από την σφυρηλάτηση σε καμίνι μπρούτζου και σιδήρου. Η συγκόλληση αυτή ονομάζεται και συγκόλληση χύτευσης και ιστορικά είναι η πρώτη μορφή συγκόλλησης. Η χρήση της συγκόλλησης στα χρόνια προ του 1000 π.Χ. γινόταν κυρίως από τους αρχαίους Αιγυπτίους. Αρχαιολογικά ευρήματα δείχνουν ότι οι αρχαίοι Αιγύπτιοι συγκολλούσαν κομμάτια σιδήρου για να φτιάξουν κυρίως εργαλεία.

Στην αρχαία Ελλάδα έγιναν πάρα πολλές τεχνολογικές ανακαλύψεις έτσι η συγκόλληση δεν θα μπορούσε να μην είχε χρησιμοποιηθεί. Ο πρώτος Έλληνας που χρησιμοποίησε τις συγκολλήσεις στις κατασκευές του ήταν ο Γλαύκος από την Χίο, περίπου στο 700 π.Χ. Στην αρχαιότητα όμως οι συγκολλήσεις ήταν σε δεύτερη μοίρα. Επικρατούσες συνδέσεις ήταν οι ηλώσεις οι οποίες είναι ιδανικές για ξύλινες κατασκευές και η πλειοψηφία των κατασκευών στην αρχαιότητα ήταν οι ξύλινες.

Για χρόνια η τεχνολογία των συγκολλήσεων έμεινε στάσιμη και η χρήση τους περιορισμένη καθώς επικρατούσαν οι ξύλινες κατασκευές και κατά συνέπεια οι ηλώσεις. Οι συγκολλήσεις γνώρισαν πραγματική ανάπτυξη μετά το 1800 μ.Χ. Το 1865, στην Αγγλία η οποία ήτο στο κέντρο της βιομηχανικής επανάστασης, γίνονται τα πρώτα βήματα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Προτού γίνει κατορθωτή η ηλεκτροσυγκόλληση προηγήθηκαν σειρά επιστημονικών ανακαλύψεων. Ο Alexander Volta, ιταλός φυσικός ο οποίος μελέτησε ευρύτατα τον ηλεκτρισμό κοντά στο 1800, παρατήρησε ότι είναι δυνατό να τηχθούν μέταλλα με την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Την ίδια εποχή ο Humphrey Davy, που μεταξύ άλλων ανακάλυψε την ασετιλίνη, διατύπωσε την θεωρία ανάπτυξης ηλεκτρικού τόξου μεταξύ δύο ηλεκτροδίων άνθρακα. Το 1856 ο Άγγλος James Joule κατάφερε να τήξει για πρώτη φορά μέταλλο με την χρήση ηλεκτρισμού. Και φτάνουμε στο 1865 όπου ο επίσης Άγγλος Wilde επιτυγχάνει για πρώτη φορά να συγκολλήσει τεμάχια σιδήρου με ηλεκτροσυγκόλληση.

Ακολούθως η εξέλιξη των συγκολλήσεων ήτο ραγδαία. Το 1881 ο Γάλλος Auguste de Meritens καταφέρνει να συγκολλήσει τεμάχια μολύβδου και το 1886 καθιερώνει ως διαδικασία συγκόλλησης την συγκόλληση με χρήση ηλεκτρικού τόξου. Ενδιάμεσα, το 1885, συνεργάτες του καταφέρνουν να πετύχουν την πρώτη ραφή συγκόλλησης χρησιμοποιώντας βέργα ως προστιθέμενο

υλικό. Ένα χρόνο αργότερα, το 1887, καταγράφεται η πρώτη παραγωγική διαδικασία στην οποία χρησιμοποιήθηκε η συγκόλληση. Ήταν στην Αγγλία και ήταν διαδικασία παραγωγής βαρελιών και μεταλλικών επίπλων.

Έκτοτε ανακαλύφθηκαν διάφορα άλλα είδη συγκολλήσεων. Το 1890 ο Hans Zerner ανέπτυξε μια νέα μέθοδο συγκόλλησης κατά την οποία το ηλεκτρικό τόξο, με την χρήση ενός μαγνήτη, ωθούταν προς το προς συγκόλληση μέταλλο και την βέργα. Το ίδιο έτος ο Tomson ανέπτυξε την συγκόλληση διά αντιστάσεων. Επίσης το 1890, ο Coffin, στις ΗΠΑ, ανακάλυψε την συγκόλληση GTAW αφού κατάφερε για πρώτη φορά να μεταφέρει το τηγμένο υλικό από την βέργα κατά μήκος του τόξου, προς την ραφή. Το 1901 πραγματοποιείται για πρώτη φορά οξυγονοκόλληση με καύση ενός μίγματος υγρού ακετυλενίου και οξυγόνου. Το 1903 ο Goldsmidt, στην Έσση της Γερμανίας, ανακαλύπτει την συγκόλληση με την χρήση θερμότη, δηλαδή ενός μίγματος οξειδίων του σιδήρου και ρινισμάτων αλουμινίου. Το 1907 ο Bernados εφευρίσκει την συγκόλληση με την χρήση σκουριάς ενώ το 1909 ο Schonner παράγει το πρώτο τόξο πλάσματος.

Η όλο και μεγαλύτερη χρήση των συγκολλήσεων οδήγησε στην μαζική παραγωγή και των απαιτούμενων για αυτές μηχανημάτων. Έτσι, το 1912, στις ΗΠΑ, η εταιρία Lincoln ξεκινάει για πρώτη φορά την μαζική παραγωγή και πώληση μηχανών ηλεκτροσυγκόλλησης. Ακολούθησε το 1920 η ευρεία παραγωγή του απαιτούμενη για την συγκόλληση εξαρτήματος δηλαδή ηλεκτροδίων, σιδηρούχων ή μη σιδηρούχων. Έκτοτε οι συγκολλήσεις πήραν τον δρόμο τους και ξεκίνησε η παραγωγή όλο και περισσότερων πλήρως συγκολλητών προϊόντων. Χαρακτηριστικά, το 1920 παράγεται στην Σουηδία το πρώτο πλήρως συγκολλημένο πλοίο.

Τα επόμενα ιστορικά βήματα των συγκολλήσεων αφορούν την ανακάλυψη νέων μεθόδων συγκόλλησης έτσι ώστε να βελτιωθούν οι συγκολλήσεις. Το 1926 γίνονται οι πρώτες προσπάθειες συγκόλλησης με προστασία αδρανούς αερίου. Συγκεκριμένα, στις ΗΠΑ, οι Hobart και Devers χρησιμοποιούν ήλιο και αργό αντίστοιχα στις συγκολλήσεις τους. Το 1930, και πάλι στις ΗΠΑ, ο Robinooff παρουσιάζει την συγκόλληση βυθιζόμενου τόξου. Το 1940 ο Meredith ανακαλύπτει την συγκόλληση με μη αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αδρανούς αερίου, την επονομαζόμενη GTAW. Το 1950 καθιερώνεται ως μέθοδος συγκόλλησης η GMAW δηλαδή η συγκόλληση με συνεχή τροφοδοσία γυμνού σύρματος η οποία ανακαλύφθηκε το 1948. Το 1950 ανακαλύπτεται η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων από τον Γάλλο πυρηνικό επιστήμονα Stohr. Το 1957 ο Gage εφευρίσκει την συγκόλληση με χρήση πλάσματος. Την δεκαετία του 1960 γίνεται η πρώτη συγκόλληση με χρήση ακτίνας laser. Το 1991 εμφανίζεται από την TWI η συγκόλληση με τριβή. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται όλο και πιο εξελιγμένες τεχνολογίες συγκόλλησης από τις οποίες φαίνεται να είναι πιο σημαντικές η συγκόλληση με μαγνητικούς παλμούς, η συγκόλληση Mig – Brazing και η συγκόλληση CMT. [8], [9]

1.3 Συγκολλητικότητα υλικών

Η συγκολλητικότητα είναι μια από τις πάρα πολλές ιδιότητες που χαρακτηρίζει κάθε υλικό. Είναι η σημαντικότερη ιδιότητα που αφορά την συγκόλληση, εξ' ου και η ονομασία της. Ως ιδιότητα εκφράζει την ικανότητα των υλικών να συγκολλούνται ή όχι. Η ιδιότητα αυτή επηρεάζεται κυρίως από δύο στοιχεία, την χημική σύνθεση των υλικών και την κρυσταλλική δομή των υλικών. Για παράδειγμα τα κράματα χαλκού (εξαιρούνται οι ορείχαλκοι με υψηλό ποσοστό ψευδαργύρου) και αλουμινίου (με εξαίρεση αυτά που φέρουν πάνω από 5% μαγνήσιο) έχουν υψηλή συγκολλητικότητα άρα μπορούν να συγκολληθούν πολύ εύκολα.

Τα σημαντικότερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες εφαρμογές είναι τα κράματα σιδήρου – άνθρακα. Αυτά είναι κατά βάση χάλυβες και χυτοσίδηροι, κράματα που βρίσκουν ευρύτατες εφαρμογές. Οι χάλυβες είναι τα κράματα σιδήρου – άνθρακα που έχουν περιεκτικότητα άνθρακα έως και 2,5%, συνήθως όμως κάτω από 0,8%. Οι χυτοσίδηροι είναι κράματα σιδήρου – άνθρακα με περιεκτικότητα άνθρακα κοντά στο 3% έως 4%. Αυτά τα κράματα συγκολλούνται;

Η απάντηση για τους ανθρακούχους χάλυβες είναι ότι κάποιοι συγκολλούνται και κάποιοι άλλοι όχι. Η συγκολλητικότητα των χάλυβων εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα. Χάλυβες με χαμηλά ποσοστά άνθρακα παρουσιάζουν υψηλή συγκολλητικότητα και συγκολλούνται εύκολα. Χαμηλά ποσοστά άνθρακα σε ένα χάλυβα θεωρούνται αυτά που είναι κάτω από το 0,25%. Αντίθετα, χάλυβες με υψηλά ποσοστά άνθρακα, μεγαλύτερα από το 0,25%, παρουσιάζουν μικρή συγκολλητικότητα και πρακτικά δεν συγκολλούνται παρά μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες. Στην περίπτωση που γίνει προσπάθεια για συγκόλληση χάλυβα με υψηλό ποσοστό άνθρακα περιοχές της ραφής της συγκόλλησης υφίστανται βαφή με αποτέλεσμα να χάνουν την μηχανική τους αντοχή και να ψαθυροποιούνται. Οι ειδικές συνθήκες που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι κυρίως η προθέρμανση. Η θερμοκρασία προθέρμανσης εξαρτάται φυσικά από την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα. Εάν η περιεκτικότητα φτάσει έως και το 0,8% (όριο για τους χάλυβες) τότε απαιτείται θερμοκρασία προθέρμανσης της τάξεως των 425°C.

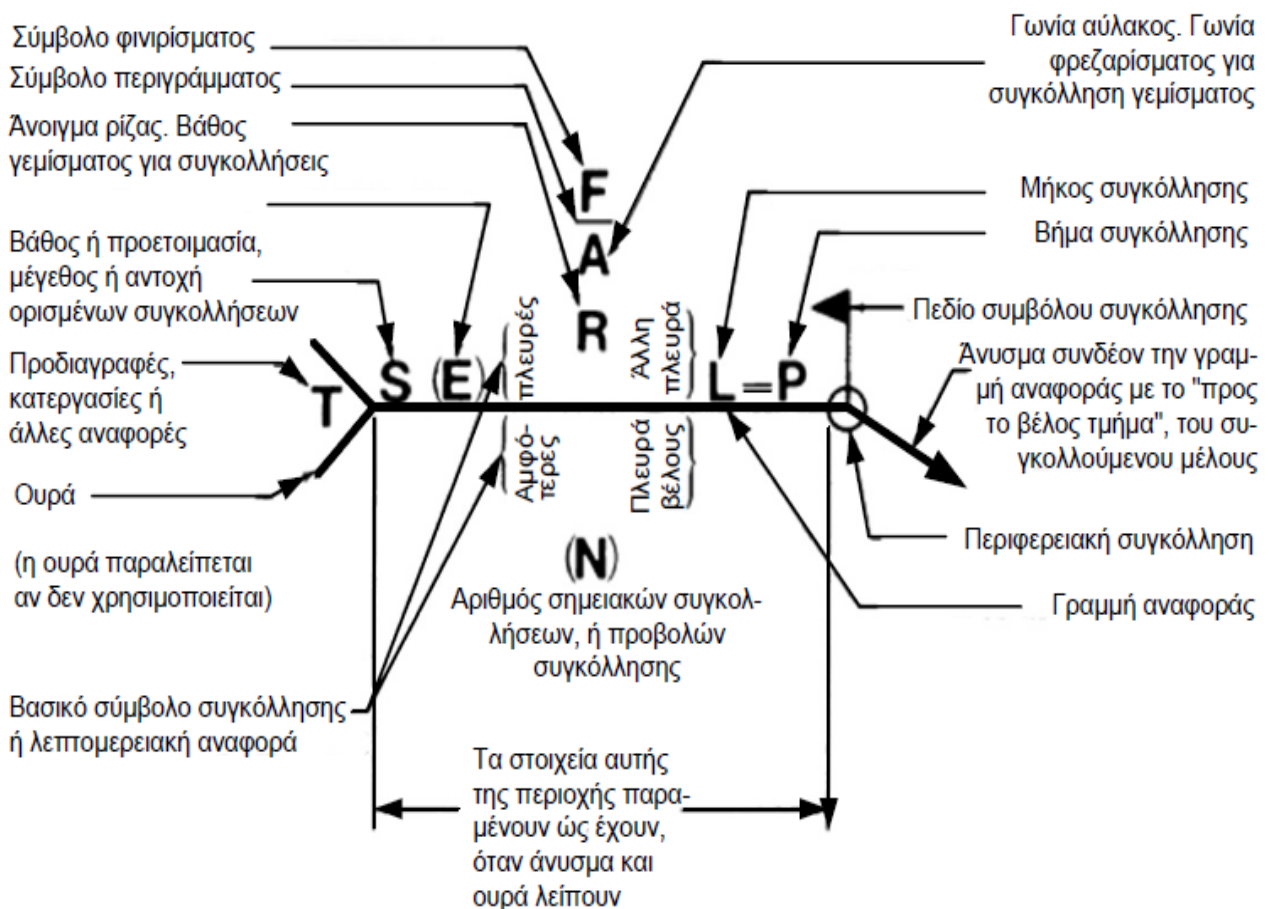
Οι χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο, μαγγάνιο, θείο, φωσφόρο παρουσιάζουν μικρή συγκολλητικότητα και δεν μπορούν να συγκολληθούν εύκολα. Η συγκόλλησή τους απαιτεί την ύπαρξη ειδικών συνθηκών. Αντίθετα, οι χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε χαλκό, νικέλιο, χρώμιο, μολυβδαίνιο και βανάδιο παρουσιάζουν υψηλή συγκολλητικότητα και συγκολλούνται εύκολα. Πρόβλημα συγκόλλησης σε αυτούς τους χάλυβες εμφανίζεται μόνο όταν η συνολική ποσότητα των προσμίξεων ξεπεράσει το 10%. Βάσει όλων όσων έχουν προαναφερθεί έχει δημιουργηθεί ο πίνακας 1 ο οποίος παρουσιάζει την συγκολλητικότητα των κυριότερων κραμάτων σιδήρου άνθρακα. ^{[1], [4]}

Πίνακας 1: Συγκολλητικότητα κραμάτων σιδήρου – άνθρακα^[4]

Κατηγορία υλικού	Εύκολη συγκόλληση	Συγκόλληση σε ειδικές συνθήκες
Κοινοί χάλυβες κατασκευών	St33, St34, St37, St42, St46, St52	St50, St60, St70
Χάλυβες επιβελτιώσεως	C22, Ck22, 25CrMo4	-
Χάλυβες ενανθράκωσης	C10, Ck10, C15, Ck15	Όσοι έχουν προσθήκες Cr, Ni, Mo
Χυτοχάλυβες	Όσοι έχουν άνθρακα μικρότερο του 0,25% και άθροισμα προσθηκών μικρότερο του 10%	Ανοξείδωτοι χάλυβες
Χυτοσίδηροι	Λευκοί μαλακτικοποιημένοι	Όλοι οι υπόλοιποι χυτοσίδηροι

1.4 Συμβολισμοί συγκολλήσεων

Ο σχεδιασμός των συγκολλήσεων σε ένα μηχανολογικό σχέδιο είναι τυποποιημένος γιατί έχει ως στόχο να είναι αντιληπτός από κάθε μηχανολόγο μηχανικό που θα πάρει στα χέρια του το σχέδιο ανεξαρτήτως εάν γνωρίζει ή όχι την εφαρμογή του. Τυποποιήσεις στον σχεδιασμό των συγκολλήσεων υπάρχουν αρκετές αλλά η κυριότερη που χρησιμοποιείται τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ είναι η τυποποίηση της AWS (American Welding Society). Ο συμβολισμός των συγκολλήσεων βάσει της τυποποίησης της AWS απεικονίζεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Συμβολισμός συγκολλήσεων κατά AWS ^[5]

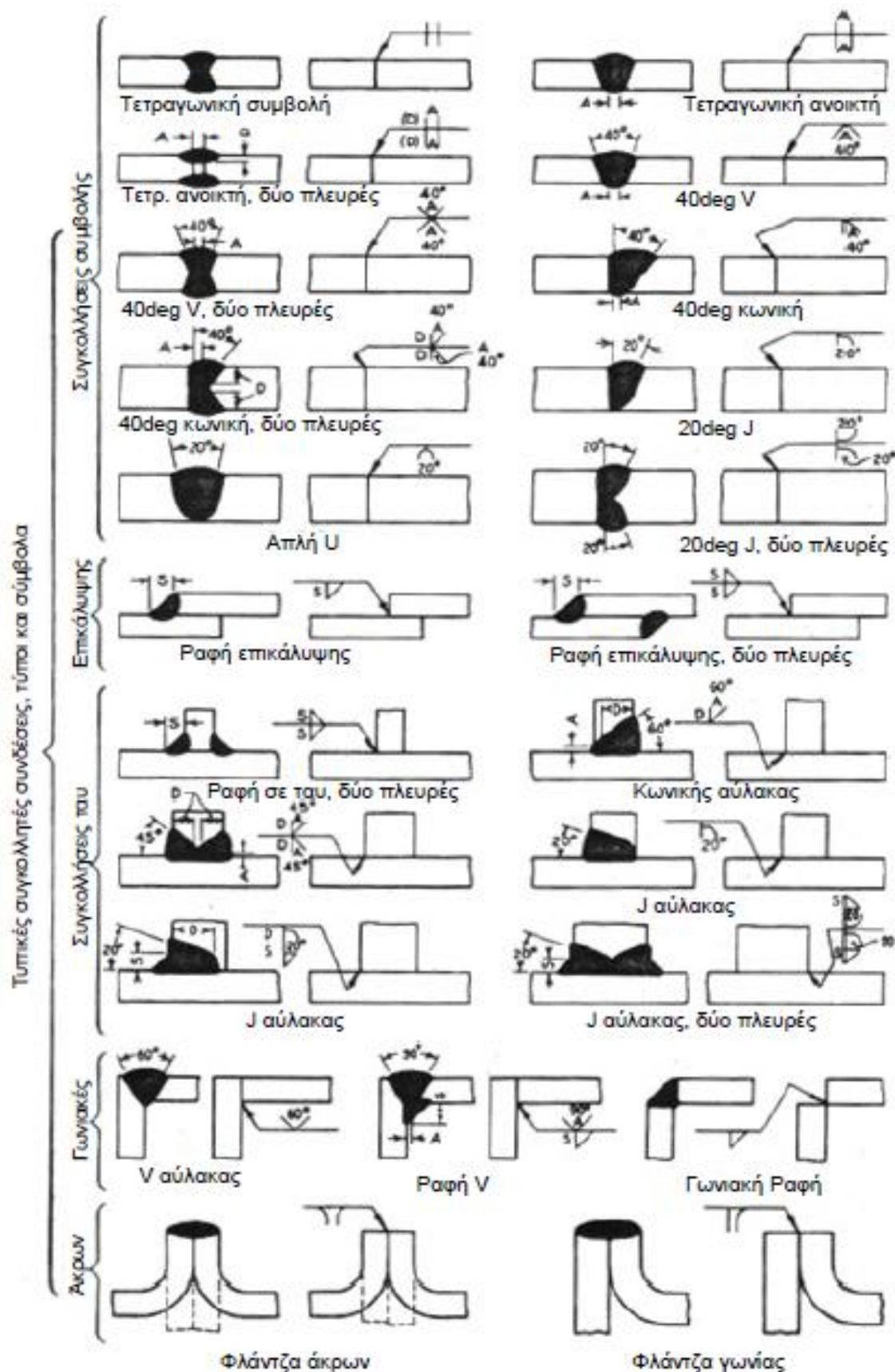
Όπως διακρίνουμε στο σχήμα 2 οι συμβολισμοί των συγκολλήσεων αποτελούνται από τα ακόλουθα 8 μέρη:

1. Γραμμή αναφοράς.
2. Βέλος.
3. Βασικά σύμβολα συγκολλήσεων.
4. Διαστάσεις και λοιπά στοιχεία.
5. Συμπληρωματικά στοιχεία.
6. Σύμβολα φινιρίσματος.
7. Ουρά.
8. Προδιαγραφές, κατεργασίες και λοιπές αναφορές.










Το πρώτο στοιχείο της συγκεκριμένης τυποποίησης είναι η γραμμή αναφοράς, η οριζόντια γραμμή. Εκεί πάνω αναγράφονται συγκεκριμένοι συμβολισμοί οι οποίοι περιγράφουν τον τύπο, την θέση, τις διαστάσεις και το περίγραμμα της συγκόλλησης. Επίσης είναι δυνατό να αναγραφούν και διάφορα άλλα στοιχεία της συγκόλλησης που η αναγραφή τους κρίνεται σκόπιμη από τον σχεδιαστή. Η γραμμή της συγκόλλησης καταλήγει πάντα σε ένα βέλος το οποίο υποδεικνύει την τοποθεσία της συγκόλλησης στα προς συγκόλληση τεμάχια. Από την άλλη άκρη η γραμμή αναφοράς της συγκόλλησης καταλήγει σε μια ουρά η οποία αναλόγως του σχήματός της υποδεικνύει τις κατεργασίες συγκόλλησης και κοπής που θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης στην ουρά μπορούν να καταγραφούν οι προδιαγραφές της συγκόλλησης, το πρωτόκολλο της συγκόλλησης και διάφορες άλλες συμπληρωματικές πληροφορίες τις οποίες κρίνει σκόπιμο να καταγράψει ο σχεδιαστής έτσι ώστε ο συγκολλητής να μπορέσει να «διαβάσει» το σχέδιο και να εκτελέσει σωστά την συγκόλληση.








Η θέση των συμβολισμών σε σχέση με την γραμμή αναφοράς της συγκόλλησης υποδεικνύουν και την θέση της συγκόλλησης σε σχέση με την θέση των προς συγκόλληση τεμαχίων που δείχνει το βέλος. Εάν το σύμβολο της συγκόλλησης βρίσκεται κάτω από την γραμμή αναφοράς αυτό συνεπάγεται ότι η συγκόλληση θα εκτελεστεί στην πλευρά του βέλους. Εάν το σύμβολο της συγκόλλησης βρίσκεται πάνω από την γραμμή αναφοράς αυτό σημαίνει ότι η συγκόλληση θα εκτελεστεί στην άλλη πλευρά από αυτή που υποδεικνύει το βέλος. Τέλος, εάν το σύμβολο συγκόλλησης βρίσκεται και πάνω και κάτω από την γραμμή αναφοράς τότε η συγκόλληση θα εκτελεστεί και από τις δύο πλευρές. Τα επόμενα δύο σχήματα τοποθετούνται για να γίνουν κατανοητοί οι συμβολισμοί των συγκολλήσεων. Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται όλοι οι συμβολισμοί που σχετίζονται με το σχήμα της ραφής. Σε αυτό το σχήμα είναι διακριτή και η θέση της συγκόλλησης σε σχέση με το βέλος, όπως έχει προαναφερθεί. Στο σχήμα 4 καταγράφονται όλα τα σχετικά με την συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου σύμβολα. Εκτενέστερη αναφορά για αυτή θα






γίνει στο επόμενο κεφάλαιο και αυτό θα καταστήσει περισσότερο κατανοητούς τους συμβολισμούς που φαίνονται σε αυτό το σχήμα. [2], [5]



Σχήμα 3: Συμβολισμοί συγκολλήσεων αναλόγως του σχήματος της ραφής τους και της τοποθέτησης των προς συγκόλληση τεμαχίων [5]

Γωνιακή συγκόλληση	Επικάλυψης ή εισδοχής	Σημειακή συγκόλληση	Συγκόλληση Συρραφής	Συγκόλληση ράχης	Τήξη σε όλο το πλάτος	Συγκόλληση επιφανειακή	Φλάντζας	
							Άκρο	Γωνίας
								

Συγκόλληση συμβολής ή αύλακας						
Τετράγωνη	Συγκ. V	Κωνική	Συγκ. U	Συγκ. J	Φλόγα V	Φλόγα κωνική
						

Βασικοί συμβολισμοί συγκολλήσεων τόξου ή αερίων				
Περιφερειακή συγκόλληση	Σημαία προς την ουρά, πεδίο συγκόλλησης	Περίγραμμα		
		Επίπεδο	Κυρτό	Κοίλο
				

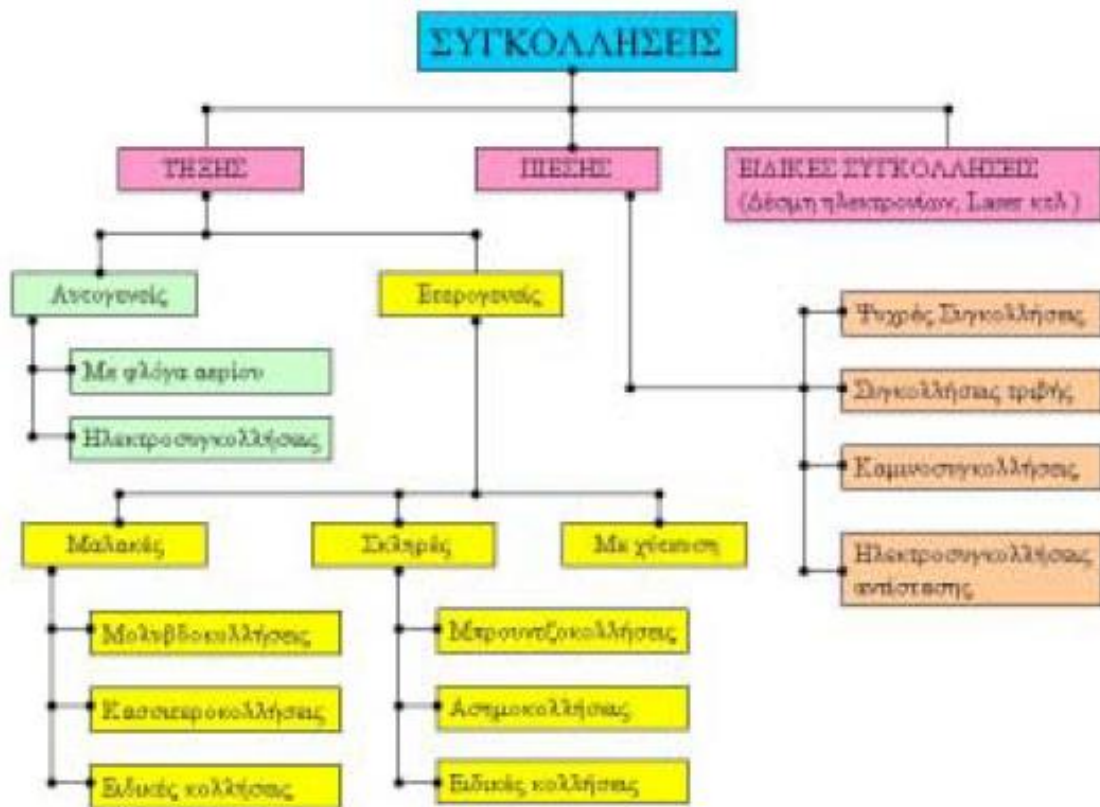
Σχήμα 4: Συμβολισμοί συγκολλήσεων που αφορούν την συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου ^[5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΔΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

2.1 Γενικά στοιχεία

Οι συγκολλήσεις κατηγοριοποιούνται με πάρα πολλά κριτήρια. Η πιο σημαντική κατηγοριοποίησή τους όμως είναι αυτή που γίνεται με κριτήριο τον τρόπο συγκόλλησης δηλαδή εάν χρησιμοποιείται θερμότητα ή πίεση για την συγκόλληση των μεταλλικών τεμαχίων. Με αυτό το κριτήριο δημιουργούνται τρεις κατηγορίες συγκολλήσεων, οι συγκολλήσεις τήξης, οι συγκολλήσεις πίεσης και οι ειδικές συγκολλήσεις. Στις συγκολλήσεις τήξης χρησιμοποιείται θερμότητα για να επιτευχθεί η συγκόλληση των τεμαχίων. Στις συγκολλήσεις πίεσης χρησιμοποιείται πίεση για να επιτευχθεί η συγκόλληση των τεμαχίων. Στις ειδικές συγκολλήσεις η συγκόλληση δεν επιτυγχάνεται ούτε με την χρήση θερμότητας ούτε με την χρήση πίεσης αλλά με άλλες μεθόδους όπως για παράδειγμα με την χρήση δέσμης laser ή με την χρήση ηλεκτρονίων. Η πλέον χρησιμοποιούμενη κατηγορία είναι οι συγκολλήσεις τήξης. Η κάθε κατηγορία από αυτές διαχωρίζεται σε πολλές άλλες επιμέρους κατηγορίες που φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 2.^{[1], [4]}



Σχήμα 5: Κατηγοριοποίηση συγκολλήσεων ^[1]

2.2 Συγκολλήσεις τήξης

Οι συγκολλήσεις τήξης είναι η κατηγορία των συγκολλήσεων που για να πραγματοποιηθούν απαιτείται η χρήση θερμότητας. Η θερμότητα είναι τέτοιας ποσότητας ούτως ώστε η θερμοκρασία των προς συγκόλληση τεμαχίων στα σημεία τα οποία θα γίνει η συγκόλληση να φτάσει έως την θερμοκρασία τήξης των μετάλλων. Αυτό έχει ως συνέπεια την σημειακή τήξη των δύο τεμαχίων έτσι τα τετηγμένα μόρια του ενός εισχωρούν στα τετηγμένα μόρια του άλλου. Αυτό οδηγεί, μετά την ψύξη τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε κρυσταλλική σύνδεση των δύο τεμαχίων με αποτέλεσμα την μόνιμη σύνδεσή τους. Βάσει των παραπάνω είναι προφανές ότι το όνομα της η συγκεκριμένη κατηγορία το οφείλει στην χαρακτηριστική τήξη των προς συγκόλληση τεμαχίων που λαμβάνει χώρα.

Οι συγκολλήσεις τήξης μπορούν να πραγματοποιηθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η τήξη των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων στην θέση στην οποία θα γίνει η συγκόλληση. Η συγκόλληση επιτυγχάνεται με την κρυσταλλική συνένωση των δύο τετηγμένων μετάλλων. Προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι τα τεμάχια να είναι από μέταλλο ή κράμα της ίδιας ή έστω παρόμοιας χημικής σύστασης έτσι ώστε να υπάρχει τήξη στην ίδια θερμοκρασία και κρυσταλλική συνένωση.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η τήξη των δύο προς συγκόλληση μετάλλων στην θέση συγκόλλησης με την ταυτόχρονη τήξη ενός τρίτου υλικού το οποίο φέρει την ονομασία συγκολλητικό υλικό ή απλούστερα κόλληση. Η κόλληση στοχεύει να γεμίσει το διάκενο έτσι ώστε κατά την ψύξη να συγκολλήσει τα δύο υλικά. Στην δεύτερη μέθοδο κατά την οποία υπάρχει τήξη κόλλησης και υλικών το τελικό αποτέλεσμα είναι η κρυσταλλική συνένωση και των τριών υλικών. Προϋπόθεση για να επιτευχθεί αυτή η κόλληση είναι τα δύο κομμάτια να είναι από μέταλλο ή κράμα ίδιας ή παρόμοιας χημικής σύστασης αλλά και η κόλληση να είναι από μέταλλο ή κράμα ίδιας ή παρόμοιας χημικής σύστασης.

Ο τρίτος τρόπος συγκόλλησης τήξης είναι η τήξη μόνο της κόλλησης. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει η θερμοκρασία που θα αναπτυχθεί να είναι τέτοια ώστε να μην επιφέρει τήξη και των προς συγκόλληση τεμαχίων. Αυτό απαιτεί την χρήση κόλλησης από διαφορετικό υλικό το οποίο θα έχει πολύ μικρότερη θερμοκρασία τήξης από τα δύο προς συγκόλληση τεμάχια. Αυτή η μέθοδος μας επιτρέπει να συγκολλήσουμε και τεμάχια διαφορετικού υλικού, κάτι που δεν επέτρεπαν οι δύο πρώτες.

Βάσει και των παραπάνω μεθόδων συγκόλλησης τήξης αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο πολύ μεγάλες υποκατηγορίες οι οποίες φαίνονται και στο σχήμα 2. Η πρώτη κατηγορία είναι οι αυτογενείς συγκολλήσεις και η δεύτερη κατηγορία είναι οι ετερογενείς συγκολλήσεις. Η διάκρισή

τους γίνεται με βάση την σύσταση των προς συγκόλληση τεμαχίων. Σε περίπτωση που τα προς συγκόλληση τεμάχια έχουν την ίδια σύσταση τότε έχουμε αυτογενείς συγκολλήσεις και μπορούν να γίνουν είτε με την πρώτη είτε με την δεύτερη μέθοδο που παρουσιάσαμε παραπάνω. Σε περίπτωση όμως που τα προς συγκόλληση τεμάχια έχουν διαφορετική σύσταση τότε έχουμε ετερογενείς συγκολλήσεις και μπορούν να γίνουν μόνο με την τρίτη από τις μεθόδους που παρουσιάσαμε νωρίτερα. Στις επόμενες υποενότητες θα γίνει εκτενής αναφορά στις αυτογενείς και τις ετερογενείς συγκολλήσεις και φυσικά στα είδη των συγκολλήσεων που απαρτίζουν αυτές τις υποκατηγορίες.^[1]

2.2.1 Αυτογενείς συγκολλήσεις

Οι αυτογενείς συγκολλήσεις είναι η μεγαλύτερη υποκατηγορία των συγκολλήσεων τήξης. Φέρουν την ονομασία αυτογενείς γιατί προέρχονται από το ίδιο γένος, το ίδιο υλικό. Σε αυτές τα προς συγκόλληση τεμάχια είναι από το ίδιο υλικό ή έστω παρόμοιο. Περιλαμβάνουν ως κατηγορία τόσο τις συγκολλήσεις τήξης δύο τεμαχίων χωρίς την χρήση κόλλησης αλλά μόνο με το τετηγμένο υλικό των δύο όσο και τις συγκολλήσεις τήξης δύο τεμαχίων με την χρήση κόλλησης όπου υπάρχει τήξη τόσο της κόλλησης όσο και των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων.

Η κρυσταλλική σύνδεση των τεμαχίων λαμβάνει χώρα κατά την ψύξη τους. Συγκεκριμένα, το τετηγμένο υλικό των δύο μετάλλων και της κόλλησης εάν υπάρχει αναμιγνύεται καθώς είναι ρευστό. Κατά την ψύξη και την κρυστάλλωση αυτού προκύπτει μια σταθερή σύνδεση και μια ενιαία κρυσταλλική δομή. Με την πλήρη ψύξη της συγκόλλησης έχουμε πλέον ένα σώμα το οποίο περιλαμβάνει τα δύο συγκολλημένα πλέον τεμάχια και την κόλληση εάν έχει χρησιμοποιηθεί. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια στερεή και ισχυρή σύνδεση των δύο τεμαχίων, μια σύνδεση μόνιμη, υψηλής αντοχής.

Έχει ήδη αναφερθεί ότι για να επιτευχθούν οι αυτογενείς συγκολλήσεις απαιτείται σε κάθε περίπτωση η τήξη των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων. Αυτό συνεπάγεται ότι η θερμότητα που θα δοθεί σε αυτά πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αναπτυχθούν θερμοκρασίες που να φτάνουν ακριβώς τις θερμοκρασίες τήξης των προς συγκόλληση μετάλλων. Οι θερμοκρασίες που πρέπει να αναπτυχθούν δεν είναι διόλου ευκαταφρόνητες. Το αντίθετο μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι παρά πολύ υψηλές. Χαρακτηριστική τιμή η θερμοκρασία τήξης του σιδήρου η οποία ξεπερνάει τους 1500°C, ισούται με 1535°C. Ο πίνακας 2 καταγράφει τις απαιτούμενες θερμοκρασίες για την τήξη μερικών από τα πλέον χρησιμοποιούμενα μέταλλα και κράματα. Στην ουσία μας δίνει και την θερμοκρασία που πρέπει να αναπτυχθεί έτσι ώστε να συγκολληθούν αυτά τα μέταλλα και κράματα. Σε κάποια από αυτά υπάρχει εύρος θερμοκρασιών γιατί η θερμοκρασία τήξης εξαρτάται και από τις προσμίξεις τους και τα ποσοστά των προσμίξεών τους στον συνολικό όγκο τους.

Πίνακας 2: Θερμοκρασίες τήξης των ευρέως χρησιμοποιούμενων μετάλλων και κραμάτων ^[1]

Υλικό	Θερμοκρασία [°C]
Σίδηρος	1535
Χάλυβας	1450 – 1530
Χυτοσίδηρος	1150 – 1250
Χαλκός	1083
Μπρούντζος	900
Ορείχαλκος	900 – 1000
Ασήμι	960
Κασσίτερος	230

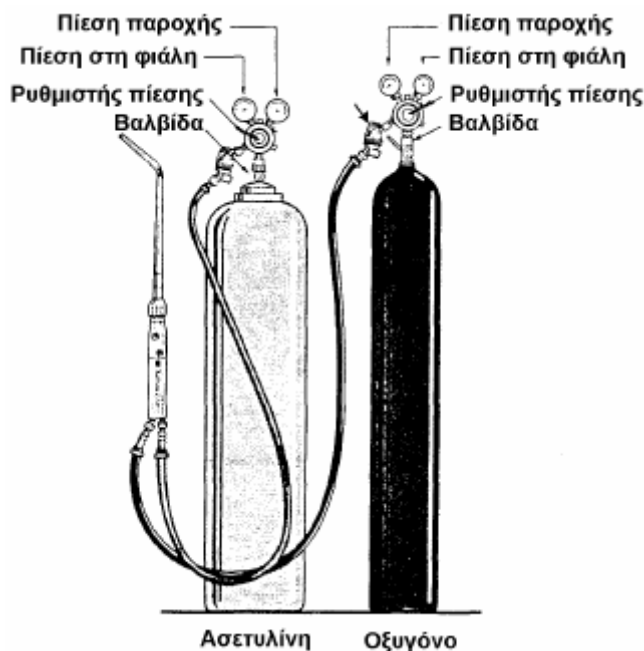
Από τον παραπάνω πίνακα είναι αντιληπτό το πόσο ψηλές θερμοκρασίες απαιτείται να αναπτυχθούν στις αυτογενείς συγκολλήσεις. Για να αναπτυχθούν τέτοιες θερμοκρασίες απαιτείται η χρήση ισχυρών πηγών ενέργειας. Τέτοιες πηγές ενέργειας δεν είναι πολλές. Μια από αυτές είναι η καύση της ασετιλίνης με την χρήση καθαρού οξυγόνου. Αυτή η συγκόλληση ονομάζεται συγκόλληση με οξυγονοασετιλίνη ή πιο απλά οξυγονοκόλληση. Μια δεύτερη πηγή ενέργειας είναι ο ηλεκτρισμός. Συγκολλήσεις που χρησιμοποιούν τον ηλεκτρισμό ως πηγή ενέργειας ονομάζονται ηλεκτροσυγκολλήσεις. Στην απλούστερή τους μορφή μπορούν να γίνουν με παραγωγή ηλεκτρικού τόξου ενώ υπάρχουν και πολλές άλλες εκδοχές τους όπως για παράδειγμα οι ηλεκτροσυγκολλήσεις σε αδρανή ατμόσφαιρα είτε με αντίσταση. Αυτές οι συγκολλήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι οι υποκατηγορίες των αυτογενών συγκολλήσεων και στις επόμενες υποενότητες θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε αυτές. ^{[1], [4]}

2.2.1.1 Συγκόλληση με οξυγονοασετιλίνη

Η συγκόλληση με οξυγονοασετιλίνη ή αλλιώς οξυγονοκόλληση βασίζεται στην καύση της ασετιλίνης για παραγωγής της θερμότητας η οποία θα τήξει τα προς συγκόλληση τεμάχια. Ανήκει στην κατηγορία των αυτογενών συγκολλήσεων και μπορεί να είναι συγκόλληση με προσθήκη κόλλησης ή χωρίς προσθήκη κόλλησης. Ως μέθοδος συγκόλλησης η καύση της ασετιλίνης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Η συγκόλληση με οξυγονοασετιλίνη απαιτεί την καύση της ασετιλίνης C_2H_2 . Η καύση αυτή γίνεται δυνατή με την χρήση καθαρού οξυγόνου. Το οξυγόνο έχει την δυνατότητα να καίει την ασετιλίνη και να διατηρεί την καύση. Χαρακτηριστικά του οξυγόνου είναι ότι είναι αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο. Χαρακτηριστικά της ασετιλίνης είναι ότι επίσης είναι αέριο, άχρωμο, μη τοξικό, εύφλεκτο και με έντονη, δυσάρεστη οσμή. Ως αέρια και τα δύο αποθηκεύονται σε φιάλες υπό πίεση οι οποίες συνήθως, εξαιτίας του ότι χρειάζονται και οι δύο, κυκλοφορούν ως σετ σε ένα αμαξίδιο για την εύκολη μεταφορά τους. Η πίεση αποθήκευσης του οξυγόνου είναι 150 ατμόσφαιρες και η πίεση αποθήκευσης της ασετιλίνης είναι 15 ατμόσφαιρες. Η ασετιλίνη όμως, όπως έχει αναφερθεί είναι εύφλεκτη και υπό πίεση καθίσταται εκρηκτική έτσι στην φιάλη δεν αποθηκεύεται μόνη της αλλά αποθηκεύεται διαλυμένη μέσα σε υγρή ακετόνη. Λόγω του ότι η αποθήκευση είναι υπό πίεση

κάθε φιάλη οφείλει να έχει μετρητή πίεσης. Επίσης οφείλει να έχει βαλβίδα ασφαλείας και ρυθμιστή και μετρητή πίεσης της παροχής έτσι ώστε να καθορίζει ο συγκολλητής πόση ποσότητα από κάθε αέριο θα χρησιμοποιήσει. Στο σχήμα 3 φαίνεται η διάταξη των δύο φιαλών και τα χαρακτηριστικά τους.



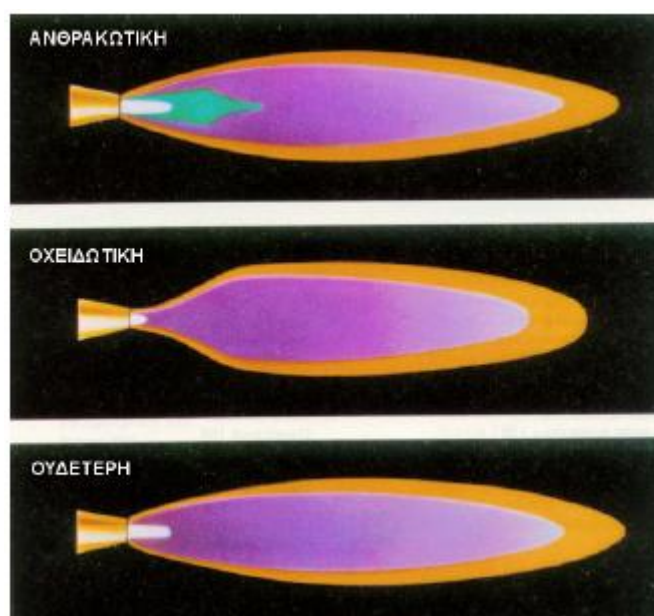
Σχήμα 6: Φιάλες αποθήκευσης ασετυλίνης και οξυγόνου ^[4]

Λόγω του ότι και τα δύο είναι αέρια και μάλιστα άχρωμα για να μπορεί να διακρίνει ο συγκολλητής την ασετυλίνη από το οξυγόνο χρησιμοποιούνται φιάλες διαφορετικού χρώματος. Έχει επικρατήσει η χρήση μπλε φιάλης για την φύλαξη και μεταφορά του οξυγόνου και κίτρινης φιάλης για την φύλαξη και μεταφορά της ασετυλίνης. Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο οι φιάλες δεν είναι βαμμένες ο συγκολλητής μπορεί να ξεχωρίσει πια φιάλη περιέχει το οξυγόνο και πια την ασετυλίνη από τον θόρυβο που θα κάνουν σε ένα ελαφρό κτύπημά τους με μεταλλικό αντικείμενο. Η φιάλη που περιέχει την ασετυλίνη θα κάνει ένα υπόκωφο θόρυβο ο οποίος οφείλεται στο πορώδες υλικό που χρησιμοποιείται για να συγκρατεί την ακετόνη. Αντίθετα η φιάλη που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του οξυγόνου ηχεί έντονα, σαν καμπάνα.

Για να γίνει η συγκόλληση τα αέρια πρέπει να μεταφερθούν από τις φιάλες στο σημείο συγκόλλησης. Η μεταφορά τους γίνεται με την χρήση ελαστικών σωλήνων οι οποίοι έχουν επίσης συγκεκριμένα χρώματα έτσι ώστε ο συγκολλητής να γνωρίζει πιο αέριο χρησιμοποιεί. Συγκεκριμένα, για το οξυγόνο οι ελαστικοί σωλήνες είναι χρώματος μπλε ή γκρι και για την ασετυλίνη είναι χρώματος κόκκινου. Λόγω της πολύ υψηλής πίεσης όμως στην οποία βρίσκονται τα δύο αέρια στις φιάλες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας οι ελαστικοί σωλήνες γιατί θα αστοχήσουν. Έτσι προηγούνται συσκευές, ρυθμιστές πίεσης, οι οποίες στοχεύουν στην μείωση της πίεσης και ονομάζονται μανοεκτονωτές. Στο σχήμα 3 που έχει προηγηθεί φαίνονται οι

μανοεκτονωτές στο επάνω μέρος των δύο φιαλών. Πέραν αυτών απαιτείται ακόμη μια διάταξη ασφαλείας η οποία αποτρέπει την φλόγα που θα παραχθεί στον καυστήρα να επιστρέφει πίσω στις φιάλες. Αυτή η διάταξη αποτελείται από δύο βαλβίδες αντεπιστροφής ή απλούστερα φλογοπαγίδες, έκαστη για κάθε ελαστικό σωλήνα.

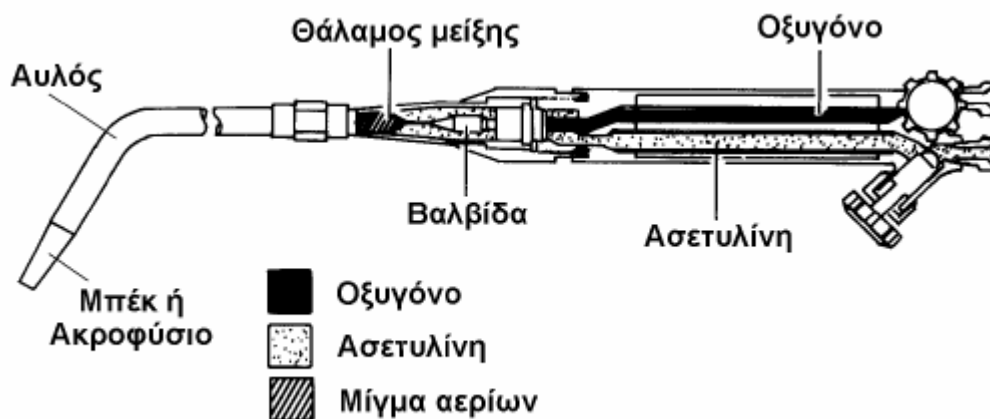
Με το παραπάνω σύστημα είναι δυνατή η μεταφορά των δύο αερίων που πρέπει να καταλήξουν σε ένα σημείο στο οποίο θα συντελεστεί η καύση. Αυτό το σημείο είναι ο καυστήρας. Στην είσοδο του καυστήρα συνδέονται οι δύο ελαστικοί αγωγοί μεταφοράς. Ο χώρος αυτός ονομάζεται και θάλαμος μείξης. Με την συνάντηση των δύο αερίων γίνεται ταυτόχρονα η καύση. Η φλόγα που παράγεται φθάνει στην θερμοκρασία των 3200°C. Η αναλογία του οξυγόνου και της ασετιλίνης που θα βρεθούν στον καυστήρα καθορίζει την ποιότητα της καύσης άρα και της παραγόμενης φλόγας. Σε περίπτωση που υπερτερεί το οξυγόνο η φλόγα είναι οξειδωτική. Σε περίπτωση που υπερτερεί η ασετιλίνη η φλόγα είναι ανθρακωτική. Σε περίπτωση που τα δύο αέρια βρίσκονται στην σωστή αναλογία η φλόγα είναι ουδέτερη. Επιθυμητή είναι η ουδέτερη φλόγα. Ο συγκολλητής μπορεί να αναγνωρίσει από τα χαρακτηριστικά της φλόγας (χρώμα και μορφή) το είδος της φλόγας και αναλόγως να ρυθμίσει τις εισερχόμενες στον καυστήρα ποσότητες οξυγόνου και ασετιλίνης ώστε να πετύχει ουδέτερη φλόγα. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η χαρακτηριστική όψη της φλόγας αναλόγως του είδους της.



Σχήμα 7: Χαρακτηριστική όψη φλόγας ανάλογα με την κατηγορία της ^[4]

Η παραγόμενη φλόγα περνάει διαμέσου ενός αυλού, εξέρχεται από τον καυστήρα μέσω μιας εξόδου, ενός μπεκ και οδηγείται από τον συγκολλητή στα προς συγκόλληση τεμάχια ώστε να τα τήξει. Στην αγορά κυκλοφορούν μπεκ πολλών διαμέτρων αναλόγως της απαίτησης για μεταφορά θερμότητας. Η διάμετρος του μπεκ καθορίζεται από τα ευρωπαϊκά πρότυπα με την χρήση ενός χαρακτηριστικού αριθμού που αναφέρεται στην ωριαία παροχή ασετιλίνης. Στο σχήμα 5

παρουσιάζεται ολόκληρο το σύστημα του καυστήρα, από το σημείο στο οποίο εισέρχονται σε αυτόν οι δύο ελαστικοί αγωγοί έως και το σημείο στο οποίο τελειώνει το μπεκ.



Σχήμα 8: Καυστήρας συγκόλλησης με οξυγονοασετιλίνη ^[4]

Λόγω της μεταφοράς αερίων, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που εμφανίζει η οξυγονοκόλληση είναι η διαρροή των δύο αερίων. Αυτή μπορεί να διαπιστωθεί από μερικά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα η διαρροή του οξυγόνου ακούγεται λόγω της υψηλής πίεσης στην οποία είναι αποθηκευμένο. Αντίστοιχα, η διαρροή της ασετιλίνης γίνεται αντιληπτή από την έντονη μυρωδιά, χαρακτηριστικό της ασετιλίνης. Η επιβεβαίωση της διαρροής γίνεται με την χρήση σαπουνάδας στις συνδέσεις των ελαστικών σωλήνων είτε με τον καυστήρα είτε με την φιάλη. Σε περίπτωση που υπάρχει διαρροή τότε θα εμφανιστούν φυσαλίδες στην σαπουνάδα.

Αυτή είναι ολόκληρη η διαδικασία της οξυγονοκόλλησης, εύκολη, απλή, με χρήση φθηνών πρώτων υλών και φθηνού εξοπλισμού και σχετικά ασφαλής. Για αυτούς τους λόγους βρήκε αρκετές εφαρμογές. Σημαντικότερες από αυτές είναι η συγκόλληση μεταλλικών ελασμάτων, δοκών, ράβδων ή σωλήνων από σκληρά μέταλλα ή κράματα που απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες συγκόλλησης, πάνω από 500°C. Συνήθως χρησιμοποιείται χωρίς να υπάρχει η χρήση κόλλησης αλλά αυτό δεν είναι κανόνας. ^{[1], [4], [7], [10]}

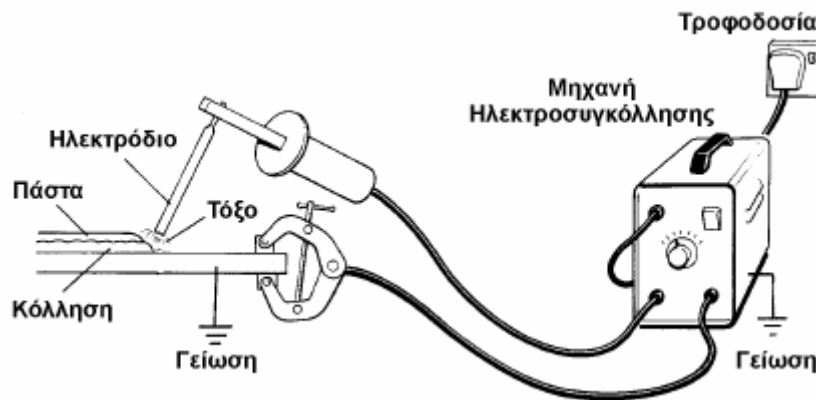
2.2.1.2 Συγκόλληση τόξου – ηλεκτροσυγκόλληση

Η συγκόλληση τόξου ή ευρύτερα γνωστή ως ηλεκτροσυγκόλληση είναι η συγκόλληση που οφείλεται στην δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Το τόξο αυτό δημιουργείται ανάμεσα στα προς συγκόλληση τεμάχια και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο ταυτόχρονα αποτελεί το συγκολλητικό μέσο. Βάσει αυτού, όπως γίνεται αντιληπτό, η συγκόλληση αυτή απαιτεί την ύπαρξη συγκολλητικού μέσου. Ανήκει όμως στις αυτογενείς συγκολλήσεις καθώς τα προς συγκόλληση τεμάχια και τα συγκολλητικά μέσα είναι της ίδιας ή παρόμοιας σύστασης. Το ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται

φέρει τέτοια ποσά ενέργειας ώστε να αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες και να επέλθει τήξη τόσο των προς συγκόλληση τεμαχίων όσο και του συγκολλητικού υλικού.

Για να επιτευχθεί η ηλεκτροσυγκόλληση απαιτείται η χρήση ειδικών μηχανών, των μηχανών ηλεκτροσυγκόλλησης. Οι μηχανές αυτές τροφοδοτούνται είτε με συνεχές είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα και έχουν ως κύριο τους σκοπό την παραγωγή του ηλεκτρικού τόξου. Οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης χαρακτηρίζονται από δύο μεγέθη, από την ένταση του ρεύματος που μπορούν να δώσουν και από την τάση εν κενώ δηλαδή την τάση του ρεύματος για το ξεκίνημα του ηλεκτρικού τόξου. Δυνατότητα ρύθμισης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος υπάρχει από ροοστάτες που βρίσκονται στην μηχανή.

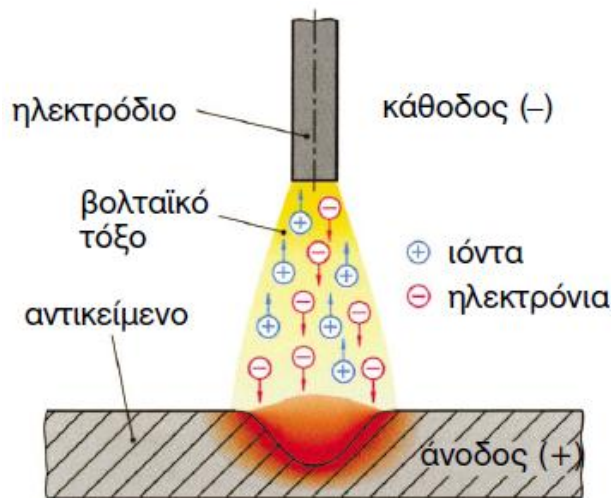
Η παραγωγή του ηλεκτρικού τόξου απαιτεί την σύνδεση και του προς συγκόλληση τεμαχίου και του ηλεκτροδίου με ακροδέκτες που έχουν την αφετηρία τους στην μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης. Με αυτό τον τρόπο το προς συγκόλληση τεμάχιο και το ηλεκτρόδιο είναι αντίθετα φορτισμένα και παράγεται ηλεκτρικό τόξο το οποίο τήκει το ηλεκτρόδιο και πιθανόν να τήκει και μέρος του προς συγκόλληση τεμαχίου. Η διάταξη της ηλεκτροσυγκόλλησης θεωρείται ολοκληρωμένη μόνο όταν προστεθούν οι απαραίτητες γειώσεις ώστε να υπάρχει η ασφάλεια του συγκολλητή από την παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος. Το σχήμα 6 παρουσιάζει μια τυπική διάταξη ηλεκτροσυγκόλλησης.



Σχήμα 9: Τυπική διάταξη ηλεκτροσυγκόλλησης ^[4]

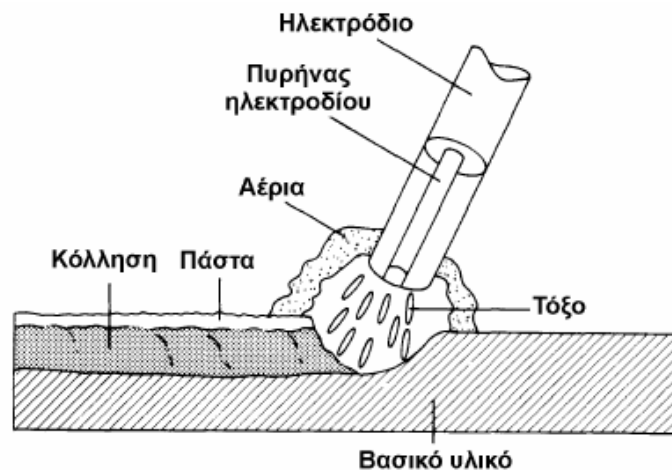
Η έναρξη της διαδικασίας της συγκόλλησης απαιτεί την δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου. Αυτό γίνεται κατορθωτό με μια απλή διαδικασία που ακολουθεί ο συγκολλητής. Αφού συνδέσει τους δύο ακροδέκτες με το ηλεκτρόδιο και το προς κατεργασία τεμάχιο και θέσει σε λειτουργία την μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης τότε χτυπάει ή τρίβει το ηλεκτρόδιο πάνω στο προς συγκόλληση τεμάχιο. Το ηλεκτρόδιο δρα ως κάθοδος, το προς συγκόλληση τεμάχιο ως άνοδος και ξεκινάει η ροή ηλεκτρονίων και ιόντων μεταξύ των δύο. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνει να επιτύχει την δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου. Ακολουθώντας σηκώνει το ηλεκτρόδιο και διατηρεί από εκεί και πέρα μια σταθερή απόσταση έτσι ώστε καθ' όλο το μήκος της ραφής να τήκεται το ίδιο πάχος του

προς συγκόλληση υλικού. Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η ροή ρεύματος στο ηλεκτρικό τόξο. Λόγω του ότι η παραγωγή του ηλεκτρικού τόξου γίνεται χειροκίνητα η γενική μορφή ηλεκτροσυγκόλλησης φέρει την ονομασία MMA (Manual Metal Arc)



Σχήμα 10: Δημιουργία ηλεκτρικού τόξου

Από την στιγμή που παράγεται το ηλεκτρικό τόξο η διαδικασία συγκόλλησης είναι πολύ απλή. Το ηλεκτρικό τόξο μεταφέρει θερμότητα στην περιοχή συγκόλλησης έτσι αναπτύσσονται θερμοκρασίες της τάξεως των 4000°C. Η θερμοκρασία αυτή είναι τόσο υψηλή που το προς συγκόλληση μέταλλο λιώνει, οποιοδήποτε μέταλλο και αν είναι αυτό. Επίσης τήκεται και το ηλεκτρόδιο. Από τα δύο τετηγμένα μέταλλα του προς συγκόλληση υλικού και του πυρήνα του ηλεκτροδίου προκύπτει η ραφή συγκόλλησης. Κατά την τήξη της επένδυσης του ηλεκτροδίου δημιουργείται ένα στρώμα αερίων το οποίο βρίσκεται επάνω από την κόλληση και μια πάστα η οποία βρίσκεται επάνω από την ραφή. Η παραχθείσα πάστα βοηθά στην τήξη του μετάλλου ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει την γρήγορη απόψυξη. Συνέπεια της ύπαρξης της πάστας είναι η αποτροπή της βαφής άρα και της μείωσης της αντοχής της συγκόλλησης. Στο σχήμα 8 φαίνεται η διαδικασία της συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου.



Σχήμα 11: Διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης ^[4]

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της ηλεκτροσυγκόλλησης είναι το ηλεκτρόδιο. Τα συνήθη ηλεκτρόδια, όπως γίνεται αντιληπτό από τα όσα έχουν προαναφερθεί, αποτελούνται από τον πυρήνα και από την επένδυση. Ο πυρήνας τους ο οποίος αναμιγνύεται με το τετηγμένο μέταλλο για την παραγωγή της ραφής είναι συνήθως μαλακός χάλυβας. Εναλλακτικές λύσεις πυρήνα ηλεκτροδίων είναι διάφορα χαλυβοκράματα και χυτοσίδηροι όμως η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις συγκολλήσεων. Η επένδυσή τους η οποία είναι υπεύθυνη για την δημιουργία της πάστας και του στρώματος αερίων είναι συνήθως κράμα διάφορων οργανικών και ορυκτών συστατικών.

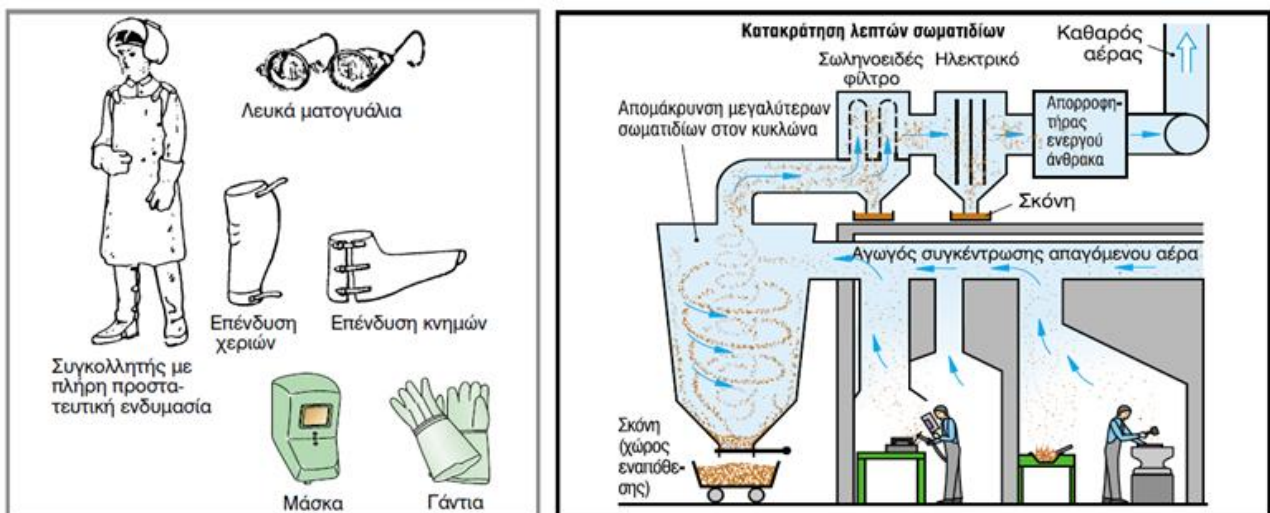
Στην αγορά κυκλοφορούν ηλεκτρόδια διαφορετικού μήκους, διαφορετικής διαμέτρου και διαφορετικού πάχους επένδυσης. Τα στοιχεία τους αυτά έχουν τυποποιηθεί στην ευρωπαϊκή ένωση και αναγράφονται στην ετικέτα της συσκευασίας τους. Η επιλογή του ηλεκτροδίου γίνεται βάσει της έντασης που θα χρησιμοποιηθεί από την μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης και του πάχους του ελάσματος που θα συνδέσει. Όσο αυξάνεται η ένταση του ρεύματος πρέπει να αυξάνεται και η επιλεγμένη διάμετρος και το μήκος του ηλεκτροδίου. Σε σταθερή ένταση όσο αυξάνεται το πάχος του προς συγκόλληση ελάσματος τόσο πρέπει να αυξάνεται και η διάμετρος του ηλεκτροδίου. Σε περίπτωση χρήσης του ίδιου ηλεκτροδίου για συγκόλληση ελασμάτων μεγαλύτερου πάχους πρέπει να αυξηθεί τότε η ένταση του ρεύματος. Ο πίνακας 3 δίδει μερικά χαρακτηριστικά ηλεκτρόδια που πρέπει να χρησιμοποιούνται αναλόγως της επιλεγθείσας έντασης του ρεύματος στην μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά στοιχεία ηλεκτροδίων αναλόγως της έντασης του ρεύματος ^[4]

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

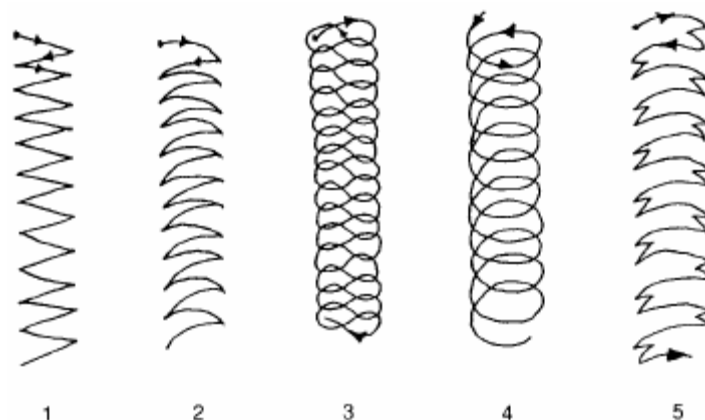
Κατά την διάρκεια της ηλεκτροσυγκόλλησης, εξαιτίας της ύπαρξης του ηλεκτρικού τόξου και της πολύ υψηλής θερμοκρασίας παράγεται έντονη λάμψη η οποία αποτελείται κυρίως από υπέρυθρες και υπεριώδεις ακτινοβολίες. Αυτές οι ακτινοβολίες προκαλούν προβλήματα όρασης στον συγκολλητή και συγκεκριμένα δύναται να καταστρέψουν τον αμφιβληστροειδή του ματιού. Για αυτό τον λόγο ο συγκολλητής απαιτείται να χρησιμοποιεί μια μάσκα της οποίας το γυαλί περιορίζει αυτές τις ακτινοβολίες. Επίσης, εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας πρέπει να

προστατευτούν κυρίως τα χέρια του συγκολλητή αλλά και το υπόλοιπο σώμα από εγκαύματα. Αυτό συνεπάγεται ότι ο συγκολλητής πρέπει να φοράει προστατευτικά γάντια για τα χέρια του και προστατευτική ποδιά για το υπόλοιπό του σώμα. Λόγω της δημιουργίας του στρώματος αερίου περιορίζεται το οξυγόνο στον χώρο της συγκόλλησης. Έτσι, για να διασφαλιστεί η σωστή παροχή οξυγόνου στον συγκολλητή η συγκόλληση πρέπει να λαμβάνει χώρα σε καλά αεριζόμενα δωμάτια ή σε ανοικτούς χώρους το οποίο είναι και προτιμότερο όπου αυτό είναι δυνατό. Στο σχήμα 9 φαίνεται ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός κατά την εκτέλεση της ηλεκτροσυγκόλλησης αριστερά και ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να γίνεται ο αερισμός του χώρου στον οποίο γίνεται η ηλεκτροσυγκόλληση δεξιά. [4], [11]



Σχήμα 12: Στολή συγκολλητή και αερισμός χώρου συγκόλλησης

Οι συνηθέστερες εφαρμογές της ηλεκτροσυγκόλλησης είναι οι μετωπικές ραφές και οι εξωραφές. Οι εξωραφές είναι οι συγκολλήσεις ελασμάτων κάθετων μεταξύ τους. Οι μετωπικές ραφές είναι οι κατά πρόσωπο συνδέσεις ελασμάτων. Αναλόγως του είδους της επιθυμητής ραφής καθορίζεται και η κίνηση του ηλεκτροδίου. Στην εικόνα του σχήματος 10 φαίνονται οι συνηθέστερες κινήσεις ηλεκτροδίου. Από αυτές πιο συχνή είναι η δεύτερη.



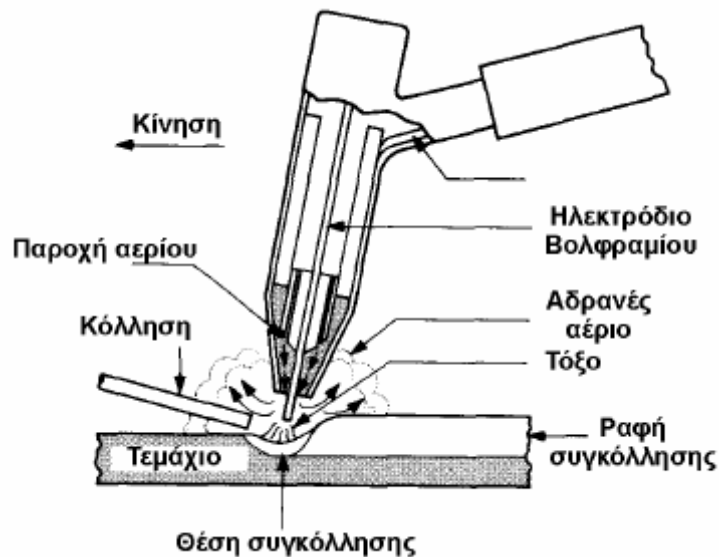
Σχήμα 13: Κινήσεις ηλεκτροδίου [4]

2.2.1.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα

Στην προηγούμενη ενότητα έχει αναφερθεί η προστασία της συγκόλλησης από τον αέρα ώστε να μην μειωθεί η ποιότητά της και για τον λόγο αυτό δημιουργείται πάστα ή υπάρχει παραγωγή προστατευτικών αερίων. Σε αυτή την ενότητα θα δούμε τις συγκολλήσεις οι οποίες χρησιμοποιούν αδρανή αέρια για την προστασία της συγκόλλησης. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται είναι δύο, το αργό και το ήλιο με περισσότερο χρησιμοποιούμενο το πρώτο. Η παρουσία των αερίων στην περιοχή συγκόλλησης συνήθως γίνεται με εξωτερική τροφοδοσία από ένα ακροφύσιο το οποίο βρίσκεται γύρα από το ηλεκτρόδιο. Οι μέθοδοι ηλεκτροσυγκόλλησης με χρήση αδρανών αερίων για μόνωση της συγκόλλησης είναι τρεις, η μέθοδος TIG, η μέθοδος MIG και η μέθοδος MAG.

Οι τρεις μέθοδοι θα παρουσιαστούν στις επόμενες παραγράφους, πρώτα όμως ας δούμε τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι ηλεκτροσυγκολλήσεις σε αδρανή ατμόσφαιρα. Το πρώτο είναι το σταθερό ηλεκτρικό τόξο που έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη συγκόλληση των τεμαχίων. Το δεύτερο είναι η παραγωγή ραφών με υψηλή αντοχή καθώς δεν υπόκεινται σε βαφή ώστε να ψαθυροποιηθούν. Το τρίτο πλεονέκτημα τους είναι η μικρή εμφάνιση παραμορφώσεων λόγω θέρμανσης. Το τέταρτο και τελευταίο πλεονέκτημά τους είναι ο περιορισμός της παραγωγής επιβλαβών αναθυμιάσεων κάτι που κάνει το περιβάλλον συγκόλλησης πολύ φιλικότερο στον συγκολλητή.

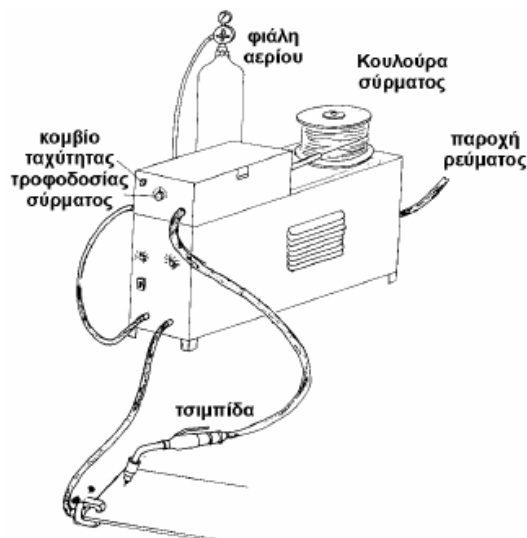
Η μέθοδος TIG (Tungsten Inert Gas) χρησιμοποιεί δύστηκτα ηλεκτρόδια από βολφράμιο με πρόσθετα θορίου και ζirkονίου και το αδρανές αέριο που παράγεται είναι συνήθως το αργό και σπανιότερα το ήλιο ή συνδυασμός των δύο αερίων. Τα ηλεκτρόδια, καθότι δύστηκτα, δεν καταναλίσκονται άρα η μοναδική τους συμμετοχή στην συγκόλληση είναι για την παραγωγή του ηλεκτρικού τόξου για αυτό και επιλέγεται το βολφράμιο ανεξαρτήτως υλικών που θα συγκολληθούν. Λόγω της μη τήξης του ηλεκτροδίου χρησιμοποιείται εξωτερική κόλληση, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Σε περίπτωση που επιλεγεί η χρήση εξωτερικής κόλλησης τότε αυτή πρέπει να είναι όμοιας ή παρόμοιας χημικής σύστασης με τα προς συγκόλληση υλικά βάσει των όσων έχουν προαναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες. Σε περίπτωση που δεν επιλεγεί η χρήση κόλλησης η συγκόλληση επιτυγχάνεται από τα τετηγμένα τμήματα των δύο προς συγκόλληση υλικών τα οποία ψυχόμενα συνδέονται κρυσταλλικά. Για να είναι επιτυχής η συγκόλληση πρέπει τα τεμάχια που θα συγκολληθούν να μην έχουν ακαθαρσίες. Τα κύρια χαρακτηριστικά των συγκολλήσεων που γίνονται με την μέθοδο TIG είναι η εξαιρετική τους ποιότητα και η επίσης εξαιρετική ποιότητα της τελικής τους επιφάνειας. Στο σχήμα 11 φαίνεται η συγκόλληση TIG.



Σχήμα 14: Συγκόλληση TIG ^[4]

Η συγκόλληση MIG (Metal Inert Gas) εκτελείται με την χρήση καταναλισκόμενου ηλεκτροδίου και το αδρανές αέριο που παράγεται είναι και πάλι το αργό και σπανιότερα μίγμα αργού με άλλα αδρανή αέρια. Σε αυτή την περίπτωση, καθότι το ηλεκτρόδιο καταναλώνεται, η επιλογή του υλικού του εξαρτάται από τα υλικά το προς συγκόλληση τεμαχίων. Για την συνεχή τροφοδοσία με ηλεκτρόδιο αυτό βρίσκεται με την μορφή σύρματος σε κουλούρα. Κατά τα άλλα δεν διαφέρει και πολύ από τις απλές ηλεκτροσυγκολλήσεις που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα.

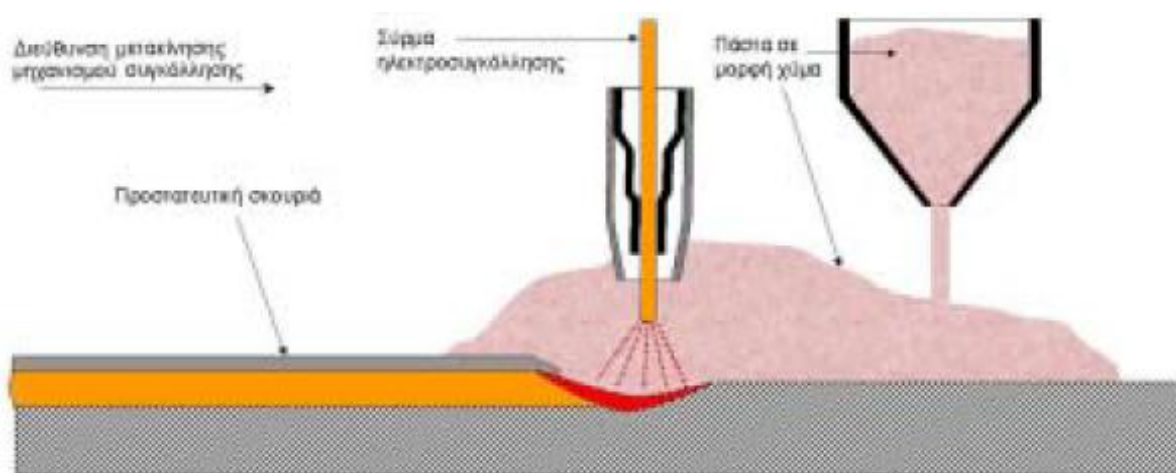
Το ίδιο ισχύει και για την συγκόλληση MAG (Metal Actif GAS) η οποία είναι παρόμοια με την MIG. Μια από τις διαφορές τους είναι το παραγόμενο αδρανές αέριο που είναι συνήθως μίγμα ανθρακικών αερίων και σπανιότερα μίγμα ανθρακικών αερίων και αργού. Το ηλεκτρόδιο και σε αυτή την περίπτωση είναι σύρμα το οποίο συνήθως είναι από μαγγάνιο και πυρίτιο σε συνδυασμό με προσμίξεις άλλων μετάλλων. Στο σχήμα 12 φαίνεται η διάταξη της συγκόλλησης MAG. ^[4]



Σχήμα 15: Συγκόλληση MAG ^[4]

2.2.1.4 Ηλεκτροσυγκόλληση βυθισμένου τόξου

Μια ακόμη κατηγορία ηλεκτροσυγκόλλησης είναι η ηλεκτροσυγκόλληση βυθισμένου τόξου SAW (Submerged Arc Welding). Η συγκόλληση αυτή ονομάζεται έτσι γιατί το ηλεκτρικό τόξο δεν μπορεί να το δει ο συγκολλητής, βρίσκεται βυθισμένο μέσα στην προστατευτική πάστα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η τήξη τόσο του σύρματος όσο και του προς συγκόλληση μετάλλου μέσα στην προστατευτική πάστα. Σε αυτή την συγκόλληση, όπως και στις MAG και MIG, χρησιμοποιείται σύρμα αντί για ηλεκτρόδιο. Έτσι δεν είναι δυνατή η ύπαρξη πάστας ως περιτύλιγμα αφού δεν υπάρχει. Αυτό οδηγεί στην πρόσθεση πάστας χύμα πάνω στην περιοχή στην οποία λαμβάνει χώρα η ηλεκτροσυγκόλληση βυθισμένου τόξου. Η προσθήκη της πάστας γίνεται με την χρήση ενός δεύτερου ακροφυσίου. Τα πλεονεκτήματα αυτής της συγκόλλησης είναι η εξαιρετικά υψηλή ποιότητα της συγκόλλησης και η μη έκλυση αναθυμιάσεων. Το μειονέκτημά της είναι ότι μπορεί να βρει εφαρμογές μόνο σε επίπεδες ραφές συγκόλλησης. Στο σχήμα 13 φαίνεται η τυπική λειτουργία της ηλεκτροσυγκόλλησης βυθισμένου τόξου. ^{[1], [13]}

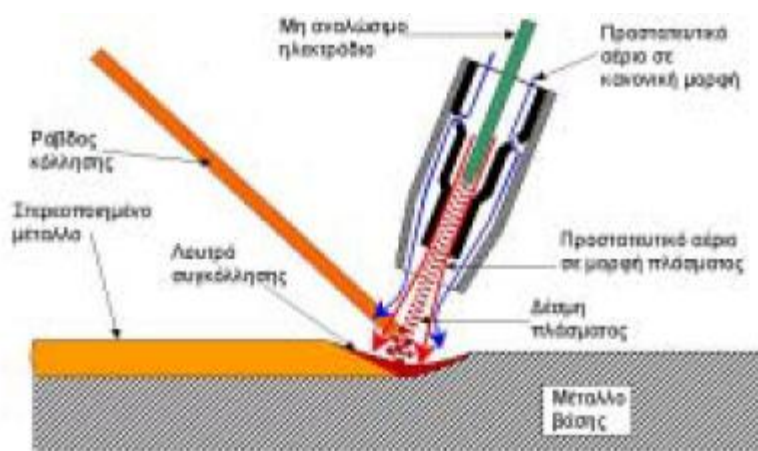


Σχήμα 16: Ηλεκτροσυγκόλληση βυθισμένου τόξου ^[1]

2.2.1.5 Ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος

Η ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος PAW (Plasma Arc Welding) είναι η τελευταία μορφή ηλεκτροσυγκόλλησης και γενικά αυτογενούς συγκόλλησης που θα εξετάσουμε στην παρούσα εργασία. Για να γίνει αντιληπτή αυτή η συγκόλληση πρέπει πρώτα να γίνει αναφορά στον ορισμό του πλάσματος. Ως πλάσμα ορίζονται τα ιονισμένα αέρια σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Βάσει αυτού το ηλεκτρικό τόξο που είδαμε σε όλες τις προηγούμενες ηλεκτροσυγκολλήσεις θεωρείται μια στήλη πλάσματος. Η μόνη διαφορά της συγκεκριμένης κατηγορίας ηλεκτροσυγκόλλησης από τα υπόλοιπα είδη ηλεκτροσυγκολλήσεων είναι ότι το πλάσμα του τόξου εν προκειμένω έχει πολύ στενότερη δέσμη. Ενώ τα τόξα των προηγούμενων κατηγοριών κατέληγαν σε δέσμη διαμέτρου 5 με 10 χιλιοστών το τόξο στην ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος καταλήγει σε δέσμη διαμέτρου 1 έως 2 χιλιοστών. Αυτό έχει ως συνέπεια την δραματική αύξηση της θερμοκρασίας του ηλεκτρικού

τόξου η οποία μπορεί να φτάσει έως και τις 30000 με 35000°C. Αυτή η μέθοδος μοιάζει πολύ με την μέθοδο TIG που προαναφέραμε. Ακόμη ένα κοινό χαρακτηριστικό των δύο είναι ότι και η PAW, όπως και η TIG χρησιμοποιεί μη καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο, το οποίο μάλιστα βρίσκεται εντός του ακροφυσίου για να μην φθείρετε. Αυτό συνεπάγεται την χρήση εξωτερικής κόλλησης. Για την προστασία της συγκόλλησης χρησιμοποιείται προστατευτικό αέριο. Ένα μέρος του προστατευτικού αερίου, αυτό που βρίσκεται πλησιέστερα στην συγκόλληση είναι σε μορφή πλάσματος. Αυτό περικλείεται από το υπόλοιπο τμήμα του προστατευτικού αερίου το οποίο είναι σε κανονική αέρια μορφή. Το πρόβλημα της ηλεκτροσυγκόλλησης πλάσματος είναι το πολύ μεγάλο κόστος του εξοπλισμού της που την κάνει μη ελκυστική. Στο σχήμα 14 παρουσιάζεται η ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος.^[1]



Σχήμα 17: Ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος^[1]

2.2.2 Ετερογενείς συγκολλήσεις

Οι ετερογενείς συγκολλήσεις είναι η δεύτερη μεγάλη υποομάδα των συγκολλήσεων τήξης. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτής της ομάδας των συγκολλήσεων τήξης είναι ότι χρησιμοποιείται κόλληση η οποία είναι υλικό διαφορετικής σύνθεσης από το υλικό των προς συγκόλληση τεμαχίων. Η συγκόλληση στις ετερογενείς συγκολλήσεις γίνεται αποκλειστικά με την χρήση της κόλλησης και χωρίς την τήξη των προς συγκόλληση τεμαχίων. Αυτό συνεπάγεται ότι η κόλληση πρέπει οπωσδήποτε να έχει θερμοκρασία τήξης αρκετά χαμηλότερη από την θερμοκρασία τήξης των προς συγκόλληση μετάλλων.

Η διαδικασία της συγκόλλησης είναι περίπου η ίδια για όλες τις ετερογενείς συγκολλήσεις. Αρχικά θερμαίνονται τόσο τα προς συγκόλληση μέταλλα όσο και η κόλληση. Η θέρμανση μπορεί να γίνει με καμινέτο, με συσκευή προπανίου, ακόμη και με καύση ασετιλίνης ακριβώς όπως και στην οξυγονοκόλληση που παρουσιάσαμε στις αυτογενείς συγκολλήσεις. Με την συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας η κόλληση φθάνει στην θερμοκρασία τήξης της και ρευστοποιείται ενώ τα προς συγκόλληση τεμάχια παραμένουν στερεά. Αυτό έχει ως συνέπεια την εισχώρηση της ρευστής

κόλλησης στους πόρους των επιφανειών των προς συγκόλληση τεμαχίων. Στην συνέχεια ακολουθεί η ψύξη. Όταν ψυχθεί τελείως η κόλληση και επανέλθει μαζί με τα προς συγκόλληση τεμάχια σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος γίνεται κρυσταλλική ένωση μεταξύ της κόλλησης και των τεμαχίων με αποτέλεσμα την στερεή σύνδεσή τους.

Από τα παραπάνω προκύπτει μια πολύ σημαντική απαίτηση για όλες τις ετερογενείς συγκολλήσεις. Η απαίτηση αυτή αφορά την ανάγκη για σχολαστικό καθαρισμό των επιφανειών των προς συγκόλληση μετάλλων. Αυτό είναι απαραίτητο για να επιτευχθεί σωστή κόλληση. Εάν δεν πραγματοποιηθεί τότε αρκετοί από τους πόρους των επιφανειών των υλικών θα είναι κλειστοί από ακαθαρσίες με συνέπεια να μην μπορεί να εισχωρήσει σε αυτούς η ρευστοποιημένη κόλληση. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την χαμηλότερη ποιότητα της συγκόλλησης και την περιορισμένη αντοχή της. Για τον καθαρισμό των επιφανειών των προς συγκόλληση τεμαχίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε χημικά (π.χ καθαριστικά, αντιοξειδωτικά κλπ) είτε μηχανικά μέσα (π.χ. λειαντικοί τροχοί, γυαλόχαρτα κλπ).

Οι ετερογενείς συγκολλήσεις διαχωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες, τις μαλακές συγκολλήσεις, τις σκληρές συγκολλήσεις και την συγκόλληση χύτευσης. Οι μαλακές και οι σκληρές συγκολλήσεις έχουν ως κριτήριο διαχωρισμού την θερμοκρασία τήξης της κόλλησης και θα παρουσιαστούν στις επόμενες υποενότητες. Η συγκόλληση χύτευσης είναι η συγκόλληση κατά την οποία διαφορετικά υλικά λιώνουν, τοποθετούνται σε μια μήτρα και όταν ψυχθούν αποτελούν ένα ενιαίο υλικό. Είναι μια κατηγορία συγκολλήσεων που δεν χρησιμοποιείται πολύ και δεν θα γίνει καμιά περαιτέρω αναφορά σε αυτή.^[1]

2.2.2.1 Μαλακές συγκολλήσεις

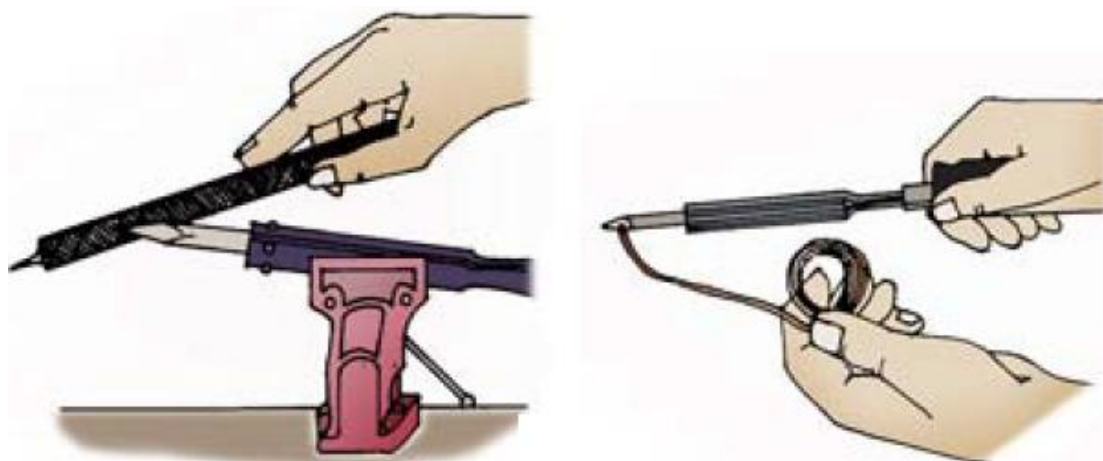
Οι μαλακές συγκολλήσεις είναι η κατηγορία των ετερογενών συγκολλήσεων στις οποίες η θερμοκρασία τήξης της κόλλησης είναι μικρότερη από τους 500°C. Οι συνηθέστερες θερμοκρασίες τήξης της κόλλησης σε αυτές τις συγκολλήσεις είναι της τάξεως των 200°C έως και 300°C. Η απαιτούμενη για την τήξη της κόλλησης θερμοκρασία προέρχεται από θερμότητα παρεχόμενη είτε από καμινέτο είτε από κολλητήριο και σπανιότερα από καύση ασετιλίνης καθώς η θερμοκρασία που απαιτείται είναι μικρή.

Η συνηθέστερη κόλληση που χρησιμοποιείται είναι ένα κράμα κασσίτερου και μολύβδου, και με την προσθήκη ενός πολύ μικρού ποσοστού αντιμονίου, κατά μέγιστο 3,3%. Κάποιες φορές υπάρχουν και άλλα πρόσθετα όπως για παράδειγμα κάδμιο ή βισμούθιο έτσι ώστε να μεταβληθούν κάποιες από τις ιδιότητες της συγκόλλησης. Η συγκόλληση που χρησιμοποιεί αυτή την κόλληση ονομάζεται και κασσιτεροκόλληση. Η σύσταση του κράματος της κόλλησης διαφέρει και επιλέγεται αναλόγως των χαρακτηριστικών που απαιτούνται από την συγκόλληση. Γενικά όμως

θεωρείται ότι όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό του κασσίτερου στην κόλληση τόσο μεγαλύτερη είναι η ρευστότητά της και τόσο μικρότερη η θερμοκρασία τήξης της. Το κράμα αυτό μεταξύ κασσίτερου και μολύβδου που αποτελεί την κόλληση της κασσιτεροκόλλησης συχνά συναντάται κυρίως με την ονομασία καλάι στην αγορά.

Κύρια χρήση των κασσιτεροκολλήσεων είναι η συγκόλληση και η στεγανοποίηση σωλήνων από υδραυλικούς και λευκοσιδηρουργούς. Η μη περαιτέρω χρήση τους και σε άλλες εφαρμογές οφείλεται σε ένα μεγάλο τους μειονέκτημα που είναι η μικρή μηχανική τους αντοχή. Έτσι χρησιμοποιούνται για συγκόλληση σωλήνων με κύριο στόχο την στεγανότητα και όχι την μεταφορά μηχανικών φορτίων. Επίσης, λόγω του ότι το ένα εκ των δύο συστατικών της κόλλησης, ο μολύβδος, είναι δηλητηριώδες απαγορεύεται να χρησιμοποιείται σε συσκευασίες τροφίμων κόλληση με μεγαλύτερη από 10% περιεκτικότητα σε μολύβδο. Απαραίτητος για την επιτυχία της κασσιτεροκόλλησης είναι ο καλός καθαρισμός των προς συγκόλληση επιφανειών.

Στην κασσιτεροκόλληση χρησιμοποιούνται είτε κολλητήρια είτε καμινέτα για την παραγωγή θερμότητας. Τα κολλητήρια αυτά καθ' αυτά χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για να θερμανθεί η μύτη τους. Αντίθετα τα καμινέτα χρησιμοποιούνται για να θερμάνουν την μύτη ενός κολλητηριού που δεν φέρει ηλεκτρική αντίσταση. Η κεφαλή των κολλητηριών και στις δύο περιπτώσεις είναι κατασκευασμένη από χαλκό ο οποίος μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλο ποσοστό θερμότητας και να το μεταφέρει για να λιώσει την κόλληση. Στο σχήμα 15 παρουσιάζονται δύο ειδών κολλητήρια, το αριστερό θερμαίνεται με την χρήση καμινέτου ενώ το δεξιό θερμαίνεται με ηλεκτρική αντίσταση.



Σχήμα 18: Κολλητήρια που χρησιμοποιούνται στην κασσιτεροκόλληση ^[15]

Η κασσιτεροκόλληση δεν είναι η μοναδική μαλακή ετερογενής συγκόλληση. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσεται και η μολυβδοκόλληση. Συνήθως γίνεται χωρίς συγκολλητικό υλικό και χρησιμοποιείται κατά βάση για την συγκόλληση μολύβδινων τεμαχίων. Έτσι ως συγκολλητικό υλικό χρησιμοποιείται το ίδιο υλικό των προς συγκόλληση τεμαχίων. Συνήθως η μολυβδοκόλληση

απαιτεί ύπαρξη υψηλότερων θερμοκρασιών για αυτό και χρησιμοποιείται κυρίως φλόγα υδρογόνου ή προπανίου. [4], [15]

2.2.2.2 Σκληρές συγκολλήσεις

Οι σκληρές συγκολλήσεις είναι η δεύτερη κατηγορία των ετερογενών συγκολλήσεων τήξης. Σε αυτές τις συγκολλήσεις η κόλληση τήκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 500°C. Σε κάποιες από αυτές τις συγκολλήσεις η κόλληση έχει θερμοκρασία τήξης έως και 1100°C. Οι περισσότερες κολλήσεις που χρησιμοποιούνται στις σκληρές συγκολλήσεις είναι κράματα χαλκού. Σε ειδικές περιπτώσεις όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που τα συγκολλημένα τεμάχια θα πρέπει να περάσουν από βαφή τότε χρησιμοποιείται και καθαρός χαλκός ως κόλληση γιατί παρουσιάζει πολύ υψηλό σημείο τήξης (1083°C) με αποτέλεσμα να μην τηχθεί και καταστραφεί η συγκόλληση κατά την βαφή. Οι απαιτήσεις υψηλών θερμοκρασιών τήξης συνεπάγονται την χρήση φλόγας οξυγονοασετιλίνης, φωταερίου και καμινέτων για την παραγωγή της απαιτούμενης θερμικής ισχύος.

Οι σκληρές συγκολλήσεις είναι συνήθως είτε μπρουτζοκολλήσεις είτε ασημοκολλήσεις. Οι μπρουτζοκολλήσεις χρησιμοποιούν ως κόλληση ένα κράμα χαλκού και ψευδαργύρου ενώ σε μικρότερα ποσοστά θα συναντήσουμε και προσθήκες κασσίτερου, αργυρού και νικελίου. Οι προσμίξεις αυτές έχουν ως στόχο να μειώσουν την πολύ υψηλή θερμοκρασία τήξης της αρχικής κόλλησης και να αυξήσουν την ρευστότητά της η οποία ως αποτέλεσμα θα έχει την αυξημένη αντοχή της συγκόλλησης. Η συνηθέστερη κόλληση που χρησιμοποιείται στις μπρουτζοκολλήσεις είναι αυτή που έχει περίπου ίση περιεκτικότητα σε χαλκό και ψευδάργυρο. Μια από τις εφαρμογές της μπρουτζοκόλλησης με την χρήση της συγκεκριμένης κόλλησης είναι στα αμαξώματα των οχημάτων.

Η παρουσία του ψευδαργύρου αποτελεί ένα μικρό πρόβλημα στις μπρουτζοκολλήσεις. Ο ψευδάργυρος έχει σημείο βρασμού τους 920°C την στιγμή που ο χαλκός απαιτεί 1083°C απλά για να τηχθεί. Αυτό συνεπάγεται ότι εάν αυξηθεί πολύ η θερμοκρασία έτσι ώστε να γίνει κατορθωτή η τήξη του χαλκού ο ψευδάργυρος θα αρχίσει να εξατμίζεται με δύο συνέπειες. Η πρώτη συνέπεια είναι η ύπαρξη λευκού καπνού που προέρχεται από τον εξατμισμένο ψευδάργυρο σε συνδυασμό με την παρουσία φλόγας και οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα. Ο καπνός αυτός δυσκολεύει την όραση του συγκολλητή ο οποίος δεν έχει την απαραίτητη ορατότητα για να εκτελέσει χωρίς πρόβλημα την συγκόλληση. Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι η εξάτμιση του ψευδαργύρου έχει ως συνέπεια την μείωση του στο ποσοστό της κόλλησης με αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων της κόλλησης σε σχέση με τις αρχικά επιλεγθείσες. Για να μην εμφανιστεί αυτό το φαινόμενο της εξάτμισης του υδραργύρου πρέπει η θερμοκρασία να περιορίζεται στο επίπεδο που απαιτεί η τήξη της κόλλησης και να μην υπάρχει η υπερθέρμανση.

Η δεύτερη κατηγορία σκληρών κολλήσεων είναι οι ασημοκολλήσεις. Σε αυτές χρησιμοποιείται και πάλι κόλληση η οποία είναι κράμα χαλκού και ψευδαργύρου στην οποία όμως αυτή την φορά υπάρχει και υψηλό ποσοστό αργύρου, πάνω από το 8%, που μπορεί να φτάσει και να ξεπεράσει και το 50%. Η ύπαρξη του αργύρου στην κόλληση των ασημοκολλήσεων έχει ως συνέπεια την εκτίναξη του κόστους της γιατί ο άργυρος είναι ένα από τα ακριβότερα μέταλλα. Αυτό σημαίνει ότι για να χρησιμοποιηθούν πρέπει να υπάρχει ένας καλός λόγος. Και αυτός ο λόγος είναι οι άριστες ιδιότητές τους που τις καθιστούν ιδανικές για εφαρμογές που απαιτούν σκληρές συγκολλήσεις σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Χαρακτηριστικό τους είναι το πολύ χαμηλότερο σημείο τήξης των κολλήσεων σε σχέση με τις μπρουτζοκολλήσεις με αποτέλεσμα να μπορούν να δουλευτούν πολύ καλύτερα. Οι κυριότερες εφαρμογές της ασημοκόλλησης είναι στην κοσμηματοποιία και στα ηλεκτρονικά. ^{[1], [16]}

2.3 Συγκολλήσεις πίεσης

Οι συγκολλήσεις πίεσης είναι η δεύτερη μεγάλη κατηγορία συγκολλήσεων. Σε αυτές η συγκόλληση υπάρχει λόγω της ύπαρξης δυνάμεων πίεσης. Στις πλείστες εφαρμογές όμως δεν αρκεί η ύπαρξη υψηλών πιέσεων για να επιτευχθεί η συγκόλληση, απαιτείται και η ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών οι οποίες όμως είναι μικρότερες από την θερμοκρασία τήξης των υλικών των προς συγκόλληση τεμαχίων. Στις συγκολλήσεις πίεσης σπάνια έχουμε την χρήση επιπρόσθετου συνδετικού υλικού. Γενικά οι συγκολλήσεις πίεσης δεν χρησιμοποιούνται πολύ, οι πλέον χρησιμοποιούμενες είναι η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση, η συγκόλληση τριβής και οι καμινοσυγκολλήσεις τις οποίες θα δούμε στις επόμενες υποενότητες. Πέρα από αυτές τις τρεις στις συγκολλήσεις πίεσης εντάσσονται οι ψυχρές συγκολλήσεις, συγκολλήσεις με ελάχιστες εφαρμογές.

2.3.1 Ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση

Η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση μπορεί να ενταχθεί και στην κατηγορία των ηλεκτροσυγκολλήσεων όμως ανήκει στην κατηγορία των συγκολλήσεων πίεσης γιατί επικρατούν οι δυνάμεις της πίεσης. Η συγκόλληση γίνεται μόνο με το τηγμένο τμήμα των προς συγκόλληση τεμαχίων. Για την επιτυχία της συγκόλλησης, πέραν της ύπαρξης της θερμοκρασίας ώστε να επέλθει τήξη των μετάλλων χρησιμοποιείται και η άσκηση πίεσης ώστε να οδηγηθούν σε συγκόλληση τα δύο τεμάχια. Η πίεση ασκείται από δύο ηλεκτρόδια τα οποία όμως διαφέρουν από τα ηλεκτρόδια που είδαμε στην κατηγορία των ηλεκτροσυγκολλήσεων, έχουν ειδικό σχήμα. Το μέγεθος της ασκούμενης πίεσης και ο χρόνος κατά τον οποίο ασκείται η πίεση είναι κρίσιμα μεγέθη για την επιτυχή συγκόλληση των δύο υλικών. Τα δύο αυτά μεγέθη επιλέγονται αναλόγως των υλικών που θα συγκολληθούν και του πάχους των προς συγκόλληση τεμαχίων. Η πλέον διαδεδομένη μηχανή στην οποία εκτελείται η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι η

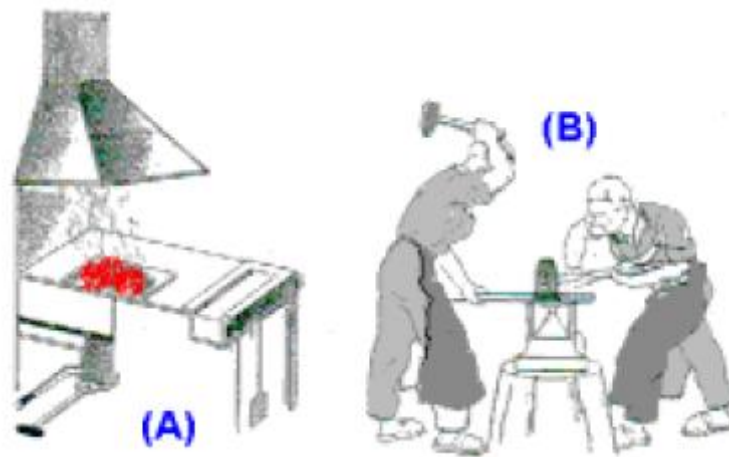
ηλεκτροπόντα η οποία μπορεί να είναι είτε σταθερή μεγάλου μεγέθους είτε φορητή μικρού μεγέθους και εκτελεί σημειακές συγκολλήσεις. Στο σχήμα 13 φαίνονται δύο σταθερές και μια φορητή ηλεκτροπόντα. [4], [6], [12]



Σχήμα 19: Σταθερή και φορητή ηλεκτροπόντα, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα [12]

2.3.2 Καμινοσυγκόλληση

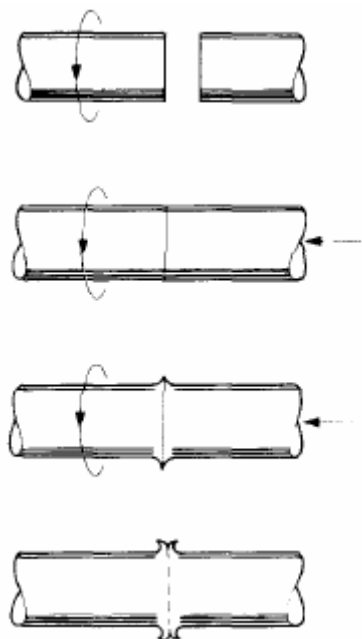
Η καμινοσυγκόλληση είναι η τελευταία συγκόλληση πίεσης με την οποία θα ασχοληθούμε. Είναι η πλέον αρχαιότερη μέθοδος συγκόλλησης μετάλλων και σήμερα βρίσκει πολύ λίγες εφαρμογές. Η διαδικασία της καμινοσυγκόλλησης είναι πολύ απλή και δεν απαιτεί την ύπαρξη εξειδικευμένων συσκευών. Το μόνο που απαιτείται είναι η πυράκτωση των προς συγκόλληση τεμαχίων σε ένα καμίνι. Ακολουθώντας, τα πυρακτωμένα τεμάχια τοποθετούνται πάνω στο αμόνι στη θέση που πρόκειται να συγκολληθούν και ο συγκολλητής τα σφυρηλατεί έως ότου επιτύχει την συγκόλληση. Με την σφυρηλάτηση των πυρακτωμένων μετάλλων τα μέρη του ενός μετάλλου εισχωρούν στα μέρη του άλλου μετάλλου έτσι κατά την ψύξη επιτυγχάνεται κρυσταλλική σύνδεση των δύο μετάλλων. Η θέση που συνήθως συγκολλούνται αλληλεπικαλύπτει τα άκρα των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων. Πολλές φορές τα άκρα των δύο μετάλλων διαμορφώνονται κατάλληλα πριν την έναρξη της συγκόλλησης ώστε να επιτευχθεί καλύτερη εφαρμογή τους. Στο σχήμα 17 παρουσιάζεται η διαδικασία της καμινοσυγκόλλησης όπου στο πρώτο στάδιο το μέταλλο πυρακτώνεται στο καμίνι και στο δεύτερο σφυρηλατείται στο αμόνι από τον συγκολλητή και τον βοηθό του. [1]



Σχήμα 20: Καμινοσυγκόλληση ^[1]

2.3.3 Συγκόλληση με τριβή

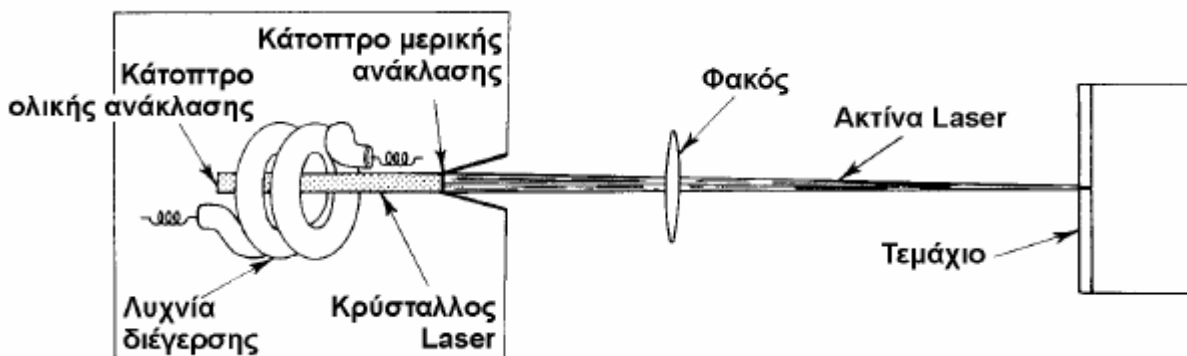
Η δεύτερη συγκόλληση που εντάσσεται στην κατηγορία συγκολλήσεων πίεσης είναι η συγκόλληση τριβής. Η συγκόλληση αυτή οφείλεται στην τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ δύο τεμαχίων εκ των οποίων το ένα περιστρέφεται και μάλιστα με μεγάλη ταχύτητα. Το περιστρεφόμενο τεμάχιο συμπιέζεται στο τεμάχιο που θα συγκολληθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έντονη τριβή των επιφανειών τους οι οποίες θερμαίνονται μέχρι την θερμοκρασία συγκόλλησης και τότε ο χειριστής σταματάει την περιστροφή του περιστρεφόμενου τεμαχίου. Η πίεση όμως ανάμεσα στα δύο τεμάχια παραμένει με αποτέλεσμα την συγκόλληση των δύο. Η μέθοδος συγκόλλησης με τριβή βρήκε κάποιες εφαρμογές στην συγκόλληση κοπτικών πλακιδίων σε μανέλες κοπτικών εργαλείων και σε συγκολλήσεις ατράκτων. Η όλη διαδικασία της συγκόλλησης με τριβή που έχει περιγραφεί εδώ φαίνεται στο σχήμα 18. ^[4]



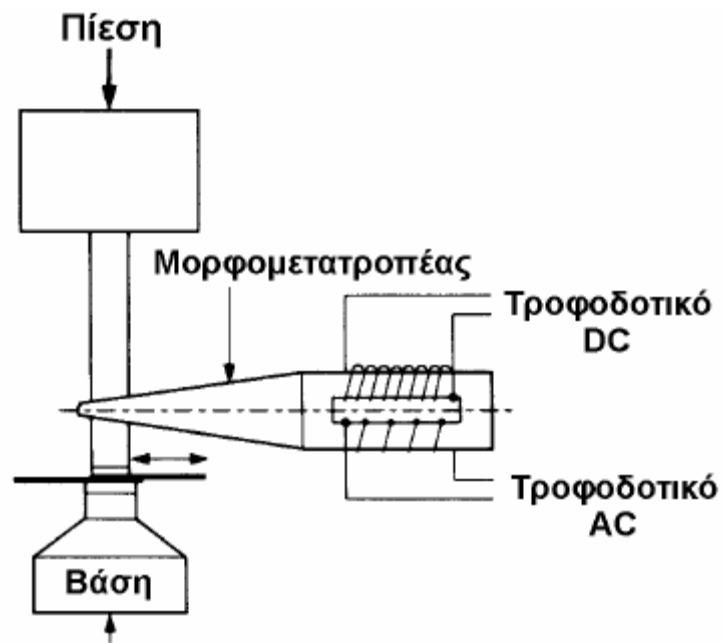
Σχήμα 21: Συγκόλληση με τριβή ^[4]

2.4 Ειδικές συγκολλήσεις

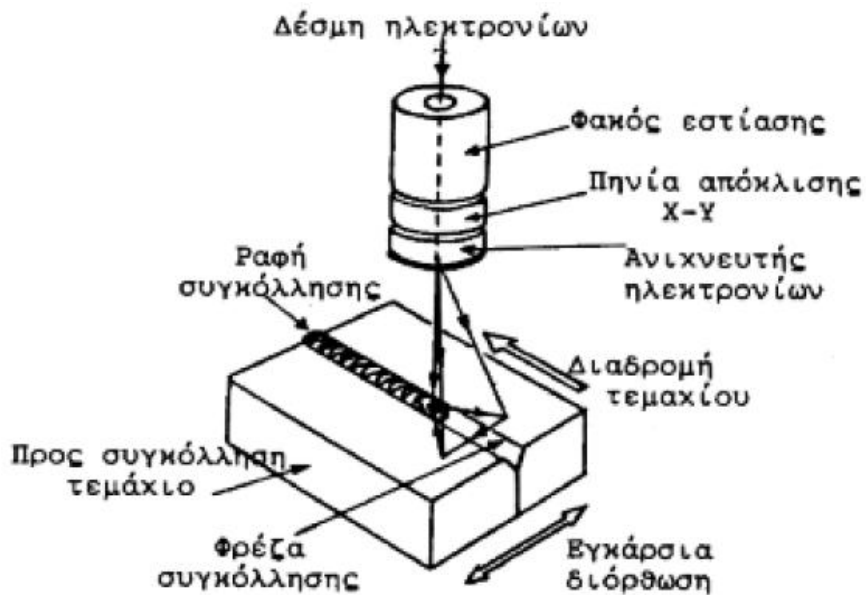
Στην κατηγορία ειδικών συγκολλήσεων εντάσσονται οι συγκολλήσεις στις οποίες δεν χρησιμοποιείται ούτε η θερμότητα ούτε η πίεση για την τήξη του υλικού. Τέτοιες συγκολλήσεις είναι οι συγκολλήσεις με την χρήση δέσμης laser, οι συγκολλήσεις με την χρήση υπερήχων και οι συγκολλήσεις με χρήση δέσμη ηλεκτρονίων. Στην συγκόλληση με την χρήση δέσμης laser εκμεταλλευόμαστε το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο αυτής της δέσμης. Η δέσμη προσπίπτει στα προς συγκόλληση τεμάχια και τα οδηγεί σε συγκόλληση αφού όχι μόνο τα τήκει αλλά τα ατμοποιεί. Η διάταξη της συγκόλλησης με χρήση δέσμης laser φαίνεται στο σχήμα 19. Στο σχήμα 20 που το ακολουθεί φαίνεται η διάταξη της συγκόλλησης με χρήση υπερήχων η οποία χρησιμοποιείται για συγκόλληση μετάλλων όπως ο χαλκός, το νικέλιο και το αλουμίνιο. Οι υπέρηχοι προκαλούν ταλάντωση υψηλής συχνότητας στα δύο προς συγκόλληση τεμάχια, στην περιοχή συγκόλλησης. Αυτές οι ταλαντώσεις οδηγούν στην τοπική αύξηση της θερμοκρασίας η οποία σε συνδυασμό με υψηλή πίεση οδηγεί σε συγκόλληση των δύο τεμαχίων. Η συγκόλληση με την χρήση της δέσμη ηλεκτρονίων προσομοιάζει την λειτουργία της συγκόλλησης με την χρήση δέσμης laser. Και πάλι εκμεταλλευόμαστε το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο της δέσμης των ηλεκτρονίων για να ατμοποιήσουμε τα προς συγκόλληση τεμάχια και να τα συγκολλήσουμε. Στο σχήμα 21 φαίνεται η διάταξη της συγκόλλησης με την χρήση δέσμης ηλεκτρονίων. Οι ειδικές συγκολλήσεις δεν χρησιμοποιούνται τόσο πολύ παρά σε εξειδικευμένες εφαρμογές και δεν θα ασχοληθούμε περαιτέρω με αυτές. ^{[4], [6], [14]}



Σχήμα 22: Διάταξη συγκόλλησης με την χρήση δέσμης laser ^[4]



Σχήμα 23: Διάταξη συγκόλλησης με την χρήση υπερήχων ^[4]



Σχήμα 24: Συγκόλληση με χρήση δέσμης ηλεκτρονίων ^[14]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

3.1 Γενικά

Ο ποιοτικός έλεγχος είναι το τμήμα που ασχολείται με τον έλεγχο των παραγόμενων προϊόντων. Γενικά, ως ποιοτικός έλεγχος ορίζεται ο συνδυασμός ενεργειών και αποφάσεων οι οποίες λαμβάνονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές και από ελέγχους που εξασφαλίζουν την ικανοποίηση αυτών των αποφάσεων. Διαχωρίζεται σε δύο αλληλοεξαρτώμενα τμήματα, τον έλεγχο της παραγωγής και τον έλεγχο συμμόρφωσης. Ο έλεγχος παραγωγής περιλαμβάνει συνδυασμό διάφορων ενεργειών και αποφάσεων που λαμβάνονται κατά την διάρκεια της παραγωγής και αφορούν τον έλεγχο των εργασιών παραγωγής και την εξασφάλιση της ικανοποίησης των όρων των προδιαγραφών. Ο έλεγχος συμμόρφωσης περιλαμβάνει συνδυασμό ενεργειών και αποφάσεων οι οποίες λαμβάνονται σύμφωνα με προσυμφωνημένους κανόνες και αφορούν τον έλεγχο της συμμόρφωσης του προϊόντος με τις αρχικές προδιαγραφές που είχαν τεθεί από τον σχεδιαστή.

Για να γίνει ο ποιοτικός έλεγχος πρέπει να καθοριστούν μια σειρά ζητημάτων τα οποία ονομάζονται και κανόνες συμμόρφωσης. Τέτοιοι κανόνες μπορεί να είναι για παράδειγμα το μέγεθος του δείγματος που θα εξεταστεί, η συχνότητα με την οποία θα γίνεται η εξέταση των παραγόμενων προϊόντων και τα κριτήρια με βάση τα οποία θα γίνεται αποδεκτό ή θα απορρίπτεται ένα προϊόν. Είναι προφανές ότι η συμμόρφωση ενός προϊόντος με τους κανόνες ποιοτικού ελέγχου θα οδηγήσει και στην αποδοχή του ενώ σε περίπτωση μη συμμόρφωσης το προϊόν μπορεί είτε να απορριφθεί είτε να οδηγηθεί σε περαιτέρω κατεργασία είτε να χρησιμοποιηθεί σε άλλη χρήση.

Οι ενέργειες δηλαδή οι μέθοδοι με τους οποίους γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος τόσο των τελικών προϊόντων όσο και όλης της διαδικασίας παραγωγής μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους ελέγχους που γίνονται με την χρήση διαφόρων οργάνων μέτρησης όπως για παράδειγμα οι δοκιμές των πρώτων υλών κατά την παραλαβή τους ή η μέτρηση των διαστάσεων των παραγόμενων προϊόντων. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους ελέγχους που γίνονται μέσω επιθεώρησης όπως για παράδειγμα ο οπτικός έλεγχος, η εξέταση των πιστοποιητικών συμμόρφωσης, ο έλεγχος της εξειδίκευσης του προσωπικού.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν τις γενικές αρχές της διαδικασίας ποιοτικού ελέγχου που λαμβάνει χώρα σε οποιαδήποτε φάση παραγωγής οποιουδήποτε προϊόντος. Αυτό συνεπάγεται ότι όλα τα προαναφερθέντα αφορούν και τον ποιοτικό έλεγχο των συγκολλήσεων. Είναι προφανής η αναγκαιότητα ποιοτικού ελέγχου των συγκολλήσεων για να επαληθευτεί η ορθότητα των σχεδιασμένων αρχών όπως για παράδειγμα για να επαληθευτεί ότι η μηχανική αντοχή της

συγκόλλησης που επιτεύχθηκε είναι ίδια με την μηχανική αντοχή του τελικού προϊόντος, της συγκόλλησης που κατασκευάστηκε. Στην παρούσα ενότητα θα αναφερθούμε μόνο στους ποιοτικούς ελέγχους των συγκολλήσεων. Και μάλιστα η αναφορά μας θα περιοριστεί μόνο στους ποιοτικούς ελέγχους των τελικών προϊόντων και όχι σε ελέγχους άλλων σχετικών με την συγκόλληση δραστηριοτήτων όπως για παράδειγμα προμήθεια υλικών συγκόλλησης, αποτελεσματικότητα παραγωγής και τεχνητών και πολλά άλλα.

Ο ποιοτικός έλεγχος των συγκολλήσεων μπορεί να γίνει με δύο τύπων ελέγχους. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει διάφορους ελέγχους οι οποίοι όμως δεν απαιτούν την καταστροφή της συγκόλλησης για να πραγματοποιηθούν. Οι έλεγχοι αυτοί εντάσσονται σε μια μεγάλη κατηγορία η οποία φέρει την ονομασία μη καταστρεπτικές δοκιμές. Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει όλους τους ελέγχους που για την πραγματοποίησή τους απαιτείται η καταστροφή της συγκόλλησης. Η κατηγορία που περιλαμβάνει αυτούς τους ελέγχους ονομάζεται καταστρεπτικές δοκιμές. Οι δύο κατηγορίες θα παρουσιαστούν στην τρίτη και την τέταρτη ενότητα αντίστοιχα. Πρωτού να γίνει όμως η παρουσίασή τους θα γίνει μια γενική αναφορά στα ελαττώματα και τα σφάλματα των συγκολλήσεων έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ευκολότερα κατανοητή η αναγκαιότητα ύπαρξης κάθε κατηγορίας ποιοτικού ελέγχου. ^[17]

3.2 Ελαττώματα – σφάλματα συγκολλήσεων

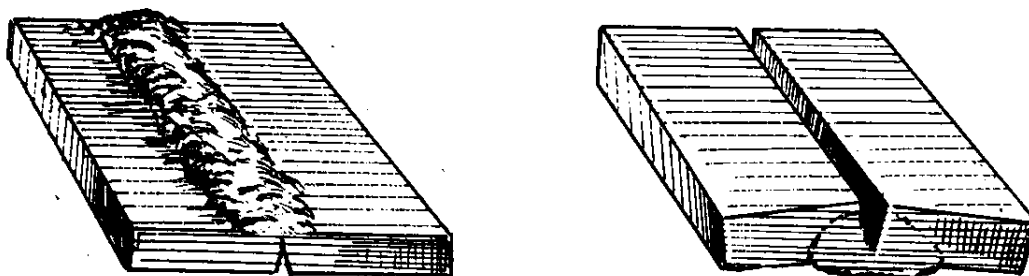
Κατά την εκτέλεση των συγκολλήσεων είναι δυνατό να εμφανιστούν διάφορα ελαττώματα – σφάλματα τα οποία μπορεί να οφείλονται είτε στην λάθος επιλογή τεχνικής με την οποία θα γίνει η συγκόλληση είτε την λάθος εκτέλεση του συνόλου της κατεργασίας από τον συγκολλητή είτε την λάθος επιλογή παραμέτρων. Ως ελαττώματα ορίζονται μια ή πολλές ασυνέχειες που εκ φύσεως ή λόγω συνολικής επίδρασης καθιστούν την συγκόλληση ανίκανη να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις που τέθηκαν κατά την σχεδιάσή της. Όλα τα ελαττώματα των συγκολλήσεων έχουν ως αποτέλεσμα των αρνητικό επηρεασμό των μηχανικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους. Αυτό τις καθιστά μη χρήσιμες για τον σκοπό για τον οποίο έχουν σχεδιαστεί. Τα σφάλματα των συγκολλήσεων μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, τις ακόλουθες:

1. Υπομικροσκοπικά ελαττώματα: Είναι διάφορες ατέλειες που αφορούν το κρυσταλλικό πλέγμα των συγκολλήσεων όπως για παράδειγμα διάφορες αταξίες ή κενά που εμφανίζονται στην κρυσταλλική τους δομή.
2. Μικροσκοπικά ελαττώματα: Είναι διάφορα ελαττώματα μικρού μεγέθους όπως για παράδειγμα κάποιες μικρές ρηγματώσεις, μικρά εγκλείσματα ξένων υλικών ή διαφορισμούς.

3. **Μακροσκοπικά ελαττώματα:** Είναι διάφορα ελαττώματα μεγαλύτερου μεγέθους από τα προηγούμενα τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν ατελή διείσδυση του συγκολλητικού υλικού στην ραφή συγκόλλησης, δημιουργία μεγάλων ρωγματώσεων, ύπαρξη ατελούς τήξης είτε του συγκολλητικού υλικού είτε των συγκολλούμενων τεμαχίων με αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική κρυσταλλική συνένωση, την δημιουργία πόρων στην συγκόλληση, την εμφάνιση σκουριών και την ύπαρξη υποκοπών.

Όπως γίνεται εύλογα αντιληπτό τα ελαττώματα που μπορούν να εμφανιστούν σε μια συγκόλληση είναι αρκετά σε αριθμό. Τα σημαντικότερα είναι τα ακόλουθα:

- **Πορώδες:** Πόροι, σφαιρικοί ή κυλινδρικοί, εμφανίζονται στο εσωτερικό της συγκόλλησης. Οι πόροι αυτοί οφείλονται από διάλυση αερίου στην τηγμένη κόλληση με αποτέλεσμα την δημιουργία φυσαλίδων που κατά την ψύξη της συγκόλλησης έγιναν πόροι.
- **Εγκλείσματα:** Μη μεταλλικά υλικά όπως για παράδειγμα η σκουριά και τα οξείδια παγιδεύονται στο τηγμένο μέταλλο μεταξύ των ραφών ή μεταξύ της κόλλησης και των προς συγκόλληση τεμαχίων με αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής της συγκόλλησης.
- **Ανεπαρκής διείσδυση της κόλλησης:** Εμφανίζεται σε περιπτώσεις όπου το βάθος διείσδυσης της κόλλησης είναι μικρότερο από το απαιτούμενο για την τήξη του υλικού μεταξύ των ελασμάτων. Οδηγεί σε συγκέντρωση τάσεων και αυξημένη πιθανότητα αστοχίας λόγω κόπωσης.








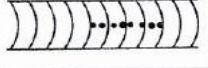

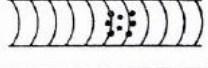

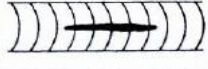
Σχήμα 25: Ανεπαρκής διείσδυση της κόλλησης




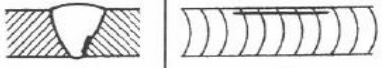

- **Ατελής σύντηξη:** Είναι η απώλεια σύζευξης μεταξύ του τηγμένου μετάλλου πλήρωσης και του υλικού πλήρωσης που έχει ήδη τοποθετηθεί στην ραφή ή η απώλεια σύζευξης μεταξύ του τηγμένου μετάλλου πλήρωσης και των προς συγκόλληση τεμαχίων.
- **Χτυπήματα τόξου:** Είναι μικρά τοπικά σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε τήξη της επιφάνειας των προς συγκόλληση τεμαχίων, μακριά από την περιοχή συγκόλλησης. Θεωρούνται πιθανές περιοχές έναρξης ρωγμών και τοπικές ζώνες σκληρότητας.
- **Υπερπληρώσεις:** Η ποσότητα της τηγμένης κόλλησης είναι μεγαλύτερη από αυτή που είχε σχεδιαστεί με αποτέλεσμα να μην χωράει στην ραφή έτσι ρέει στην επιφάνεια των προς συγκόλληση τεμαχίων.



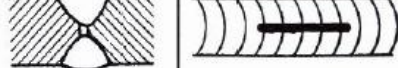


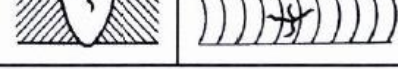
- Υποκοπές: Από το τόξο πλάσματος αφαιρείται περισσότερο υλικό από την ραφή σε σχέση με το υλικό που προστίθεται σε αυτές.
- Ρωγμές του κρατήρα: Είναι πολύ μικρές ρωγμές οι οποίες εμφανίζονται στον κρατήρα της συγκόλλησης κατά τη συρρίκνωση και στερεοποίηση του τετηγμένου υλικού.
- Ατελής πλήρωση: Η ποσότητα της τετηγμένης κόλλησης είναι μικρότερη από αυτή που απαιτείται για την πλήρη πλήρωση του αυλακιού που έχει προδιαμορφωθεί με αποτέλεσμα να μένει σε χαμηλότερο επίπεδο από τα προς συγκόλληση τεμάχια.
- Προβλήματα ελασμάτων: Είναι προβλήματα που δεν αφορούν την συγκόλληση ή την εκτέλεσή της από τον συγκολλητή αλλά τα αρχικά ελάσματα τα οποία ήτο ελαττωματικά. Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να τοποθετηθούν ελαττώματα όπως το σκίσιμο των ελασμάτων (lamellar tears), οι ελασματοποιήσεις (laminations) και οι αποελασματοποιήσεις (delaminations).

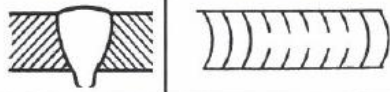
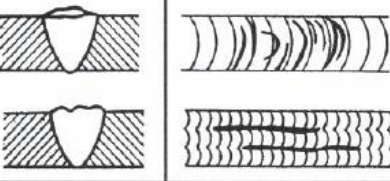
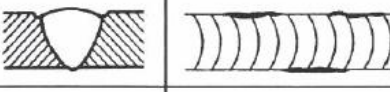

Περαιτέρω επέκταση στον τομέα των ελαττωμάτων των συγκολλήσεων δεν θα υπάρξει καθώς δεν είναι στόχος μας η πλήρης ανάλυσή τους αλλά μια απλή παρουσίασή τους. Στον πίνακα 4 που ακολουθεί (σε τέσσερα τμήματα) παρουσιάζεται μια λίστα των ελαττωμάτων που εμφανίζονται σε μετωπικές συγκολλήσεις. Σε αυτό τον πίνακα φαίνεται η ονομασία, η κωδικοποίησή τους, η αιτία δημιουργίας τους και η σχηματική αναπαράστασή τους τόσο στην διατομή της συγκόλλησης όσο και στο ραδιογράφημα. [1], [18]

Πίνακας 4: Παρουσίαση ελαττωμάτων συγκολλήσεων [18]

Ονομασία ελαττώματος	Συμβολισμός ελαττώματος σύμφωνα με		Σχηματική όψη του ελαττώματος		Περιγραφή ελαττώματος
	Πολωνικές προδιαγραφές	HW – 340-69	Στη διατομή της σύνδεσης	Στο ραδιογράφημα	
1	2	3	4		5
Πόρος (pore)	A	201	Εγκλείσματα αέρια		Κλειστός χώρος γεμισμένος με αέριο.
Σφαιρικός πόρος (gas pore)	Aa	2011			Πόρος με μορφή που πλησιάζει τη σφαίρα.
Σκολημοειδής πόρος (worm pore)	Ab	2016			Το μήκος μεγαλύτερο από το τριπλάσιο μέγιστο πλάτος. Η κύρια διάσταση διευθυνόμενη προς το βάθος της κόλλησης.
Αλυσωδοί πόροι (linear porosity)	Ac	2014			Το ελάχιστο 4 σφαιρικοί πόροι στη σειρά κατά μήκος της κόλλησης, σε απόσταση όχι μεγαλύτερη της τριπλάσιας διαμέτρου του μεγαλύτερου πόρου.
Φοιλά πόρων (clustered porosity)	Ad	2013			Το ελάχιστο 4 σφαιρικοί πόροι ομαδοποιημένοι σε απόσταση όχι μεγαλύτερη της τριπλάσιας διαμέτρου του μεγαλύτερου πόρου.
Πόρος διαμήκης (elongated cavity)	Ae	2015			Το μήκος μεγαλύτερο από το τριπλάσιο μέγιστο πλάτος, ενώ η κύρια διάσταση παράλληλη.

1	2	3	4	5
Εγκαλεισμάτα (inclusion)	B	300	Εγκαλεισμάτα στερεά	Σκουριά ή αποχρυσία ξένου μετάλλου στην κόλληση
Σκουριά απομονωμένη (isolated slag inclusion)	Ba	3012 3022		Σκουριά ελεύθερης μορφής με εξαίρεση τη διαμήκη μορφή.
Σκουριά διαμήκης (elongated slag inclusion)	Bb	3011 3021		Σκουριά της οποίας το μήκος είναι μεγαλύτερο από το 3-πλάσιο του μέγιστου πλάτους.
Εγκαλεισμάτα ξένου μετάλλου	Bc	304		Στοιχείο ξένου μετάλλου στην κόλληση (π.χ. στοιχείο βολφραμίου στην περίπτωση συγκόλλησης με τη μέθοδο ΤΙΓ).
Ατελής τήξη	C	401	Ατελείς τήξεις	Ατελής σύντηξη της κόλλησης με το βασικό μέταλλο ή ατελής σύντηξη μεταξύ στρωμάτων της κόλλησης.
Ατελής τήξη τοιχώματος (lack of side wall fusion)	Ca	4011		Ατελής τήξη στα σύνορα της κόλλησης και του βασικού υλικού.
Ατελής τήξη μεταξύ στρωμάτων (lack of inter-run fusion)	Cb	4012		Ατελής τήξη στα σύνορα των στρωμάτων (κορδονίων).

1	2	3	4	5
Ατελής διείσδυση (lack of penetration)	D	402	Ατελείς διεισδύσεις	Ελλιπές γέμισμα της ρίζας της κόλλησης.
Κοιλότητα στη ρίζα (root concavity - suck up)	Da	515		Κοιλότητα στη ρίζα μονόπλευρης συγκόλλησης με πλήρη διείσδυση και των δυο άκρων του αύλακα.
Ατελής διείσδυση σε μονόπλευρη κόλληση (lack of penetration - on side weld)	Db	402		Μη πλήρης διείσδυση στον αυχένα του αύλακα σε μονόπλευρη συγκόλληση.
Ατελής διείσδυση σε διπλευρη συγκόλληση (lack of penetration - two side weld)	Dc	402		Μη πλήρης διείσδυση στον αυχένα του αύλακα σε διπλευρη συγκόλληση.
Ρωγμή (crack)	E	100	Ρωγμές	Ασυνέχεια στο μέταλλο της κόλλησης ή στη ΖΕΘ με μορφή διακένου που δημιουργείται με την επίδραση των τάσεων.
Διαμήκης ρωγμή (elongated crack)	Ea	101		Ρωγμή εντοπισμένη προς τη διεύθυνση του διαμήκους άξονα της κόλλησης.
Εγκάρσια ρωγμή	Eb	102		Ρωγμή εντοπισμένη εγκάρσια προς το διαμήκη άξονα της κόλλησης.
Αστεροειδής ρωγμή	Ec	103		Ρωγμή διακλαδωμένη προς διάφορες κατευθύνσεις.

1	2	3	4	5
Ελαττώματα επιφάνειας και μορφής	F	500 600	Ελαττώματα επιφανειακά	Ελαττώματα που εμφανίζονται στην επιφάνεια της σύνδεσης (με εξαίρεση τα ελαττώματα D και E) καθώς και τα ελαττώματα μορφής της σύνδεσης.
Κρέμασμα (excessive - penetration - sagging)	Fa	504		Υπέριμεκτη διείσδυση της ρίζας τμηματικό κρέμασμα της κόλλησης στη ρίζα..
Ανόμοιο μέτωπο (irregular surface)	Fb	514 (517)		Μη σωστή εναπόθεση των κορδονίων μετώπου, που προξενεί εγκάρσιες ή διαμήριες εμβοθήσεις και κυρτώσεις..
Υποκοπές στο μέτωπο (face undercut)	Fc	5011 5012		Αυλάκωση στο βασικό υλικό στα σύνορα του μετώπου της κόλλησης.
Υποκοπές στη ρίζα (root undercut)	Fd	5013		Αυλάκωση στο βασικό υλικό στα σύνορα στη ρίζα της κόλλησης.

3.3 Μη καταστρεπτικές δοκιμές

Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές ή αλλιώς μη καταστρεπτικοί έλεγχοι των υλικών είναι μια σειρά τεχνικών οι οποίες επιτρέπουν τον έλεγχο του υλικού ώστε να εξακριβωθεί η λειτουργικότητά του χωρίς όμως να το καταστρέψουν. Μετά από τον έλεγχο το υλικό είναι σε θέση να επανέλθει πάλι σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας ακριβώς όπως και πριν τον έλεγχο. Στην περίπτωση των συγκολλήσεων το προς έλεγχο εξακριβώσης λειτουργικότητας υλικό είναι η ίδια η συγκόλληση.

Οι μη καταστρεπτικές δοκιμές περιλαμβάνουν πάρα πολλές τεχνικές. Οι σημαντικότερες εξ αυτών είναι ο οπτικός έλεγχος, ο έλεγχος για ρωγμές με την χρήση διεισδυτικών υλικών, ο έλεγχος για ρωγμές με την χρήση μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη, ο έλεγχος με ακτινογραφία και ο έλεγχος υπερήχων. Όλες αυτές οι τεχνικές θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες ενώ στο τέλος θα τοποθετηθεί μια γενική ενότητα στην οποία θα γίνεται αναφορά σε άλλες τεχνικές μη καταστρεπτικών δοκιμών. ^[19]

3.3.1 Οπτικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος είναι μια από τις αποδοτικότερες μη καταστροφικές δοκιμές γιατί υπάρχει η δυνατότητα να γίνεται και κατά την διάρκεια της συγκόλλησης και μετά το πέρας της. Ο οπτικός έλεγχος πέραν από την αίσθηση της όρασης χρησιμοποιεί και τις αισθήσεις της αφής και της όσφρησης έτσι ώστε ο ελεγκτής να μπορεί να αντιληφθεί πλήρως την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η υπό έλεγχο συγκόλληση.

Αρχικά γίνεται οπτικός έλεγχος των τεμαχίων που θα συγκολληθούν. Η εξέταση τους περιλαμβάνει τον έλεγχο της ικανοποίησης των προδιαγραφών για ποιότητα, τύπο, μέγεθος και καθαριότητα. Επίσης εξετάζεται η κόλληση εάν χρησιμοποιείται έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της συγκόλλησης. Τέλος εξετάζεται εάν χρησιμοποιούνται το σωστό είδος συγκόλλησης, τα σωστά μηχανήματα και με τις σωστές παραμέτρους. Σε περίπτωση που εμφανιστεί πρόβλημα στα υλικά τότε αυτό θα πρέπει να επιδιορθωθεί πριν την έναρξη της διαδικασίας της συγκόλλησης. Αφού επιβεβαιωθούν όλα τα παραπάνω τότε μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της συγκόλλησης.

Το μεγαλύτερο κέρδος του οπτικού ελέγχου είναι η επιθεώρηση που γίνεται κατά την διάρκεια της συγκόλλησης. Σε αυτή την διαδικασία ο συγκολλητής μπορεί να αντιληφθεί την ύπαρξη ρωγμών, επιφανειακών πόρων, εγκλεισμάτων, την μειωμένη ή αυξημένη εναπόθεση υλικού ή την ύπαρξη άλλων ελαττωμάτων στην συγκόλληση που πραγματοποιεί. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να τα διορθώσει άμεσα με τροποποιήσεις στην τεχνική της συγκόλλησης. Για παράδειγμα εάν εκτελεί ηλεκτροσυγκόλληση τότε μπορεί να μεταβάλει την ένταση του ρεύματος, να αλλάξει το ηλεκτρόδιο ή να το κινεί σε διαφορετικό ύψος και με διαφορετική ταχύτητα. Σε περίπτωση που η συγκόλληση γίνεται σε πολλές στρώσεις τότε πρέπει να επιθεωρείται οπτικά η κάθε στρώση όταν ολοκληρωθεί.

Το τελευταίο στάδιο της οπτικής επιθεώρησης πραγματοποιείται μετά την συγκόλληση. Με αυτήν μπορεί να εκτιμηθούν διάφορα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης όπως για παράδειγμα η ποιότητά της. Επίσης θα διαπιστωθεί εάν υπάρχει μια σειρά από ατέλειες όπως για παράδειγμα εάν υπάρχουν επιφανειακοί πόροι, εάν εμφανίζονται κρατήρες ή προεξοχές, εάν το συγκολλητικό υλικό έχει διεισδύσει έως την ρίζα της συγκόλλησης, εάν σε κάποιο τμήμα της συγκόλλησης δεν επαρκεί το συγκολλητικό υλικό, εάν έχουν γίνει καψίματα στα συγκολλημένα πλέον τεμάχια, εάν το τελικό συγκολλημένο τεμάχιο έχει τις σωστές διαστάσεις και πολλές άλλες. Πέραν των ματιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μεγεθυντικός φακός με τον οποίο υπάρχει η δυνατότητα να εντοπιστούν και επιφανειακές ρωγμές στην συγκόλληση. Εάν εμφανιστούν πολύ μεγάλα προβλήματα τότε το συγκολλημένο τεμάχιο απορρίπτεται. Από την φύση των προβλημάτων αυτών ο συγκολλητής εάν έχει την απαιτούμενη εμπειρία μπορεί να αντιληφθεί τι έγινε λάθος σε όλη την διαδικασία ώστε να την διορθώσει. Εάν δεν εμφανιστούν τότε η συγκόλληση μπορεί να ελεγχθεί και με άλλες μεθόδους πολύ πιο ακριβείς ώστε να διαπιστωθεί η επιτυχία της.^{[1], [19]}

3.3.2 Έλεγχος για ρωγμές με την βοήθεια διεισδυτικών υλικών

Μια δεύτερη μη καταστρεπτική δοκιμή είναι η δοκιμή με την χρήση διεισδυτικών υλικών τα οποία στοχεύουν στον εντοπισμό των ρωγμών των συγκολλήσεων. Είναι μια μέθοδος που

λαμβάνει χώρα μετά το τέλος της συγκόλλησης και στοχεύει στην διαπίστωση της επιτυχίας της ή όχι. Τα διεισδυτικά υλικά τα οποία κατά βάση είναι υγρά έχουν την ικανότητα όχι μόνο να διεισδύσουν μέσα στην ρωγμή αλλά και να την χρωματίσουν έτσι ώστε να γίνει ορατή στον ελεγκτή.

Για να εφαρμοσθεί αυτή η μέθοδος απαιτείται αρχικά ενδελεχής καθαρισμός της συγκόλλησης έτσι ώστε να μπορέσουν να διεισδύσουν τα διεισδυτικά υλικά. Έτσι αρχικά καθαρίζεται η επιφάνεια από τυχόν γράσα ή λάδια που βρίσκονται σε αυτή. Ακολούθως αφαιρείται το χρώμα με λειαντικό τροχό εάν η προς έλεγχο συγκόλληση είναι βαμμένη. Επόμενο βήμα καθαρισμού είναι η αποσκωρίωση, η αφαίρεση των οξειδίων που βρίσκονται στην επιφάνεια της συγκόλλησης. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται χημικά διαλύματα. Στην συνέχεια, μετά τον καθαρισμό απαιτείται βελτίωση της τραχύτητας του τεμαχίου με χρήση λειαντικού τροχού ώστε να γίνει ευκολότερη η διείσδυση των διεισδυτικών υλικών. Τέλος, η συγκόλληση υπόκειται σε ξήρανση είτε με ελαφρό ζέσταμά είτε με χρήση ζεστού αέρα έτσι ώστε να είναι τελείως στεγνή και να μην υπάρχει διάλυση και αραίωση των διεισδυτικών υλικών.

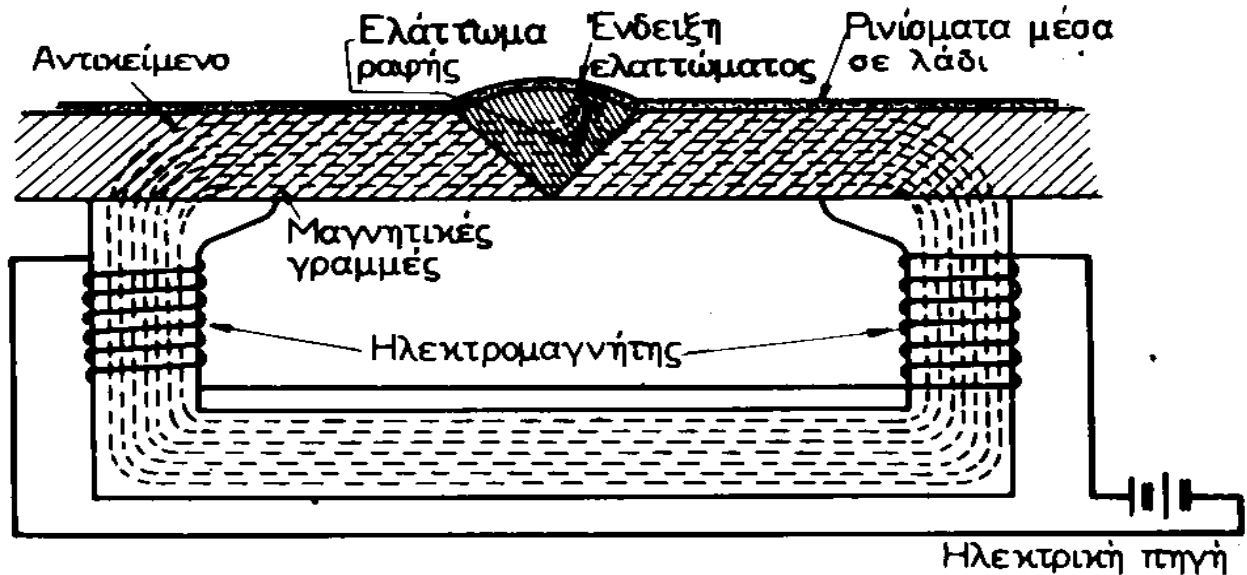
Μετά την προετοιμασία της συγκόλλησης μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτή το διεισδυτικό υλικό. Η εφαρμογή γίνεται με ψεκασμό των διεισδυτικών υγρών επάνω στην συγκόλληση. Για τα επόμενα 15 λεπτά αφήνεται σε ηρεμία η ψεκασμένη συγκόλληση έτσι ώστε να απορροφήσει όσο διεισδυτικό υγρό απαιτείται για να γεμίσουν οι ρωγμές της. Μετά το πέρας του 15λέπτου αφαιρείται η πλεονάζουσα ποσότητα με χρήση μουσκεμένου απορροφητικού χαρτιού. Ακολούθως, με την χρήση ενός πανιού στεγνώνεται η επιφάνεια της συγκόλλησης.

Για να μπορέσει ο ελεγκτής να δει τις ρωγμές πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα εμφανιστή τον οποίο ψεκάξει στην στεγνή πλέον συγκόλληση. Ο ψεκασμός του εμφανιστεί γίνεται αμέσως μετά την απομάκρυνση του πλεονάζοντος διεισδυτικού υγρού. Κατά τον ψεκασμό του πρέπει να προσέχει έτσι ώστε το στρώμα του εμφανιστή να είναι πολύ λεπτό για να μην διαλύσει τις χρωματιστές κηλίδες του διεισδυτικού υγρού. Δεκαπέντε με είκοσι λεπτά μετά την χρήση του εμφανιστή ο ελεγκτής μπορεί να προχωρήσει σε οπτικό έλεγχο της συγκόλλησης με την χρήση έντονου φωτός. Με αυτό τον τρόπο είναι σε θέση να διακρίνει επιφανειακά χρωματιστές ενδείξεις βάσει των οποίων μπορεί να αντιληφθεί την ύπαρξη ελαττωμάτων στο εσωτερικό της συγκόλλησης, κυρίως ρωγμών και δευτερευόντως πόρων. Αφού ο ελεγκτής καταλήξει στα συμπεράσματά του τότε αφαιρεί τα διεισδυτικά υλικά με την χρήση νερού ή διαλύτη. ^{[1], [19]}

3.3.3 Έλεγχος για ρωγμές με την βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη

Μια τρίτη μη καταστρεπτική δοκιμή για τον έλεγχο των συγκολλήσεων είναι η χρήση μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό ρωγμών,

όπως και η προηγούμενη. Απαραίτητο για την χρήση αυτής της μεθόδου είναι να μπορούν να μαγνητιστούν τα υλικά της συγκολλήσεως. Δεδομένου ότι οι συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται σε μέταλλα όπου η πλειοψηφία τους μαγνητίζεται ο συγκεκριμένος περιορισμός δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα.



Σχήμα 26: Έλεγχος για ρωγμές με μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη

Η αρχή λειτουργίας είναι πολύ απλή. Όταν εφαρμοστεί ένας μαγνήτης σε μια μεταλλική επιφάνεια τότε οι μαγνητικές γραμμές οδεύουν κανονικά. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει ένα ελάττωμα στην επιφάνεια υπάρχει διακοπή των μαγνητικών γραμμών και εμφανίζονται ένας νότιος και ένας βόρειος πόλος. Εάν πάνω στην επιφάνεια τοποθετηθούν ρινίσματα σιδήρου τότε οι πόλοι τα έλκουν. Στην περιοχή που θα εμφανιστούν συνεπάγεται την ύπαρξη του ελαττώματος. Εάν η επιφάνεια είναι η επιφάνεια της συγκόλλησης τότε με αυτό τον τρόπο γίνεται έλεγχός της για ρωγμές. Η όλη εργασία διευκολύνεται σε περίπτωση χρήσης ηλεκτρομαγνήτη γιατί δεν είναι μόνιμα φορτισμένος. Έτσι, κατά την εφαρμογή του ρεύματος και παραγωγή του μαγνητικού πεδίου τα ρινίσματα σιδήρου θα μετακινηθούν απότομα πάνω στην ρωγμή και μπορεί να γίνει πολύ εύκολα αυτή η διαπίστωση από τον ελεγκτή.

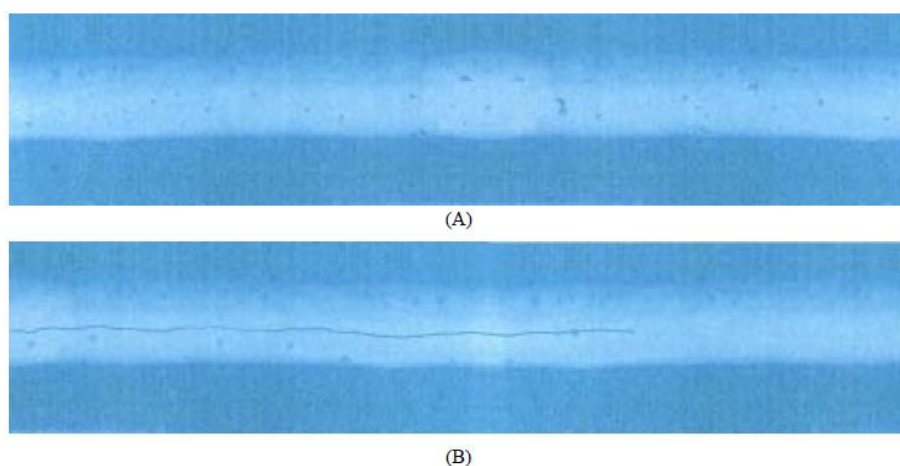
Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής απαιτείται προετοιμασία της συγκόλλησης. Η προετοιμασία αυτή είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα για τον έλεγχο με χρήση διεισδυτικών υγρών έτσι δεν θα παρουσιαστεί ξανά. Ακολούθως η προς έλεγχο συγκόλληση ψεκάζεται με λευκό χρώμα. Ο ελεγκτής πρέπει να προσέχει ώστε το στρώμα του χρώματος να είναι λεπτό και να είναι ομοιόμορφο σε όλη την έκταση της συγκόλλησης. Για να στεγνώσει το χρώμα στην συγκόλληση απαιτείται τουλάχιστον ένα πεντάλεπτο.

Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του μαγνήτη στην συγκόλληση. Επιλέγεται η τοποθέτηση των δύο άκρων του διαγώνια στον διαμήκη άξονα της συγκόλλησης. Ακολούθως

ψεκάζονται τα μαγνητικά σωματίδια στην επιφάνεια της συγκόλλησης που βρίσκεται μεταξύ των δύο μαγνητικών πόλων. Τώρα μπορεί ο ελεγκτής να κάνει οπτικό έλεγχο έτσι ώστε να δει εάν υπάρχει κάπου συγκέντρωση των μαγνητικών σωματιδίων που όπως προείπαμε είναι δείγμα ύπαρξης ρωγμής. Μετά το πέρας του ελέγχου πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία με την τοποθέτηση των άκρων του μαγνήτη στην άλλη διαγώνιο έτσι ώστε να είναι ολοκληρωμένος ο έλεγχος της συγκόλλησης. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι απολύτως ξεκάθαρα τότε πρέπει να γίνει περαιτέρω λείανση της συγκόλλησης και επανάληψη της διαδικασίας. Με το τέλος της διαδικασίας αφαιρούνται τα μαγνητικά σωματίδια με χαρτί ή νερό και σκουπίζεται η συγκόλληση με στεγνό χαρτί. ^{[1], [19]}

3.3.4 Έλεγχος με ακτινογραφία

Μια άλλη μέθοδος ελέγχου των συγκολλήσεων είναι η ακτινογραφία. Είναι μια από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους καθώς είναι δυνατή η ανίχνευση σχεδόν όλων των ελαττωμάτων της συγκόλλησης. Ειδικότερα όμως θεωρείται άριστη μέθοδος για την ανίχνευση των πόρων σε περίπτωση που υπάρχουν. Το πρόβλημα είναι ότι για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός και προσωπικό το οποίο να γνωρίζει να βγάζει ακτινογραφίες. Αυτή η απαίτηση καθιστά τον απλό έλεγχο μιας μεμονωμένης συγκόλλησης με ακτινογραφία ασύμφορο. Έτσι αυτή η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή μόνο σε μεγάλες εταιρίες που χρησιμοποιούν συγκολλήσεις ως ένα μόνο τμήμα της γραμμής παραγωγής τους. Στο σχήμα 25 που ακολουθεί παρουσιάζονται δύο ακτινογραφίες ραφών ηλεκτροσυγκόλλησης όπου στην πρώτη διακρίνεται η ύπαρξη πόρων και υπολειμμάτων πάστας και στην δεύτερη η ύπαρξη ρωγμής. ^[1]



Σχήμα 27: Ακτινογραφία ραφής ηλεκτροσυγκόλλησης ^[1]

3.3.5 Έλεγχος με υπερήχους

Η τελευταία αλλά επίσης εξίσου αποτελεσματική μέθοδος που θα δούμε είναι ο έλεγχος των συγκολλήσεων με υπερήχους. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στην αντανάκλαση των υπερήχων στο

σημείο που υπάρχει ελάττωμα στην συγκόλληση. Έτσι είναι δυνατή η πλήρης απεικόνιση της κατάστασης της συγκόλλησης και αποκαλύπτεται και η τελευταία μικροατέλεια που υπάρχει σε αυτή. Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται σε μια οθόνη ή εναλλακτικά αποτυπώνονται σε ένα γραφικό διάγραμμα. Αυτή η μέθοδος παρουσιάζει το ίδιο μειονέκτημα με την μέθοδο ελέγχου συγκολλήσεων με ακτινογραφία δηλαδή απαιτεί ειδικό μηχάνημα υψηλού κόστους και εξειδικευμένο προσωπικό. Σε σχέση όμως με αυτή έχει και δύο πλεονεκτήματα, πρώτον δίνει καλύτερα αποτελέσματα και δεύτερο δεν είναι επικίνδυνη για την υγεία των χειριστών γιατί δεν περιέχει εκπομπή ακτινοβολίας.

Για να είναι επιτυχής η μέθοδος του ελέγχου με υπερήχους απαιτείται η προετοιμασία της επιφάνειας της συγκόλλησης η οποία περιλαμβάνει καθαρισμό της επιφάνειας, αφαίρεση της σκουριάς και του χρώματος εάν είναι βαμμένη και την επίστρωση ενός προπαρασκευαστικού χρώματος. ^{[1], [19]}

3.3.6 Άλλες μέθοδοι ελέγχου

Οι μέθοδοι που είδαμε στις προηγούμενες ενότητες είναι οι σημαντικότερες με τις οποίες γίνεται στην πλειοψηφία των εφαρμογών ο μη καταστροφικός έλεγχος των συγκολλήσεων. Πέρα από αυτές όμως υπάρχουν και αρκετές άλλες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τέτοιες είναι ο έλεγχος διαρροής με αέρα υπό πίεση, η υδροστατική δοκιμή ελέγχου για εντοπισμό διαρροών, ο εντοπισμός διαρροών με εντοπισμό φυσαλίδων, ο έλεγχος των διαρροών με κηροζίνη και η εκπομπή ήχου. Επειδή αυτές οι μέθοδοι δεν βρίσκουν πολλές εφαρμογές δεν κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω αναφορά σε αυτές. ^[19]

3.4 Καταστρεπτικές δοκιμές

Η δεύτερη κατηγορία των ελέγχων των συγκολλήσεων αποτελείται από τις καταστρεπτικές δοκιμές. Το μειονέκτημα τους είναι ότι για να εφαρμοστούν απαιτείται η καταστροφή της συγκόλλησης κάτι που δεν τις κάνει και πολύ θελκτικές, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που αναφερόμαστε σε έλεγχο μεμονωμένων συγκολλήσεων. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις μαζικής παραγωγής όπου η καταστροφή ενός τεμαχίου για τον έλεγχο της συγκόλλησης δεν επιφέρει και πολύ μεγάλο κόστος. Μάλιστα σε τέτοιες μαζικές παραγωγές δεν γίνεται μόνο μια φορά ο έλεγχος αλλά καθημερινώς ελέγχεται ένα ποσοστό των παραγόμενων τεμαχίων.

Με αυτές τις δοκιμές ελέγχονται κυρίως οι μηχανικές ιδιότητες των συγκολλήσεων. Κατά δεύτερο μπορεί να γίνουν και για να διαπιστωθούν διάφορα ελαττώματα των συγκολλήσεων. Οι κυριότερες μηχανικές ιδιότητες μια συγκόλλησης που ελέγχονται με τις καταστρεπτικές δοκιμές είναι η σκληρότητα, η αντοχή σε εφελκυσμό και η αντοχή σε κρούση. Βέβαια αναλόγως της

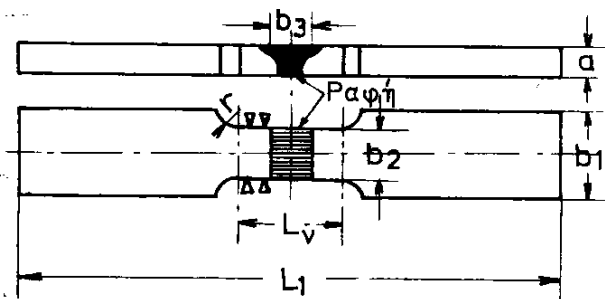
εφαρμογής μπορεί κάποια από αυτές τις ιδιότητες να μην είναι τόσο χρήσιμη και αντιθέτως να απαιτείται ο έλεγχος κάποιας άλλης μηχανικής ιδιότητας. Για την εκτέλεση αυτών των δοκιμών απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλου εργαστηριακού εξοπλισμού. ^[1]

3.4.1 Δοκιμή εφελκυσμού

Κατά τη δοκιμή εφελκυσμού προσδιορίζετε η αντοχή της συγκολλήσεως σε εφελκυσμό. Γι' αυτό κόβονται δοκίμια, όπως ακριβώς κατά τη δοκιμή των μετάλλων σε εφελκυσμό, τα οποία να έχουν στο μέσο τη ραφή συγκολλήσεως.

Στο σχήμα 28 φαίνεται ο τύπος των δοκιμών κατά τους γερμανικούς κανονισμούς δοκιμής. Οι διαστάσεις των δοκιμών είναι ανάλογες με το πάχος του ελάσματος και δίνονται στον πίνακα

- a = Πάχος ελάσματος
- b₁ = Πλάτος κεφαλής δοκιμίου
- b₂ = Πλάτος δοκιμίου
- b₃ = Πλάτος ραφής στο πλατύτερο σημείο
- L₁ = Συνολικό μήκος δοκιμίου
- L_v = Μήκος δοκιμής
- r = Ακτίνα καμπυλώσεως



Σχήμα 28: Δοκίμιο ραφής συγκολλήσεως σε εφελκυσμό

Τα δοκίμια αυτά εφελκύνονται έως ότου σπάσουν σε μηχανή δοκιμής σε εφελκυσμό. Αφού σπάσουν, μετρούνται η τάση θραύσεως και οι σχετικές επιμηκύνσεις.

Η τάση θραύσεως είναι χαρακτηριστικό της συγκολλήσεως. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η τάση θραύσεως, τόσο μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό έχει η ραφή συγκολλήσεως.

Ένα άλλο μέγεθος που μετρά την αντοχή της συγκολλήσεως σε εφελκυσμό είναι ο συντελεστής εξασθενήσεως.

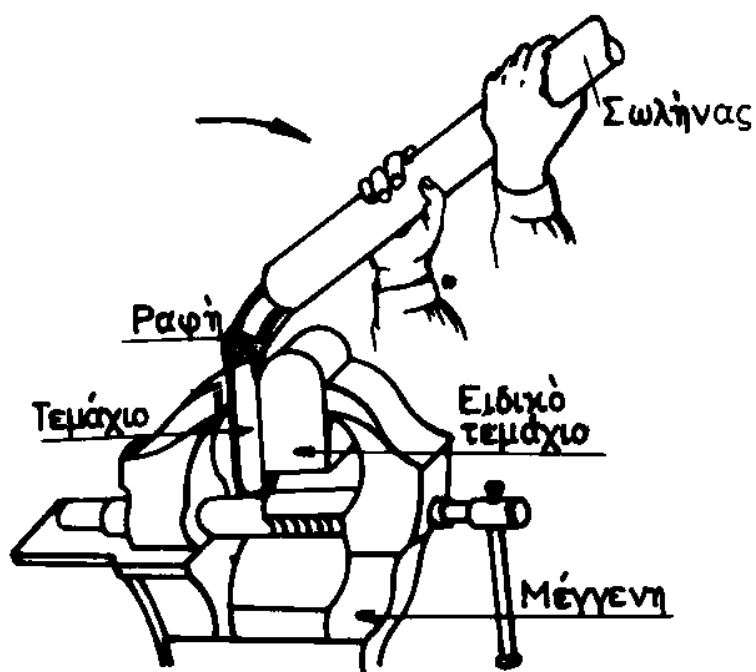
Ως γνωστό με τη συγκόλληση επιτυγχάνεται η σύνδεση δύο τεμαχίων. Η σύνδεση αυτή είναι τόσο ισχυρότερη, όσο καλύτερη είναι η ραφή (κατάλληλο υλικό ηλεκτροδίου ή κολλήσεως, ραφή χωρίς οξειδία, πόρους κλπ). Το πόσο ισχυρή είναι η σύνδεση των τεμαχίων μετρείται από το συντελεστή εξασθενήσεως.

Πίνακας 5: Διαστάσεις δοκιμίων εφελκυσμού (mm)

Πάχος ελάσματος	a	έως 10	Από 10-20	Από 20-35	Πάνω από 35
Συνολικό μήκος δοκιμίων	L_1	250	250	300	350
Μήκος δοκιμής	L_v	$b_2 + (0-5) a$			
Πάχος κεφαλής δοκιμίων	b_1	30	30	35	40
Πλάτος δοκιμίου	b_2	15	20	25	30
Ακτίνα καμπυλώσεως	r	10	15	20	20

3.4.2 Δοκιμή αντοχής σε κάμψη.

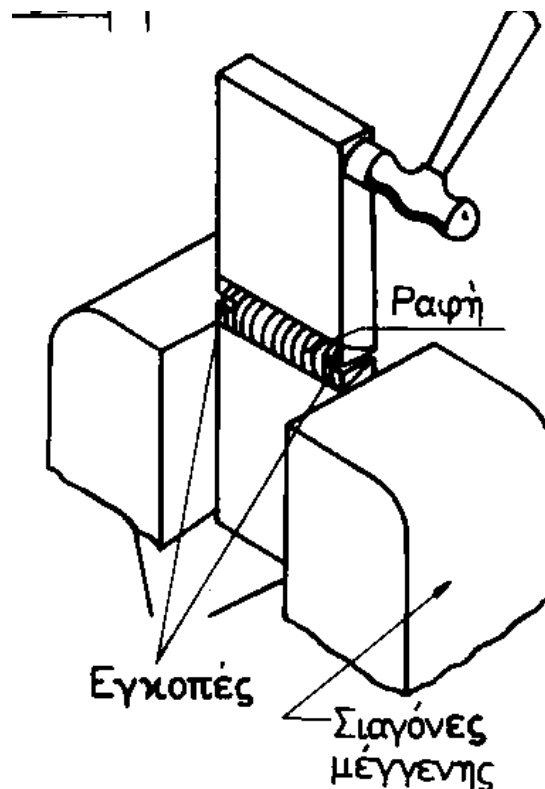
Εδώ προσδιορίζεται η αντοχή της συγκολλήσεως σε κάμψη. Η αντοχή σε κάμψη δοκιμάζεται πρόχειρα στη μέγγενη (συνδίακτορα). Το τεμάχιο προσδένεται στη μέγγενη μαζί με ειδικό τεμάχιο, ώστε η κάμψη να είναι ομαλή. Η θέση προσδέσεως καθορίζεται έτσι, ώστε η καταπόνηση να εφαρμόζεται στη ραφή. Για την επιβολή της δυνάμεως χρησιμοποιείται σωλήνας. Με αυτόν αυξάνεται ο βραχίονας του μοχλού και διευκολύνεται η εφαρμογή της δυνάμεως.



Σχήμα 29: Πρόχειρη, δοκιμή κάμψεως.

3.4.3 Δοκιμή κρούσεως.

Η δοκιμή κρούσεως γίνεται πρόχειρα στη μέγγενη (συνδότηρα). Εδώ το δοκίμιο έχει μεγαλύτερες διαστάσεις από ό, τι κατά τη δοκιμή σε μηχανή δοκιμής σε κρούση και έχει εγκοπές και από τις δύο πλευρές. Ως μέσο επιβολής της κρουστικής δυνάμεως χρησιμοποιείται βαρύ σφυρί. Στη συνέχεια εκτιμάται η αντίσταση του τεμαχίου σε θραύση.



Σχήμα 30: Πρόχειρη δοκιμή κρούσεως σε συνδότηρα.

Για τη δοκιμή κρούσεως σε μηχανή δοκιμής αποκόπτονται από το τεμάχιο δοκίμια μήκους 55mm και τετράγωνης διατομής. Τα δοκίμια αυτά λαμβάνονται από διάφορες θέσεις, ώστε να προσδιορισθεί η αντοχή της ραφής σε διαφορετικά σημεία μέσα στη ραφή, καθώς και στις θέσεις που συνδέεται η ραφή με τα τεμάχια. Κατόπιν χαράσσεται εγκοπή βάθους 3mm στη θέση ελέγχου, που βρίσκεται στο μέσο του δοκίμιου.

3.4.4 Μεταλλουργικοί έλεγχοι.

Οι συνδέσεις των μετάλλων με συγκολλήσεις ελέγχονται επίσης σε ειδικά εργαστήρια με τις μεθόδους που διδάσκει η επιστήμη της μεταλλογνωσίας. Για τον έλεγχο αυτό λαμβάνονται δοκίμια, τα οποία περιέχουν σε τομή τη συγκόλληση.

Αυτά κατεργάζονται στην επιφάνειά τους με διαδοχικές λειάνσεις και κατόπιν τίθενται σε μικροσκόπιο, όπου παρατηρούνται, η υφή του μετάλλου στη ραφή, στις θέσεις συνδέσεως της ραφής και του τεμαχίου, καθώς και σε θέσεις του τεμαχίου κοντά στη ραφή.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συγκολλήσεις είναι μια από τις πλέον χρησιμοποιούμενες μηχανολογικές κατεργασίες και η πλέον χρησιμοποιούμενη διαδικασία σύνδεσης υλικών και ειδικότερα μεταλλικών τεμαχίων. Από την παρούσα εργασία μπορούν να εξέλθουν κάποια συμπεράσματα τα οποία καταγράφονται παρακάτω:

- Η συγκόλληση είναι μια μηχανολογική κατεργασία η οποία χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα όμως γνώρισε πραγματική άνθηση μετά το 1800.
- Αποτελεί την κρυσταλλική συνένωση επιμέρους τεμαχίων υπό την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας ή πίεσης ή και των δύο.
- Σε όλα τα μηχανολογικά σχέδια τις συναντούμε με συγκεκριμένους συμβολισμούς έτσι ώστε να μπορεί να τις διαβάσει και να τις εκτελέσει οποιοσδήποτε συγκολλητής χωρίς καν να γνωρίζει τον σχεδιαστή τους.
- Οι τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων 200 ετών οδήγησαν στην ανάπτυξη αρκετών ειδών συγκόλλησης τα οποία στοχεύουν σε επιμέρους βελτιώσεις έκαστο.
- Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις συγκολλήσεις τήξης, τις συγκολλήσεις πίεσης και τις ειδικές συγκολλήσεις. Η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση την ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την συγκόλληση των τεμαχίων.
- Επικρατούν κυρίως οι συγκολλήσεις τήξης και ειδικότερα οι ηλεκτροσυγκολλήσεις και οι οξυγονοκολλήσεις.
- Ο ποιοτικός έλεγχος των συγκολλήσεων είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή ή την απόρριψή τους.
- Ο λόγος που απαιτείται ποιοτικός έλεγχος είναι γιατί οι συγκολλήσεις μπορεί να παρουσιάσουν μια σειρά ελαττωμάτων.
- Ο ποιοτικός έλεγχος των συγκολλήσεων μπορεί να γίνει με μη καταστροφικές δοκιμές ή με καταστροφικές δοκιμές.
- Για μεμονωμένες συγκολλήσεις προτιμούνται οι μη καταστροφικές δοκιμές βάσει των οποίων μπορούν να αποκαλυφθούν τα ελαττώματα των υπό έλεγχο συγκολλήσεων.
- Για συγκολλήσεις ευρείας παραγωγής χρησιμοποιούνται και οι καταστροφικές δοκιμές προκειμένου να μετρηθούν οι μηχανικές ιδιότητες των συγκολλήσεων. Εννοείται ότι παράλληλα γίνονται και μη καταστροφικές δοκιμές έτσι ώστε να διαπιστωθούν τυχόν ελαττώματα των συγκολλήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α. Ασημακόπουλος, Κ. Διακουμάκος, «Συγκολλήσεις», Εκδόσεις Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια, Ειδικότητα Αμαξωμάτων, 2004.
2. Κ. Δ. Ε. Μπουζάκης, «Κανονισμοί μηχανολογικού σχεδίου», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2003.
3. Ρ. Γραϊκούση, «Στοιχεία Μηχανών: Τόμος Ι - Κολλήσεις», 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 1987.
4. ΤΕΙ Κρήτης, «Συγκολλήσεις», Σημειώσεις Μαθήματος Κατασκευαστικές Τεχνολογίες, Τμήμα Τεχνολογίας Συστημάτων Διαχείρισης Φυσικών Πόρων, Παράρτημα Χανίων. Λήψη από:
<http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/kataskeuastikes%20texnologies/5-WELD.pdf>
(05/06/2012)
5. Χ. Α. Παπαδόπουλος, «Συγκολλήσεις», Σημειώσεις Μαθήματος Στοιχεία Μηχανών Ι & ΙΙ, Πανεπιστήμιο Πατρών. Λήψη από:
<http://www.mech.upatras.gr/~papado/CAMD/10.Pres.pdf> (05/06/2012)
6. Π. Ν. Μπότσαρης, Π. Δ. Σπάρης, «Στοιχεία Τεχνολογίας Παραγωγής», 2^η Έκδοση, Ξάνθη, 2008. Λήψη από:
http://medilab.pme.duth.gr/stoixeia_tehnologias_paragogis.htm (05/06/2012)
7. Χ. Χατζιωάννου, «Κοπές – Συγκολλήσεις με οξυγόνο», Εκδόσεις ΕΛ. ΙΝ. Υ. Α. Ε., Παράρτημα Θεσσαλονίκης. Λήψη από:
http://www.teetdk.tee.gr/docs/asfaleia_sep03/Oksigonosigollisis.pdf (05/06/2012)
8. http://www.rodovens.com/welding_articles/history.htm (08/06/2012)
9. http://www.netwelding.com/History_of_Welding.htm (08/06/2012)
10. [http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/\\$file/kopi.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/$file/kopi.pdf) (10/06/2012)
11. Ε. Αλεξόπουλος, «Κίνδυνοι για την υγεία από την ηλεκτροσυγκόλληση», Εκδόσεις Λιβάνη, Ελληνικό ινστιτούτο υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας, Αθήνα, 2007. Λήψη από:
http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/HLEKTROSYGKOLHSH.1182249793383.pdf
(10/06/2012)
12. http://www.machines.gr/ilektropontes_EL.php (10/06/2012)
13. <http://moisiadis-publications.gr/wp-content/uploads/2010/10/Συγκόλληση-βυθισμένου-τόξου.pdf> (10/06/2012)
14. <http://moisiadis-publications.gr/wp-content/uploads/2010/10/ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ-ME-ΔΕΣΜΗ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ.pdf> (10/06/2012)

15. Κ. Πιτρης, «Βασικές Οδηγίες Κασσιτεροκόλλησης», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κύπρου. Λήψη από:
<http://www.eng.ucy.ac.cy/cpitris/courses/ece203/Notes/02c.%20Soldering%20Guide.pdf>
(10/06/2012)
16. <http://moisiadis-publications.gr/wp-content/uploads/2010/10/ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ-ΧΑΜΗΛΗΣ-ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ-Η-ΑΣΗΜΟΚΟΛΛΗΣΗ.pdf> (10/06/2012)
17. <http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Routoulas/Petyl/EKOS2000/Ch21.pdf> (12/06/2012)
18. <http://courseware.mech.ntua.gr/ml26157/mathimata/Welding%20defects.pdf> (12/06/2012)
19. Ε. Μελέτη, «Μη καταστροφικοί έλεγχοι υλικών», Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	3
Abstract.....	4
Πρόλογος	5
Κεφάλαιο 1	7
Βασικές αρχές συγκολλήσεων.....	7
1.1 Γενικά.....	7
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	9
1.3 Συγκολλητικότητα υλικών	11
1.4 Συμβολισμοί συγκολλήσεων	12
Κεφάλαιο 2	16
Είδη συγκολλήσεων.....	16
2.1 Γενικά στοιχεία.....	16
2.2 Συγκολλήσεις τήξης	17
2.2.1 Αυτογενείς συγκολλήσεις	18
2.2.1.1 Συγκόλληση με οξυγονοασετιλίνη	19
2.2.1.2 Συγκόλληση τόξου – ηλεκτροσυγκόλληση.....	22
2.2.1.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα	27
2.2.1.4 Ηλεκτροσυγκόλληση βυθισμένου τόξου.....	29
2.2.1.5 Ηλεκτροσυγκόλληση πλάσματος	29
2.2.2 Ετερογενείς συγκολλήσεις.....	30
2.2.2.1 Μαλακές συγκολλήσεις.....	31
2.2.2.2 Σκληρές συγκολλήσεις.....	33
2.3 Συγκολλήσεις πίεσης.....	34
2.3.1 Ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση	34
2.3.2 Καμινοσυγκόλληση	35
2.3.3 Συγκόλληση με τριβή.....	36
2.4 Ειδικές συγκολλήσεις.....	37
Κεφάλαιο 3	39
Ποιοτικός έλεγχος συγκολλήσεων	39
3.1 Γενικά.....	39
3.2 Ελαττώματα – σφάλματα συγκολλήσεων	40
3.3 Μη καταστρεπτικές δοκιμές.....	44

3.3.1	Οπτικός έλεγχος	44
3.3.2	Έλεγχος για ρωγμές με την βοήθεια διεισδυτικών υλικών.....	45
3.3.3	Έλεγχος για ρωγμές με την βοήθεια μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη	46
3.3.4	Έλεγχος με ακτινογραφία	48
3.3.5	Έλεγχος με υπερήχους	48
3.3.6	Άλλες μέθοδοι ελέγχου	49
3.4	Καταστρεπτικές δοκιμές	49
3.4.1	Δοκιμή εφελκυσμού.....	50
3.4.2	Δοκιμή αντοχής σε κάμψη.....	51
3.4.3	Δοκιμή κρούσεως	52
3.4.4	Μεταλλουργικοί έλεγχοι.....	52
	Επίλογος - Συμπεράσματα.....	5454
	Βιβλιογραφία	555
	Περιεχόμενα	57