



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

“ΧΑΛΥΒΕΣ ΣΥΓΚΟΛΗΣΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΟΜΗ Θ.Ε.Ζ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΟΥΜΠΟΥΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ – ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



Επιβλέπων καθηγητής κ.Π.ΜΑΤΖΙΝΟΣ

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Κεφάλαιο 1.....Εισαγωγικές Έννοιες – Είδη Χάλυβα και η Χρήση τους στο Όχημα

1.1Γενικά

1.1.2.....Ορισμός του Χάλυβα

1.1.3.....Ιστορία του Χάλυβα

1.1.4.....Η Παραγωγή του Χάλυβα

1.1.5.....Μέθοδος Bessemer

1.1.6.....Μέθοδος Siemens-Martin

1.1.7.....Μέθοδος Οξυγόνου

1.1.8..... Μέθοδος Ηλεκτρικού Φούρνου

1.2.1.....Ποιότητες του Χάλυβα

1.2.2.....Ιδιότητες των Χαλύβων-Συντομογραφία

1.2.3.....Η Βιομηχανία του Χάλυβα στην Ελλάδα

Κεφάλαιο 2.....Αυτοκινητοβιομηχανικοί Χάλυβες- Χρήση Χάλυβα στο Όχημα

2.1.....Ο Χάλυβας στο Αυτοκίνητο

2.2.....Χημική Σύσταση

2.3.....Τύποι Χάλυβα Αυτοκινητοβιομηχανίας

2.4.....Ο Χάλυβας στο Όχημα σήμερα

2.5.....Υλικά Κατασκευής εξαρτημάτων στην Μ.Ε.Κ

2.5.1.....Έμβολα

2.5.2.....Υλικά Βαλβίδων

Κεφάλαιο 3.....Συγκολλητότητα Χαλύβων

3.1.....Βασικές Αρχές Συγκολλήσεων

3.2.....Συγκολλητότητα των Υλικών

3.2.1.....Κράματα Σιδήρου-Άνθρακα

3.3.....	Αυτογενείς Συγκολλήσεις
3.3.1.....	Συγκόλληση με Οξογονοασετυλίνη
3.3.2.....	Συγκόλληση Τόξου
3.3.3.....	Ηλεκτροσυγκόλληση σε Αδρανή Ατμόσφαιρα
3.3.3.1.....	Μέθοδος T.I.G
3.3.3.2.....	Μέθοδος M.I.G
3.3.3.3.....	Μέθοδος M.AG
3.3.3.4.....	Ηλεκτροσυγκόλληση με Αντίσταση(Ηλεκτροπόντα)
3.3.4.....	Υπέρηχοι
3.3.5.....	Laser
3.3.6.....	Τριβή
3.3.7.....	Πλάσμα
3.4.....	Ετερογενείς συγκολλήσεις
3.4.1.....	Μαλακές Συγκολλήσεις
3.4.1.1.....	Κασσιτεροκόλληση
3.4.1.2.....	Μολυβδοκόλληση
3.4.2.....	Σκληρές Κολλήσεις
3.4.2.1.....	Μπρουτζοκόλληση
3.4.2.2.....	Ασημοκόλληση
3.5.....	Επιλογή Μεθόδων Συγκόλλησης
3.6.....	Έλεγχος Συγκολλήσεων
3.6.1.....	Μη Καταστροφικές Μέθοδοι
3.6.2.....	Καταστροφικές Δοκιμές
Κεφάλαιο 4.....	Μεταλλογραφική δομή Χάλυβα
4.1.....	Εισαγωγή
4.2.1.....	Εγκιβωτισμός
4.2.2.....	Λείανση

4.2.3.....	Στίλβωση
4.2.4.....	Χημική Προσβολή
4.2.5.....	Οπτικό Μικροσκόπιο
4.3.....	Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη(Θ.Ε.Ζ)
4.3.1.....	Μέταλλο Συγκόλλησης
4.3.2.....	Σκληρομετρήσεις
Κεφάλαιο 5.....	Μηχανικά φαινόμενα κατά την Συγκόλληση Ανοξείδωτων Ωστενιτικών Χαλύβων
5.1.....	Θερμικός Κύκλος της Συγκόλλησης-Ιδιότητες 316L
5.2.....	Σχηματισμός Πεδίου Παραμενουσών Τάσεων
5.2.1.....	Ιδίες Τάσεις ή Εσωτερικές Τάσεις
5.2.2.....	Κατανομή των Ιδίων Τάσεων
5.2.3.....	Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των Τάσεων
5.2.4.....	Τρόποι μείωσης των Παραμορφώσεων και των Τάσεων
5.2.5.....	Εκτέλεση κολλήσεων Συγκράτησης για τη Συγκόλληση
Κεφάλαιο 6.....	Σχόλια - Συμπεράσματα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η κατανόηση της χρησιμότητας του χάλυβα στην αυτοκινητοβιομηχανία η μελέτη της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης του υλικού αυτού, τις μηχανικές του ιδιότητες και τέλος η γνωστοποίηση των μέθοδων συγκολλήσεώς του.

Στις παρακάτω σελίδες που ακολουθούν θα προσπαθήσουμε να σας δώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για αυτό το εξαιρετικά χρήσιμο και πολλές φορές αναγκαίο υλικό για την αυτοκινητοβιομηχανία.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Π.Ματζινό που μας βοήθησε και μας καθοδήγησε ώστε να μπορέσουμε να ολοκληρώσουμε αυτήν την εργασία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΕΙΔΗ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ

1.1 Γενικά

1.1.2 Ορισμός χάλυβα

Ο **χάλυβας** (κοινώς *ατσάλι*) είναι κράμα σιδήρου–άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού: από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων.

Το ατσάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις «βαριές βιομηχανίες». Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

1.1.3 Ιστορία του χάλυβα

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στο 1000 π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Πάντως οι Χετταίοι γνώριζαν μια παρόμοια μέθοδο παραγωγής χάλυβα ήδη από το 2300 π.Χ. Την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και οι Ινδοί, οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα, καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη («βαφή»). Περίφημα ήταν τα σφυρήλατα χαλύβδινα δαμασκηνά σπαθιά, που κατασκευάζονταν κατά τον Μεσαίωνα στη Συρία και στην Ιαπωνία.

Αν και από την εποχή της Αναγέννησης υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα ανάπτυξης των υψηλών θερμοκρασιών τήξης του χάλυβα, οι πρώτοι χάλυβες σε κάμνο παρήχθησαν το 1740. Μέχρι τότε κατασκευάζονταν μόνο λεπτού πάχους τεμάχια από χάλυβα, όπως ξίφη και εργαλεία, με ενανθράκωση σιδήρου, δηλαδή με τεχνικές διάχυσης του άνθρακα σε τεμάχια σιδήρου. Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει ουσιαστικά στα μέσα του 19ου αιώνα, με τη δυνατότητα για πρώτη φορά μαζικής παραγωγής χάλυβα υψηλής ποιότητας, όταν το 1856 ο Άγγλος εφευρέτης Χένρι Μπέσσεμερ ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με πυρίμαχα

τούβλα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμινος Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Μπέσσεμερ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου. Η κάμινος Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον.

1.1.4 Η παραγωγή του χάλυβα

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

Ο χάλυβας που είναι το κυριότερο σιδηρούχο κράμα παράγεται, όπως είπαμε, από τον πρωτογενή χυτοσίδηρο που παρασκευάζεται στην υψικάμινο. Για να μετατρέψουμε τον πρωτογενή χυτοσίδηρο σε χάλυβα πρέπει να μειώσουμε το ποσοστό του άνθρακα, του μαγγανίου και του πυριτίου και να εξαλείψουμε τελείως το φώσφορο και τις ξένες προσμείξεις.

Οι γνωστότερες μέθοδοι παραγωγής χάλυβα είναι οι :

1. **μέθοδος Bessemer**, 1856,
2. **μέθοδος Siemens-Martin**, 1857, (ανοικτής εστίας)
3. **μέθοδος οξυγόνου**
4. **μέθοδος του ηλεκτρικού φούρνου**

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθιερωμένες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτηξη παλαιοσιδηρών και σπογγώδους σιδήρου σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9% για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινους ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

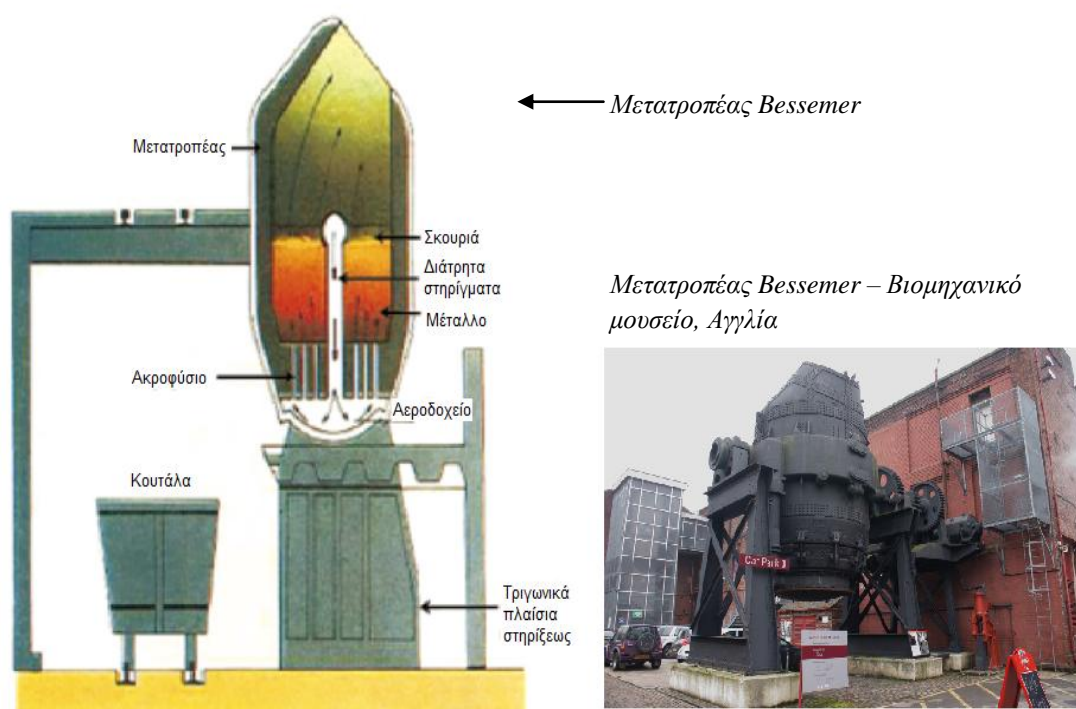
Στην Ελλάδα, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 2,5 εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτηξη παλαιοσιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μπετόβεργας.

1.1.5 Μέθοδος Bessemer

Η αρχή λειτουργίας της **μεθόδου Bessemer** στηρίζεται στην απομάκρυνση των ακαθαρσιών από ένα τήγμα ακάθαρτου χυτοσιδήρου μετά από εμφύσηση ενός ρεύματος αέρα δια μέσου της μάζας του.

Ο καθαρός σίδηρος μετατρέπεται στη συνέχεια σε χάλυβα μετά από εκ νέου προσθήκη του απαιτούμενου ποσοστού άνθρακα και διαφόρων άλλων πρόσθετων. Οι κύριες ακαθαρσίες του χυτοσιδήρου είναι ο άνθρακας, το πυρίτιο, το μαγγάνιο, το θείο και ο φωσφόρος. Οι ακαθαρσίες αυτές αντιδρούν με το οξυγόνο του αέρα και σχηματίζουν οξειδία. Τα οξειδία αυτά είτε απομακρύνονται μετά την καύση, όπως στην περίπτωση του άνθρακα (στην περίπτωση αυτή σχηματίζεται μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα), είτε σχηματίζουν, όπως στην περίπτωση του πυριτίου και του μαγγανίου, μια σκουριά, η οποία επιπλέει πάνω από το τήγμα. Δεν απαιτείται πρόσδοση εξωτερικών ποσών θερμότητας, γιατί κατά τις χημικές αντιδράσεις, που

λαμβάνουν χώρα, εκλύονται σημαντικά ποσά θερμότητας, τα οποία διατηρούν το κράμα σε κατάσταση τήγματος.



Σχήμα 1.1

1.1.6 Μέθοδος Siemens-Martin

Μεταγενέστερη της μεθόδου Bessemer είναι η μέθοδος Siemens-Martin, αλλιώς μέθοδος της ανοικτής εστίας. Και με τη μέθοδο αυτή ο χάλυβας παράγεται από χυτοσίδηρο. Ο χυτοσίδηρος θερμαίνεται με φυσικό αέριο ή με μαζούτ και προστίθεται ένα υλικό, πλούσιο σε οξυγόνο, όπως για παράδειγμα σιδηρομετάλλευμα, για να εξασφαλίσει το οξυγόνο που απαιτείται. Επίσης μέσα στο φούρνο προστίθενται και διάφορα συλλιπάσματα, ανάλογα με τις ακαθαρσίες που πρέπει να απομακρυνθούν. Το αποτέλεσμα είναι η αφαίρεση του άνθρακα και ο σχηματισμός σκουριάς, η οποία απορρίπτεται από κατάλληλη έξοδο του φούρνου.

Στο σχήμα 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας τέτοιος φούρνος ανοικτής εστίας για παραγωγή χάλυβα. Η αβαθής εστία του φούρνου φορτώνεται με scraps και ανθρακικό ασβέστιο. Στη συνέχεια τροφοδοτείται με τήγμα χυτοσιδήρου και ακολουθεί θέρμανση με φλόγα από ένα κατάλληλο καυστήρα. Γίνεται επίσης εμφύσηση οξυγόνου από ένα διάτρητο σωλήνα για την επιτάχυνση της διεργασίας.



Σχήμα 1.2 Φούρνος ανοικτής εστίας παραγωγής χάλυβα (Μέθοδος Siemens-Martin, 1857)

1.1.7 Μέθοδος Οξυγόνου

Σύμφωνα με τη μέθοδο οξυγόνου τροφοδοτείται τήγμα χυτοσιδήρου μέσα σε μια δεξαμενή ή μετατροπέα, ο οποίος είναι μονωμένος με πυρίμαχη επένδυση. Η δεξαμενή είναι στερεωμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να στρέφεται προς τα πλάγια για την τροφοδότηση του τήγματος και να φέρεται μετά στην κατακόρυφη θέση για το επόμενο στάδιο της διεργασίας. Κατά το στάδιο αυτό, μέσα στη δεξαμενή κατεβαίνει ένας σωλήνας ο οποίος ψύχεται με νερό και χρησιμεύει για την εμφύσηση οξυγόνου μέσα στο τήγμα.

Ο σωλήνας του οξυγόνου κατεβαίνει τόσο, ώστε το χείλος του να βρίσκεται μόλις πάνω από την επιφάνεια του τήγματος. Μεταξύ του οξυγόνου και του άνθρακα που περιέχεται στο τήγμα, πραγματοποιείται μια ταχύτατη χημική αντίδραση. Ο στροβιλισμός που δημιουργείται μέσα στο τήγμα από την εμφύσηση του οξυγόνου εξασφαλίζει την επαφή του άνθρακα με το οξυγόνο.

Κατά τη διάρκεια της εμφύσησης του οξυγόνου παράγονται μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα και διαφόρων άλλων αναθυμιάσεων. Τα αέρια αυτά απάγονται με τη βοήθεια ανεμιστήρων και χοανών. Στο τέλος του κύκλου γίνεται μια

στροφή της δεξαμενής προς τα πλάγια για να παραληφθεί ο χάλυβας και στη συνέχεια αποχύνεται και η σκουριά που έχει σχηματιστεί. Μετά από τα παραπάνω στάδια, ο μετατροπέας είναι έτοιμος για να συνεχίσει με τον επόμενο παραγωγικό του κύκλο.

Η μέθοδος ανοικτής εστίας που περιγράψαμε πιο πάνω είναι αποτελεσματική αλλά βραδεία και καταναλώνει μεγάλες ποσότητες καυσίμων. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο έχει εκτοπιστεί από την μέθοδο οξυγόνου (σχήμα 1.3). Η μέθοδος αυτή είναι ταχύτερη και επειδή η διεργασία είναι εξώθερμη (η αντίστοιχη αντίδραση παράγει θερμότητα) δεν απαιτούνται καύσιμα. Σήμερα περισσότερο από το 60% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα παράγεται με τη μέθοδο οξυγόνου και το ποσοστό αυτό αυξάνεται συνεχώς.



Σχήμα 1.3 Η κορυφή ενός βασικού μετατροπέα παραγωγής χάλυβα με τη μέθοδο οξυγόνου

1.1.8 Μέθοδος ηλεκτρικού φούρνου

Μερικοί τύποι χαλύβων και σχεδόν όλοι οι κραματωμένοι χάλυβες παράγονται σε ηλεκτρικούς φούρνους από τους οποίους ο σπουδαιότερος είναι ο φούρνος του ηλεκτρικού τόξου (σχήμα 1.4). Μέσα στο φούρνο τοποθετείται ένα ζυγισμένο ψυχρό φορτίο ακρήστων χαλύβων (scrap), σε μερικές περιπτώσεις μαζί με μια κατάλληλη ποσότητα ψυχρού χυτοσιδήρου, και προκαλείται η έναυση του ηλεκτρικού τόξου με τη βοήθεια των ηλεκτροδίων.

Το ηλεκτρικό τόξο παράγει μεγάλες ποσότητες θερμότητας και προκαλεί την ταχύτατη τήξη του φορτίου. Διάφορα συλλιπάσματα προστίθενται από μια κατάλληλη μηχανή τροφοδοσίας δια μέσου μιας πλευρικής πόρτας του φούρνου και κατά τον ίδιο τρόπο γίνεται επίσης και η προσθήκη των απαιτούμενων στοιχείων κραματοποίησης. Τυπικά παραδείγματα χαλύβων παραγομένων με τη μέθοδο αυτή είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι χάλυβες εργαλείων κλπ.



Σχήμα 1.4 Φούρνος ηλεκτρικού τόξου

Μετά την παραγωγή του ο χάλυβας υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία είτε για δημιουργία νέων κραμάτων είτε για την απομάκρυνση ανεπιθύμη των συστατικών. Οι πιο γνωστές μέθοδοι είναι η αποξείδωση και η απαέρωση με κενό.

Ο έτοιμος πλέον ρευστός χάλυβας χυτεύεται και παίρνει έτσι την αρχική του μορφή για την επόμενη φάση επεξεργασίας του στα έλαστρα. Το μεγαλύτερο μέρος χυτεύεται σε συνεχή χύτευση. Σε ειδικές μόνο περιπτώσεις κάνουμε χύτευση σε μεταλλικά καλούπια.

Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται η πρώτη αυτή χύτευση του χάλυβα στο χαλυβουργείο για τη δημιουργία πρώτης μορφής για την επόμενη φάση κατεργασίας.



Σχήμα 1.5 Συνεχής χύτευση χάλυβα σε ράβδους

Στην επόμενη φάση, κάνοντας χρήση των ιδιοτήτων των μετάλλων μπορούμε με διάφορες κατεργασίες εν ψυχρώ και εν θερμώ να παράγουμε προϊόντα έτοιμα για χρήση στη βιομηχανία. Έτσι με έλαση εν θερμώ και εν ψυχρώ παράγουμε μορφο σίδηρο, χαλύβδινες ράβδους, σύρματα, λαμαρίνες, μπάρες. Με διέλαση παράγουμε σωλήνες χωρίς ραφή. Με σφυρηλασία παράγουμε πολλά μικρά σφυρήλατα αντικείμενα.

Άλλες επεξεργασίες των χαλύβων, στη βιομηχανοποιημένη πλέον μορφή τους, έχουμε : την κοίλανση, την κάμψη, την απότμηση, την περιώθηση, τα διάφορα είδη συγκολλήσεων, τις διάφορες θερμικές κατεργασίες, τις διάφορες επιφανειακές κατεργασίες, τις διάφορες επικαλύψεις κλπ. Λεπτομερής αναφορά των επεξεργασιών αυτών ξεφεύγει των ορίων του βιβλίου αυτού, υπάρχουν όμως στην προτεινόμενη βιβλιογραφία όλα τα

στοιχεία για εκείνον που θα θελήσει να ασχοληθεί εκτενέστερα.

Στο σχήμα 1.6 παρουσιάζεται η φάση της εν θερμώ έλασης και στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται η φάση της εν ψυχρώ έλασης για παραγωγή φύλλων λαμαρίνας.



*Σχήμα 1.6 Παραγωγή
λαμαρίνας με έλαση εν
θερμώ*



*Σχήμα 1.7 Παραγωγή
λαμαρίνας με έλαση εν
ψυχρώ*

1.2.1 Ποιότητες του χάλυβα

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χάλυβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χάλυβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χάλυβων. Αν χτιζόταν σήμερα ο Πύργος του Άιφελ στο Παρίσι, θα χρειαζόταν το ένα τρίτο της ποσότητας χάλυβα. Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο χρειάζεται 25% λιγότερο χάλυβα από ό,τι χρειαζόταν ένα αυτοκίνητο πριν από δυο με τρεις δεκαετίες.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (αγγλ. grades), ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

- **Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες** (αγγλ. carbon steels). Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - ο **χάλυβες χαμηλού άνθρακα** ή **μαλακοί χάλυβες** (αγγλ. mild steels· $C < 0,30\%$),
 - ο **χάλυβες μέτριου άνθρακα** (αγγλ. medium carbon steels· $0,30\% < C < 0,60\%$),
 - ο **χάλυβες υψηλού άνθρακα** (αγγλ. high carbon steels· $0,60\% < C < 1,00\%$), και
 - ο **χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα** (αγγλ. ultra-high carbon steels· $1,00\% < C < 2,00\%$).
- **Κραματομενοί χάλυβες** (αγγλ. alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι
 - ο **ελαφρά κραματομενοί χάλυβες** ή **χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης**, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι **εργαλειοχάλυβες** ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι
 - ο **ισχυρά κραματομενοί χάλυβες** ή **χάλυβες υψηλής κραμάτωσης**, όπως οι **ανοξείδωτοι χάλυβες** ($Cr > 10,5\%$), οι **ταχυχάλυβες** ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- **χάλυβες διαμόρφωσης**, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
- **χυτοχάλυβες**, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.
- **Χάλυβες κατασκευών**, Είναι χάλυβες με μικρά σχετικά ποσοστά κραματικών στοιχείων (Mn, Cr) και χρησιμοποιούνται σε πλήθος

κατασκευών, όπως π.χ. λέβητες, ρουλεμάν, ψυχρή έλαση, άξονες, διωστήρες, κλπ.

- **Χάλυβες εργαλείων.** Περιέχουν συνήθως μεγάλα ποσοστά κραματικών στοιχείων (W, Mo, Cr, V), τα οποία ευνοούν την αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε φθορά και τριβή. Χρησιμοποιούνται για κατασκευή εργαλείων κοπής (κοπτικά τόννου, φρέζας, πλάνης, κλπ), ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης – κοπής – διαμόρφωσης).

- **Χάλυβες θερμικής αντοχής.** Περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό Cr και χρησιμοποιούνται για κατασκευή σιδηροτροχιών, φούρνων, σωληνώσεων διυλιστηρίων, μπόιλερ, κλπ.

- **Χάλυβες ανοξείδωτοι.** Είναι χάλυβες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Π.χ. χημική βιομηχανία, εναλλάκτες θερμότητας, ιατρικά εργαλεία, είδη κουζίνας (μαχαιροπήρουνα) κλπ. Περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό Cr, Ni.

- **Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.** Χρησιμοποιούνται για κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών, μόνιμων μαγνητών κλπ.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να προσδιορίσουμε την ποιότητα ενός χάλυβα στην πράξη είναι η αντοχή που έχει σε καταπόνηση εφελκυσμού. Έτσι όταν ακούμε για χάλυβα 37, εννοούμε χάλυβα με ενδεικτική τιμή σε εφελκυσμό 370 N/mm², όταν για χάλυβα 70, εννοούμε χάλυβα με ενδεικτική τιμή σε εφελκυσμό 700 N/mm² κ.ο.κ.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λ.π. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm²).

1.2.2 Ιδιότητες των χαλύβων – συντομογραφία

Ο χάλυβας προσφέρει μια εντυπωσιακή σειρά από ιδιότητες για την κάλυψη των απαιτήσεων για κάθε βιομηχανική εφαρμογή. Ο χάλυβας για χρήση σε αυτοκινητιστικές εφαρμογές κυμαίνεται, από τους πιο διαμορφώσιμους με μικρή απόδοση αντοχής της τάξης των 140 N/mm² σε αυτούς με υπερυψηλή αντοχή της τάξης των 2500 N/mm², όπως είναι ο χάλυβας που χρησιμοποιείται στα ελαστικά (λεπτές χορδές χάλυβα). Μερικές ποιότητες χάλυβα έχουν ειδική επεξεργασία για μια συγκεκριμένη τελική χρήση όπως ο “καθαρός” χάλυβας που χρησιμοποιείται στα συστήματα έγχυσης καυσίμου και στους σφυρήλατους στραφαλοφόρους και εκκεντροφόρους άξονες και στους διωστήρες.

Μια βασική απαίτηση για τα φύλλα χάλυβα που προορίζονται για χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι ότι είναι διαμορφώσιμα, οπότε και μπορεί να τεντωθεί

χωρίς να λεπταίνει υπερβολικά ώστε να δημιουργούνται πολύπλοκα σχήματα. Οι μαλακότερες ποιότητες χάλυβα που έχουν χαμηλή αντοχή διαρροής, τείνουν να είναι ιδιαίτερα διαμορφώσιμα αλλά στερούνται της δύναμης που απαιτείται για τα κύρια μεταφερόμενα μέλη ενός οχήματος. Χαλύβδινα μέρη υψηλότερης αντοχής μπορεί να είναι δυσκολότερο να διαμορφωθούν αλλά προσφέρουν δυνατότητα για μείωση του βάρους.

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης στον κόσμο, όπως **DIN, NF, BS, UNI, ASTM**, κλπ. Υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, απαραίτητη για την συνεννόηση αλλά και για τη διακίνηση των διαφόρων χαλύβων ανά τον κόσμο. Πιο κάτω, σε πίνακες δίνουμε ενδεικτικά παραδείγματα ονοματολογίας και τυποποίησης χαλύβων καθώς και μια τέτοια αντιστοιχία τυποποίησης.

Πίνακας 1.1 *Χάλυβες κατασκευών*

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm²	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	C %
1.0301	C 10	490-640	131	0.07-0.13
1.0401	C 15	590-780	146	0.12-0.18
1.0711	9 S 20	360-530	159	≤ 0.13
1.0715	9 SMn28	380-570	170	≤ 0.14
1.0718	9 SMnPb28	380-570	170	≤ 0.14
1.0721	10 S 20	360-530	159	0.07-0.13
1.1121	Ck 10	490-640	131	0.07-0.13
1.1141	Ck 15	590-780	146	0.12-0.18
1.5732	14 NiCr 10	830-1080	205	0.10-0.17
1.5752	14 NiCr 14	880-1180	230	0.10-0.17
1.5860	14 NiCr 18	1080-1320	245	0.10-0.17
1.5919	15 CrNi 6	780-1060	217	0.12-0.17
1.6587	17 CrNiMo 6	980-1270	229	0.14-0.19
1.7131	16 MnCr 5	640-930	207	0.14-0.19
1.7262	15 CrMo 5	640-930	207	0.13-0.17
1.7326	25 MoCrS 4	780-1080	217	0.23-0.29
1.8504	34 CrAl 6	540-780	217	0.30-0.37
1.8506	34 CrAlS 5	440-930	217	0.30-0.37
1.8509	41 CrAlMo 7	735-980	262	0.38-0.45
1.8519	31 CrMoV 9	1080-1230	248	0.26-0.34
1.8523	39CrMoV139	1080-1420	262	0.35-0.42
1.8550	34 CrAlNi 7	1000-1470	245	0.30-0.37

Από τους χάλυβες κατασκευών του πίνακα 1.1 κατασκευάζονται μηχανικά μικρά κομμάτια, λεβιέδες, σύνδεσμοι, χιτώνια, πείροι, οδοντωτοί τροχοί, σύνδεσμοι καρντάν, εκκεντροφόροι, αλυσίδες, πινιόν, ρουλεμάν, κιβώτια ταχυτήτων, άξονες, τροχαλίες αλυσίδων, ελατήρια διαφόρων τύπων, πείροι εμβόλων, πείροι αλυσίδων, άξονες γραναζιών, κλπ.

Πίνακας 1.2 *Χάλυβες εργαλείων*

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm²	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	% C
1.1520	C 70 W1	640	190	0.65-0.74
1.1525	C 80 W1	640	190	0.75-0.85
1.1620	C 70 W2	640-760	190	0.65-0.74
1.1730	C 45 W	640-700	190-207	0.40-0.50
1.1830	C 85 W	760-830	225-248	0.80-0.90
1.2082	X20 Cr13	980-1370	200	0.17-0.22
1.2242	59 CrV 4	1080-1670	235	0.55-0.62
1.2311	40CrMnMo7	930-1470	230	0.35-0.45
1.2542	45 WCrV 7	1180-1470	225	0.40-0.50
1.2601	X165CrMoV12	1570-1960	231	1.55-1.75
1.2622	X60WcrMoV94	1470-2060	270	0.55-0.65
1.2710	45 NiCr 6	1180-1570	238	0.40-0.50
1.2726	26 NiCrMoV 5	1180-1420	240	0.22-0.30
1.2744	57NiCrMoV77	1080-1670	248	0.50-0.60
1.2842	90 MnCrV 8	1370-1670	211	0.85-0.95
1.4120	X20CrMo13	880-1470	260	0.17-0.22

Πίνακας 1.3 *Χάλυβες θερμικής αντοχής*

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm²	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	% C
1.4700	8 CrSi 7 7	490-640	192	≤ 0.10
1.4712	X 10 CrSi 6	540-690	195	≤ 0.12
1.4713	X10CrAl7	420-620	192	≤ 0.12
1.4722	X10CrSi13	540-690	195	≤ 0.12
1.4724	X10CrAl 13	450-650	192	≤ 0.12
1.4741	X10CrSi18	540-690	215	≤ 0.12
1.4742	X10CrAl 18	500-700	212	≤ 0.12

1.4762	X10CrAl24	520-720	223	≤0.12
1.4821	X20CrNiSi254	600-850	235	0.10-0.20
1.4828	X15CrNiSi2012	500-750	223	≤0.20
1.4841	X15CrNiSi2520	550-800	223	≤0.20
1.4845	X12CrNi2521	500-750	192	≤0.15
1.4861	X10NiCr3220	490-740	200	≤0.12
1.4864	X12NiCrSi3616	550-800	223	≤0.15
1.4876	X10NiCrAlTi3220	540-740	192	≤0.12
1.4878	X12CrNiTi189	500-750	192	≤0.12
1.5310	8 SiTi 4	350-500	151	≤0.10

Από τους χάλυβες θερμικής αντοχής του πίνακα 1.3 κατασκευάζονται βαλβίδες εισόδου μέσης αντοχής για μηχανές κάθε είδους, βαλβίδες εξόδου για μηχανές υψηλών απαιτήσεων, πτερύγια στροβίλων τούρμπο, πόρτες, σκελετοί πόρτας, κλπ.

Πίνακας 1.4 *Χάλυβες ανοξείδωτοι*

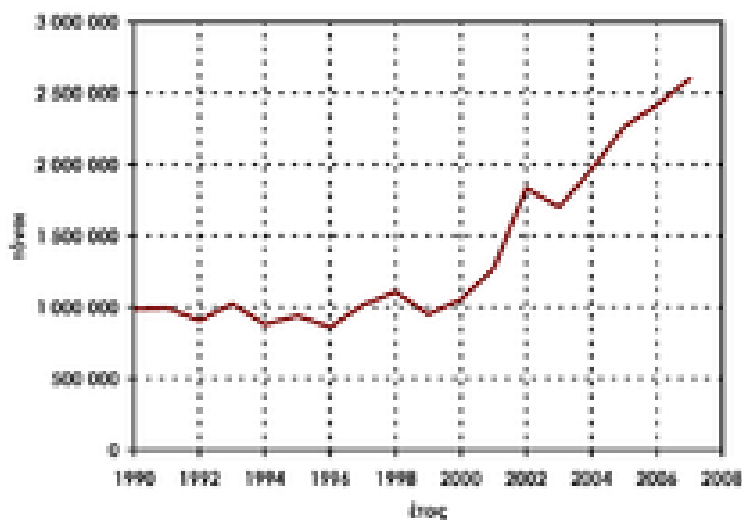
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm²	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	%C
1.4000	X 7 Cr 13	450-700	130-210	≤0.08
1.4001	X 7 Cr 14	-----	130-180	≤ 0.08
1.4002	X 7 CrAl 13	450-700	130-210	≤ 0.08
1.4005	X 12 CrS 13	590-780	170-210	≤0.15
1.4006	X 10 Cr 13	550-750	140-210	0.08-0.12
1.4016	X 8 Cr 17	450-600	130-170	≤0.08
1.4021	X 20 Cr 13	650-960	180-275	0.18-0.22
1.4024	X 15Cr13	650-800	180-230	0.13-0.17
1.4057	X 22 CrNi 17	800-950	225-275	0.14-0.23
1.4104	X 12 CrMoS 17	550-850	160-235	0.10-0.17
1.4113	X 6 CrMo 17	450-650	130-180	≤0.08
1.4116	X 45 CrMoV 15	900	260	0.42-0.48
1.4301	X 5 CrNi 18 9	500-700	130-180	≤ 0.07
1.4401	X 5 CrNiMo 18 10	500-700	130-180	≤ 0.07
1.4510	X 8 CrTi 17	450-600	130-170	≤ 0.07
1.4541	X 10 CrNiTi 18 9	500-750	130-190	≤ 0.08
1.4571	X10CrNiMoTi1810	500-750	130-190	≤ 0.08

Από τους ανοξείδωτους χάλυβες του πίνακα 1.4 κατασκευάζονται μέρη των κινητήρων που απαιτούν αυξημένη αντοχή στη σκουριά, ανοξείδωτα ρουλεμάν, εξατμίσεις, μέρη βαλβίδων και αντλιών, πιστόνια, βάσεις βαλβίδων, πρόσωπα βαλβίδων, πρόσωπα ελατηρίων, σωληνάκια, σώματα βαλβίδων, κλπ.

Πίνακας 1.5 Αντιστοιχίες τυποποιημένων χαλύβων

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΣΥΜΒΟΛΟ AFNOR	ΣΥΜΒΟΛΟ B.S.	ΣΥΜΒΟΛΟ AISI-SAE
1.0301	C 10	C 10	040 A 10	M 1010
1.0401	C 15	C 12	040 A 15	M 1015
1.1121	Ck 10	XC 10	045 M 10	1010
1.1141	Ck 15	XC 18	080 M 15	1015
1.2842	90 MnCrV 8	90 MV 8	BO 2	O 2
1.4000	X 7 Cr 13	Z 3 C 14	403 S 17	403
1.4002	X 7 CrAl 13	Z 6 CA 13	405 S 17	405
1.4016	X 8 Cr 17	Z 8 C 17	430 S 15	430
1.4301	X 5 CrNi 18 9	Z 6 CN 18.09	304 S 15	304
1.4401	X5CrNiMo1810	Z6CND17.12	316 S 16	316
1.4541	X10CrNiTi18 9	Z6CNT18.10	321 S 12	321
1.4571	X10CrNiMoTi1810	Z6CNDT17.12	320 S 17 S	320
1.5732	14 NiCr 10	14 NC 11	-----	3415
1.5752	14 NiCr 14	14 NC 12	655 A 12 E	3310

1.2.3 Η βιομηχανία του χάλυβα στην Ελλάδα



Σχήμα 1.8

Η ελληνική παραγωγή χάλυβα σημείωσε πολύ σημαντική άνοδο μετά το 2000. Το σχήμα δίνει την ετήσια παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα από το 1990 έως και το 2007. (Στοιχεία από: International Iron and Steel Institute, 2008.)

Η πρώτη ελληνική βιομηχανία χάλυβα, που έφερε τον τίτλο «Ελληνική Χαλυβουργία», ιδρύθηκε από την οικογένεια Σταύρου Σαλαπάτα στην οδό Πειραιώς στην Αθήνα το 1937, ο οποίος προηγουμένως είχε ιδρύσει την εταιρεία «Ελληνικά

Συρματοουργεία» (1932). Το 1951, το εργοστάσιο της Ελληνικής Χαλυβουργίας μετακόμισε στον Ασπρόπυργο Αττικής, όπου λειτουργεί ακόμα ως μία από τις δύο μονάδες της «Χαλυβουργίας Ελλάδος» με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα 400.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου.

Η δεύτερη ελληνική χαλυβουργία ήταν η «Χαλυβουργική» της οικογένειας Θεόδωρου Αγγελόπουλου. Η εταιρεία αυτή ξεκίνησε ως βιομηχανία καρφιών το 1932 για να εξελιχθεί σε μικρό χαλυβουργείο επί της οδού Πειραιώς στην Αθήνα το 1938. Το 1953 η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία νέες καμίνους ηλεκτρικού τόξου στην Ελευσίνα, που σύντομα μεταβλήθηκαν σε πλήρως καθετοποιημένη σιδηρουργία-χαλυβουργία. Το 1958, η «Χαλυβουργική» απέκτησε κάμινο ανοικτής εστίας τύπου Siemens-Martin, και το 1963 έθεσε σε λειτουργία την πρώτη υψικάμινο στον ελλαδικό χώρο, καθώς και μεταλλάκτες τύπου LD. Το 1975, η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία και δεύτερη υψικάμινο ανεβάζοντας έτσι την παραγωγική της δυναμικότητα σε 2,5 εκατ. τόνους χάλυβα ετησίως. Έκτοτε όμως η εταιρεία άρχισε να φθίνει και το 1981 διέκοψε την λειτουργία των υψικαμίνων. Συνέχισε ωστόσο την παραγωγή πλατέων και επιμηκών προϊόντων με ανάτηξη παλαιοσιδήρων σε καμίνους ηλεκτρικού τόξου. Σήμερα η εταιρεία συνεχίζει να παράγει επιμήκη προϊόντα στην Ελευσίνα, σε σύγχρονες εγκαταστάσεις δυναμικότητας 500.000 τόνων, υπό την διεύθυνση του Κωνσταντίνου Π. Αγγελόπουλου και των γιων του.

Το 1962, η οικογένεια Στασινόπουλου ίδρυσε την εταιρεία «Σιδενόρ» για να παράγει προϊόντα χάλυβα, όπως χαλυβδοσωλήνες, λέβητες, κ.λπ. Το 1964, η Σιδενόρ ξεκίνησε την παραγωγή μπετόβεργας και άλλων επιμηκών προϊόντων στην Θεσσαλονίκη, στο εργοστάσιο που για πολλά χρόνια ήταν γνωστό στους Θεσσαλονικείς ως «εργοστάσιο Βιοχάλκο». Το εργοστάσιο αυτό εξακολουθεί να βρίσκεται σε λειτουργία με ετήσια δυναμικότητα 600.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου.

Το 1963, η οικογένεια Μάνεση ίδρυσε την «Χαλυβουργία Βόλου», η οποία το 1974 μετονομάστηκε σε «Θεσσαλική Χαλυβουργία». Οι εγκαταστάσεις της «Θεσσαλικής Χαλυβουργίας» περιλαμβάνουν χαλυβουργείο στο Βελεστίνο Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας 700.000 τόνων χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου και ελασματοουργείο στην Βιομηχανική Ζώνη Βόλου. Το 2006, η «Θεσσαλική Χαλυβουργία» εξαγόρασε την «Ελληνική Χαλυβουργία» και ο νέος όμιλος ονομάστηκε «Χαλυβουργία Ελλάδος».

Το 1972, η οικογένεια Αναστασόπουλου έθεσε σε λειτουργία την χαλυβουργία «Μεταλλουργική Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας περίπου 600.000 τόνων. Η εταιρεία, που παρήγαγε μόνον επιμήκη προϊόντα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου, βρέθηκε μέσα σε λίγα χρόνια υπερχρεωμένη και το 1991 κήρυξε πτώχευση. Το 1996, η «Σιδενόρ» εξαγόρασε τις εγκατελειμμένες εγκαταστάσεις της «Μεταλλουργικής Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας και έκτισε εκεί σύγχρονη χαλυβουργία με ετήσια δυναμικότητα 900.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου. Μέσα στο 2007, ο όμιλος «Σιδενόρ» ανακοίνωσε πως το εργοστάσιο στον Αλμυρό Μαγνησίας, που φέρει την επωνυμία «Σοβέλ» («Sovel»), θα κάνει νέες επενδύσεις για επέκταση της παραγωγικής δυναμικότητας στους 1,2 εκατ. τόνους χάλυβα τον χρόνο.

Μία ακόμα εταιρεία που δραστηροποιείται στον χώρο του χάλυβα στην Ελλάδα είναι η «Ελληνική ΑΕ Χάλυβος» ή «Ανώνυμος Ελληνική Εταιρεία Χάλυβος», πιο γνωστή ως Hellenic Steel. Η εταιρεία αυτή ανήκει κατά ποσοστό 52% στον ιταλικό όμιλο Rina, ενώ μικρότερα ποσοστά κατέχουν άλλες ευρωπαϊκές και ιαπωνικές επιχειρήσεις, καθώς και ελληνικές τράπεζες. Από το 1970 περίπου, η Hellenic Steel διαθέτει εργοστάσιο στην Θεσσαλονίκη με παραγωγική δυναμικότητα 800.000 τόνους σε πλατέα προϊόντα ψυχρής έλασης, 95.000 τόνους σε επικασσιτερωμένα πλατέα προϊόντα και 135.000 τόνους σε επιμευδαργυρωμένα πλατέα προϊόντα.

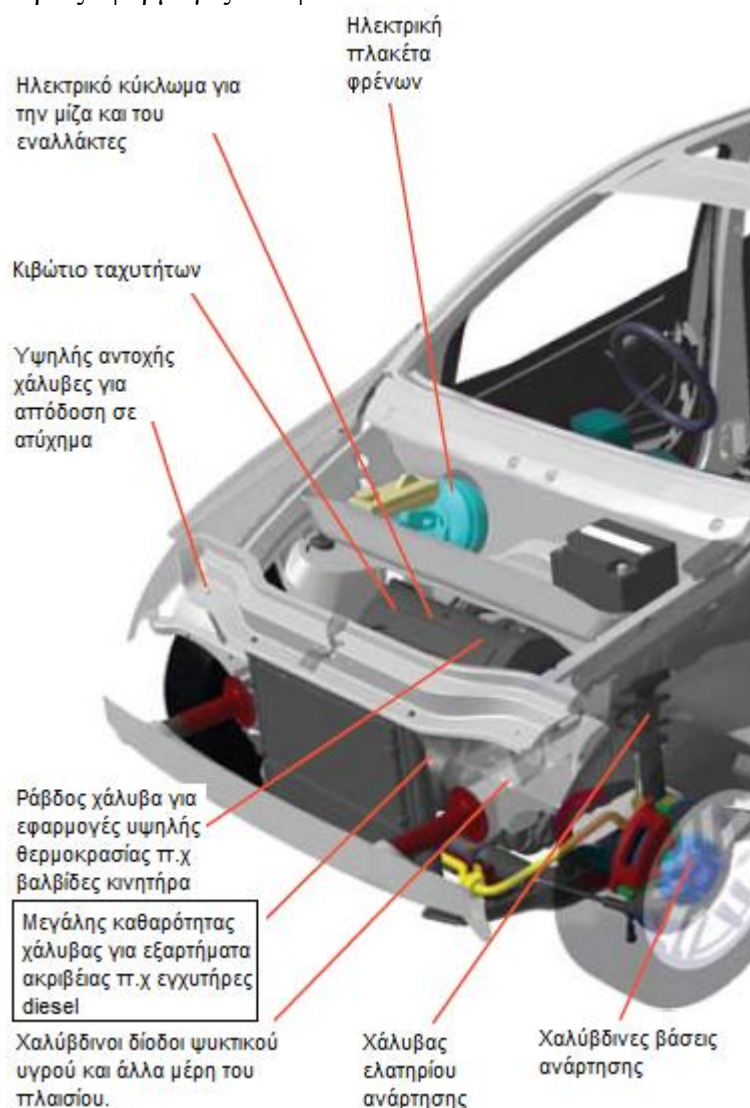
Γενικά, η ελληνική βιομηχανία χάλυβα έχει αυξήσει σημαντικά την παραγωγή της τα τελευταία χρόνια και, από 1,0 εκατ. τόνους το 1990, ξεπέρασε τα 2,5 εκατ. τόνους το 2007!

2. ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ – ΧΡΗΣΗ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ

Ο χάλυβας είναι ένα ειδικό υλικό. Με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων, ο χάλυβας μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένα ευέλικτο μηχανικό υλικό ικανό στο να αντέχει τις υψηλές πιέσεις ενός κιβωτίου ταχυτήτων ή τις τεράστιες δυνάμεις που δέχεται σε ένα αυτοκινηστικό ατύχημα.

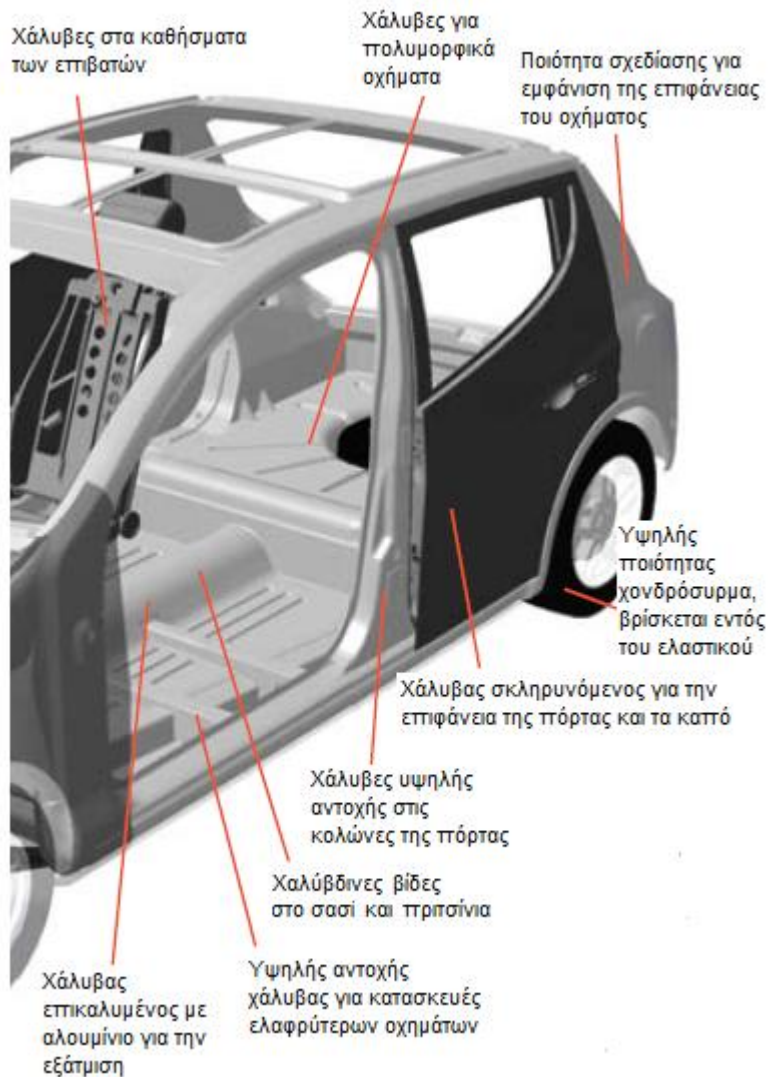
2.1 Ο χάλυβας στο αυτοκίνητο

Πάνω από το 50% του βάρους ενός κοινού αυτοκινήτου αποτελείται από χάλυβα. Οι κύριες εφαρμογές του φαίνονται εδώ.



Σχήμα 2.1

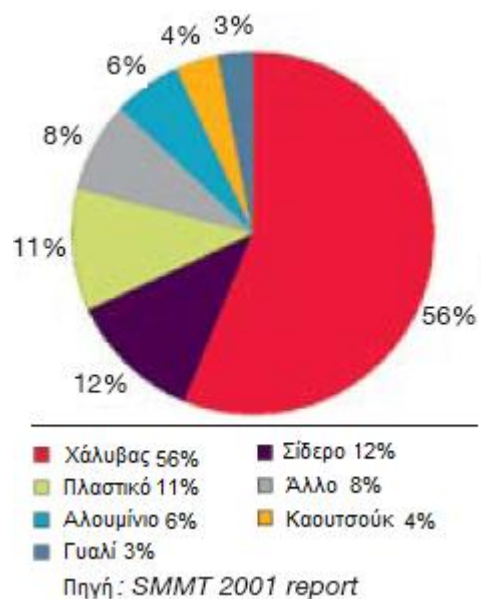
Ο χάλυβας είναι ένα ειδικό υλικό. Με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων, ο χάλυβας μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένα ευέλικτο μηχανικό υλικό ικανό στο να αντέχει τις υψηλές πιέσεις ενός κιβωτίου ταχυτήτων ή τις τεράστιες δυνάμεις που δέχεται σε ένα αυτοκινηστικό ατύχημα.



Σχήμα 2.2

Ένα αυτοκίνητο αποτελείται από πολλά διαφορετικά υλικά, αν και το κύριο μέρος - γνωστό και ως το σώμα κατασκευάζεται συνήθως από συμπιέσεις χάλυβα συγκολλημένων μαζί για να σχηματίσει ένα ισχυρό και άκαμπτο πλαίσιο. Αυτή η μέθοδος κατασκευής αποτελεί το 99,9% όλων των αυτοκινήτων που παράγονται στον κόσμο. Το υπόλοιπο 0,1% είναι κυρίως κατασκευασμένο από αλουμίνιο και ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξης του 0,01% κατασκευάζεται από συνθετικές ίνες άνθρακα (carbon).

Σχήμα 2.3



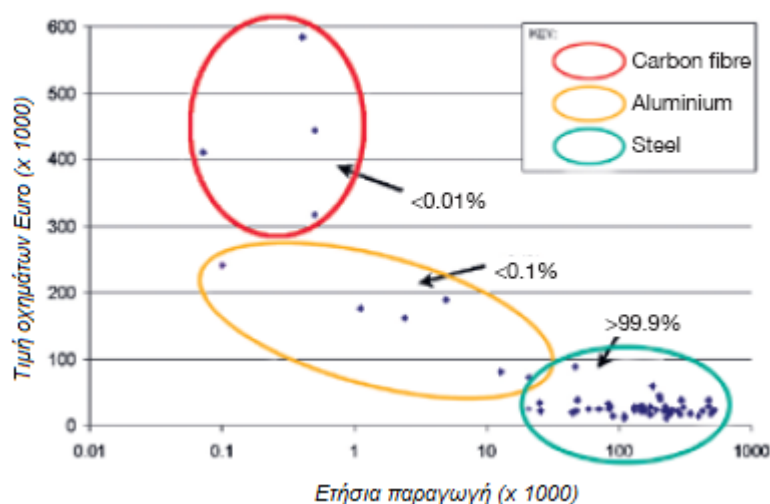
Οι ιδιότητες του υλικού του χάλυβα μαζί με την ευκολία της κατασκευής και το χαμηλό κόστος, σημαίνουν ότι τα οχήματα που αποτελούνται κυρίως από χάλυβα έχουν κατα πολύ το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Το υψηλό κόστος των εναλλακτικών υλικών όπως είναι το αλουμίνιο σημαίνει ότι η θέση του χάλυβα σαν υλικό πρώτης επιλογής είναι αρκετά ασφαλής. Το πλαίσιο του αμαξώματος ενός οχήματος αντιπροσωπεύει το 20% της μάζας του. Το βάρος των λοιπών μερών (πόρτες, μπροστά/πίσω καπό, ανάρτηση, μετάδοση κίνησης) φέρει το συνολικό ποσό του χάλυβα και άλλων σιδηρούχων μετάλλων σε ποσοστό 60% περίπου.

Κατά τα τελευταία χρόνια η ποσότητα των σιδηρούχων μετάλλων έχει μειωθεί ως επί το πλείστον από τους κατασκευαστές, αντικαθιστώντας τον σίδηρο με αλουμίνιο για την χύτευση του κινητήρα. Το ποσοστό των φύλλων χάλυβα ανά αυτοκίνητο έχει επίσης μειωθεί κυρίως λόγω:

- Της χρησιμοποίησης αλουμινίου στους τροχούς και στην ανάρτηση.
- Καλύτερης ηχομόνωσης.
- Της χρησιμοποίησης περισσότερου πλαστικού κυρίως κάτω από το καπό.

Οι περιβαλλοντικές και οικονομικές απαιτήσεις για μείωση της κατανάλωσης καυσίμων έχει επίσης οδηγήσει σε αύξηση της χρήσης ελαφρών υλικών αλλά με μεγαλύτερο κόστος (πίνακας 2.1)

πίνακας 2.1 Παραγωγή οχημάτων-τιμή-μερίδιο αγοράς



Οι περισσότεροι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία παράγονται με την μορφή μεταλικών φύλλων πάχους 0,5 – 4 χιλιοστά και με πλάτος έως και 2 μέτρα. Αυτά τα φύλλα παράγονται από μια θερμή κυλιόμενη πλάκα, με την προκύπτουσα οξειδομένη επιφάνεια να απομακρύνεται με «αποξείδωση» σε ένα λουτρό οξέος. Για τις μέγιστες μηχανικές ιδιότητες και τον έλεγχο της επιφάνειας, τα περισσότερα χαλύβδινα φύλλα που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα είναι ψυχρής

έλασης. Η πρόληψη της διάβρωσης της μεταλικής επίστρωσης (συνήθως βασίζεται στον ψευδάργυρο) εφαρμόζεται μέσω ηλεκτρικού ή εν θερμώ γαλβανισμού. Τα ελάσματα ψυχρής έλασης απαιτούν θερμική επεξεργασία (ανόπτηση) που συχνά εκτελείται εντός της διαδικασίας της επίστρωσης πριν απο την τελική ψυχρή έλαση.

2.2 Χημική σύσταση

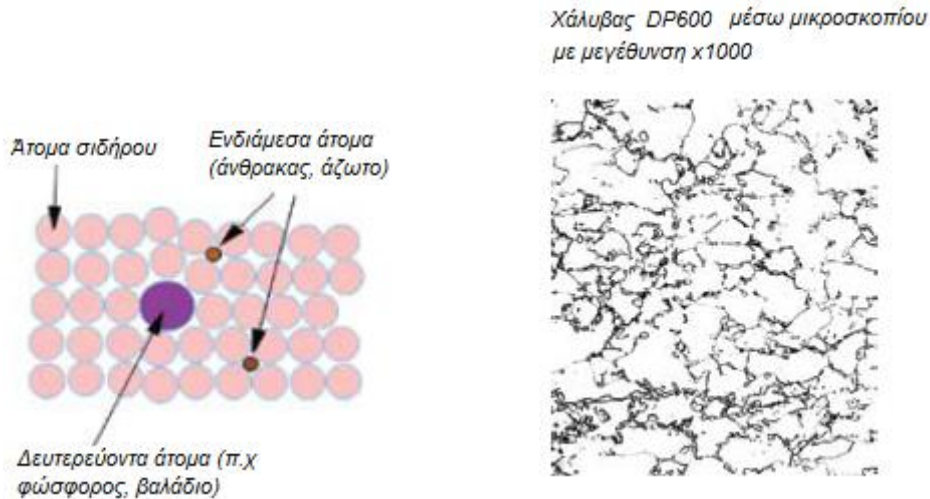
Στη σύνθεση των χαλύβων συνδυάζονται με το σίδηρο διάφορα στοιχεία σε ποσοστιαίες αναλογίες που δεν ξεπερνούν κατά κανόνα το 5%. Συστατικά στοιχεία κάθε χάλυβα αποτελούν ο άνθρακας, σε ποσοστά που κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,2% και 0,7%, και το πυρίτιο (Si), σε ποσοστό μεταξύ 0,1% και 0,7% και ενίοτε έως και 4% σε ειδικούς χάλυβες. Η αναλογία σε άνθρακα καθορίζει ουσιαστικώς τις ιδιότητες των διαφόρων χαλύβων. Όσο αυξάνεται το ποσοστό του άνθρακα στο κράμα αυξάνονται αναλόγως η σκληρότητα και η αντοχή του σε τάσεις εφελκυσμού, ενώ παραλλήλως μειώνονται η συνεκτικότητα και η πλαστιμότητα. Στην αντίθετη περίπτωση, μειώνοντας δηλαδή το ποσοστό του άνθρακα, αυξάνεται η καταλληλότητα προς συγκόλληση (Schweisseignung). Το μαγγάνιο (Mn) συμμετέχει σε ποσοστό 0,3% έως 0,8% αλλά και 12% και 15% σε χάλυβες πολύ μεγάλης σκληρότητας και αντοχής στη φθορά. Η παρουσία του ενισχύει την συγκολλησιμότητα του σιδήρου, η οποία δεν υφίσταται σε κράματα με περιεκτικότητα άνθρακα άνω του 0,15%. Στην σύσταση πολλών ειδικών χαλύβων συμμετέχουν το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το μολυβδαίνιο (Mo) και άλλα στοιχεία, ώστε να αποκτήσει το τελικό προϊόν τις ιδιαίτερες ιδιότητες που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση.

Ο φωσφόρος (P), το θείο (S) και το οξυγόνο (O) αποτελούν επιβλαβή στοιχεία στη σύνθεση, τα οποία προσδίδουν αρνητικές ιδιότητες στον χάλυβα όπως ψαθυρότητα (φωσφόρος), μαλακτότητα (θείο), δημιουργία ανεπιθύμητων ασυνεχειών – φυσαλίδων – κατά την χύτευση (οξυγόνο). Για τον λόγο αυτό η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στο χάλυβα πρέπει να κυμαίνεται σε ποσοστά κατά πολύ μικρότερα του 0,1%.

Με τις κατάλληλες αναλογίες των συστατικών στοιχείων στην χημική του σύσταση και σε συνδυασμό με μία ακριβή θερμική επεξεργασία, οι ιδιότητες του χάλυβα είναι δυνατόν να ρυθμιστούν με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της εκάστοτε χρήσης του.

Τα στοιχεία κράματος προστίθενται στο χάλυβα για να δημιουργηθούν οι ιδιότητες της αντοχής και της διαμορφωσιμότητας για συγκεκριμένα εξαρτήματα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ο χάλυβας για την αυτοκινητοβιομηχανία απαρτίζεται απο σίδηρο (γενικά περισσότερο απο 99%) και ένα φάσμα απο άλλα κραματικά στοιχεία, το σημαντικότερο απο τα οποία είναι το carbon (ίνες άνθρακα). Κάτω απο ένα μικροσκόπιο μεγέθυνσης x1000 μπορεί να φανεί ότι ο χάλυβας αποτελείται στην πραγματικότητα απο μικροσκοπικά κρύσταλλα γνωστά ως κόκκοι. Αυτοί οι κόκκοι

χάλυβα σχηματίζονται όταν ο υγρός χάλυβας στερεοποιείται και τα άτομα του σιδήρου μέσα σε κάθε κόκκο ευθυγραμμίζονται σε ακριβή κρυσταλλική συστοιχία. Το μέγεθος, το σχήμα και η σύνθεση των κόκκων στην αντοχή και στην διαμόρφωση του χάλυβα.



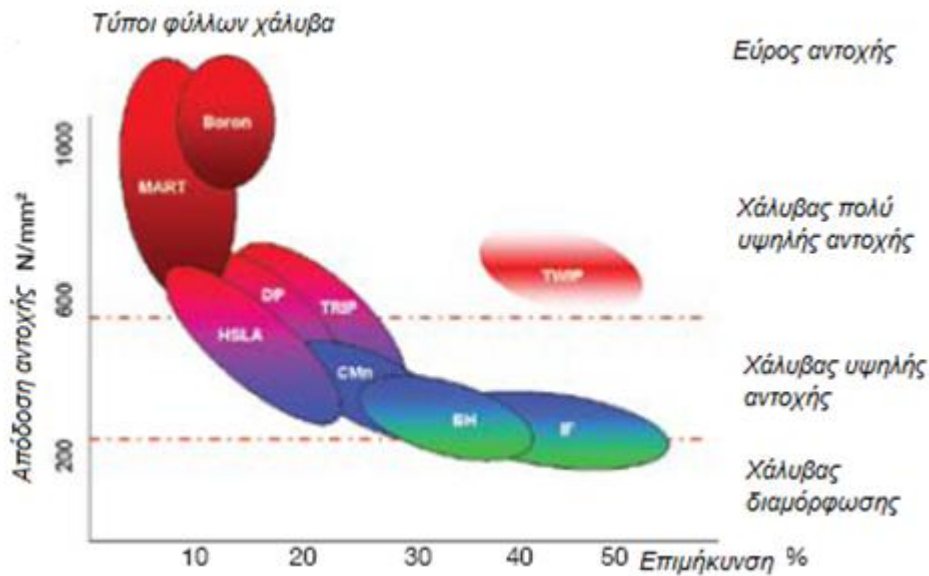
Σχήμα 2.4

Ένα άτομο άνθρακα είναι μικρότερο από ένα άτομο σιδήρου, και παρέχει υψηλή αντοχή στο υλικό αφού κάθεται ανάμεσα στα άτομα σιδήρου και εμποδίζει τις σειρές των ατόμων να ολισθαίνουν η μία πάνω από την άλλη. Σε επίπεδα άνθρακα κάτω 0,001%, το υλικό έχει χαμηλή αντοχή σε θραύση.

2.3 Τύποι χάλυβα αυτοκινητοβιομηχανίας

Οι κατασκευαστές χάλυβα χρησιμοποιούν μια σειρά από τεχνικές για να κάνουν υψηλής απόδοσης χάλυβες. Αυτές οι τεχνικές μπορεί να είναι, εργοσκήρυνση, θερμική αποκατάσταση και ραφινάρισμα των κόκκων. Χρησιμοποιώντας αυτές τις τεχνικές, τα φύλλα χάλυβα μπορούν να αναπτυχθούν με τον ιδανικό συνδυασμό διαμορφωσιμότητας και αντοχής για συγκεκριμένες εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία. Για παράδειγμα το σχ 3 παρακάτω καταδुकνύει το εύρος εφελκισμού και απόδοσης της αντοχής για ένα ευρύ φάσμα διαφόρων τύπων φύλλων χάλυβα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Σχήμα 2.5



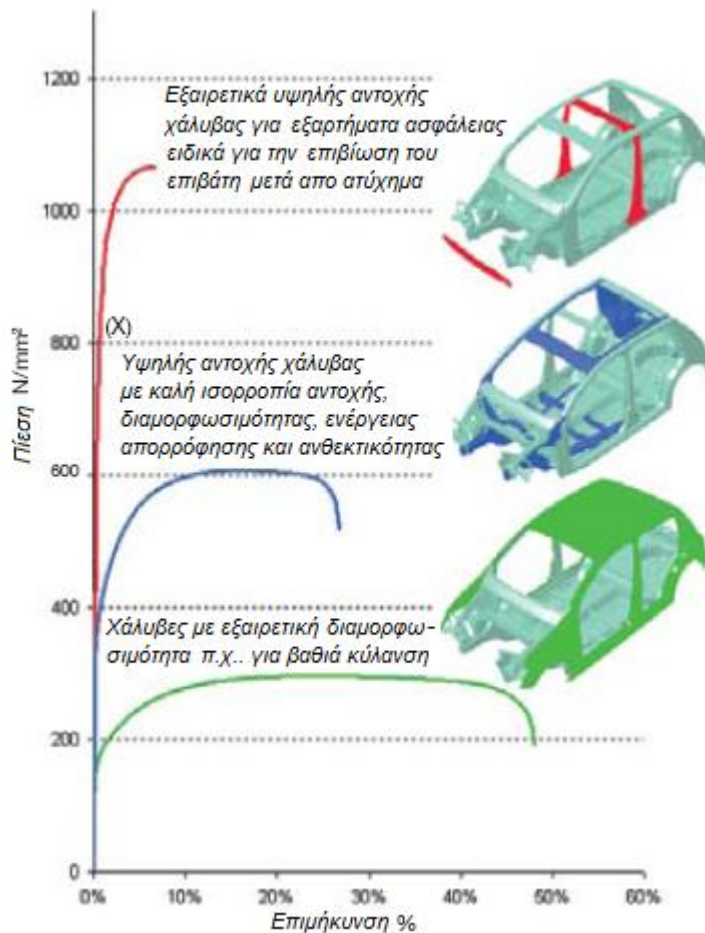
Πίνακας 2: Τύποι χάλυβα

Type	Description
IF	Interstitial Free
BH	Bake Hardening
HSLA	High Strength - Low Alloy
CMn	Carbon Manganese
DP	Dual Phase
Boron	Boron steel
TRIP	Transformation Induced Plasticity
MART	Martensitic
TWIP	Twinning Induced Plasticity

Κάθε έλλειψη παραπάνω αντιπροσωπεύει τους τύπους που είναι διαθέσιμοι για κάθε «οικογένεια» χάλυβα. Το όνομα για κάθε οικογένεια –βλ. Πίνακα 2 – αντανακλά την μέθοδο με την οποία ο χάλυβας επιτυγχάνει την διαμορφωσιμότητα ή την αντοχή του.

(Το σχ. 2.6 παρακάτω απεικονίζει τις ιδιότητες τριών διαφορετικών ποιτήτων του φύλλου χάλυβα και υποδεικνύει σε ποιό σημείο ενός οχήματος βρίσκονται.)

Σχ. 2.6 Εφαρμογές φύλλων χάλυβα



Ο χάλυβας προσφέρει μια εντυπωσιακή σειρά από ιδιότητες για την κάλυψη των απαιτήσεων για κάθε βιομηχανική εφαρμογή. Ο χάλυβας για χρήση σε αυτοκινητιστικές εφαρμογές κυμαίνεται, από τους πιο διαμορφώσιμους με μικρή απόδοση αντοχής της τάξης των 140 N/mm² σε αυτούς με υπερυψηλή αντοχή της τάξης των 2500 N/mm², όπως είναι ο χάλυβας που χρησιμοποιείται στα ελαστικά (λεπτές χορδές χάλυβα). Μερικές ποιότητες χάλυβα έχουν ειδική επεξεργασία για μια συγκεκριμένη τελική χρήση όπως ο “καθαρός” χάλυβας που χρησιμοποιείται στα συστήματα έγχυσης καυσίμου και στους σφυρήλατους στραφαλοφόρους και εκκεντροφόρους άξονες και στους διωστήρες.

Μια βασική απαίτηση για τα φύλλα χάλυβα που προορίζονται για χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι ότι είναι διαμορφώσιμα, οπότε και μπορεί να τεντωθεί χωρίς να λεπτύνει υπερβολικά ώστε να δημιουργούνται πολύπλοκα σχήματα. Οι μαλακότερες ποιότητες χάλυβα που έχουν χαμηλή αντοχή διαρροής, τείνουν να είναι ιδιαίτερα διαμορφώσιμα αλλά στερούνται της δύναμης που απαιτείται για τα κύρια μεταφερόμενα μέλη ενός οχήματος. Χαλύβδινα μέρη υψηλότερης αντοχής μπορεί να είναι δυσκολότερο να διαμορφωθούν αλλά προσφέρουν δυνατότητα για μείωση του βάρους.

2.4 Ο χάλυβας στο όχημα σήμερα

Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία είκοσι χρόνια όλο και περισσότερα τμήματα ενός αυτοκινήτου κατασκευάζονται από «πλαστικά» ή αλουμίνιο, ο χάλυβας παραμένει το κυρίαρχο υλικό κατασκευής, τουλάχιστον για αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι η χαμηλή τιμή του σε σχέση με τα άλλα υλικά και φυσικά η μεγάλη εμπειρία που υπάρχει στην παραγωγή αλλά και στη μορφοποίησή του.



Σχήμα 2.7: Η διαδικασία χύτευσης λεπτότοιχων εξαρτημάτων είναι μια σχετικά νέα παραγωγική διαδικασία με την οποία μπορούν να παραχθούν εξαρτήματα από χάλυβα, ιδιαίτερα όλκιμα τα οποία μπορούν να μορφοποιηθούν εν ψυχρώ.

Παρά ταύτα, οι ανάγκες για τη μείωση του βάρους των αμαξωμάτων αλλά και της ταυτόχρονης αύξησης της αντοχής τους οδήγησαν 30 εταιρείες παραγωγής εξαρτημάτων από χάλυβα στις Η.Π.Α. να θεσπίσουν το 1992 τις προδιαγραφές ενός μοντέλου αμαξώματος με πολύ χαμηλό βάρος.

Το Ultralight Steel Auto Body (Υπέρ-ελαφρύ Αμάξωμα από Χάλυβα) θα πρέπει να αποδεικνύει ότι μπορεί να υπάρξει ένα αυτοφερόμενο από χάλυβα, σχεδιασμένο έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις φυσικές ιδιότητες του υλικού, με όσο το δυνατό χαμηλότερο βάρος, που όμως από την άλλη θα καλύπτει και τις απαιτήσεις παθητικής ασφάλειας.

Με βάση τις απαιτήσεις αυτές η αμερικάνικη εταιρεία Porsche Engineering Services Inc. παρουσίασε ένα αμάξωμα με προδιαγραφές πραγματικά εντυπωσιακές, εάν συγκριθεί με ένα συμβατικό. Το βάρος του είναι μικρότερο κατά 25% (φτάνοντας συνολικά τα 200 κιλά), η στρεπτική του ακαμψία μεγαλύτερη κατά 132% και το κόστος του μειωμένο κατά 154 δολάρια ή αν θέλετε κατά 42.000 δραχμές (Τιμές 1997). Η κατασκευή του θα είναι δυνατή με τις υπάρχουσες μηχανουργικές τεχνολογίες, οι συγκολλήσεις θα γίνονται με λέιζερ, ενώ για την μορφοποίηση των τμημάτων του θα εφαρμοστεί η νέα τεχνολογία hydroforming.

Τέλος, ένα από τα πλεονεκτήματά του είναι ότι θα εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα τεχνολογία ανακύκλωσης των μεταλλικών τμημάτων. Το κονσόρτσιουμ

των εταιρειών θα επενδύσει 200 εκατομμύρια δολάρια μέσα στα επόμενα δύο χρόνια για την δημιουργία πραγματικών μοντέλων για επίδειξη. Παράλληλα θα ξεκινήσει μια ανάλογη μελέτη για το σχεδιασμό ενός ελαφρού ημιφορηγού, μια κατηγορία η οποία καλύπτει το 43% της αμερικάνικης αγοράς.



Σχήμα 2.8: Το αυτοφερόμενο πλαίσιο που έχουν σχεδιάσει οι μηχανικοί της Armcο Inc. και της Autokinetics Inc. αποτελείται από τμήματα (modular design) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μια νέα τεχνολογία συγκόλλησης.

Μία διαφορετική πρόταση προέρχεται από τις εταιρείες Armcο Inc. και Autokinetics Inc. οι οποίες έχουν σχεδιάσει ένα πλαίσιο το οποίο αποτελείται από τμήματα (modular design), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μια νέα τεχνολογία συγκόλλησης. Ο ανθρακοχάλυβας που χρησιμοποιείται για τα σφυρήλατα τμήματα είναι ο Armcο NITRONIC (50, 60), με όριο ροής τα 830 MPa, δεν χρειάζεται αντιδιαβρωτική προστασία, έχει υψηλή επιφανειακή σκληρότητα και είναι περισσότερο όλκιμος από τους κοινούς ανθρακοχάλυβες. Η μορφοποίηση των περισσότερων τμημάτων θα γίνει με ψυχρή εξέλαση, μια πολύ κοινή μέθοδος στην αυτοκινητοβιομηχανία.

2.5 Υλικά κατασκευής εξαρτημάτων στην Μ.Ε.Κ

Κορμός ή **μπλόκ** κινητήρα κατασκευάζεται συνήθως από ειδικά κράματα χυτοσιδήρου ή χυτοχάλυβα που περιέχει άνθρακα, νικέλιο, χρώμιο και μόλυβδαίνιο ή από κράματα ελαφρών μετάλλων, όταν απαιτείται μείωση του βάρους του κινητήρα.



Η κυλινδροκεφαλή κατασκευάζεται στους υδρόψυκτους κινητήρες από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα, αλλά και από κράματα αλουμινίου....

Ο σφόνδυλος ή βολάν κατασκευάζεται από χάλυβα ή ειδικό χυτοσίδηρο. Οι μεταλλικοί τριβείς που υπάρχουν στις Μ.Ε.Κ αποτελούνται από χαλύβδινο κέλυφος πάχους 1.5 mm, μία λεπτή φέρουσα στρώση παχους συνήθως από κράμα PbSnCu, και την κύρια στρώση ολίσθησης με πολύ μικρό πάχος 0.012-0.020 mm, που τοποθετείται με γαλβάνισμα (κράμα PbSnCu).

Ο εκκεντροφόρος άξονας κατασκευάζεται συνήθως από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη ή σπό μαύρο μαλακό χυτοσίδηρο ή από σφυρήλατο χάλυβα.

Ο στροφαλοφόρος άξονας κατασκευάζεται από βελτιωμένο χάλυβα (36CrNiMo4) ή χάλυβα εναζώτωσης (34CrAlMo5) μετ' από ειδική χύτευση ή θερμοκρασία.



2.5.1 Υλικά εμβόλων

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά κράματα αλουμινίου-πυριτίου. Το πυρίτιο μειώνει τη φθορά και τη θερμοδιαστολή, αλλά συσκολεύει την κατεργασία κατά την κατασκευή. Σε τετράχροτους βενζινοκινητήρες χρησιμοποιείται AlSi12CuNi. Σε δίχροτους κινητήρες, πετρελαιοκινητήρες με υπερπλήρωση

χρησιμοποιούνται έμβολα AlSi18CuNi ή AlSi25CuNi. Για κινητήρες μεγάλης ισχύος χρησιμοποιείται χυτοχάλυβας ή και σφυρύλατος χάλυβας.

Τα ελατήρια του εμβόλου κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο ή από βελτιωμένο χάλυβα.

Ο Πείρος εμβόλου συνήθως κατασκευάζεται από χάλυβες ενανθράκωσης (CK15,17Cr3, 16MnCr5) ή εναζώτωσης (31CrMo12, 31CrMoV9)

Οι διωστήρες κατασκευάζονται από βελτιωμένα χαλυβοκράματα (34CrMo4) και σφυρηλατούνται σε καλούπια. Υπάρχουν επίσης και διωστήρες που κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη (GGG-50) ή μαλακό χυτοσίδηρο.



2.5.2 Υλικά βαλβίδων

Οι βαλβίδες εισαγωγής κατασκευάζονται ως ενιαίο τεμάχιο ενός μετάλλου από χρωμοπυριτιούχο χάλυβα, για παράδειγμα (X45CrSi93)

Οι βαλβίδες εξαγωγής κατασκευάζονται συνήθως ως διμεταλλικές βαλβίδες με γέμισμα του κοίλου χώρου κατά 60% νάτριο. Για το κάτω στέλεχος της βαλβίδας και την κεφαλή χρησιμοποιείται ως υλικό κατασκευής χρωμομαγανιούχος χάλυβας ιδιαίτερα ανθεκτικός στην θερμορασία όπως για παράδειγμα X53CrMnNiN299.



3. ΣΥΓΚΟΛΗΤΟΤΗΤΑ ΧΑΛΥΒΩΝ

3.1 Βασικές αρχές συγκολλήσεων

Οι συγκολλήσεις ανήκουν στην κατηγορία των μόνιμων συνδέσεων ανάμεσα σε τεμάχια. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της θερμότητας, είναι σύνδεση κρυσταλλική και έχει στόχο το τελικό τεμάχιο να έχει την ίδια αντοχή με τα αρχικά κομμάτια. Από την εποχή της αρχαιότητας εμφανίζονταν διαδικασίες συγκόλλησης, που βασίζονταν κυρίως στη μέχρι τότε γνώση των υλικών. Έτσι, η συγκόλληση με χύτευση καθιερώθηκε από τους αρχαίους χρόνους ως η κύρια μορφή σύνδεσης και επισκευής σπασμένων κατασκευών από μπρούντζο ή χυτοσίδηρο. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η συγκόλληση σε κάμινο (καμινοσυγκόλληση), η κασιτεροκόλληση, που χρησιμοποιείται μέχρι τις μέρες μας, ιδιαίτερα στη λευκοσιδηρουργία, η μπρουτζοκόλληση κ.λπ.. Η πιο κλασική μέθοδος συγκόλλησης, που είναι η συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη, εμφανίστηκε στην αρχή του εικοστού αιώνα. Από τότε πολλές διαφορετικές μέθοδοι έχουν ανακαλυφθεί και προσφέρονται για την πραγματοποίηση πολύπλοκων προϊόντων. Η λίστα με τα αντικείμενα ή προϊόντα, που έχουν συγκολλητά μέρη είναι ατελείωτη και περιλαμβάνει από στοιχεία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μέχρι πλοία, μηχανές αεριοθούμενων, αυτοκίνητα, γέφυρες, μεταλλικά έπιπλα, κτίρια με μεταλλικό σκελετό κ.λπ.

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

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

Στις **ετερογενείς** συγκολλήσεις δε χρειάζεται τοπική τήξη των αντικειμένων, που θα συγκολληθούν, παρά μόνο θέρμανση και εναπόθεση λιωμένου συγκολλητικού υλικού. Τέτοιες συγκολλήσεις είναι η κασιτεροκόλληση, η μπρουτζοκόλληση κ.λπ. Οι συγκολλήσεις ως μέσο σύνδεσης αντικατέστησαν όλες τις μεθόδους λυόμενων συνδέσεων (κοχλιοσυνδέσεις, ηλώσεις), εκεί βέβαια που δε χρειαζόταν η σύνδεση να είναι λυόμενη. Για την παραγωγή σύνθετων κατασκευών, οι συγκολλήσεις αντικατέστησαν την πολύ δαπανηρότερη χύτευση. Τα πλεονεκτήματα των συγκολλήσεων απέναντι στη χύτευση είναι : οικονομία στο υλικό, μικρότερο κόστος και πραγματοποίηση σύνθετων κατασκευών, που με τη χύτευση είναι αδύνατες ή πολύ δύσκολες. Μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι συγκολλήσεις σχετίζονται κυρίως με τη συγκολλητικότητα των υλικών, δηλαδή την ιδιότητα ενός υλικού να μπορεί να συγκολληθεί.

3.2 Συγκολλητικότητα των υλικών

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

3.2.1 Κράματα σιδήρου - άνθρακα

Η συγκολλητικότητα των χαλύβων εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα (C). Όσο λιγότερο άνθρακα έχει ένας χάλυβας, τόσο πιο μεγάλη συγκολλητικότητα έχει, δηλαδή συγκολλάται πιο εύκολα. Ανώτερο όριο περιεκτικότητας σε άνθρακα για εύκολη συγκόλληση είναι το 0.25%. Αν ένας χάλυβας έχει περιεκτικότητα πάνω από το 0,25% σε άνθρακα, τότε η συγκόλληση δεν μπορεί να είναι επιτυχής παρά μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή, περιοχές της ραφής της συγκόλλησης υφίστανται βαφή, χάνουν τη μηχανική αντοχή τους και ψαθυροποιούνται. Οι χάλυβες αυτοί, με όριο άνθρακα πάνω από το 0,25%, μπορούν να συγκολληθούν, αν προθερμανθούν. Η προθέρμανση αυτή εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα και φθάνει μέχρι τους 425°C για χάλυβες με περιεκτικότητα 0,8% σε άνθρακα. Αντίστοιχα με τους ανθρακούχους χάλυβες, οι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε Si, Mn, S και P, δεν μπορούν να συγκολληθούν εύκολα και μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες. Αντίθετα, οι χάλυβες με προσμείξεις Cu, Ni, Cr, Mo και V, δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα συγκόλλησης, εκτός αν όλες οι προσμείξεις ξεπερνάνε το 10%. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται κοινά κράματα σιδήρου – άνθρακα και η δυνατότητα συγκόλλησής τους.

Πίνακας 3.1 Συγκολλητικότητα κραμάτων σιδήρου – άνθρακα

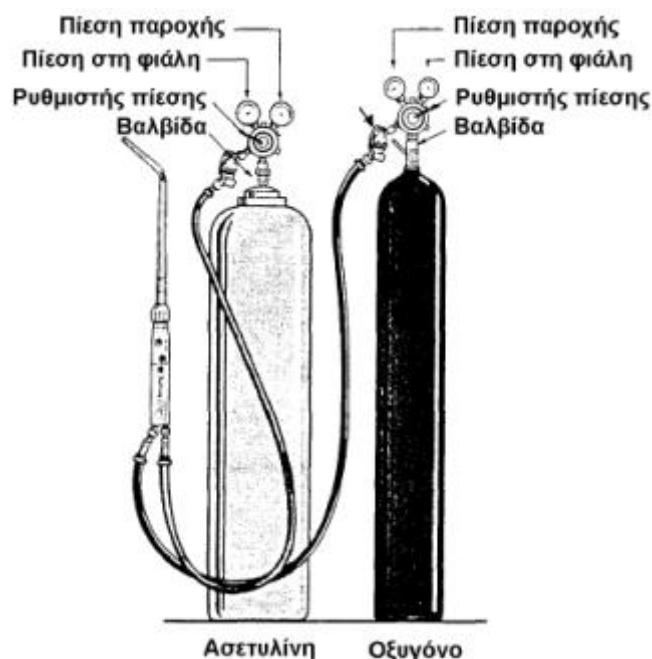
Κατηγορία υλικού	Εύκολη συγκόλληση	Συγκόλληση σε ειδικές συνθήκες
Κοινοί χάλυβες κατασκευών	St33, St34, St37, St42, St46, St52	St50, St60, St70
Χάλυβες επιβελτιώσεως	C22, Ck22, 25CrMo4	-----
Χάλυβες ενανθράκωσης	C10, Ck10, C15, Ck15	Αυτοί που περιλαμβάνουν προσθήκες σε Cr, Ni, Mo
Χυτοχάλυβες	πρέπει %C <0.25% και άθροισμα προσθηκών < 10%	Ανοξειδωτοι χυτοχάλυβες
Χυτοσίδηροι	Λευκοί μαλακτικοποιημένοι	Όλοι οι υπόλοιποι χυτοσίδηροι

3.3 Αυτογενείς συγκολλήσεις

3.3.1 Συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη

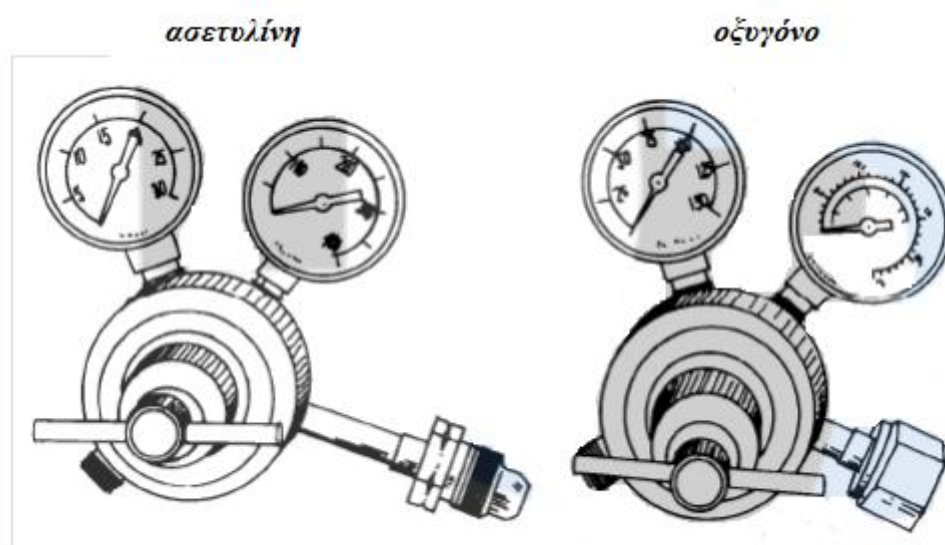
Η συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη (οξυγονοσυγκόλληση ή οξυγονοκόλληση) πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του 20ου αιώνα. Χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση μεταλλικών ελασμάτων ή δοκών, ράβδων, σωλήνων κ.λ.π. Η οξυγονοκόλληση είναι μία αυτογενής συγκόλληση, γιατί πραγματοποιείται μέσω της τήξης των άκρων των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων και με προσθήκη ή όχι συγκολλητικού υλικού.

Η απαραίτητη θερμότητα για το λιώσιμο των άκρων των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων παράγεται με τη βοήθεια του οξυγόνου (O_2) και της ασετυλίνης (C_2H_2). Το οξυγόνο που είναι αέριο, άχρωμο, άγευστο, άοσμο και διατηρεί την καύση, καίει την ασετυλίνη, που είναι επίσης αέριο άχρωμο, μη τοξικό με δυσάρεστη οσμή και εύφλεκτο. Και τα δύο αυτά αέρια τοποθετούνται σε φιάλες, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, οι οποίες είναι σηματοδεδεμένες με χαρακτηριστικά χρώματα για να αναγνωρίζεται το περιεχόμενό τους (μπλε για το οξυγόνο και κίτρινο για την ασετυλίνη). Άλλο στοιχείο χαρακτηριστικό αναγνώρισης του περιεχομένου είναι ο διαφορετικός ήχος που κάνουν οι δύο φιάλες, όταν χτυπηθούν ελαφρά με κάποιο μεταλλικό αντικείμενο. Η φιάλη του οξυγόνου κάνει ένα χαρακτηριστικό ήχο σαν καμπάνα (περιέχει οξυγόνο υπό πίεση), ενώ η φιάλη της ασετυλίνης κάνει υπόκωφο ήχο. Ο ήχος της φιάλης της ασετυλίνης οφείλεται στο πορώδες υλικό που χρησιμοποιείται για να συγκρατεί την ακετόνη, η οποία είναι απαραίτητη για να διαλυθεί σε αυτή η ασετυλίνη (η ασετυλίνη υπό πίεση είναι εκρηκτική και γι' αυτό διαλύεται στις φιάλες μέσα σε υγρή ακετόνη).



Σχήμα 3.1 Εξοπλισμός οξυγονοκόλλησης

Προκειμένου το οξυγόνο και η ασετυλίνη να χρησιμοποιηθούν και επειδή βρίσκονται σε πίεση (15 ατμ. το οξυγόνο και 150 ατμ. η ασετυλίνη), μετά τις φιάλες χρησιμοποιούνται εκτονωτές, δηλαδή όργανα που ρίχνουν την πίεση. Η πίεση που έχει κάθε αέριο στη φιάλη, αλλά και η πίεση της παροχής του, μετά τη μείωση από τον εκτονωτή, φαίνονται σε δύο μανόμετρα που έχει πάνω κάθε φιάλη, το μανόμετρο υψηλής πίεσης (για τη φιάλη) και το μανόμετρο χαμηλής πίεσης (για την παροχή). Στο σχήμα 2.2 φαίνονται συστήματα μανομέτρων – εκτονωτή για φιάλες ασετυλίνης και οξυγόνου αντίστοιχα.

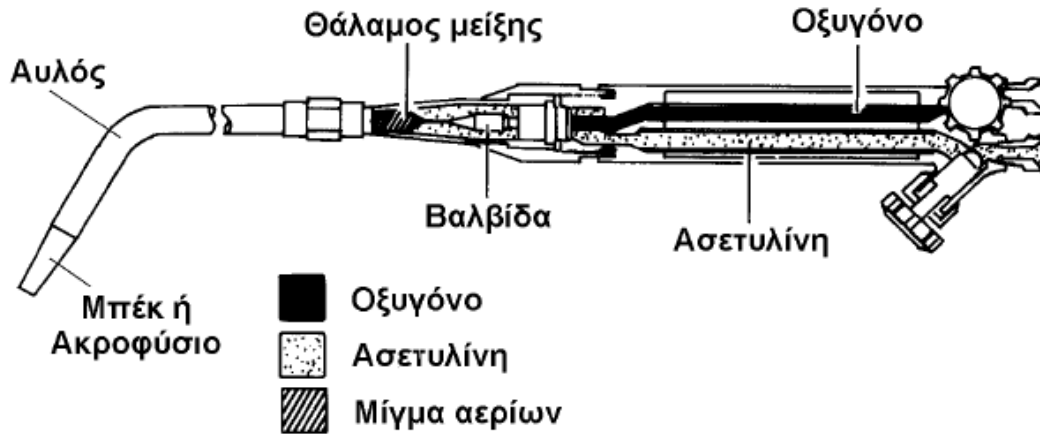


Σχήμα 3.2 Μονοεκτονωτές

Μετά την έξοδό τους από τους μανοεκτονωτές, τα αέρια οδηγούνται προς τη θέση καύσης μέσω εύκαμπτων ελαστικών σωλήνων (μπλε ή γκρι για το Οξυγόνο και κόκκινο για την ασετυλίνη). Η στεγανοποίηση των συνδέσεων των σωλήνων και των μανοεκτονωτών με τις φιάλες είναι ιδιαίτερα σημαντική και απαιτεί μεγάλη προσοχή. Οι συνδέσεις πρέπει να ελέγχονται ως εξής :

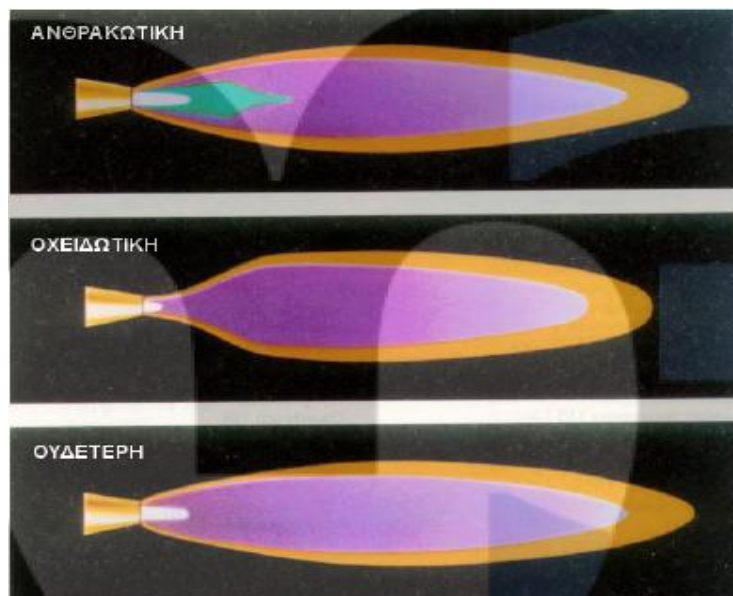
- Η διαρροή Οξυγόνου ακούγεται, μια και το αέριο αυτό είναι αποθηκευμένο υπό πίεση.
- Η διαρροή ασετυλίνης διαπιστώνεται από τη μυρωδιά.
- Και στις δύο περιπτώσεις η διαρροή μπορεί να γίνει αντιληπτή με τη χρήση σαπουνάδας πάνω στις συνδέσεις. Αν δημιουργούνται φυσαλίδες, σημαίνει πως υπάρχει διαρροή κάποιου αερίου.

Το εξάρτημα εκείνο στο οποίο συναντώνται τα δύο αέρια είναι ο καυστήρας, στον οποίο συνδέονται οι δύο ελαστικοί σωλήνες τροφοδοσίας των αερίων. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται σε τομή ένας καυστήρας οξυγονοκόλλησης. Το άκρο του καυστήρα, που είναι το μπέκ, μπορεί να είναι πολλών μεγεθών με διαφορετική διάμετρο οπής. Η Ευρωπαϊκή τυποποίηση για τα μπέκ ορίζει ένα χαρακτηριστικό αριθμό για κάθε μπέκ (πχ. 70), που αντιστοιχεί σε ωριαία παροχή ασετυλίνης 70 κυβικές παλάμες [dm³].



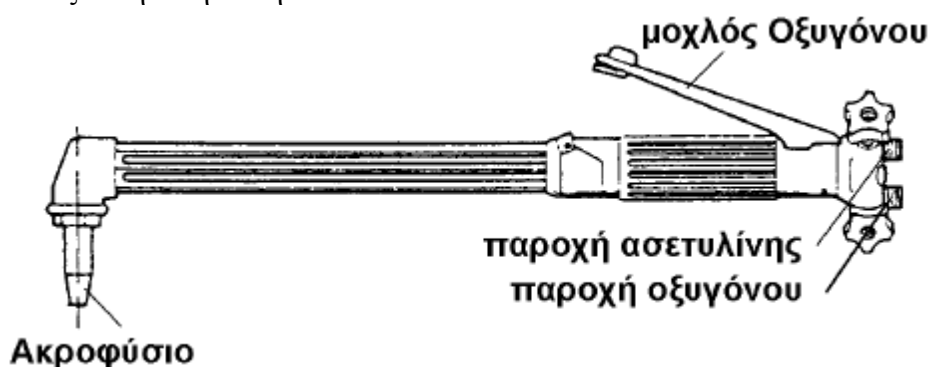
Σχήμα 3.3 Καυστήρας οξυγονοκόλλησης

Στον καυστήρα γίνεται η ανάμειξη του οξυγόνου με την ασετυλίνη και παράγεται η φλόγα. Η σωστή αναλογία οξυγόνου και ασετυλίνης ρυθμίζει και την ποιότητα της φλόγας, η οποία δεν πρέπει να έχει περισσότερο οξυγόνο (οξειδωτική φλόγα) ούτε περισσότερο ασετυλίνη (ανθρακωτική). Στο σχήμα 3.4 φαίνονται οι τρεις περιπτώσεις φλόγας, ανθρακωτική, οξειδωτική και ουδέτερη.



Σχήμα 3.4 Είδη φλόγας οξυγονοκόλλησης

Η φλόγα της οξυγονοασετυλίνης χρησιμοποιείται και για κοπή ελασμάτων. Ο καυστήρας που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση είναι ειδικός και ονομάζεται οξυγονοκόφτης. Ο οξυγονοκόφτης, που φαίνεται στο σχήμα 3.5, περιλαμβάνει ένα ακόμα αγωγό για παροχή καθαρού οξυγόνου που χρησιμοποιείται για τη στιγμιαία οξείδωση του σιδήρου, που θα προκαλέσει την κοπή (η οξυγονοκοπή χρησιμοποιείται μόνο στα σιδηρούχα υλικά). Στην πράξη θερμαίνεται το έλασμα μέσω της φλόγας της οξυγονοασετυλίνης και καθώς πυρώνεται τροφοδοτείται καθαρό οξυγόνο. Το οξυγόνο αυτό οξειδώνει το σίδηρο που περιέχεται στο έλασμα και παράγει την κοπή. Η θερμότητα από την κοπή είναι ικανή να διατηρεί την ερυθροπύρωση του ελάσματος, ώστε να μη χρειάζεται στη συνέχεια θέρμανση μέσω της οξυγονοασετυλίνης. Η φλόγα δηλαδή της οξυγονοασετυλίνης χρησιμοποιείται μόνο για να ξεκινήσει η κοπή.

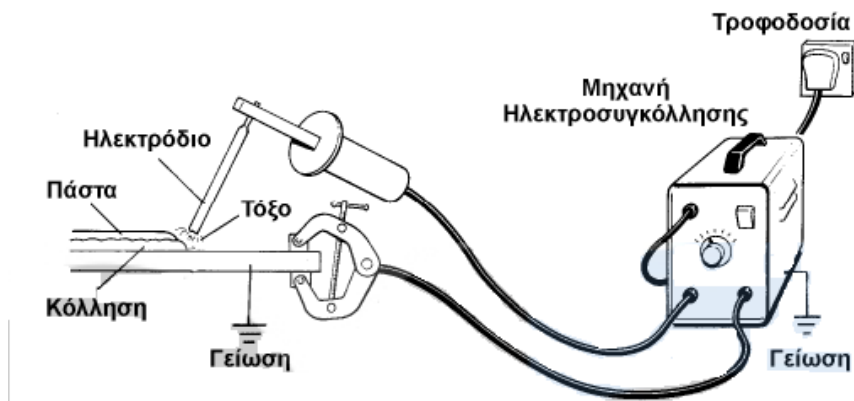


Σχήμα 3.5 : Οξυγονοκόφτης

Η κοπή με οξυγόνο μπορεί να γίνεται είτε με το χέρι είτε μηχανικά. Υπάρχουν ειδικές εργαλειομηχανές κοπής ελασμάτων που πραγματοποιούν κοπή με οξυγόνο και μάλιστα οι πιο σύγχρονες από αυτές καθοδηγούνται από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

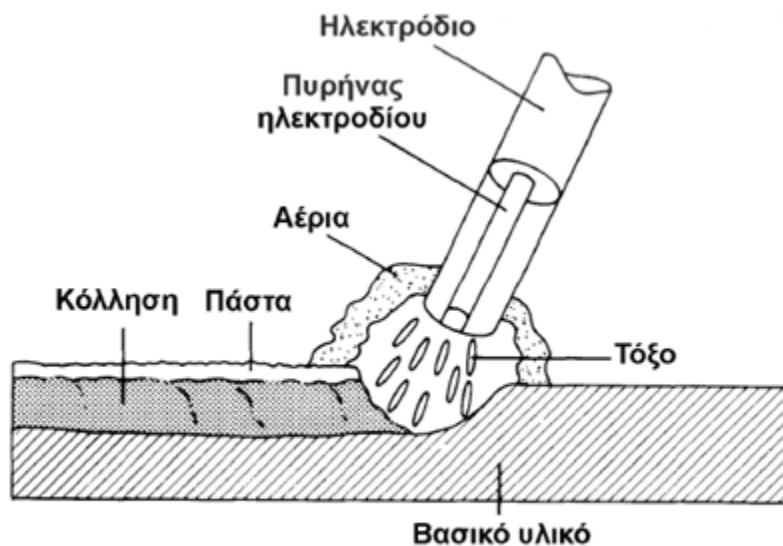
3.3.2 Συγκόλληση τόξου

Η συγκόλληση τόξου ή ηλεκτροσυγκόλληση στηρίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου ανάμεσα στο κομμάτι, που θέλουμε να κολληθεί, και σε ένα ηλεκτρόδιο, που είναι ταυτόχρονα και συγκολλητικό μέσο. Για να γίνει αυτό, το ηλεκτρόδιο και το κομμάτι συνδέονται με τους ακροδέκτες γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος. Στην πράξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6, χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές που λέγονται μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, οι οποίες χρησιμοποιούν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα και παράγουν το ηλεκτρικό τόξο.



Σχήμα 3.6 Διάταξη ηλεκτροσυγκόλλησης

Η διαδικασία της συγκόλλησης φαίνεται στο σχήμα 3.7. Λόγω του ηλεκτρικού τόξου, αναπτύσσεται μεγάλη θερμοκρασία στη θέση κόλλησης, γύρω στους 4000 °C. Στη θερμοκρασία αυτή το μέταλλο που συγκολλάται λιώνει, ενώ από πάνω του δημιουργείται ένα στρώμα αερίων, που προέρχονται από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Ταυτόχρονα με τη δημιουργία των αερίων, δημιουργείται πάνω από τη ραφή μία πάστα, επίσης από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Η πάστα αυτή βοηθά στην τήξη του μετάλλου και εμποδίζει τη γρήγορη απόψυξη, που θα είχε συνέπεια να βαφεί η ραφή. Η ραφή συγκόλλησης προκύπτει από το λιωμένο μέταλλο που συγκολλάται και από λιωμένο μέταλλο του πυρήνα του ηλεκτροδίου. Ο συγκολλητής, για να ξεκινήσει τη διαδικασία συγκόλλησης, χτυπά ή τρίβει το ηλεκτρόδιο πάνω στο προς συγκόλληση τεμάχιο και στη συνέχεια το σηκώνει, διατηρώντας από κει και πέρα μία σταθερή απόσταση.



Σχήμα 3.7 Διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης

Ο ρόλος της επένδυσης των ηλεκτροδίων συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

A) Παρέχει προστασία από ανεπιθύμητα αέρια, κυρίως O₂, N₂, H₂ με τη δημιουργία προστατευτικού παραπετάσματος αερίων (CO₂, H₂O) γύρω από το τόξο.

B) Πραγματοποιείται χημική αντίδραση της τηγμένης σκουριάς με το βασικό μέταλλο για την αφαίρεση των μη επιθυμητών O₂ και H₂ (προσθήκη Si, Mn στην επένδυση για το πρώτο και CaF για το δεύτερο).

Γ) Παρέχει προστασία στο τηγμένο μέταλλο. Για την επιτυχία των σκοπών αυτών χρησιμοποιούνται διάφορα είδη επενδύσεων (fluxes).

Το O₂ και το N₂ στην περίπτωση A προέρχονται από τον αέρα και το H₂ από τη διάσπαση της υγρασίας. Το οξυγόνο προκαλεί οξείδωση των συστατικών που έχουν μεγάλη χημική συγγένεια με το οξυγόνο. Στους ανοξείδωτους χάλυβες, εκτός από το χρώμιο, υπάρχουν και άλλα ευοξειδωτά στοιχεία, όπως το τιτάνιο, το αργίλιο, το πυρίτιο. Τα οξείδια έχουν σημείο τήξης πολύ υψηλό και στα σημεία όπου αποτίθενται εμποδίζουν τη διαβροχή του μετάλλου βάσης από το μέταλλο συγκόλλησης. Προκύπτουν έτσι ασυνέχειες οι οποίες συχνά επικοινωνούν με τον αέρα και, λόγω του διαφορικού αερισμού, γίνονται εστίες έντονης τοπικής διάβρωσης. Ταυτόχρονα μειώνεται η μηχανική αντοχή. Το άζωτο επιδρά αρνητικά κυρίως στους φερριτικούς χάλυβες. Στους ωστενιτικούς και τους μαρτενσιτικούς χάλυβες το άζωτο δεν είναι κατά κανόνα βλαβερό, σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις είναι και επιθυμητό, ως γ- φερρογόνο (ισοδύναμο του νικελίου). Το υδρογόνο δεν έχει καμία επίδραση στους ωστενιτικούς χάλυβες, διότι ο ωστενίτης έχει την ευχέρεια να το διαλύει. Στους φερριτικούς πρέπει να αποφεύγεται και στους μαρτενσιτικούς είναι πολύ βλαβερό. Το μέταλλο συγκόλλησης στους ανοξείδωτους χάλυβες εκλέγεται ώστε να έχει την ίδια ή παραπλήσια σύνθεση με το μέταλλο βάσης. Αυτό γίνεται για να διατηρούνται οι αντιδιαβρωτικές ιδιότητες του μετάλλου βάσης. Επειδή κατά τη συγκόλληση υπάρχει απώλεια ενός ποσοστού ευοξειδωτών στοιχείων, κυρίως χρωμίου στη σκουριά, οι κατασκευαστές των ηλεκτροδίων ρυθμίζουν τη μέση σύνθεση λαμβάνοντας υπόψη και την απώλεια. Το επιπλέον χρώμιο προστίθεται συνήθως στο συλλίπασμα υπό μορφή σιδηροχρωμίου σε σκόνη. Σε μορφή σκόνης προστίθεται στο συλλίπασμα και το Mo, ενώ ο πυρήνας του ηλεκτροδίου είναι σύρμα από κοινή ποιότητα ανοξείδωτου χάλυβα. Το πρόβλημα που παρατηρείται με τα ηλεκτρόδια αυτού του τύπου είναι ότι για την ίδια διάμετρο μπορούν να δεχθούν εντάσεις κατά 30% μικρότερες από τα κοινά ηλεκτρόδια μαλακού χάλυβα, κι αυτό οδηγεί σε μειωμένη ταχύτητα τήξης και επομένως παραγωγικότητα. Αυτό οφείλεται στο ότι οι ανοξείδωτοι χάλυβες, και ιδιαίτερα οι ωστενιτικοί, παρουσιάζουν χαμηλή ειδική αγωγιμότητα και αν χρησιμοποιηθούν εντάσεις ρεύματος όπως στην περίπτωση των κοινών χαλύβων, το ηλεκτρόδιο θερμαίνεται, ερυθροπυρώνεται σε όλο του το μήκος και καταστρέφεται.

Για να επιτευχθούν εντάσεις ισοδύναμες προς αυτές που επιτυγχάνονται με ηλεκτρόδια κοινών χαλύβων της ίδιας διαμέτρου, ορισμένοι κατασκευαστές κατασκεύασαν ηλεκτρόδια με πυρήνα από μαλακό χάλυβα και πρόσθεσαν όλα τα κραματικά στοιχεία στην πάστα των ηλεκτροδίων. Στην περίπτωση αυτή, το μέταλλο συγκόλλησης παρουσιάζει ετερογένεια, σε μικροσκοπική κλίμακα, λόγω ανεπαρκούς ανάμιξης. Μερικές φορές γδέρνεται τοπικά το συλλίπασμα από την επιφάνεια του ηλεκτροδίου, κι αυτό προκαλεί στιγμιαία απόθεση κοινού χάλυβα. Το ίδιο συμβαίνει και με τις εκτινάξεις του πυρήνα που είναι κοινός χάλυβας και δημιουργεί στην απόθεση ευπαθή σημεία στη διάβρωση. Έχουν χρησιμοποιηθεί όλοι οι τύποι συλλιπάσματος για την επένδυση, τελικά όμως επικράτησαν τα ηλεκτρόδια ρουτιλίου και τα βασικά, τα οποία προσφέρουν δυνατότητα συγκόλλησης σε κάθε θέση. Τα ηλεκτρόδια ρουτιλίου χρησιμοποιούνται με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ τα βασικά με συνεχές και με ανάστροφη πολικότητα. Η ανάστροφη πολικότητα εκλέγεται για να αυξήσει το ρυθμό τήξης του ηλεκτροδίου, αν και η πολικότητα αυτή μειώνει τη διείδυση. Οι μηχανές συγκόλλησης διακρίνονται σε συνεχούς ρεύματος και εναλλασσόμενου

Συσκευές – όργανα

Οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ή συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα και χαρακτηρίζονται από την ένταση του ρεύματος, που μπορούν να δώσουν, και την τάση του ρεύματος για το ξεκίνημα του τόξου (τάση εν κενώ). Η ένταση της συγκόλλησης ρυθμίζεται από ροοστάτες που βρίσκονται πάνω στις μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, ενώ για κάθε ένταση ρεύματος προτείνεται και αντίστοιχο ηλεκτρόδιο. Επισημαίνεται ότι, με τη χρήση του ίδιου ηλεκτροδίου, η ένταση του ρεύματος πρέπει να αυξάνεται, όσο το πάχος των ελασμάτων που θα κολληθούν είναι μεγαλύτερο. Τα συνήθη ηλεκτρόδια έχουν επένδυση που είναι κράμα διαφόρων οργανικών και ορυκτών συστατικών, ενώ ο πυρήνας τους είναι από μαλακό χάλυβα. Υπάρχουν και άλλα ηλεκτρόδια με πυρήνες από χαλυβοκράματα, χυτοσίδηρο κ.λπ., αλλά δε χρησιμοποιούνται συχνά και μόνο για ειδικές περιπτώσεις. Τα ηλεκτρόδια κυκλοφορούν σε πολλά μεγέθη με διαφορετικό μήκος και διάμετρο, όπως και με διαφορετικό πάχος επένδυσης. Στον Πίνακα Π.3.2 φαίνονται διάφορα μεγέθη ηλεκτροδίων και η ένταση του ρεύματος που πρέπει να χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση.

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

Πίνακας 3.2 Στοιχεία ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια έχουν τυποποιηθεί ως προς τα χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με Ευρωπαϊκά και άλλα διεθνή πρότυπα. Στην ετικέτα του κουτιού, στα οποία είναι συσκευασμένα τα ηλεκτρόδια, γράφονται με τη σειρά σύμβολα που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένες ιδιότητες του ηλεκτροδίου.

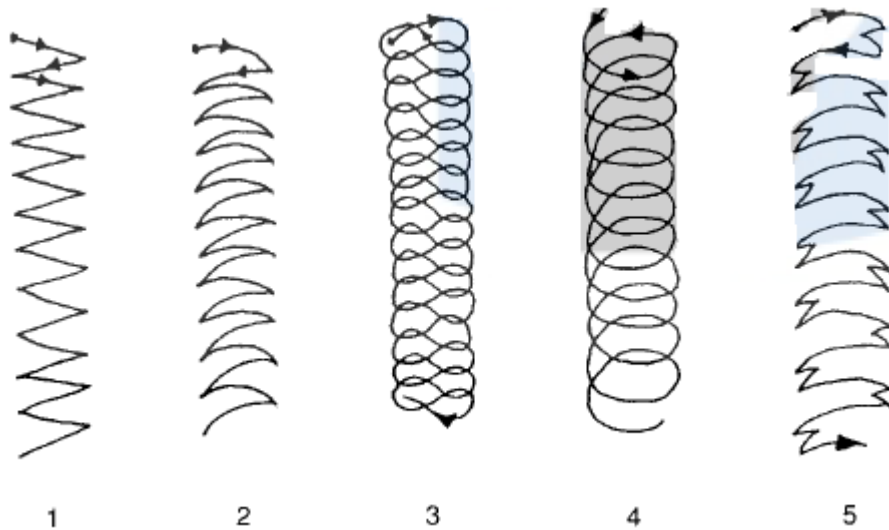
Τεχνική της Ηλεκτροσυγκόλλησης

Η ηλεκτροσυγκόλληση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ορισμένα βασικά εξαρτήματα προστασίας. Αυτά είναι η μάσκα, που προστατεύει τα μάτια από τη λάμψη του ηλεκτρικού τόξου (δηλαδή από τις υπέρυθρες και υπεριώδεις ακτίνες που καταστρέφουν τον αμφιβληστροειδή του ματιού), τα γάντια, που προστατεύουν τα χέρια από πιθανά εγκαύματα και την ακτινοβολία, και η ποδιά που προστατεύει αντίστοιχα το υπόλοιπο σώμα.



Σχήμα 3.8 : Εξοπλισμός ηλεκτροσυγκόλλησης

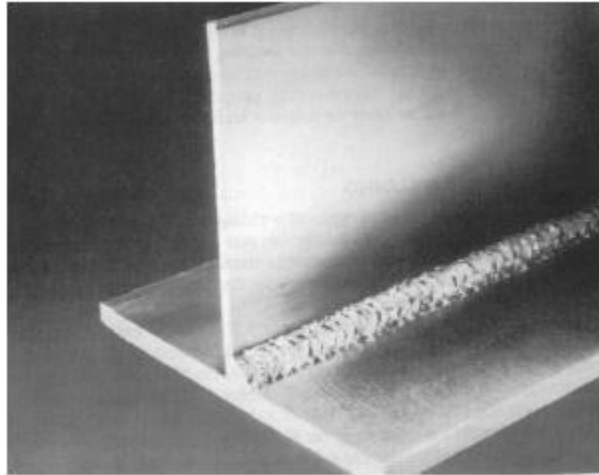
Εκτός από τον παραπάνω βασικό εξοπλισμό, στην ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιούνται περικνημίδες για τα πόδια και μανσέτες για τα χέρια. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο αερισμός που πρέπει να υπάρχει στο χώρο εργασίας, ώστε να μην εισπνέονται από το συγκολλητή τα διάφορα αέρια που προκύπτουν από την συγκόλληση. Κατά τη διάρκεια της ηλεκτροσυγκόλλησης και ανάλογα με το είδος της ραφής που επιθυμούμε, πρέπει να μετακινείται το ηλεκτρόδιο πραγματοποιώντας συγκεκριμένες κινήσεις. Στο σχήμα 3.9 φαίνονται μερικά είδη τέτοιων συνηθισμένων κινήσεων. Από τις κινήσεις αυτές, η κίνηση 2 είναι η πιο συνηθισμένη, ενώ γενικά ισχύει ότι κάθε συγκολλητής έχει τη δικιά του κίνηση που προτιμά.



Σχήμα 3.9 Κινήσεις συγκόλλησης

Οι συνηθισμένες συγκολλήσεις, που γίνονται με ηλεκτροσυγκόλληση, είναι οι μετωπικές ραφές και οι εξωραφές. Η προετοιμασία που πρέπει να γίνει στα ελάσματα πριν την ηλεκτροσυγκόλληση διαφέρει ανάμεσα στα δύο είδη, ενώ εξαρτάται και από τα πάχη των ελασμάτων. Οι εξωραφές είναι συγκολλήσεις ελασμάτων καθέτως μεταξύ τους σε αντίθεση με τις μετωπικές ραφές, που, όπως το λέει και η λέξη, είναι συγκολλήσεις κατά πρόσωπο. Στο σχήμα 3.10 φαίνεται μία εξωραφή, καθώς και ο τρόπος συμβολισμού της στο Μηχανολογικό σχέδιο. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το σύμβολο της συγκόλλησης τοποθετείται με το βέλος να δείχνει τη θέση συγκόλλησης. Σε περίπτωση που η συγκόλληση είναι από την απέναντι πλευρά, από αυτή που δείχνει το βέλος, το σύμβολο του είδους της συγκόλλησης τοποθετείται αντεστραμμένο, όπως φαίνεται στη δεύτερη περίπτωση εξωραφής του σχήματος.





Σχήμα 3.10 Εξωραφή

3.3.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα

Οι συγκολλήσεις με αδρανή ατμόσφαιρα εξασφαλίζουν τη μόνωση της θέσης συγκόλλησης από τον αέρα, δηλαδή ουσιαστικά από το Οξυγόνο και το άζωτο που επηρεάζουν τη συγκόλληση. Για τη μόνωση αυτή χρησιμοποιούνται τα αέρια Αργό (Ar) και Ήλιο (He). Από τα δύο αυτά αέρια χρησιμοποιείται περισσότερο το αργό, γιατί η παραγωγή του έχει μικρότερο κόστος.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου ηλεκτροσυγκόλλησης σε αδρανή ατμόσφαιρα σε σχέση με την απλή ηλεκτροσυγκόλληση είναι :

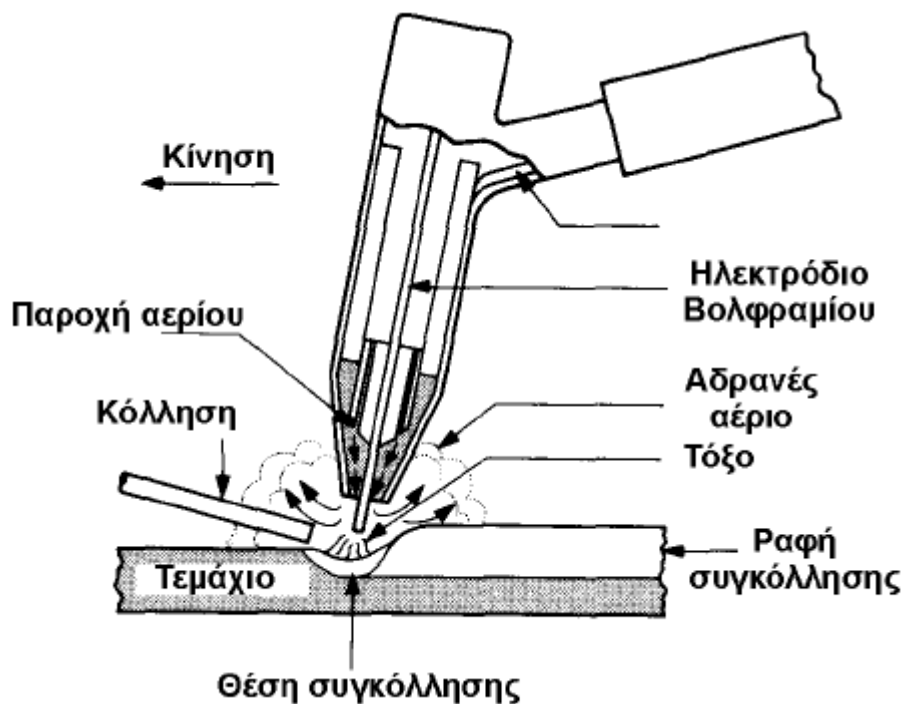
- Σταθερό ηλεκτρικό τόξο και εύκολη συγκόλληση,
- Ραφές συγκόλλησης με υψηλή μηχανική αντοχή.
- Μικρές παραμορφώσεις λόγω θέρμανσης,
- Απουσία επιβλαβών αναθυμιάσεων.

Η ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα γίνεται με τρεις μεθόδους, τη μέθοδο **T.I.G.** (δίστηκτο ηλεκτρόδιο και αέριο αργό), τη μέθοδο **M.I.G.** (καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο και αέριο αργό) και τη μέθοδο **M.A.G.** (καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο και ανθρακικά αέρια).

3.3.3.1 Μέθοδος T.I.G

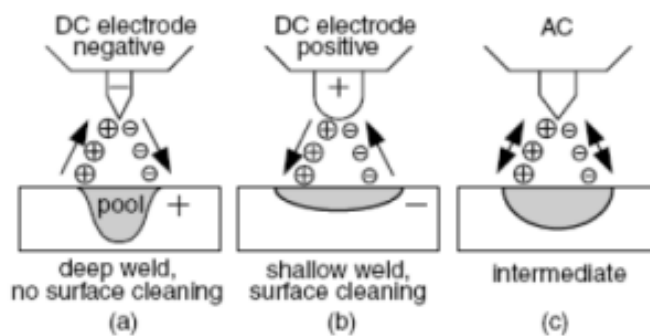
Στην ηλεκτροσυγκόλληση T.I.G. (**Tungsten Inert Gas**) το ηλεκτρόδιο είναι από Βολφράμιο (W) και προκειμένου να αυξηθούν οι ηλεκτρικές του ιδιότητες προστίθενται Θόριο (Th) και Ζιρκόνιο (Zr). Το ηλεκτρόδιο δεν καταναλίσκεται, δηλαδή συμμετέχει στη συγκόλληση μόνο για να διατηρεί το ηλεκτρικό τόξο. Στο

σχήμα 3.11 φαίνεται μία διάταξη συγκόλλησης με T.I.G.. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως αδρανές αέριο το Αργό ή το Ήλιο ή μείγμα των δύο αερίων. Προκειμένου η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. να είναι επιτυχής, πρέπει τα κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από ακαθαρσίες. Η κόλληση που φαίνεται στο σχήμα επιλέγεται από ενώσεις των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η συγκόλληση πραγματοποιείται χωρίς κόλληση και μόνο με την τήξη των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν. Η μέθοδος T.I.G. χρησιμοποιείται για συγκόλληση των περισσοτέρων μετάλλων. Ιδιαίτερη εφαρμογή είναι η συγκόλληση λεπτών αντικειμένων λόγω της εξαιρετικής ποιότητας συγκόλλησης και της ποιότητας της τελικής επιφάνειας.



Σχήμα 3.11 : Συγκόλληση T.I.G.

Η συγκόλληση γίνεται με εναλλασσόμενο (A.C.) και με συνεχές ρεύμα (D.C.). Στην περίπτωση χρήσης D.C. μπορεί να έχουμε ορθή (straight polarity d.c.s.p.) ή ανάστροφη (reverse polarity, d.c.r.p.) πολικότητα (Σχήμα 3.12).



Σχήμα 2.12 Συγκόλληση με συνεχές ρεύμα (α) ορθή τάση, (β) με ανάστροφη πολικότητα, με εναλλασσόμενο ρεύμα (γ)

Η κατανομή της θερμότητας στο ηλεκτρικό τόξο είναι για την άνοδο (+) 80%, για την κάθοδο(-) 5% και η μεταφορά από αέριο 15%. Επομένως, για τα περισσότερα μέταλλα χρησιμοποιείται η ορθή πολικότητα. Εξαιρεση αποτελεί το αλουμίνιο, όπου χρησιμοποιείται ανάστροφη πολικότητα για να επιτευχθεί καθοδικός καθορισμός. Εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται με υψηλή συχνότητα και υψηλή τάση για τη βελτίωση της ευστάθειας του τόξου.

Αέρια προστασίας που χρησιμοποιούνται είναι το αργό, που είναι συνηθέστερο λόγω χαμηλής τιμής, και το ήλιο, που απαιτεί μεγάλη τάση τόξου και προκαλεί μεγαλύτερη διείσδυση, οπότε χρησιμοποιείται σε παχιά ελάσματα. Στους ωστενιτικούς χάλυβες μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη διείσδυση με αύξηση της τάσης του τόξου, προσθέτοντας στο αργό μέχρι 10% H₂. Στους άλλους χάλυβες η ύπαρξη υδρογόνου απαγορεύεται. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε:

- (α) καθαρού βολφραμίου (EWP)
- (β) βολφραμίου με 1-2% θόριο (EWTh-1, EWTh-2)
- (γ) βολφραμίου με 0,15-0,40% ζιρκόνιο (EWZr)
- (δ) καθαρού βολφραμίου με εξωτερικό λεπτό κέλυφος από κράμα βολφραμίου και 1-2% θορίου (EWTh-3)

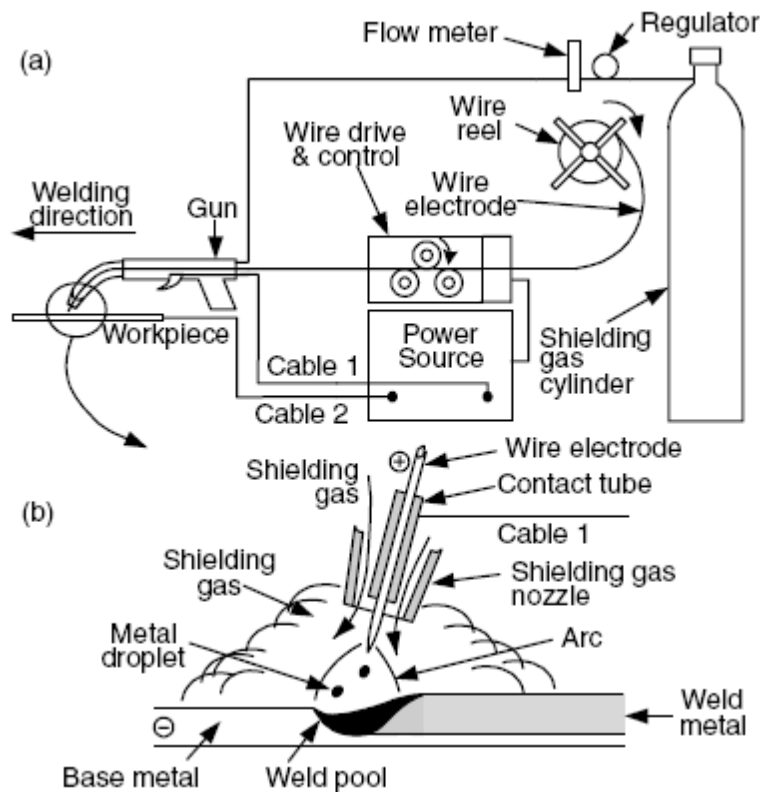
Από τους παραπάνω τύπους τα EWP είναι τα φθηνότερα, ενώ τα θοριομένα είναι τα καλύτερα. Τα τελευταία παρουσιάζουν μεγαλύτερη εκπομπή ηλεκτρονίων, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη αντίσταση σε απορρόφηση ακαθαρσιών από το περιβάλλον. Ακόμη με τα ηλεκτρόδια αυτά είναι πιο εύκολο το άναμμα του τόξου, ενώ και το ίδιο το τόξο είναι σταθερότερο. Στην GTAW η μηχανή συγκόλλησης έχει συνήθως χαρακτηριστική σταθερού ρεύματος. Σε ημιαυτόματες συγκολλήσεις σωληνώσεων με GTAW έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία συνεχές ρεύμα ορθής πολικότητας (αρνητικό ηλεκτρόδιο) σε παλμούς. Με τον τρόπο αυτό η περιμετρική συγκόλληση μπορεί να γίνει χωρίς τη συνεχή ρύθμιση των παραμέτρων συγκόλλησης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πιστολιών συγκόλλησης, ανάλογα με την επιθυμητή εφαρμογή. Από αυτά άλλα είναι υδρόψυκτα και άλλα αερόψυκτα, ενώ μερικά φέρουν και βαλβίδες για τη ρύθμιση της παροχής του αερίου προστασίας. Η τεχνική GTAW δίνει άριστες συγκολλήσεις, αλλά σχετικά ακριβές. Ενδείκνυται για συγκόλληση σε μικρά και σε μεγάλα πάχη. Μηχανοποιημένη και αυτόματη χρησιμοποιείται για την κατασκευή σωλήνων από ανοξείδωτο χάλυβα με ραφή.

3.3.3.2 Μέθοδος M.I.G

Σε αυτή τη μέθοδο συγκόλλησης χρησιμοποιείται προστασία αερίου και η απαιτούμενη θερμότητα παρέχεται από το ηλεκτρικό τόξο που σχηματίζεται μεταξύ ενός τηκόμενου ηλεκτροδίου και των προς συγκόλληση τεμαχίων. Η μέθοδος αυτή όταν πρωτοεμφανίστηκε, θεωρείτο ως μέθοδος υψηλής πυκνότητας ρεύματος. Βασικός της σκοπός ήταν η συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου και ονομάστηκε MIG (Metal Inert Gas). Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και ρεύματα χαμηλής πυκνότητας και παλλόμενο συνεχές ρεύμα και χρησιμοποιήθηκε σε συγκολλήσεις και άλλων μετάλλων. Για την προστασία του μετάλλου χρησιμοποιήθηκαν και ενεργά αέρια,

κυρίως CO₂. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η μετονομασία της σε GMAW, που είναι ευρύτερος όρος και το διάγραμμα της μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (GMAW), (α) διάγραμμα της μεθόδου, (β) απεικόνιση της περιοχής συγκολλήσεως.

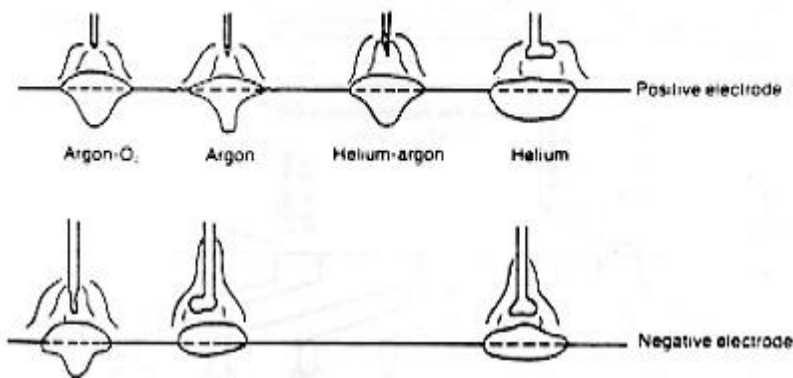
Η συγκόλληση πραγματοποιείται με συνεχές ρεύμα, με ορθή και ανάστροφη πολικότητα. Με ορθή πολικότητα υπάρχει μεταφορά υλικού με σταγόνες, ενώ με ανάστροφη πολικότητα συμβαίνει μεταφορά υλικού με σταγονίδια. Στο μαλακό χάλυβα με ανάστροφη πολικότητα και με χρήση αργού, συμβαίνει μετατροπή της μεταφοράς υλικού από σταγόνες σε σταγονίδια, σε συγκεκριμένη τιμή του ρεύματος I_{tr} , η οποία ονομάζεται τιμή μετάβασης. Επίσης, το προστιθέμενο μέταλλο μεταφέρεται με τεχνική βύθισης ή βραχυκύκλωσης, η οποία αναπτύχθηκε για να γίνει δυνατή η συγκόλληση σε πολύ λεπτά ελάσματα και σε όλες τις θέσεις, χωρίς τη χρήση αδρανών αερίων προστασίας. Οι εντάσεις και οι τάσεις ρεύματος που χρησιμοποιούνται είναι μικρές. Μεταξύ του ηλεκτροδίου και των προς συγκόλληση μετάλλων υπάρχει βολταϊκό τόξο. Μεταφορά υλικού γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια επαφής του ηλεκτροδίου με το τηγμένο μέταλλο, που συμβαίνει 20 έως 200 φορές το δευτερόλεπτο. Τα αέρια προστασίας που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις των μετάλλων φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Μέταλλο	Αέριο προστασίας
Αλουμίνιο	Αργό, για μικρά πάχη (έως 25 mm) Μίγμα 75% He, 25% Ar, για πάχη από 25 έως 76 mm. Μίγμα 90% He, 10% Ar, για πολύ μεγάλα πάχη
Μαλακός χάλυβας	Μίγμα Ar, 5% O ₂ Για μεταφορά με βύθιση Ar, 25% O ₂ , για πάχη μικρότερα από 3,2 mm, Ar, 50% CO ₂ για μεγαλύτερα πάχη, ή σκέτο CO ₂ για μεγαλύτερη διείσδυση
Ανοξειδωτος χάλυβας	Μίγμα Ar με 1-2% O ₂ Για μεταφορά με βύθιση μίγμα 90% He, 7,5% Ar, 2,5% CO ₂ .

Πίνακας 3.3: Αέρια προστασίας για συγκολλήσεις GMAW.

Στις συγκολλήσεις ανοξειδωτων χαλύβων, το οξυγόνο που χρησιμοποιείται ως αέριο προστασίας, στοχεύει στην καλύτερη διείσδυση. Ακόμη το οξυγόνο είναι ευνοϊκό στην περίπτωση των ωστενιτικών χαλύβων με χαμηλό άνθρακα, επειδή εμποδίζει την ενανθράκωση. Οι περιεκτικότητες οξυγόνου που χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ 2 και 10%.

Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζεται η επίδραση του αερίου προστασίας στην όψη και τη διείσδυση της συγκόλλησης.



Σχήμα 3.14 : Επίδραση του αερίου προστασίας στη διείσδυση της συγκόλλησης.

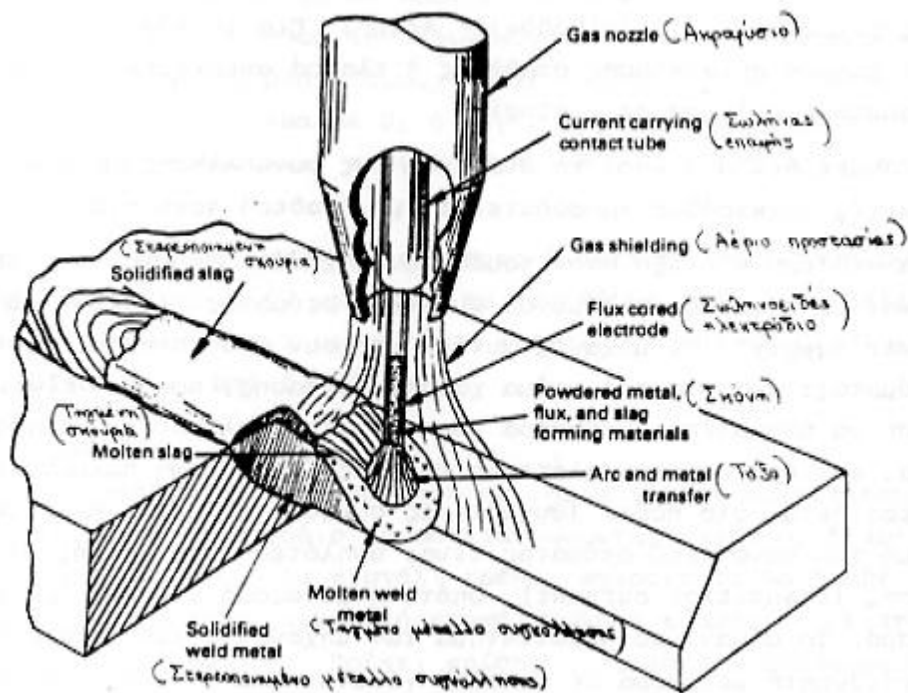
Στη συγκόλληση GMAW με προστασία αδρανούς αερίου, τα συμπαγή ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται, έχουν συνήθως την ίδια σύνθεση με το προς συγκόλληση βασικό μέταλλο. Όταν το χρησιμοποιούμενο αέριο είναι ενεργό (π.χ. μίγμα με O₂ και CO₂), τότε είναι απαραίτητη η προσθήκη αποξειδωτικών, κυρίως Si και Mn, στο κράμα του ηλεκτροδίου. Οι πιο συνηθισμένες χρησιμοποιούμενες διαμέτροι ηλεκτροδίων είναι από 1,02 έως 1,59 mm, αλλά υπάρχουν και ηλεκτρόδια μικρότερων (μέχρι 0,5 mm) και μεγαλύτερων (μέχρι 3,18 mm) διαμέτρων. Η τεχνική GMAW χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση ανοξειδωτων χαλύβων. Τα πιστόλια συγκόλλησης χρησιμοποιούνται για χειροκίνητη και ημιαυτόματη συγκόλληση. Επειδή το ηλεκτρόδιο προωθείται συνεχώς κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, το πιστόλι πρέπει να διαθέτει μια ολισθαίνουσα ηλεκτρική επαφή (σωλήνας επαφής) για τη διοχέτευση του ρεύματος. Πρέπει επίσης να διαθέτει ακροφύσιο για την παροχή του αερίου προστασίας. Η ψύξη του πιστολιού γίνεται ή με το αέριο προστασίας ή με κλειστό κύκλωμα νερού ή και με τα δύο.

Επειδή η GMAW είναι μέθοδος συγκόλλησης με πολύ υψηλή πυκνότητα έντασης ρεύματος, αν χρησιμοποιηθεί μηχανή συγκόλλησης, απαιτείται σταθερή ή ελαφρά ανερχόμενη τάση. Επίσης, το συνεχές ηλεκτρόδιο τροφοδοτείται με σταθερή ταχύτητα. Μια νεότερη εξέλιξη στον τομέα των μηχανών είναι οι μηχανές παλλόμενου ρεύματος, οι οποίες παρέχουν δύο επίπεδα έντασης ρεύματος. Το σταθερό ρεύμα χαμηλής έντασης δεν είναι σε θέση να προκαλέσει μεταφορά του τηκόμενου υλικού σε σταγονίδια. Το ρεύμα υψηλότερης έντασης, υπό μορφή παλμών, υπερτίθεται στο πρώτο. Η μέγιστη τιμή του συνολικού ρεύματος είναι υψηλότερη της τιμής μετάβασης, οπότε η μεταφορά γίνεται με ψεκασμό. Σημαντικό πλεονέκτημα των μηχανών αυτών είναι ότι η επιθυμητή μεταφορά με ψεκασμό γίνεται με αποδοτικότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Εξέλιξη αυτών των μηχανών συγκόλλησης αποτελούν οι μηχανές synergic pulsed

MIG. Υπάρχουν παραλλαγές της μεθόδου GMAW, δύο από τις σημαντικότερες είναι οι εξής:

A) Χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων

Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως FCAW (Flux Cored Arc Welding- Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων). Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι ότι τα ηλεκτρόδια είναι μεν μεταλλικά αλλά σωληνοειδή που στο εσωτερικό τους (πυρήνα) περιέχουν σκόνη, παρόμοια με εκείνη των επενδυμένων ηλεκτροδίων. Η συγκόλληση γίνεται με ή χωρίς αέριο προστασίας. Στην τελευταία περίπτωση το αέριο είναι συνήθως CO₂ (σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.15: Συγκόλληση με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων (FCAW).

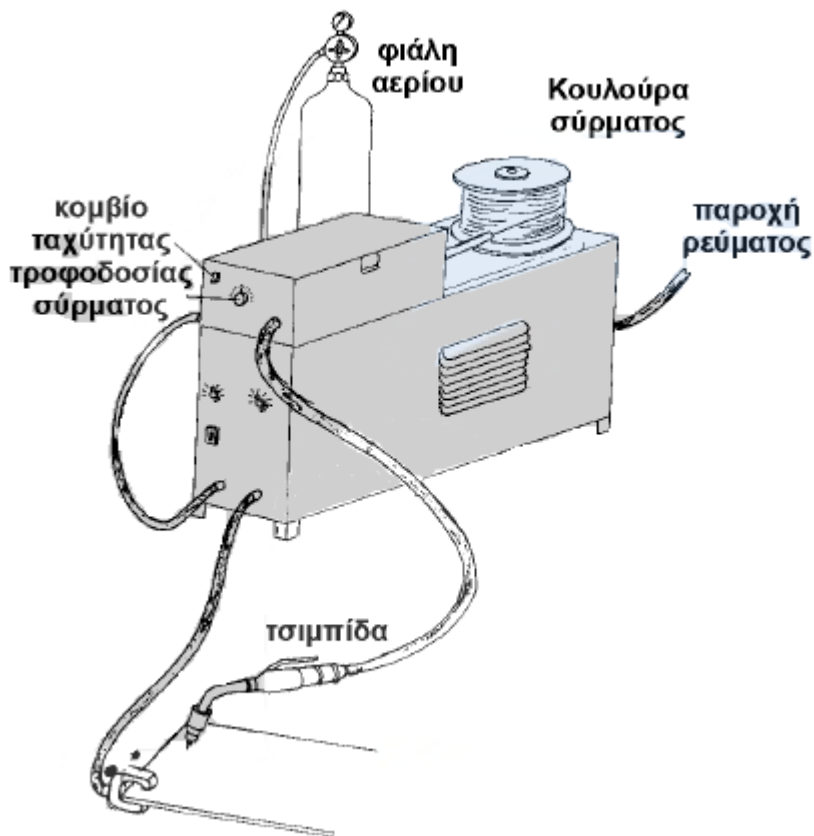
Σε σχέση με την κλασική GMAW, η μέθοδος αυτή παρέχει μεγαλύτερη ταχύτητα συγκόλλησης, μεγαλύτερη διείσδυση και τη δυνατότητα συγκόλλησης σκουριασμένων υλικών ή κραμάτων με προστασία CO₂. Παρουσιάζει όμως, μεγαλύτερη κατανάλωση αερίου, χαμηλότερη απόδοση και το πρόβλημα της αφαίρεσης της σκουριάς. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι η FCAW είναι η μέθοδος συγκόλλησης που λειτουργεί το ρομπότ και χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων.

B) Συγκόλληση στενού διακένου (Narrow Gap Welding)

Με την παραλλαγή αυτή της GMAW είναι δυνατή η συγκόλληση πολύ παχέων ελασμάτων (μέχρι και 400 mm) φερρομαγνητικών υλικών με ανοιχτή συμβολή ή τύπου V πολύ μικρής γωνίας. Τα ελάσματα τοποθετούνται έτσι ώστε το διάκενο στη ρίζα τους να είναι 6 με 10 mm μόνο, ανεξάρτητα από το πάχος τους. Η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα στην Ιαπωνία, όπου έχουν αναπτυχθεί τουλάχιστον 8 διαφορετικά συστήματα. Κοινό χαρακτηριστικό αυτών είναι ότι το τόξο πάλλεται και κάμπτεται προς την κατεύθυνση των τοιχωμάτων των ελασμάτων για την επίτευξη καλύτερης τήξης. Κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η οικονομικότητα, η δημιουργία χαμηλότερων παραμενουσών τάσεων και η βελτιωμένη δυσθραυστότητα της συγκόλλησης. Σημαντικό μειονέκτημα είναι η δυσκολία να επιδιορθωθούν τυχόν σφάλματα.

3.3.3.3 Μέθοδος M.A.G

Στην ηλεκτροσυγκόλληση M.A.G. (Metal Actif Gas) χρησιμοποιούνται ανθρακικά αέρια (διοξείδιο του άνθρακος CO₂) ή μείγμα ανθρακικών αερίων και αργού. Το συγκολλητικό υλικό είναι σύρμα κυρίως από μαγγάνιο και πυρίτιο, ενώ περιέχει και πρόσθετα άλλων μετάλλων. Στο σχήμα 3.16 φαίνεται η διάταξη της συγκόλλησης M.A.G.



Σχήμα 3.16 Διάταξη συγκόλλησης M.A.G

3.3.3.4 Ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση (ηλεκτροπόντα)

Η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι αυτογενής συγκόλληση, η οποία δε χρησιμοποιεί συγκολλητικό υλικό. Τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν θερμαίνονται συμπιεζόμενα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και συγκολλώνται. Στο σχήμα 3.17 φαίνεται η διάταξη μίας φορητής μηχανής συγκόλλησης με αντίσταση.



Σχήμα 3.17 : Φορητή συσκευή συγκόλλησης με αντίσταση

Για τη συγκόλληση με αντίσταση σημαντικό ρόλο παίζουν ο χρόνος συγκόλλησης και η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια. Ανάλογα με τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και το πάχος τους, επιλέγονται και οι συνθήκες αυτές της συγκόλλησης.

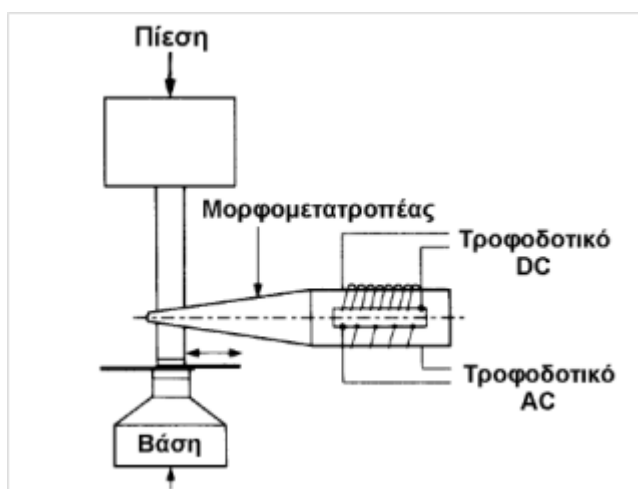
Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μηχανή για ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι η **ηλεκτροπόντα**. Οι ηλεκτροπόντες που κυκλοφορούν είναι συνήθως σταθερές και ποδοκίνητες, ενώ υπάρχουν και φορητές, όπως στο σχήμα 3.17. Στο σχήμα 3.18 φαίνεται μια σταθερή ποδοκίνητη ηλεκτροπόντα και η διαδικασία συγκόλλησης.



Σχήμα 3.18 : Συγκόλληση σε ηλεκτροπόντα

3.3.4 Υπέρηχοι

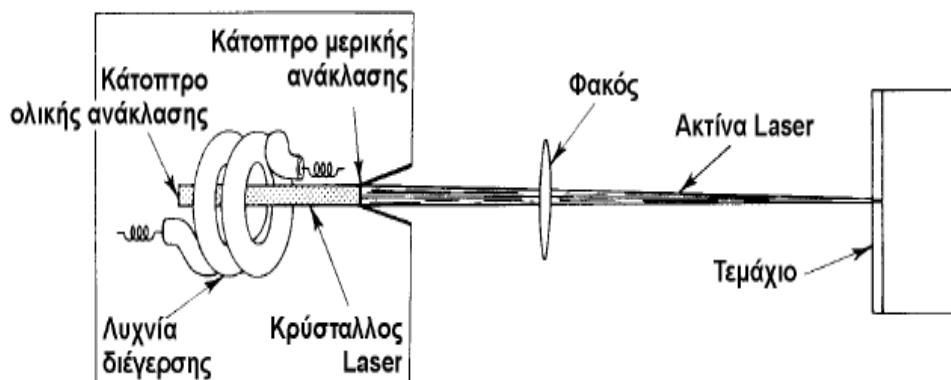
Η συγκόλληση με υπερήχους πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα του 20ου αιώνα. Η συγκόλληση αυτή χρησιμοποιείται για τη σύνδεση μετάλλων, όπως είναι ο χαλκός, το νικέλιο, το αλουμίνιο κ.λπ.. Στη συγκόλληση με υπερήχους τα τεμάχια συνδέονται μεταξύ τους μέσω πίεσης με ταυτόχρονη ταλάντωση υψηλής συχνότητας. Η ταλάντωση αυτή προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας στη θέση συγκόλλησης και η πίεση ανάμεσα στα κομμάτια δημιουργεί την τελική σύνδεση. Στο σχήμα 3.19 φαίνεται η διαδικασία συγκόλλησης με υπερήχους.



Σχήμα 3.19 Συγκόλληση με υπερήχους

3.3.5 Laser

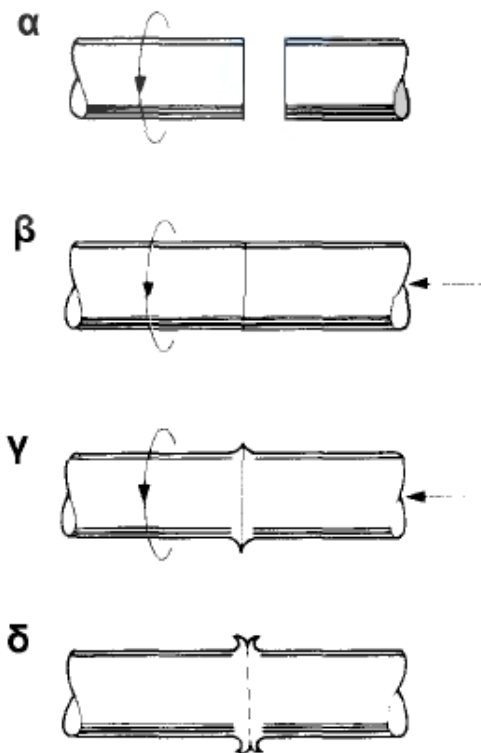
Η συγκόλληση με Laser πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 1950. Η συγκόλληση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται, όταν μία δέσμη ακτίνων Laser προσπίπτει πάνω στα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν. Στο σχήμα 3.20 φαίνεται η διαδικασία παραγωγής της ακτίνας Laser και η συγκόλληση.



Σχήμα 3.20 : Συγκόλληση με Laser

3.3.6 Τριβή

Στη συγκόλληση με τριβή δύο τεμάχια συγκολλώνται με τη βοήθεια της θερμότητας, που παράγεται από την τριβή του ενός πάνω στο άλλο. Στην πράξη, το ένα από τα δύο τεμάχια περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και συμπιέζεται πάνω στο τεμάχιο που θα συγκολληθεί. Οι μεταξύ τους επιφάνειες τρίβονται έντονα, θερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία συγκόλλησης και τότε η περιστροφή σταματά. Με τη συνεχιζόμενη πίεση ανάμεσα στα δύο κομμάτια επιτυγχάνεται η συγκόλληση. Αυτή η μέθοδος έχει βρει εφαρμογές στη συγκόλληση των κοπτικών πλακιδίων σε μανέλες κοπτικών εργαλείων, συγκόλληση ράβδων κ.λπ.. Στο σχήμα 3.21 φαίνεται η διαδικασία συγκόλλησης ράβδων με τριβή. Η διαδικασία που φαίνεται στο σχήμα περιλαμβάνει : α) περιστροφή της μίας ράβδου, β) περιστροφή της πρώτης ράβδου και ταυτόχρονη συμπίεση της δεύτερης ράβδου πάνω στην περιστρεφόμενη, γ) επίτευξη της θερμοκρασίας συγκόλλησης και δ) προκύπτει η συγκόλληση των ράβδων.



Σχήμα 3.21 : Συγκόλληση με τριβή

3.3.7 Πλάσμα

Η συγκόλληση με πλάσμα, που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά γύρω στο 1960, μοιάζει πολύ με την συγκόλληση TIG. Σε αυτού του τύπου τη συγκόλληση σχηματίζεται τόξο πλάσματος, μεταξύ ενός ηλεκτροδίου, το οποίο δεν καταναλίσκεται, και του μετάλλου που θα συγκολληθεί. Η μέθοδος αυτή, επειδή το τόξο πλάσματος αναπτύσσει μεγάλες θερμοκρασίες, δημιουργεί βαθύτερες ραφές από τις αντίστοιχες της συγκόλλησης TIG.

3.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

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

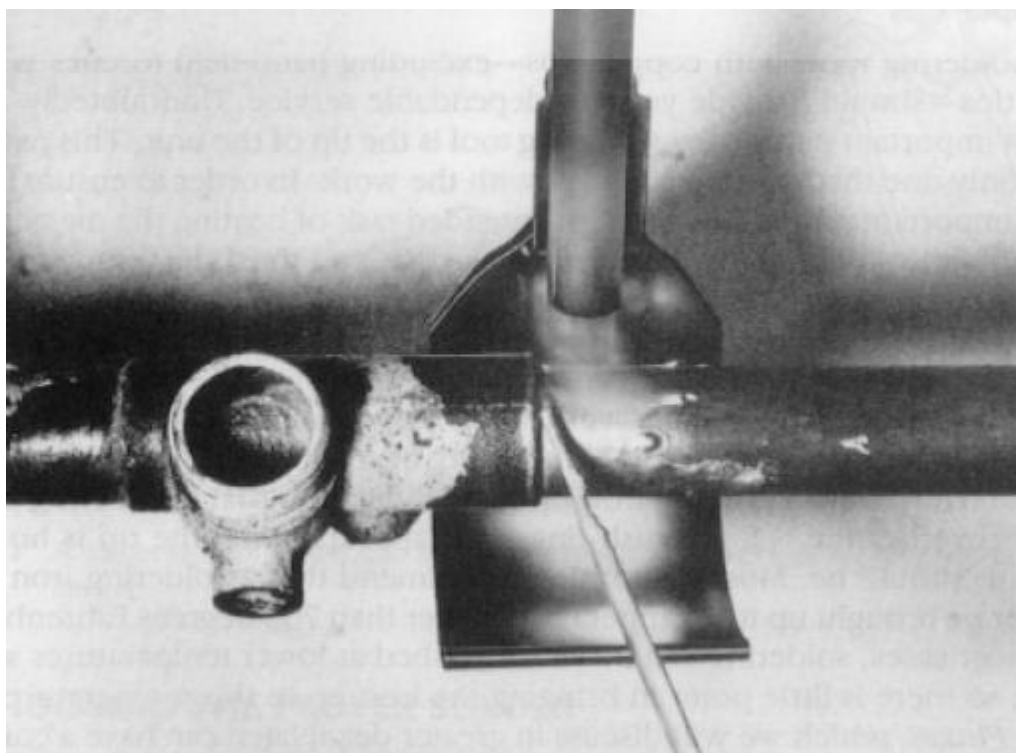
3.4.1 Μαλακές συγκολλήσεις

Οι μαλακές συγκολλήσεις διακρίνονται για τη χαμηλή θερμοκρασία συγκόλλησης. Για να γίνει μία τέτοια συγκόλληση, χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό

υλικό κράμα κασσίτερου και μόλυβδου. Η θερμότητα, που χρειάζεται για να λιώσει το συγκολλητικό υλικό, παρέχεται από καμινέτο ή κολλητήρι ή άλλες πηγές. Μαλακές συγκολλήσεις είναι η κασσιτεροκόλληση, η μολυβδοκόλληση και άλλες, αλλά σημαντικότερη είναι η κασσιτεροκόλληση.

3.4.1.1 Κασσιτεροκόλληση

Η κασσιτεροκόλληση χρησιμοποιεί ως συγκολλητικό υλικό ένα κράμα κασσίτερου (Sn) και μολύβδου (Pb). Ανάλογα με την περιεκτικότητα καθενός από τα δύο συστατικά, κυκλοφορούν στο εμπόριο διάφορα είδη κολλήσεων. Για τα είδη της κόλλησης ισχύει ο κανόνας ότι, όσο πιο μεγάλη είναι η περιεκτικότητα σε κασσίτερο στην κόλληση, τόσο πιο πολύ αυξάνει η ρευστότητα της κόλλησης και μειώνεται η θερμοκρασία τήξης της. Η κασσιτεροκόλληση χρησιμοποιείται ευρέως από τους λευκοσιδηουργούς και τους υδραυλικούς για την συγκόλληση σωλήνων κ.λπ.. Στο σχήμα 3.22 φαίνεται μια κασσιτεροκόλληση μολυβδοσωλήνων.



Σχήμα 3.22 : Κασσιτεροκόλληση

Στην κασσιτεροκόλληση η θέρμανση των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν γίνεται μέσω καμινέτου, φλόγας οξυγονοασετυλίνης ή χρησιμοποιούνται ειδικά κολλητήρια, τα οποία μπορεί να είναι ηλεκτρικά ή να θερμαίνονται με τη βοήθεια φωταερίου, καμινέτου κ.λπ.. Προκειμένου να συγκολληθούν δύο τεμάχια με κασσιτεροκόλληση, πρέπει να είναι απαλλαγμένα από τυχόν σκουριές ή ακαθαρσίες. Ο καθαρισμός των επιφανειών γίνεται με μηχανικό τρόπο, χρησιμοποιώντας βούρτσα, λίμα, τρόχισμα, κ.λπ., και με χημικό τρόπο, χρησιμοποιώντας ειδικά για το σκοπό αυτό χημικά, σε μορφή αλοιφής ή σκόνης. Τέτοια χημικά είναι το υδροχλωρικό οξύ (χρησιμοποιείται σε επιψευδαργυρωμένες

επιφάνειες), ο χλωριούχος ψευδάργυρος, που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές, και το κολοφώνιο (κυρίως σε ηλεκτρικές εφαρμογές και εκεί που υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης).

3.4.1.2 Μολυβδοκόλληση

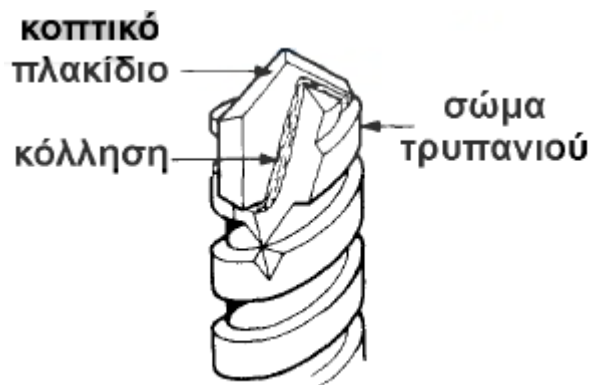
Η μολυβδοκόλληση γίνεται συνήθως χωρίς συγκολλητικό υλικό, επειδή χρησιμοποιείται κυρίως για συγκόλληση μολύβδινων τεμαχίων. Ως συγκολλητικό υλικό χρησιμοποιείται το ίδιο το υλικό των κομματιών που θα συγκολληθούν. Προκειμένου τα μολύβδινα κομμάτια να συγκολληθούν, θερμαίνονται με φλόγα υδρογόνου ή προπανίου σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία τήξης του μολύβδου (327°C).

3.4.2 Σκληρές συγκολλήσεις

Οι σκληρές συγκολλήσεις, σε αντίθεση με τις μαλακές, πραγματοποιούνται σε μεγάλες θερμοκρασίες (600 έως 900 °C). Χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση όλων των συνηθισμένων μετάλλων πλην του αλουμινίου. Μεγάλη εφαρμογή έχουν σε συγκολλήσεις χάλκινων εξαρτημάτων ή εξαρτημάτων από κράματα του χαλκού. Οι σημαντικότερες σκληρές συγκολλήσεις είναι η μπρουντζοκόλληση και η ασημοκόλληση.

3.4.2.1 Μπρουντζοκόλληση

Η μπρουντζοκόλληση χρησιμοποιεί ως κόλληση κράμα χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn), παρά το γεγονός ότι ο μπρούντζος είναι κράμα χαλκού και κασσιτέρου. Το συγκολλητικό υλικό λιώνει μέσω θέρμανσης σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία τήξης των προς συγκόλληση τεμαχίων και απλώνει στις επιφάνειες που θα συγκολληθούν. Για να υπάρξει μεγαλύτερη πρόσφυση του συγκολλητικού υλικού χρησιμοποιείται βόρακας ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Η θέρμανση των κομματιών και του συγκολλητικού υλικού εξασφαλίζεται με καμινέτα, φλόγα οξυγονοασετυλίνης, φωταερίου κ.λπ.. Στο σχήμα 3.23 φαίνεται μια διαδικασία μπρουντζοκόλλησης, καθώς και η μπρουντζοκόλληση ενός κοπτικού πλακιδίου πάνω σε τρυπάνι.



Σχήμα 3.23 : Μπρουντζοκόλληση

3.4.2.2 Ασημοκόλληση

Στην ασημοκόλληση χρησιμοποιείται συγκολλητικό υλικό που περιέχει άργυρο (Ag), χαλκό (Cu), ψευδάργυρο (Zn), κασσίτερο (Sn) και κάδμιο (Cd). Όσο πιο πολύ άργυρο περιέχει η κόλληση, τόσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία τήξης της κόλλησης. Οι κολλήσεις της ασημοκόλλησης περιέχουν τουλάχιστον 8% άργυρο και κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μορφή σύρματος, ελάσματος ή σε μορφή σκόνης. Όπως και στις άλλες ετερογενείς συγκολλήσεις, έτσι και στην ασημοκόλληση, χρησιμοποιούνται ως θερμαντικά μέσα καμινέτα ή φλόγα της οξυγονοασετυλίνης, του φωταερίου κ.λπ.. Η ασημοκόλληση έχει πολλές εφαρμογές στην κοσμηματοποιία και στα ηλεκτρονικά παρά το κόστος της που είναι μεγάλο λόγω της παρουσίας του αργύρου.

3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

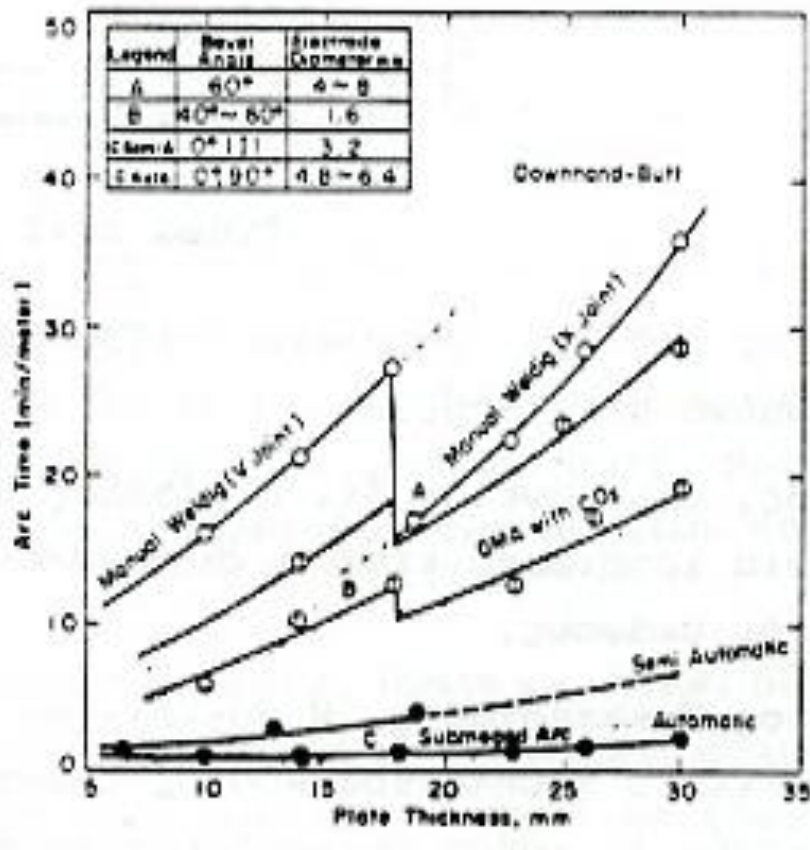
Δεν υπάρχει ακόμα σήμερα κάποιο αναλυτικό σύστημα που να βοηθάει το μηχανικό στην επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Έτσι στις περισσότερες περιπτώσεις η επιλογή βασίζεται κυρίως στην εμπειρία. Στη παράγραφο αυτή περιγράφονται συνοπτικά ορισμένοι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης. Ο Πίνακας 3.4 παρουσιάζει στοιχεία σύγκρισης των ακόλουθων μεθόδων συγκόλλησης: με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, βαρύτητας, βυθισμένου τόξου, electroslag/electrogas, με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (GMAW) και με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (GTAW). Η σύγκριση γίνεται με βάση την ταχύτητα παραγωγής, το κόστος εγκατάστασης, τη δυσθραυστότητα του μετάλλου συγκόλλησης και τις θέσεις συγκόλλησης. Ο πίνακας παραθέτει ακόμα μερικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αυτών.

	Με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια	Βαρύτητας	Βυθισμένου τόξου	Electroslag/ Electrogas	GMAW	GTAW
Ταχύτητα παραγωγής	5	3	2	1 (υψηλότερη)	4	6 (χαμηλότερη)
Κόστος Εγκατάστασης	1 (χαμηλότερο)	2	5	6 (υψηλότερο)	4	3
Δυσθραυστότητα Μετάλλου Συγκόλλησης	3 (με ηλεκτρόδια χαμηλού υδρογόνου)	4	5	6 (χειρότερη)	2	1 (καλύτερη)
Θέσεις Συγκόλλησης	όλες	Επίπεδη και επίπεδη μετωπική	Επίπεδη	Κατακόρυφη	όλες	όλες
	Η πιο ευέλικτη μέθοδος	Δεν απαιτεί ικανότητες συγκολλητή	Παρέχει τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα	Δεν απαιτούν ακρίβεια στη διαμόρφωση των ακμών	Παρέχουν μεγάλη ευκολία στο άναμμα του τόξου (σχετικά εύκολη η αυτοματοποίησή τους)	
				Επίδραση του ανέμου στη μέθοδο electrogas	Σημαντική επίδραση του ανέμου	

Πίνακας 3.4: Σύγκριση διαφόρων μεθόδων συγκόλλησης.

Η σύγκριση ως προς την ταχύτητα παραγωγής γίνεται με αριθμητικούς δείκτες: το 1 σημαίνει την υψηλότερη και το 6 τη χαμηλότερη. Από τον πίνακα φαίνεται ότι οι αυτόματες κατακόρυφες μέθοδοι συγκόλλησης (electroslag/electrogas) παρέχουν τη μέγιστη ταχύτητα παραγωγής, είναι επομένως οι πιο αποτελεσματικές για συγκόλληση παχίων ελασμάτων (μόνο στην κατακόρυφη θέση). Όμως και η μέθοδος βυθισμένου τόξου, παρέχει υψηλή ταχύτητα παραγωγής, αλλά αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για συγκόλληση κατά συμβολή στην επίπεδη θέση. Το Σχήμα 5.8 παριστάνει τη σχέση μεταξύ πάχους ελάσματος και διάρκειας ηλεκτρικού τόξου (arc time), υποθέτοντας ότι το τόξο λειτουργεί συνεχώς. Από το σχήμα φαίνεται ότι η

μέθοδος βυθισμένου τόξου είναι πολύ πιο αποδοτική από τις μεθόδους με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (manual welding) και GMA με προστασία CO₂. Αυτό οφείλεται κυρίως στη χρήση υψηλής έντασης ρεύματος, που έχει ως αποτέλεσμα υψηλό ρυθμό απόθεσης μετάλλου συγκόλλησης. Συγχρόνως, επειδή προκαλείται και μεγάλη διείδυση, είναι δυνατή η μείωση της επιφάνειας της διατομής της ένωσης (joint sectional area), άρα και της ποσότητας του προστιθέμενου μετάλλου συγκόλλησης.



Σχήμα 3.24 Σχέση πάχους ελάσματος και διάρκειας τόξου για διάφορες μεθόδους συγκόλλησης.

- **Κόστος εγκατάστασης.** Η συγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια απαιτεί το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης, ενώ οι μέθοδοι που απαιτούν τη χρήση ημι-αυτοποιημένων μηχανών, όπως για παράδειγμα η μέθοδος βυθισμένου τόξου, το μεγαλύτερο.

- **Μηχανικές ιδιότητες.** Θεωρώντας ότι γίνεται χρήση των σωστών συνθηκών συγκόλλησης, όλες οι μέθοδοι συγκόλλησης μπορούν να παράγουν ενώσεις με ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες (τάση διαρροής, όριο εφελκυσμού και επιμήκυνση) εάν εφαρμοστούν σε συνηθισμένα κατασκευαστικά υλικά. Η επίτευξη όμως επαρκούς δυσθραυστότητας δεν είναι πάντοτε δυνατή, ειδικότερα όταν πρόκειται να συγκολληθούν ελάσματα από χάλυβες υψηλής αντοχής που έχουν υψηλά επίπεδα δυσθραυστότητας που

τα απέκτησαν με θερμικές κατεργασίες. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός απόθεσης μετάλλου σε μια μέθοδο συγκόλλησης, τόσο χαμηλότερη είναι η δυσθραυστότητα του μετάλλου συγκόλλησης. Έτσι, για παράδειγμα, είναι πιθανή η αναγκαστική χρήση της μεθόδου GTAW σε συγκολλήσεις χαλύβων πολύ υψηλής αντοχής.

- **Ειδικά χαρακτηριστικά.** Η μέθοδος συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια είναι η πιο ευέλικτη, και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Η συγκόλληση βαρύτητας απαιτεί ελάχιστες ικανότητες συγκολλητή. Οι κατακόρυφες μέθοδοι συγκόλλησης δεν απαιτούν ιδιαίτερη ακρίβεια στη διαμόρφωση των ακμών των προς συγκόλληση ελασμάτων. Οι μέθοδοι με προστασία αερίου (GMAW και GTAW) δεν παράγουν σκουριά (slag) και παρέχουν μεγάλη ευκολία στο άναμα του τόξου. Για το λόγο αυτό είναι σχετικά εύκολο να συμπεριληφθούν σε ένα αυτόματο σύστημα παραγωγής. Ένα εγγενές πρόβλημα, όμως σε όλες τις μεθόδους με προστασία αερίου (GMAW, GTAW) είναι η ευπάθεια τους σε άνεμο. Όταν επομένως γίνεται χρήση των μεθόδων αυτών στο ύπαιθρο, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία του ηλεκτρικού τόξου από τον άνεμο.

- **Συνολική ανάλυση κόστους.** Το συνολικό κόστος αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην εκλογή της κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης. Πρέπει, επομένως να λαμβάνονται πάντα υπόψη τα ακόλουθα:

- α) Το κόστος εγκατάστασης και η αποτίμησή του.
- β) Το κόστος των υλικών
- γ) Η ταχύτητα παραγωγής και το απαιτούμενο εργατικό δυναμικό
- δ) Η πιθανότητα έμμεσης μείωσης του κόστους με απλοποίηση της διαδικασίας παραγωγής.

3.6 Έλεγχος συγκολλήσεων

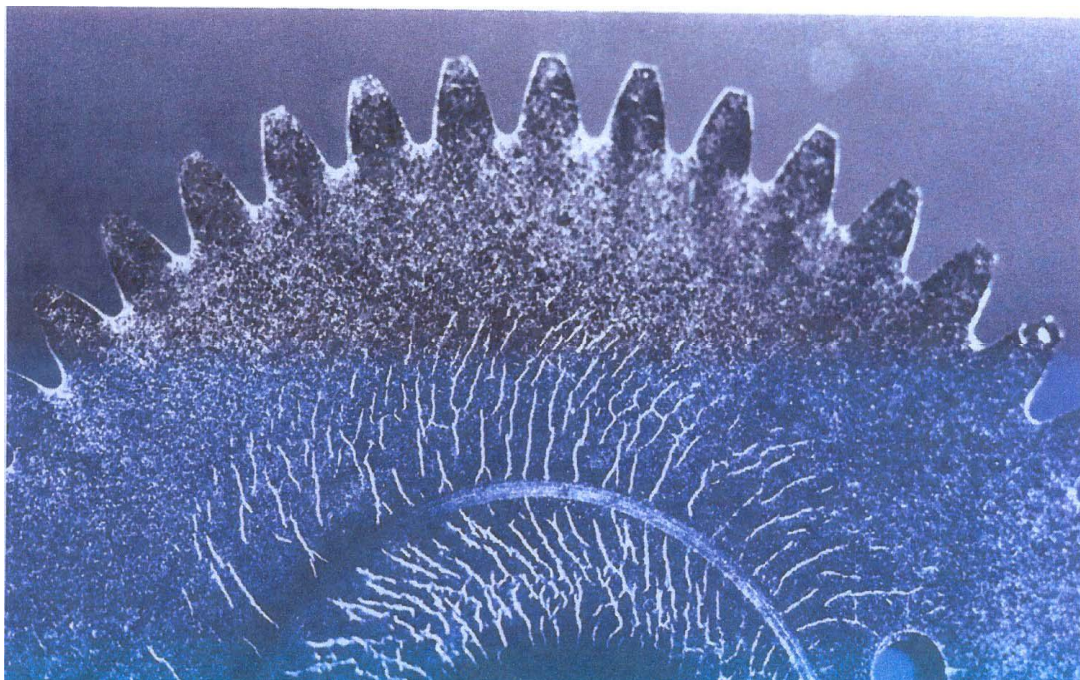
Ο έλεγχος των συγκολλήσεων είναι απαραίτητος προκειμένου να διαπιστωθεί αν η συγκόλληση έχει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει με μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου, όπου εξετάζεται το δοκίμιο ή η ραφή χωρίς όμως να καταστραφεί, και με μεθόδους, όπου υποβάλλονται έτοιμα προϊόντα σε ανάλογες φορτίσεις, με αποτέλεσμα την καταστροφή τους μετά τον έλεγχο.

3.6.1 Μη καταστροφικές μέθοδοι

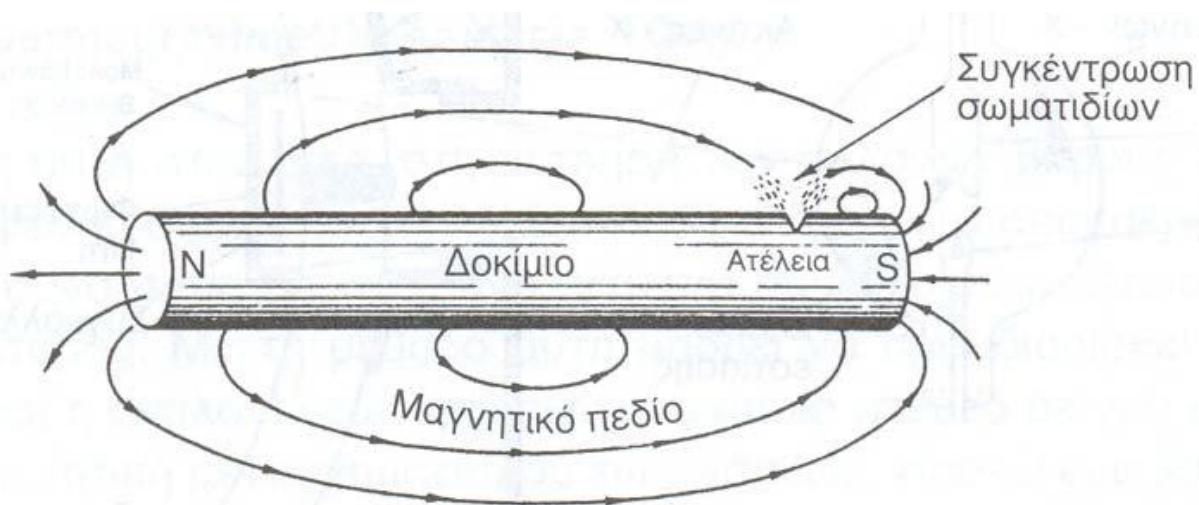
Οι δοκιμές αυτές δεν καταστρέφουν το υπό εξέταση αντικείμενο και είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες, ιδιαίτερα ο έλεγχος με ακτίνες X και γ. Αναλυτικά παρακάτω φαίνονται οι μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των συγκολλήσεων :

- **Μηχανικός έλεγχος :** Τα δοκίμια υποβάλλονται σε καταπονήσεις μεγαλύτερες από τις συνθήκες λειτουργίας τους και ελέγχεται η αντοχή τους.

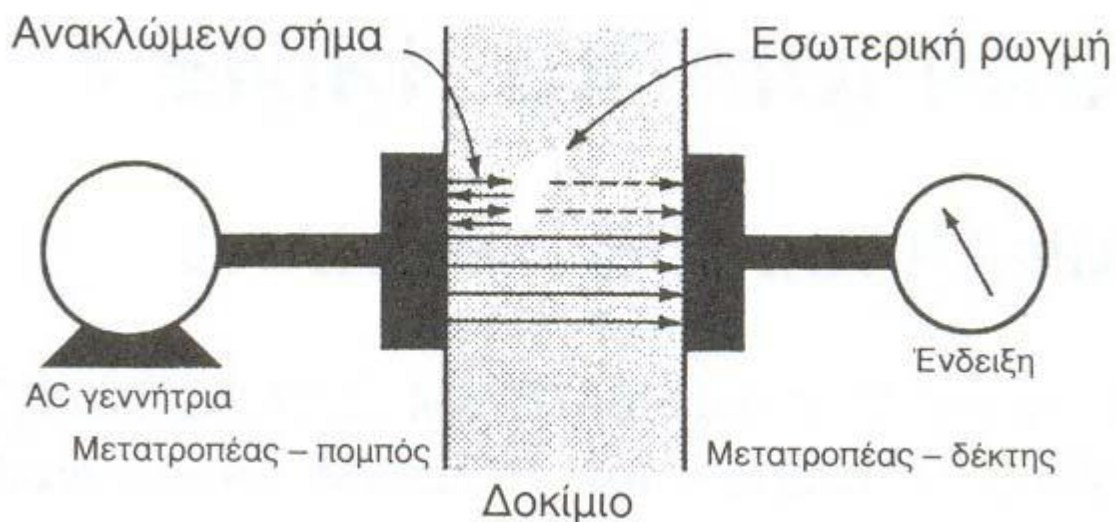
- **Οπτικός Έλεγχος** : Ελέγχονται με το μάτι ή με όργανα το πάχος της ραφής μίας συγκόλλησης, τυχόν ρωγμές κ.λπ..
- **Έλεγχος με ηλεκτρική αγωγιμότητα** : Βασίζεται στη διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω σφαλμάτων στη συγκόλληση. Είναι σχετικά αναξιόπιστη μεθοδολογία.
- **Έλεγχος με φθορισμό** : Αλείφεται η ραφή της συγκόλλησης με θειούχο ψευδάργυρο, που είναι φθορίζον υλικό, και στη συνέχεια, αφού σκουπιστεί η επιφάνεια, φωτίζεται και έτσι μπορεί να παρατηρηθούν ρωγμές, πόροι κ.λπ, στα οποία ο θειούχος ψευδάργυρος παραμένει και λάμπει.



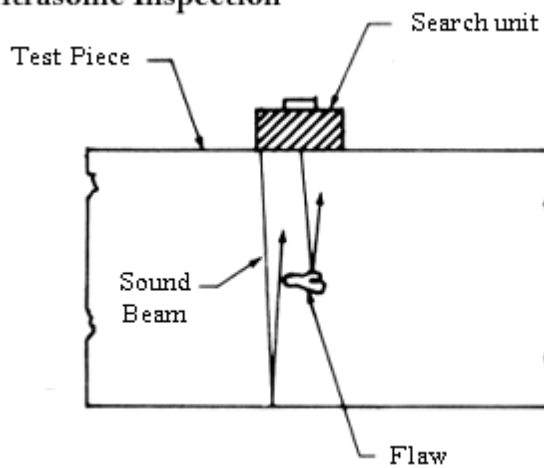
- **Μαγνητικός έλεγχος** : Τοποθετούνται χαλύβδινα κομμάτια σε μαγνητικό πεδίο και από τη συνέχεια των μαγνητικών γραμμών φαίνεται αν υπάρχει ή όχι ανωμαλία στη συγκόλληση.



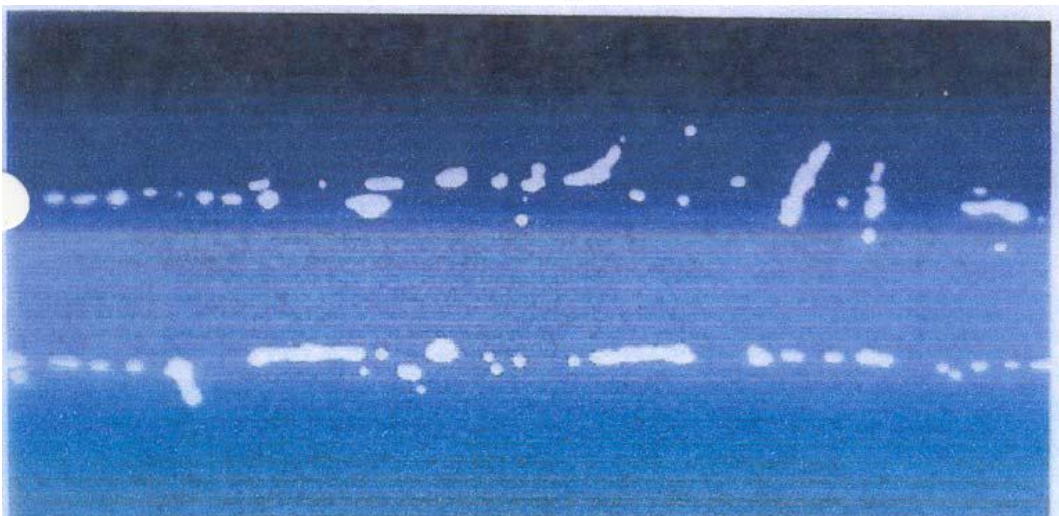
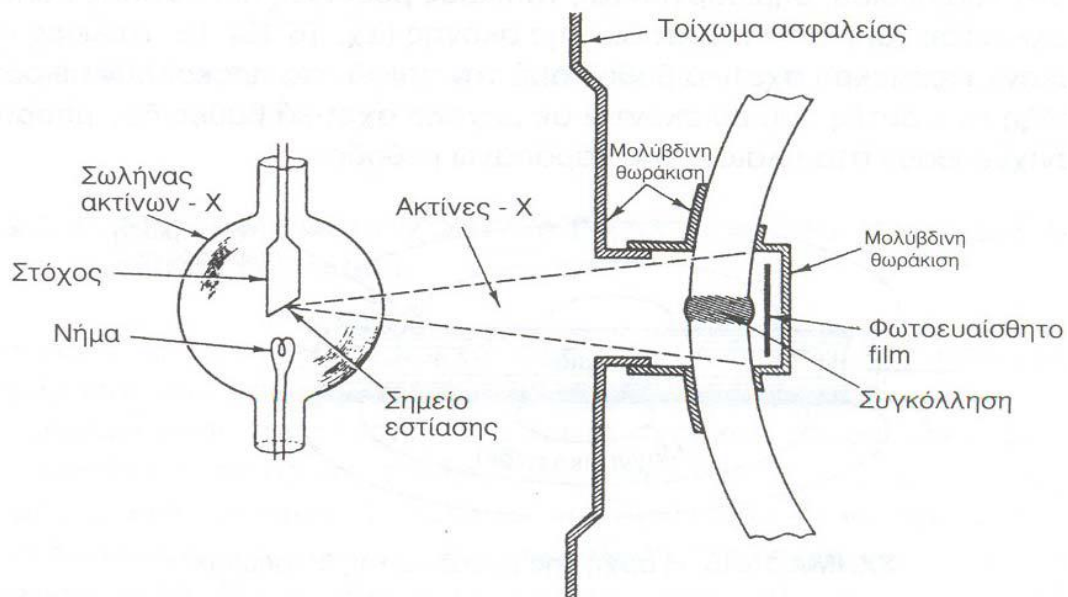
- **Έλεγχος με υπερήχους** : Μία δέσμη υπερήχων προσπίπτει στην ραφή της συγκόλλησης και ανακλάται. Σε περίπτωση που υπάρχει εσωτερικά στη ραφή κάποιο ελάττωμα, αυτό εντοπίζεται, επειδή η ανάκλαση του υπερήχου διακόπτεται και δεν είναι συνεχής. Η μέθοδος αυτή είναι από τις πιο αξιόπιστες αλλά απαιτεί ειδική προετοιμασία.



Ultrasonic Inspection



- Έλεγχος με ακτίνες X : Τα ελαττώματα της συγκόλλησης μεταφράζονται σε σκιές πάνω σε φιλμ μετά από προσβολή από ακτίνες X.

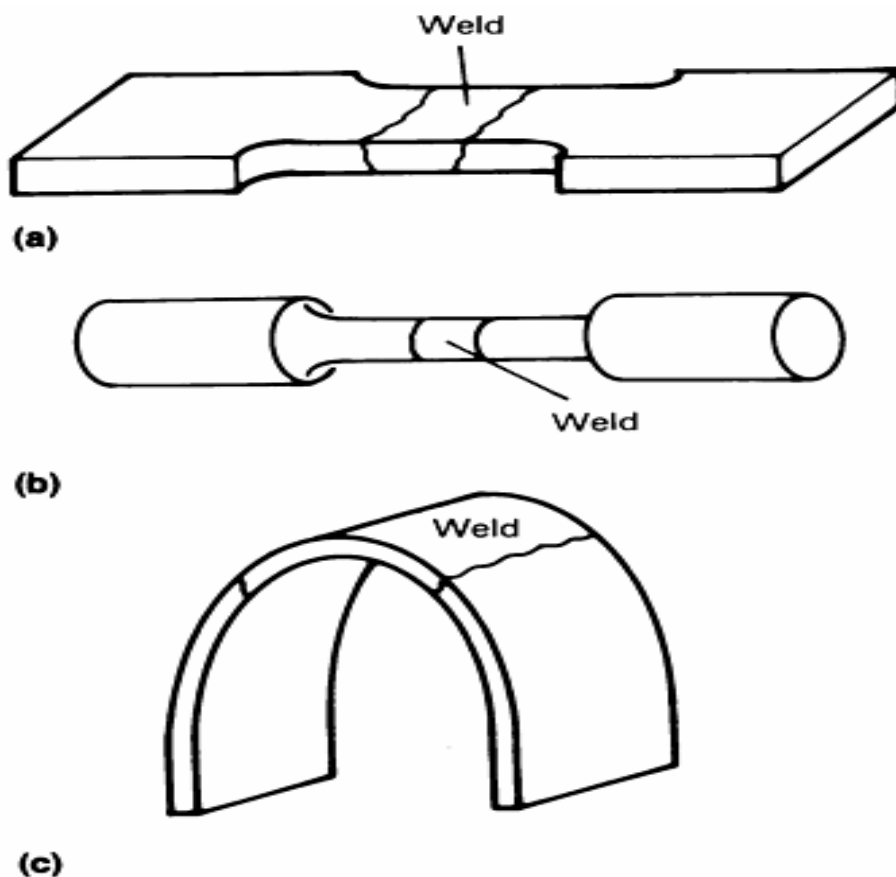


(Μεταβολή της πυκνότητας στο φιλμ)

• Έλεγχος με ακτίνες γ : Οι ακτίνες γ έχουν πολύ μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα από τις αντίστοιχες ακτίνες X. Σε αυτή την περίπτωση επίσης τα ελαττώματα της συγκόλλησης μεταφράζονται σε σκιές πάνω σε φιλμ μετά από προσβολή από ακτίνες γ.

3.6.2 Καταστροφικές δοκιμές

Οι καταστροφικές δοκιμές έχουν αποτέλεσμα την καταστροφή του συγκολλητού αντικειμένου. Έτσι, για παράδειγμα, ο έλεγχος της αντοχής ενός συγκολλητού δοχείου πίεσης γίνεται με υδραυλική πίεση μέχρι την καταστροφή του δοχείου. Αν η καταστροφή προέλθει από θραύση των τοιχωμάτων του, εκτός της περιοχής της συγκόλλησης, τότε η συγκόλληση είναι ικανοποιητική. Αντίστοιχες δοκιμές γίνονται και σε τμήματα ενός συγκολλητού αντικειμένου. Οι κυριότερες δοκιμές που μπορεί να γίνουν σε δοκίμια συγκολλητού αντικειμένου είναι η δοκιμή εφελκυσμού, κρούσης, λυγισμού και σκληρότητας. Οι δοκιμές αυτές δε διαφέρουν από τις αντίστοιχες κλασικές δοκιμές μηχανικής αντοχής.



4. Μεταλλογραφική δομή χάλυβα

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταλλογραφία είναι ο τομέας της φυσικής μεταλλουργίας που ασχολείται με τη δομή των μετάλλων και των κραμάτων τους. Αρχικά γίνεται η αποκάλυψη της δομής του μετάλλου και στην συνέχεια η μελέτη της με την βοήθεια διαφόρων οργάνων και τεχνικών. Τα όργανα και οι τεχνικές που συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε κατά τη μεταλλογραφία είναι στερεοσκόπια, οπτικά και ηλεκτρονικά μικροσκόπια. Για να μελετηθεί όμως ο χάλυβας πρέπει πρώτα να γίνουν κάποιες διεργασίες όπως ο εγκιβωτισμός, η λείανση, η στίλβωση, και στη συνέχεια η χημική προσβολή του δοκιμίου για να φανερωθεί η δομή του προς εξέταση μετάλλου.

4.2 Εγκιβωτισμός



Συνήθως τα δοκίμια εγκιβωτίζονται όταν είναι πολύ μικρά ή έχουν έντονα ανομοιόμορφο σχήμα ώστε να είναι πιο εύκολη η συγκράτηση τους στα επόμενα στάδια της λείανσης και της στίλβωσης. Ο εγκιβωτισμός γίνεται με τη χρήση ρητίνης η οποία στερεοποιείται γύρω από το δείγμα, αφήνοντας ακάλυπτη την προς εξέταση επιφάνεια. Οι ρητίνες χωρίζονται σε θερμού και ψυχρού εγκιβωτισμού ανάλογα με το αν απαιτούν ή όχι θέρμανση για να χυτευθούν.

Πριν τον εγκιβωτισμό σε ρητίνη πρέπει η επιφάνεια του δοκιμίου να καθαρίζεται από ακαθαρσίες και λιπαρές ουσίες, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη πρόσφυση μεταξύ του μεταλλικού δοκιμίου και της ρητίνης.

4.2.2 Λείανση

Μετά τον εγκιβωτισμό ακολουθεί η λείανση. Κατά τη λείανση χρησιμοποιούμε λειαντικά χαρτιά, τα οποία τοποθετούνται σε ένα περιστρεφόμενο δίσκο και η λείανση των δοκιμίων γίνεται με το χέρι ή μηχανικά. Πάνω στο χαρτί ρέει νερό, το οποίο βοηθάει στην απομάκρυνση των κομματιών του μετάλλου, της ρητίνης ή του λειαντικού χαρτιού από την επιφάνεια επαφής.

Τα χαρτιά λείανσης τοποθετούνται διαδοχικά από το πιο χονδρόκοκκο στο πιο λεπτόκοκκο χαρτί. Σκοπός μας είναι κάθε φορά να εξαλείφονται οι ανωμαλίες της επιφάνειας ή οι γραμμές από το προηγούμενο χαρτί, δημιουργώντας μία ομοιόμορφη επιφάνεια με κάθε φορά όλο και πιο λεπτές γραμμές. Μετά το τελευταίο χαρτί, το δοκίμιο είναι έτοιμο να στίλβωθεί. Η

λείανση των δοκιμίων μας έγινε διαδοχικά με τα εξής χαρτιά: 220, 320, 500, 800,1200, 2400 grit.

4.2.3 Στίλβωση



Η στίλβωση ακολουθεί τη λείανση και σκοπός της είναι να εξαλείψει τις γραμμές λείανσης από τα δοκίμια. Η στίλβωση γίνεται πάνω σε κατάλληλα υφάσματα στα οποία απλώνεται διαμαντόπαστα ή πάστα οξειδίων (π.χ. αλούμινας). Τα υφάσματα τοποθετούνται σε περιστρεφόμενο τροχό και η διαδικασία απαιτεί και υγρό λιπαντικό μέσο ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη πάστα. Ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται και το στάδιο στίλβωσης, γίνεται και η ανάλογη χρήση υφάσματος.

Τέλος, κάθε στάδιο χρησιμοποιεί, όπως και στη λείανση μικρότερο μέγεθος λειαντικών σωματιδίων από το προηγούμενο. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μία επιφάνεια μετάλλου τόσο λεία που θα καθρεφτίζει, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και στην παραπάνω φωτογραφία.

4.2.4 Χημική προσβολή

Το στάδιο της χημικής προσβολής είναι απαραίτητο για να αποκαλυφθεί η δομή του εξεταζόμενου υλικού με μικροσκοπικές μεθόδους, μιας και η απρόσβλητη επιφάνεια μπορεί να δώσει λίγες σχετικά πληροφορίες.

Η χημική προσβολή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνική αποκάλυψης των χαρακτηριστικών της δομής μεταλλικών δοκιμίων. Γνωρίζοντας ποιες φάσεις προσβάλλει το αντιδραστήριο που έχουμε επιλέξει και ποιες όχι, αντιλαμβανόμαστε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της δομής. Για την προσβολή των μετάλλων και των κραμάτων έχουν αναπτυχθεί πολλά αντιδραστήρια. Οι πληροφορίες που χρειάζεται κανείς για να χρησιμοποιήσει ένα αντιδραστήριο είναι η σύσταση του, ο τρόπος χρησιμοποίησής του και τι προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται κατά τη χρήση του.

Για να μπορέσει να κατανοήσει κάποιος

την δομή που παρατηρεί θα πρέπει να ξέρει ποιές φάσεις προσβάλλονται ή χρωματίζονται από το αντιδραστήριο και το χρώμα που λαμβάνουν. Μετά από την προσβολή η επιφάνεια εκπλένεται με νερό για να απομακρυνθεί το αντιδραστήριο και να σταματήσει η προσβολή, καθαρίζεται με οινόπνευμα και στεγνώνεται.

Για την χημική προσβολή των δοκιμίων χρησιμοποιείτε συνήθως το αντιδραστήριο *Glycerigia* :15ml HCl, 10ml Glycerin, 5ml HNO₃

4.2.5 Οπτικό μικροσκόπιο

Η οπτική μικροσκοπία είναι σήμερα η πιο σημαντική μέθοδος μελέτης της μικροδομής μετάλλων και κραμάτων. Τα δοκίμια αφού στιλβωθούν και γίνει η χημική προσβολή, είναι έτοιμα για το οπτικό μικροσκόπιο. Το κύριο εργαλείο της οπτικής μικροσκοπίας είναι το μικροσκόπιο ανακαλούμενου φωτός.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μικροσκοπίων, που ανάλογα με τον προσανατολισμό του δοκιμίου κατά την παρατήρηση του χωρίζονται σε ορθής παρατήρησης και αντεστραμμένης.

Βασικές γνώσεις για την μελέτη της δομής της του χάλυβα

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τα παρακάτω σχήματα είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα εξής:

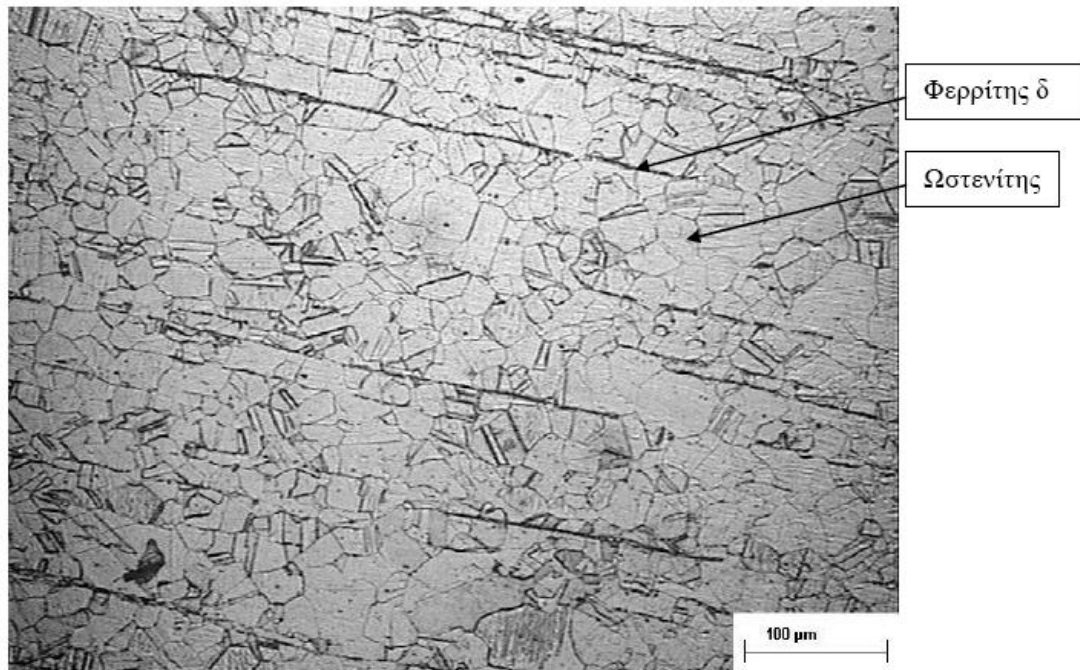
Ο φερρίτης είναι στερεά φάση καθαρού σιδήρου ή στερεό διάλυμα με βασικό συστατικό του σιδήρου που κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρικό κυβικό σύστημα. Ο φερρίτης είναι η κύρια φάση στους κοινούς χάλυβες και τους χυτοσιδήρους. Οι ιδιότητες του φερρίτη είναι σχεδόν ίδιες με αυτές του καθαρού σιδήρου. Σε θερμοκρασίες 910-1390 C^ο, ο χωροκεντρομένοσκυβικός φερρίτης μετασχηματίζεται σε εδροκεντρωμένο κυβικό ωστενίτη(γ-Fe) που είναι πιο σκληρός και λιγότερο μαγνητικός.

Ο ωστενίτης ή γ-Fe είναι αλλοτροπική μορφή του σιδήρου που κρυσταλλώνεται στο εδροκεντομένο κυβικό σύστημα. Ο ωστενίτης είναι όλκιμος και είναι ελάχιστα μαγνητικός.

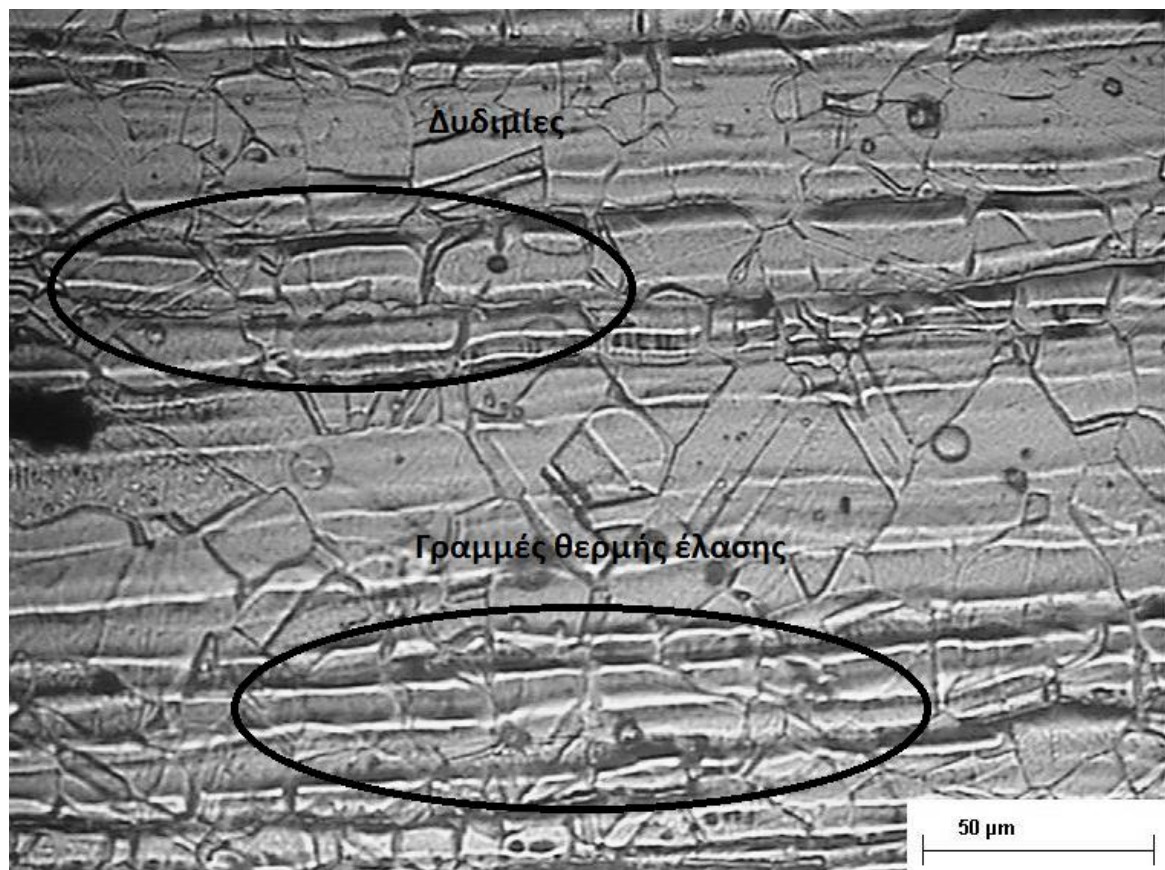
Ο μαρτενσίτης είναι μετασταθής φάση που σχηματίζεται όταν ένας χάλυβας θερμανθεί σε υψηλή θερμοκρασία ώστε να σχηματιστεί ωστενίτης, και κατόπιν υποστεί απότομη ψύξη. Η δομή του είναι βελονοειδής. Σε χάλυβες με λιγότερο από 0,4% κβ C, ο μαρτενσίτης έχει την μορφή λωρίδων, ενώ σε χάλυβες με περισσότερο από 0,6% κβ C έχει την μορφή πλακιδίων.

Ο σεμεντίτης είναι διαμεταλλική ένωση του σιδήρου με τον άνθρακα, πρόκειται για σκληρή και εύθραυστη στερεά φάση με ιδιαίτερη σημασία στη μεταλλογνωσία του χάλυβα.

Στα παρακάτω σχήματα αποικονείζεται ο χάλυβας 316L:



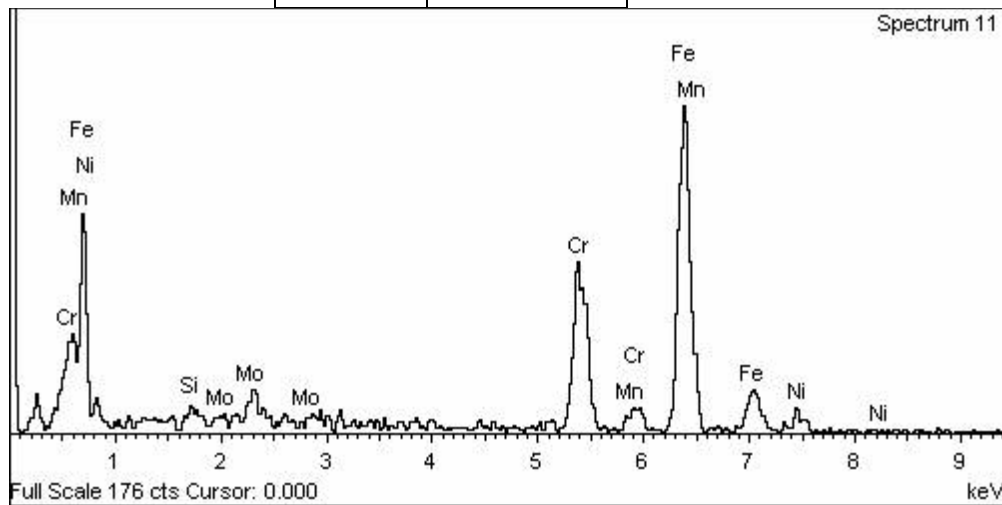
Σχήμα 4.1 (ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας 316L.)



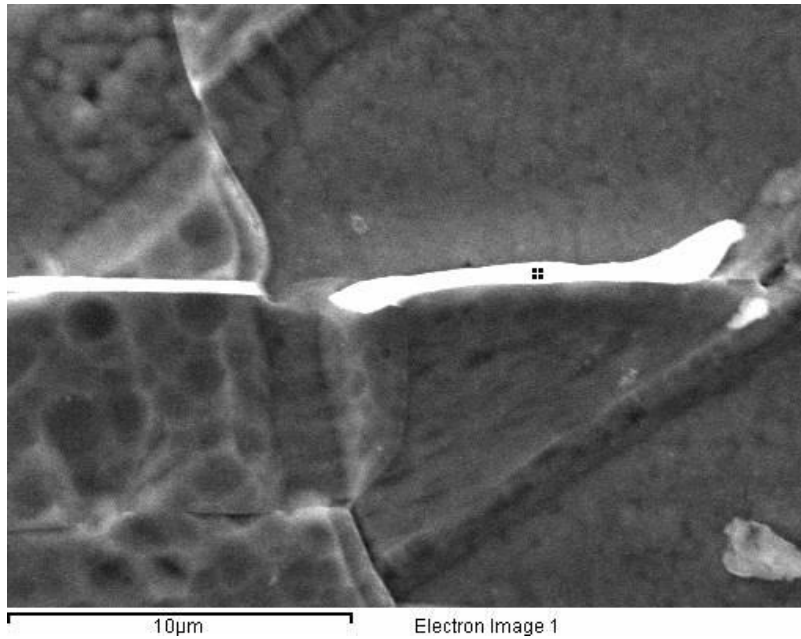
Σχήμα 4.2 : (ωστενιτικός ανοξειδωτος χάλυβας 316L.)

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε στο μέταλλο πλήρως ωστενιτική δομή με ευδιάκριτους κόκκους και διδυμίες. Εμφανείς είναι επίσης οι γραμμές δ-φερρίτη οι οποίες προκύπτουν από τον τοπικό διαφορισμό των α-φερογόνων στοιχείων (που προωθούν την φάση του φερρίτη) που δημιουργούνται κατά την κατεργασία της θερμής έλασης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των γραμμών του δ-φερρίτη λόγω του τοπικού διαφορισμού είναι στο σχήμα 4.3, που με τη χημική ανάλυση του EDS σε συγκεκριμένο σημείο παρατηρούμε πολύ αυξημένες τιμές Cr και Mo.

Element	Weight%
Si	0.85
Cr	21.21
Mn	0.83
Fe	67.07
Ni	5.56
Mo	4.48



Πίνακας 4.1

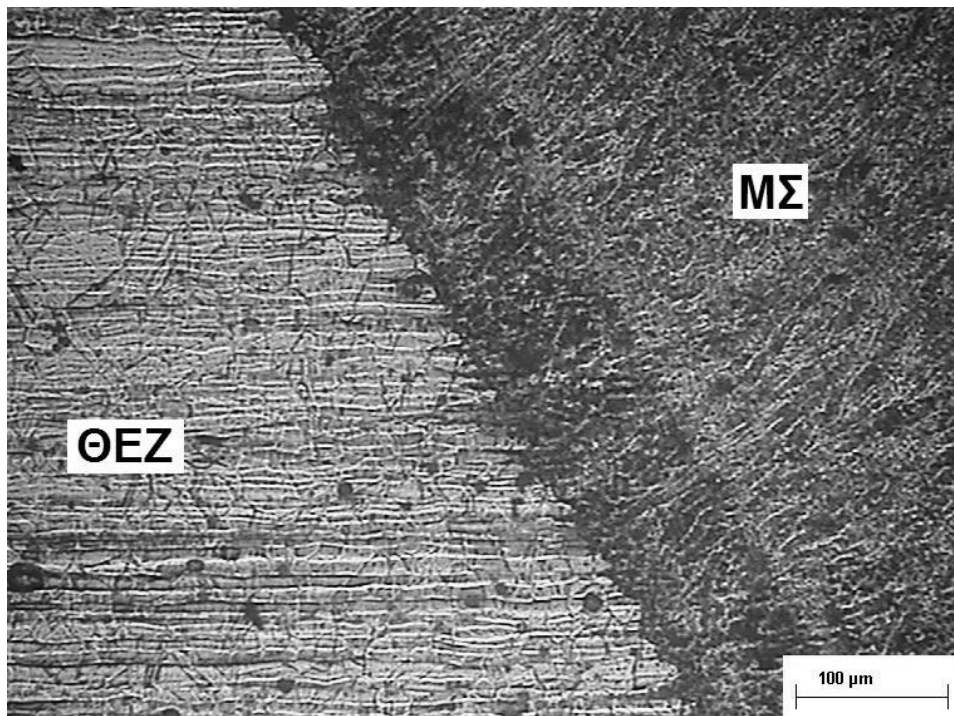


Σχήμα 4.3: (αustenitikός ανοξείδωτος χάλυβας 316L)

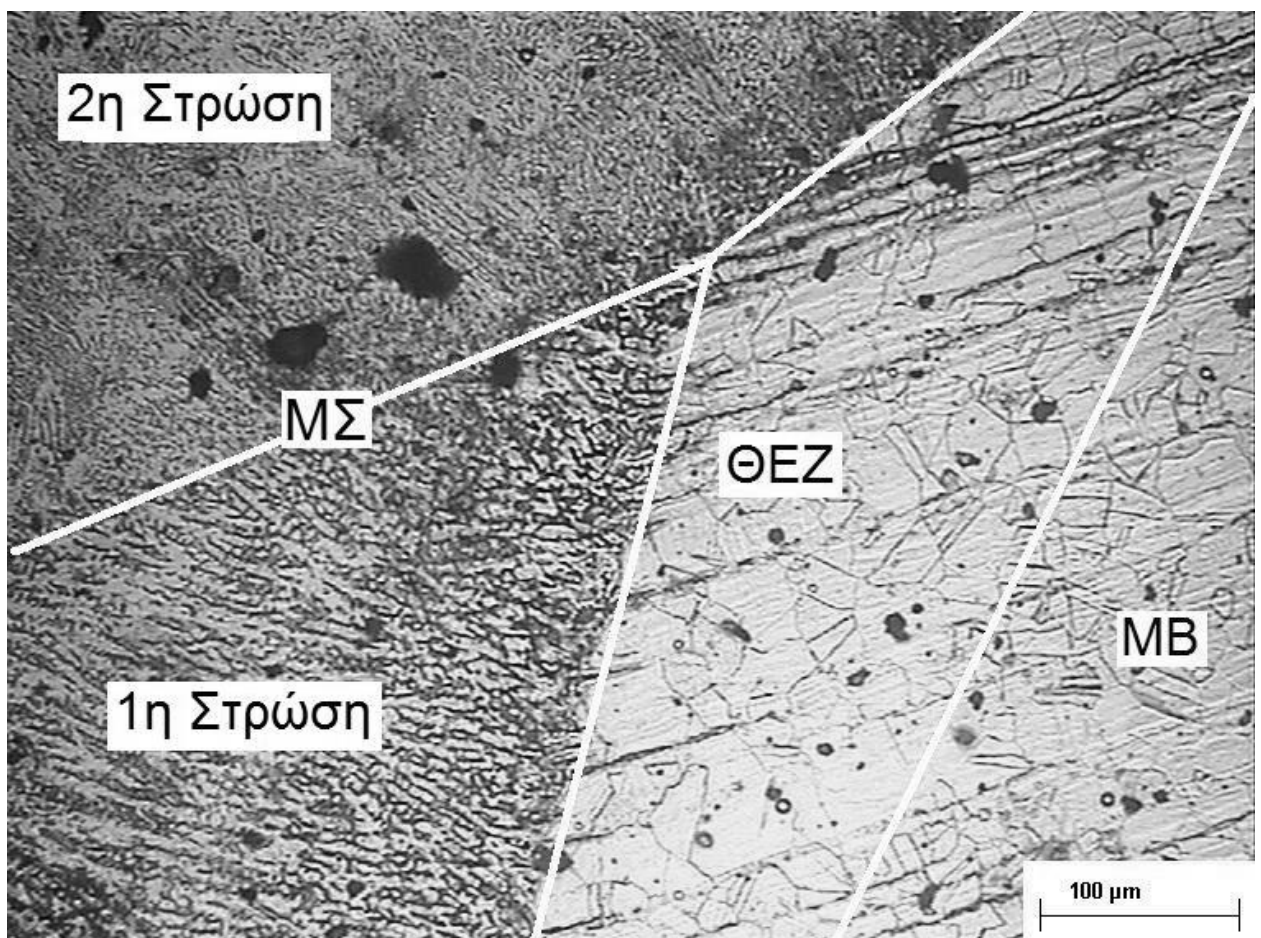
4.3 Θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (Θ.Ε.Ζ.)

Στο σχήμα 4.4, διακρίνεται μία πολύ στενή ζώνη σύνδεσης μεταξύ του μετάλλου βάσης και του μετάλλου συγκόλλησης. Δεν παρατηρείται μεταβολή ούτε στο μέγεθος των κόκκων αλλά ούτε και ως προς την μορφολογία της μικροδομής, όπου παραμένει ίδια μέχρι το μέταλλο συγκόλλησης (Μ.Σ.). Το γεγονός αυτό εμποδίζει τον οπτικό χαρακτηρισμό της ΘΕΖ ή την χαρακτηρίζει ως πάρα πολύ μικρή.

Στο σχήμα 4.5, είναι ευδιάκριτες οι στρώσεις των περασμάτων στο μέταλλο συγκόλλησης (Μ.Σ.), καθώς και ο διαχωρισμός από το μέταλλο βάσης.



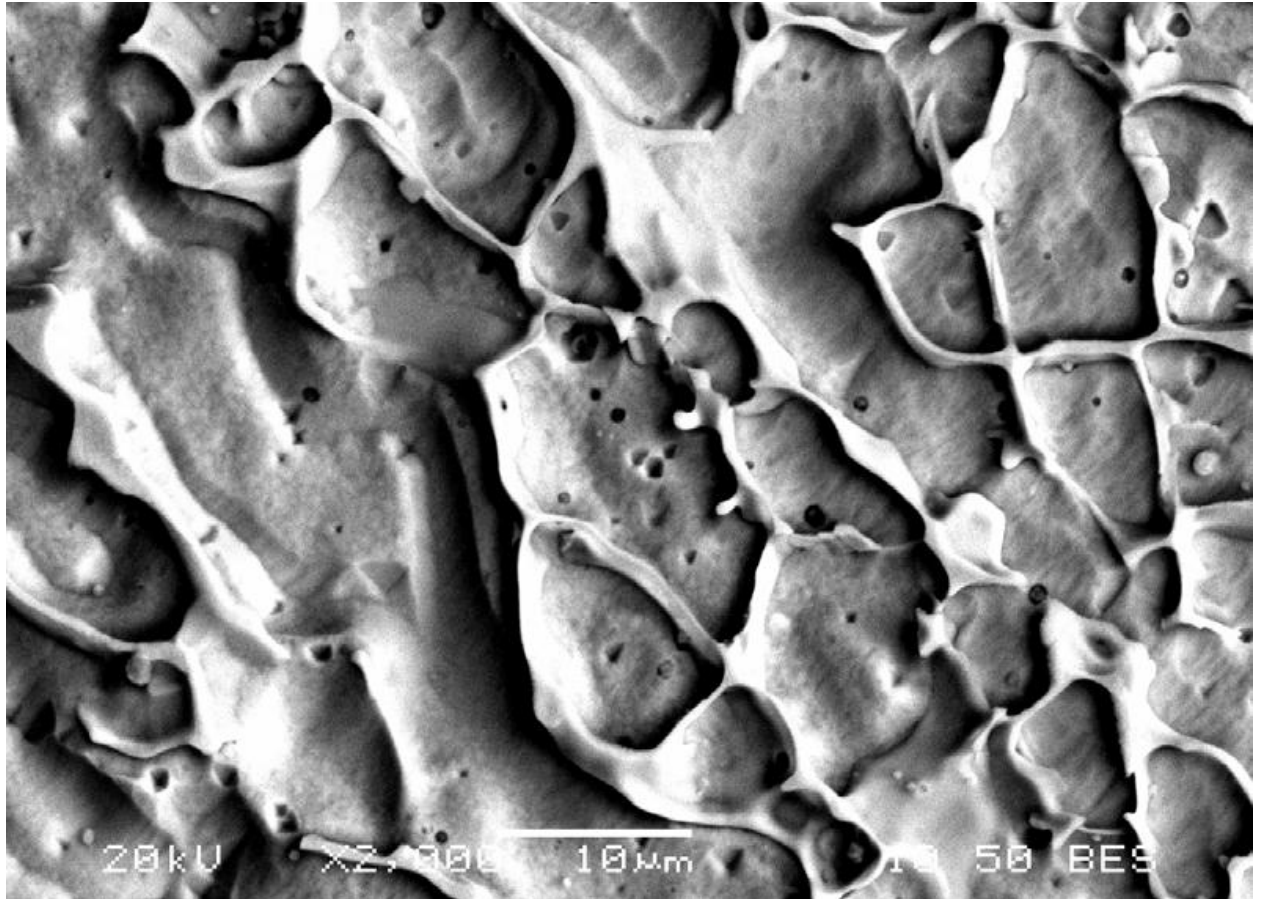
Σχήμα 4.4 (Σύνδεση μετάλλου συγκόλλησης (ΜΣ) με την ΘΕΖ στον χάλυβα 316L.)



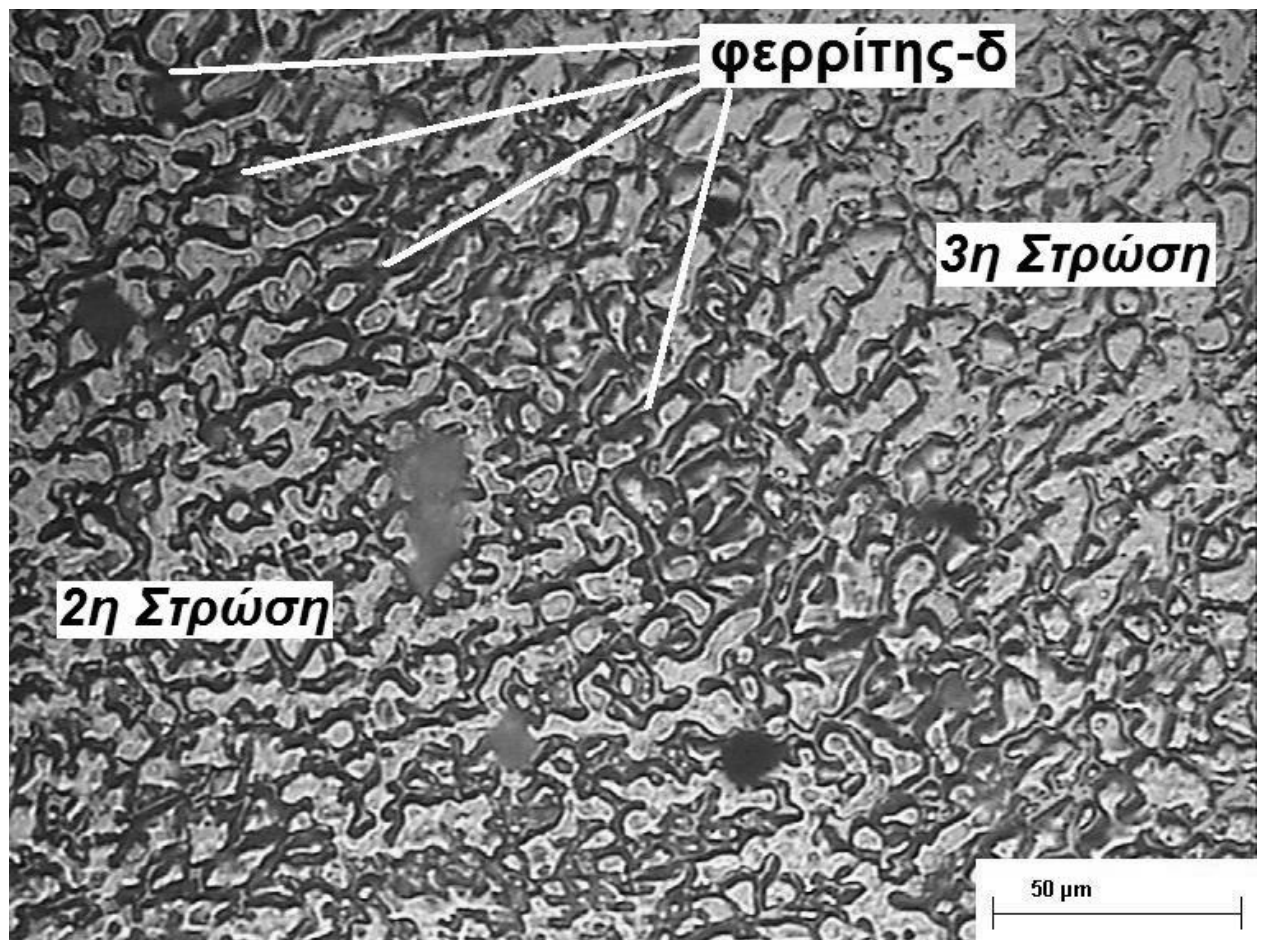
Σχήμα 4.5 : ΘΕΖ ωστενιτικού ανοξειδωτού χάλυβα 316L.

4.3.1 Μέταλλο συγκόλλησης (Μ.Σ.)

Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η τυπική δομή του μέταλλου συγκόλλησης (Μ.Σ.)



Σχήμα 4.6



Σχήμα 4.7 (Μέταλλο συγκόλλησης ωστενιτικού ανοξειδώτου χάλυβα 316L.)

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω σχήματα εμφανίζονται κόκκοι ωστενίτη δενδριτικής μορφής, οι οποίοι ακολουθούν τη διεύθυνση στερεοποίησης. Οι δενδρίτες αυτοί είναι αποτέλεσμα γρήγορης απόψυξης. Στα όρια των δενδριτικών κόκκων, σε όλη την έκταση του μετάλλου συγκόλλησης (Μ.Σ.), είναι εμφανής η ύπαρξη δ-φερρίτη (σχήμα 4.7).

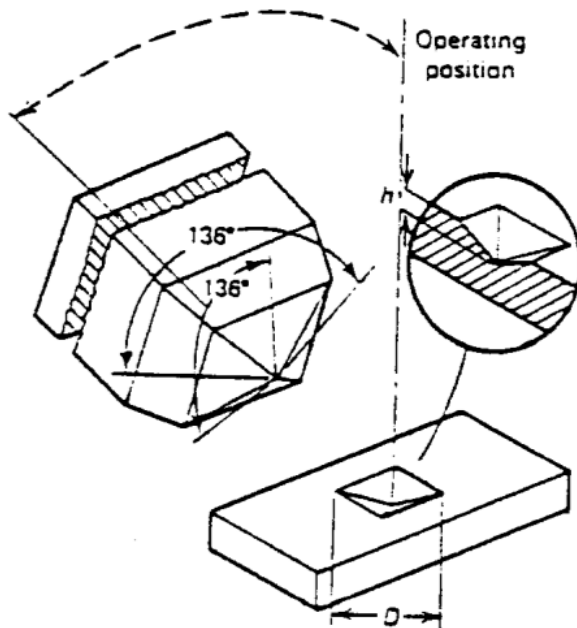
4.3.2 ΣΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ως Σκληρότητα ενός υλικού θα μπορούσαμε να ορίσουμε τη συνεκτικότητα που παρουσιάζει το ίδιο το υλικό, ή την αντίσταση που παρουσιάζει ένα υλικό στην διείδυση του από ένα σκληρότερο υλικό. Η μέτρηση και ο υπολογισμός της σκληρότητας ενός υλικού γίνεται με τη διείδυση ενός εκτυπωτικού εργαλείου από σκληρό υλικό (διαμάντι) σε ένα μαλακότερο.

Οι σκληρομετρήσεις είναι μία μη-καταστρεπτική μέθοδος, καθώς τα αποτυπώματα που δημιουργούνται είναι πολύ μικρά και μπορούν να εξαφανιστούν με μία απλή λείανση του δοκιμίου. Ανάλογα με το μέγεθος του αποτυπώματος μπορούμε να υπολογίσουμε την σκληρότητα σε μακροσκοπική ή μικροσκοπική κλίμακα. Σκοπός της μικροσκληρομέτρησης είναι η παρατήρηση της μεταβολής της σκληρότητας,

στους κόκκους του μετάλλου βάσης, της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης και της ζώνης τήξης.

Η μικροσκληρομέτρηση μπορεί να οριστεί ως η δοκιμή σκληρότητας που περιλαμβάνει την εισαγωγή ενός διαμαντιού, ειδικού σχήματος, στην επιφάνεια του δοκιμίου. Η τιμή της σκληρότητας υπολογίζεται από την μέτρηση του μεγέθους του αποτυπώματος χρησιμοποιώντας ένα μικροσκόπιο. Δηλαδή όσο πιο μεγάλο είναι το αποτύπωμα, τόσο μαλακότερο είναι το υλικό. Το διαμάντι είναι πολύ καλά στιλβωμένο και έχει σχήμα πυραμίδας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8



Σχήμα 4.8 Σκληρομέτρηση με χάραξη αποτυπώματος (πυραμίδας) από διαμάντι.

Ο αριθμός σκληρότητας κατά Vickers (HV) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$HV = 2P \cdot \sin(\theta/2) / D^2$$

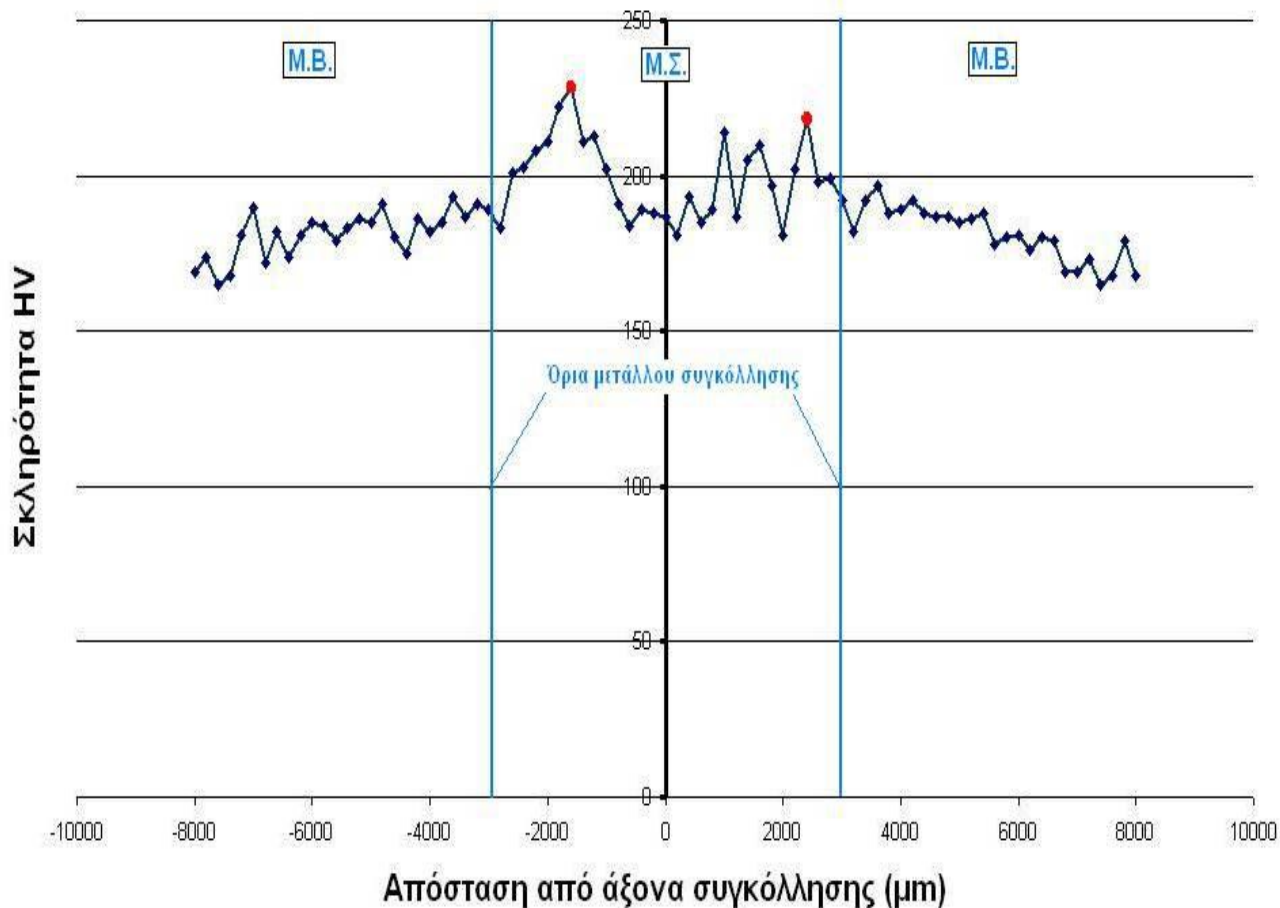
P= Εφαρμοζόμενο φορτίο σε kgf (1kgf = 9,81N)

D= Μήκος της διαγωνίου σε mm

Με το μικροσκόπιο μετράμε τις δύο διαγώνιους του αποτυπώματος και χρησιμοποιούμε τη μέση τιμή για τον υπολογισμό του αριθμού της σκληρότητας. Το μικροσκληρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι προγραμματισμένο έτσι ώστε, όταν του δίνουμε τις τιμές των δύο διαγωνίων να υπολογίζει την τιμή της σκληρότητας.

Στο παρακάτω σχήμα 4.9 απεικονίζεται η μεταβολή της σκληρότητας σε σχέση με την απόσταση από το σημείο στις συγκόλλησης:

Διάγραμμα μικροσκληρότητας (HV_{03N}) 316L



Σχήμα 4.9 (μεταβολή σκληρότητας σε σχέση με την απόσταση από το σημείο συγκόλλησης)

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο σημείο της συγκόλλησης επηρεάζει σημαντικά την δομή, την σκληρότητα, την αντοχή αλλά και τις ιδιότητες του υλικού. Πιο συγκεκριμένα θα αναλυθούν τα μηχανικά φαινόμενα στο επόμενο κεφάλαιο.

5. Μηχανικά φαινόμενα κατά τη συγκόλληση Ανοξείδωτων ωστενιτικών χαλύβων

5.1 Θερμικός κύκλος της συγκόλλησης ιδιότητες 316L

Θερμικός κύκλος ενός συγκεκριμένου σημείου στη γειτονιά μιας συγκόλλησης, λέγεται η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέχρι ένα μέγιστο και πάλι μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το σημείο μπορεί να βρίσκεται στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό του ελάσματος.

Κατά κανόνα σ' ένα θερμικό κύκλο διακρίνουμε: την περίοδο της θέρμανσης, τη μέγιστη θερμοκρασία που αποκτά το σημείο σ' όλη τη διάρκεια της συγκόλλησης, και την περίοδο απόψυξης. Επίσης, συγκρατούμε τη χρονική διάρκεια, που το σημείο έχει θερμοκρασία ανώτερη μιας (κατά περίπτωση) χαρακτηριστικής τιμής. Οι θερμικοί κύκλοι των διαφόρων σημείων της συγκόλλησης έχουν μεγάλη σημασία, γιατί αποτελούν πραγματικές θερμικές κατεργασίες, από τις οποίες εξαρτάται η μικρογραφική δομή και οι μηχανικές ιδιότητες του προς συγκόλληση υλικού. Έτσι, για τους χάλυβες, η ταχύτητα θέρμανσης, η μέγιστη αποκτώμενη θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής σε αυτή, είναι καθοριστικοί παράγοντες για τα φαινόμενα ομογενοποίησης με διάχυση και για την αύξηση του μεγέθους των κόκκων. Στη συνέχεια, η ταχύτητα απόψυξης καθορίζει, με βάση το διάγραμμα CCT, τους διάφορους μετασχηματισμούς του ωστενίτη σε σταθερά και ασταθή, μαλακά ή σκληρά, εύθραυστα ή δύσθραυστα προϊόντα.

Οι θερμικοί κύκλοι εξαρτώνται από τι εξής, κυρίως, μεταβλητές:

- Από τη μέθοδο, τη διαδικασία συγκόλλησης και τις παραμέτρους της.
- Από τη θέση και απόσταση του σημείου από τον άξονα της συγκόλλησης.
- Από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό συγκόλληση τεμαχίων.
- Από την αρχική θερμοκρασία των τεμαχίων.
- Από τις φυσικές ιδιότητες των υπό συγκόλληση στοιχείων.

Από τις παραπάνω παραμέτρους ιδιαίτερα σημαντική είναι η επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων του προς συγκόλληση μετάλλου, το οποίο υπεισέρχεται στο θερμικό κύκλο με τη θερμική αγωγιμότητα λ , την ειδική θερμότητα c και την πυκνότητα ρ . Οι τρεις αυτές φυσικές ιδιότητες διαμορφώνουν το συντελεστή θερμικής διάχυσης (ή διαχυσιμότητας) D : $D = c \lambda \rho$.

Για τους χάλυβες η θερμική διαχυσιμότητα, στο θερμοκρασιακό διάστημα από 900°C έως 400°C που ενδιαφέρει ιδιαίτερα, είναι κατά μέσο όρο 0,054 cm⁴/s και δε μεταβάλλεται για τους κοινούς και τους ελαφρά κραματωμένους χάλυβες. Μεταβάλλεται, όμως, ουσιαστικά στους ανοξείδωτους ωστενιτικούς χάλυβες, όπου η αγωγιμότητα είναι τέσσερις φορές μικρότερη απ' αυτή των κοινών συγκολλησίμων χαλύβων.

5.2 Σχηματισμός Πεδίου Παραμενουσών τάσεων ιδιότητες

Γενικά

Στις συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου, τα προς συγκόλληση τεμάχια θερμαίνονται τοπικά και τήκονται. Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, όμως, η θερμοκρασιακή τους κατανομή δεν είναι ομοιόμορφη, με συνέπεια τη δημιουργία θερμικών παραμορφώσεων πολύπλοκης κατανομής, τόσο στο μέταλλο συγκόλλησης όσο και στο βασικό μέταλλο.

Το μέγεθος των παραμορφώσεων αυτών επιτρέπει την πλαστική διαρροή στην περιοχή του μετάλλου συγκόλλησης. Όταν τα συγκολλημένα τεμάχια αποκτήσουν μετά την ψύξη τους τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, δεν επανέρχονται σε μηδενική εντατική κατάσταση.

Οι τάσεις που παραμένουν ονομάζονται παραμένουσες τάσεις. Η επίδραση των παραμενουσών τάσεων στη συμπεριφορά των συγκολλητών κατασκευών υπό την επίδραση εξωτερικών φορτίων είναι σημαντική. Επομένως, η γνώση της κατανομής των παραμενουσών τάσεων έχει ιδιαίτερη σημασία.

Για παράδειγμα, η παρουσία τους μειώνει το κρίσιμο φορτίο λυγισμού συγκολλητών κατασκευών. Ακόμη, οι παραμένουσες τάσεις έχουν δυσμενή επίδραση στη δυσθραυστότητα και τη συμπεριφορά σε κόπωση και σε διαβρωτικό περιβάλλον.

5.2.1 Ιδίες τάσεις ή εσωτερικές τάσεις

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

το άθροισμα όλων των εσωτερικών δυνάμεων σε τυχαία περιοχή του σώματος είναι ίσο με μηδέν, $\Sigma P = 0$.

το άθροισμα των προξενούμενων ροπών από τη δράση των εσωτερικών δυνάμεων σε τυχαία περιοχή του σώματος, είναι ίσο με μηδέν, $\Sigma M = 0$.

Οι ίδιες **τάσεις** διαιρούνται, ανάλογα με τον τρόπο εμφάνισής τους, όπως δείχνει το σχήμα 5.1.

Κατά τη διαδικασία συγκόλλησης προκύπτει τοπική θέρμανση και ψύξη του μετάλλου, λόγω της θερμικής διαστολής, το θερμαινόμενο μέταλλο διαστέλλεται, το ψυχόμενο συστέλλεται. Το μέρος του μετάλλου που συγκολλήθηκε δημιουργεί δυσκαμψία, που περιορίζει την ελεύθερη μεταβολή των διαστάσεων της θερμαινόμενης ζώνης. Ο περιορισμός ελευθερίας των παραμορφώσεων προξενεί την εμφάνιση τάσεων

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

όπου E – μέτρο ελαστικότητας.

α – γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής.

Δt – διαφορά της θερμοκρασίας θερμαινόμενης και της μη θερμαινόμενης ζώνης του μετάλλου.

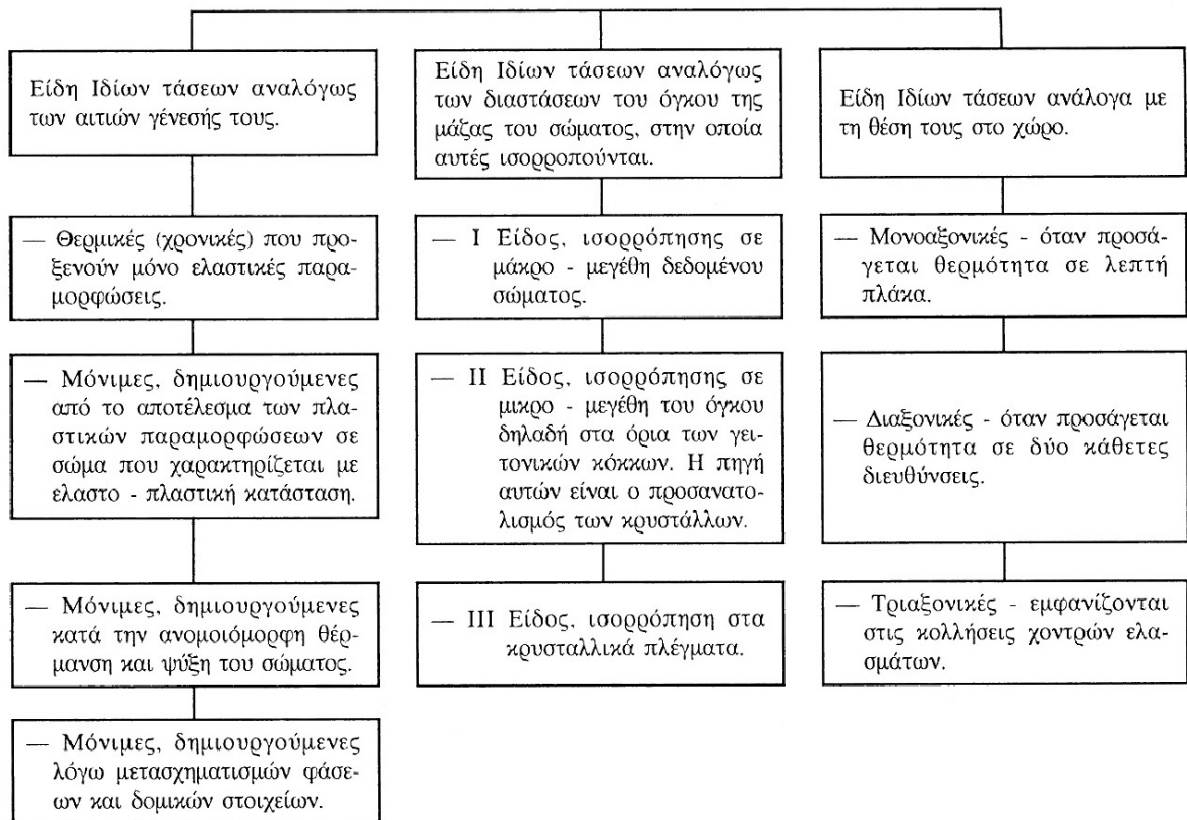
Οι τιμές E και α μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό στην περιοχή της εμφανιζόμενης θερμοκρασίας, κατά τη διαδικασία συγκόλλησης (σχ. 5.2).

Επίσης, μεταβάλλεται, σε μεγάλο βαθμό, και το όριο πλαστικότητας του μετάλλου, π.χ. η Δt , λίγο μεγαλύτερη από τους 100°C , προξενεί την εμφάνιση τάσεων ίσων με το όριο πλαστικότητας.

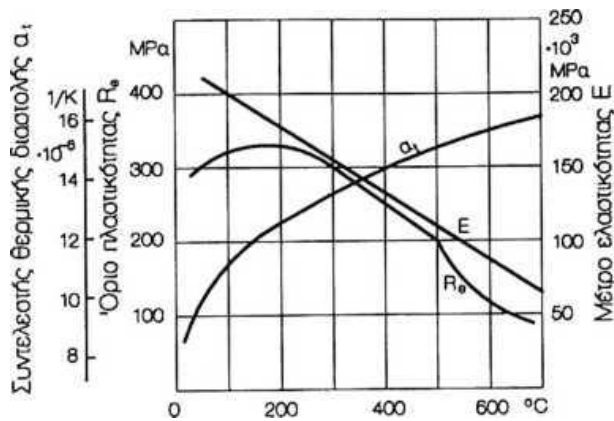
Η μεγάλη διαφορά των θερμοκρασιών κατά τη συγκόλληση είναι και η αιτία της δημιουργίας των πλαστικών παραμορφώσεων. Επίσης, από την άποψη των χαμηλών

μηχανικών ιδιοτήτων στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς και του μικρού όγκου του θερμαινόμενου μετάλλου, σε σύγκριση με το μέγεθος ολόκληρου του συγκολλούμενου στοιχείου, εμφανίζονται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις στη ζώνη της σύνδεσης.

ΙΔΙΕΣ ΤΑΣΕΙΣ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ)



Σχήμα 5.1 . Διαίρεση των ιδίων τάσεων



Σχήμα 5. 2. Ιδιότητες των χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες[2].

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

Για το λόγο αυτό, σ' αυτούς τους χάλυβες η επίδραση των μετασχηματισμών των φάσεων στην κατάσταση των ιδίων τάσεων είναι μεγάλη.

Στις συγκολλητές συνδέσεις, κατά την ψύξη, αναπτύσσονται εφελκυστικές και θλιπτικές ίδιες τάσεις, προξενούμενες από τη μεταβολή της θερμοκρασίας και από την ύπαρξη σ' αυτές τυχόν μετασχηματισμών φάσεων. Οι καταστάσεις των τάσεων και παραμορφώσεων, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης μεταβάλλονται ως προς το μέγεθος και το πρόσημο. Είναι οι λεγόμενες **μεταβατικές**.

Οι μεταβατικές καταστάσεις των τάσεων και παραμορφώσεων ασκούν επίδραση στη δημιουργία ρωγμών, κυρίως θερμών. Μετά την ψύξη στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στο μέταλλο εμφανίζονται **ιδίες παραμένουσες τάσεις** συγκόλλησης. Στα μεταλλικά στοιχεία, επίσης, εμφανίζονται ίδιες τάσεις, που δημιουργούνται με τις διαδικασίες έλασης, πλαστικής κατεργασίας, χύτευσης, θερμικής κατεργασίας, μηχανικής κατεργασίας κ.ά.. Η τελική κατάσταση των τάσεων δημιουργείται από τη συνάντηση των διαδοχικών καταστάσεων των ιδίων τάσεων, προξενουμένων κατά τις διαδικασίες παρασκευής του μετάλλου.

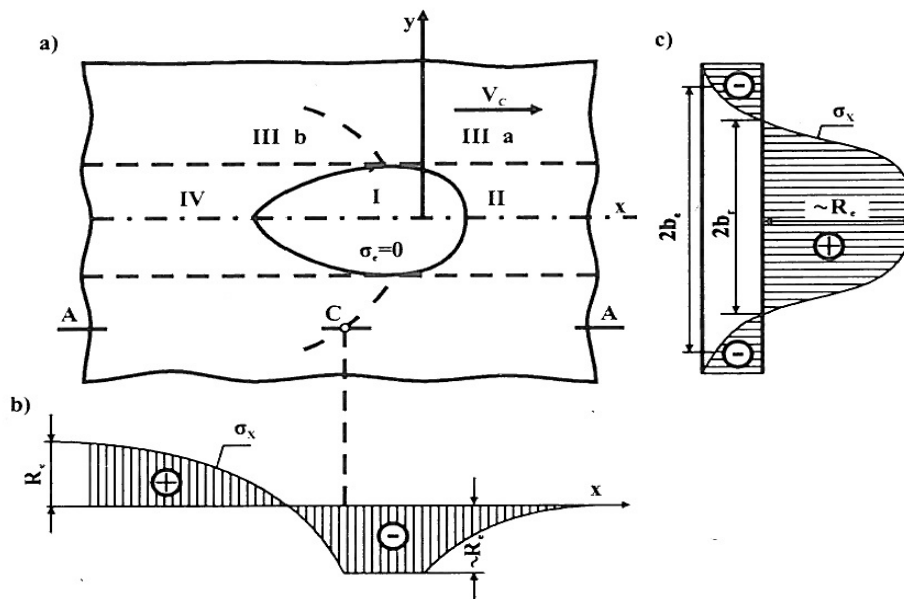
Το τελευταίο στάδιο στις συγκολλητές κατασκευές είναι συνήθως η συγκόλληση, η οποία ασκεί τη μεγαλύτερη επίδραση για την τελική κατάσταση των ιδίων παραμενουσών τάσεων.

5.2.2 Κατανομή των ιδίων τάσεων

Οι ίδιες τάσεις και παραμορφώσεις διακρίνονται από την άποψη της αιτίας εμφάνισής τους, από το χρόνο και την περιοχή της αλληλεπίδρασής τους, καθώς και από τον όγκο, στον οποίο ισορροπούνται με τις δυνάμεις αντίδρασης. Η γενική διάκριση ταχυν τάσεων και παραμορφώσεων φαίνεται στο σχήμα 5.3.

Στη διαδικασία συγκόλλησης, μπορούν να εμφανισθούν στο μέταλλο **ελαστικές παραμορφώσεις ή πλαστικές παραμορφώσεις**. Οι ελαστικές παραμορφώσεις είναι ανάλογες των εμφανιζόμενων τάσεων. Οι τάσεις των οποίων η διεύθυνση είναι σύμφωνη με τον άξονα συγκόλλησης ονομάζονται **διαμήκειες τάσεις σ_x** , οι κάθετες ως προς τον άξονα της συγκόλλησης ονομάζονται **εγκάρσιες τάσεις σ_y** , ενώ οι τάσεις που δρουν κάθετα ως προς το επίπεδο, στο οποίο εκτελείται η συγκόλληση συμβολίζονται με **σ_z** .

Η κατανομή των θερμικών τάσεων που εμφανίζονται κατά την εναπόθεση επίστρωσης με συγκόλληση (σε μεγάλη πλάκα) φαίνεται στο σχήμα 3. Η ζώνη I σχηματίζεται με ισόθερμη τροχιά I, που αντιστοιχεί στην περιοχή στην οποία $\beta = 0$.



Σχήμα 5.3: Μηχανισμός σιαμήκων τάσεων σ_x στη μονόστρωτη κόλληση (πλάκας) : α) ζώνη στο μεταωπιζόμενο πεδίο των θερμοκρασιών, β) στιγμιαία τάση σ_x στην τομή A-A, γ) παραμένουσες τάσεις σ_x στην εγκάρσια τομή της κόλλησης.

Στην περιοχή αυτή, το υλικό βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση. Στη ζώνη II εμφανίζεται θλιπτική εγκάρσια τάση σ_y .

Στη ζώνη IIIα, στην οποία το μέταλλο είναι θερμαινόμενο, εμφανίζονται θλιπτικές - διαμήκειες τάσεις σ_x και αυξάνονται μέχρις ότου αποκτήσουν την τιμή

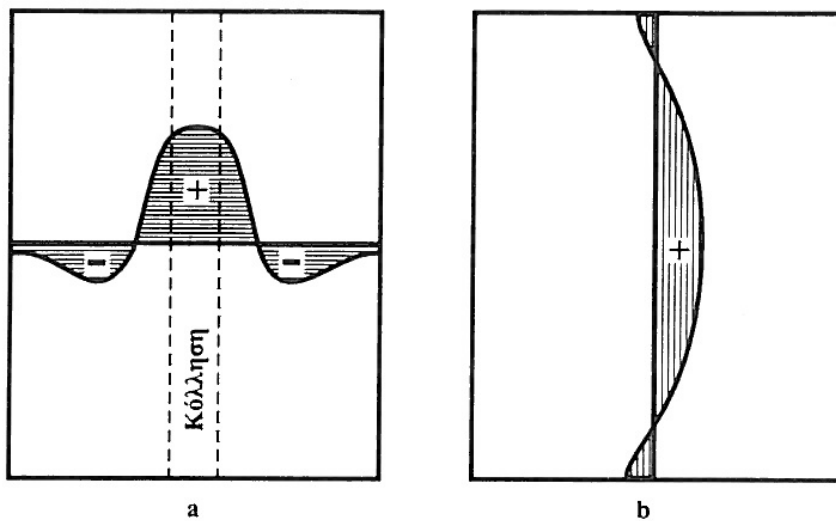
$\sigma_{\chi} = R_e * T$ ($R_e T$ - τάση που αντιστοιχεί στο όριο πλαστικότητας δεδομένης θερμοκρασίας)

και σε αυτό το επίπεδο τάσεων εμφανίζεται μόνιμη πλαστική παραμόρφωση του υλικού. Στο σημείο C, από την πτώση της θερμοκρασίας, λόγω της ψύξης του υλικού, η τάση θλίψης σ_{χ} έχει πτωτική πορεία μέχρι το μηδέν για ορισμένη θερμοκρασία. Με την παραπέρα ψύξη μέχρι την αρχική θερμοκρασία, η τάση στην τομή A - A αλλάζει πρόσημο. Επομένως στη ζώνη IIIb εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις παραμένουσες σ_{χ} που μπορούν μετά το πέρας του θερμικού κύκλου, να αποκτήσουν την τιμή $\sigma_{\chi} = R_e$, και προξενούν **μόνιμες παραμένουσες παραμορφώσεις**.

Ως αποτέλεσμα, μετά τη στερεοποίηση στην περιοχή με πλάτος $2br$ έχουμε την παραμένουσα τάση εφελκυστική, ισορροπημένη με τις θλιπτικές τάσεις αντίδρασης $-\sigma_{\chi}$.

Η διάσταση $2br$ καθορίζει το πλάτος της ζώνης, στην οποία, λόγω συγκόλλησης, εμφανίζονται μόνιμες πλαστικές παραμορφώσεις.

Στις συγκολλητές συνδέσεις οι ίδιες τάσεις δημιουργούν πάντοτε πολυαξονική κατάσταση τάσεων, αλλά για στοιχεία με πάχη τοιχωμάτων ($g < 26\text{mm}$) η συνιστώσα προς τη διεύθυνση του πάχους του ελάσματος δεν είναι πολύ μεγάλη και είναι δυνατόν να παραληφθεί στους υπολογισμούς. Παράδειγμα διαξονικής κατάστασης θερμικών τάσεων είναι οι συνθήκες που διαμορφώνονται κατά τη μετωπική συγκόλληση δύο ελασμάτων (σχ. 5.4).



Σχήμα 5. 4 : Παραμένουσες τάσεις στις πλάκες με μετωπική συγκόλληση: α) διαμήκειες σ_{χ} , β) εγκάρσιες σ_{γ}

Η τάση επιμήκυνσης σ_X χαρακτηρίζεται εξίσου με μεταβαλλόμενη τιμή και με μεταβαλλόμενα πρόσημα. Η εφελκυστική τάση εμφανίζεται στην κόλληση καθώς και σε μικρές περιοχές και από τις δύο πλευρές. Οι τάσεις που εμφανίζονται στη ζώνη των πλαστικών παραμορφώσεων πρέπει να ισορροπηθούν με την αντίδραση των υπόλοιπων μη θερμαινόμενων περιοχών του υλικού. Στις περιοχές αυτές, επομένως, εμφανίζονται θλιπτικές τάσεις αντίδρασης. Παρόμοια με τις εφελκυστικές τάσεις επίσης και οι εγκάρσιες τάσεις συ έχουν διάφορα μεγέθη και πρόσημα, ανάλογα από την παρατηρούμενη περιοχή.

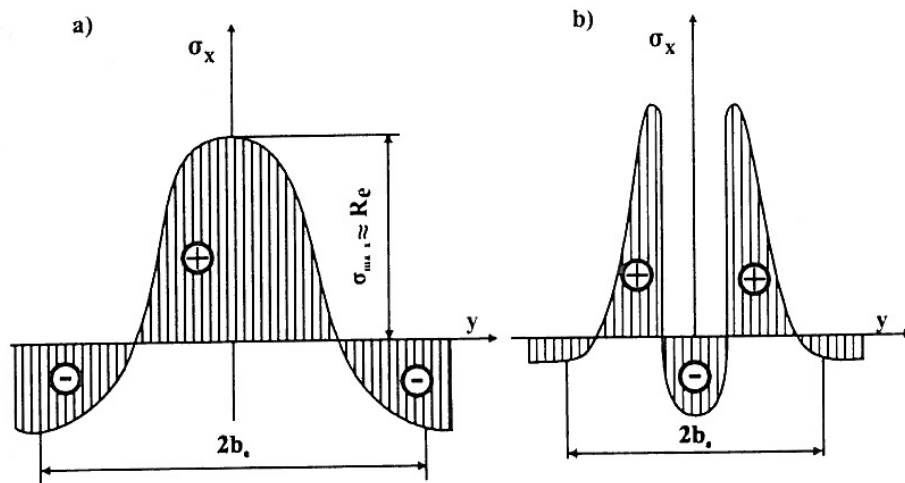
Οι θλιπτικές τάσεις αποκτούν τη μεγαλύτερη τιμή στα άκρα της κόλλησης, ενώ στο μέσο μέρος της κόλλησης εμφανίζονται οι εφελκυστικές τάσεις (σχ. 5.4).

Αυτό προξενείται επειδή το μέσο μέρος της κόλλησης στερεοποιείται πιο αργά από τα άκρα του μητρικού υλικού. Η διαδικασία συγκόλλησης μπορεί να προξενήσει την παρουσία στην κατασκευή, εκτός των ιδίων τάσεων, και των **τάσεων συγκόλλησης σαν από τις δυνάμεις αντίδρασης** προξενούμενες από τη στερέωση του συγκολλούμενου αντικειμένου. Η τιμή αυτών των τάσεων μπορεί να είναι σημαντική και εξαρτάται από την εγκάρσια διατομή της κατασκευής. Όσο η διατομή της κατασκευής είναι μικρότερη τόσο οι τάσεις είναι μεγαλύτερες.

Όταν το εύρος ανάμεσα στην τάση θραύσεως και ορίου πλαστικότητας είναι πολύ μεγάλο, τότε δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση ρηγματώσεων. Σημαντική ιδιότητα των προξενούμενων τάσεων με δυνάμεις αντίδρασης είναι η αλληλεπίδρασή τους σε όλη την κατασκευή, γεγονός που δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τη μη επέκταση των ρωγμών.

Απ' τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι συγκολλητές κατασκευές πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφεύγονται οι στερεωμένες συνδέσεις.

Οι δομικές τάσεις στα συγκολλούμενα εξαρτήματα μπορούν να έχουν επίσης σημαντική επίδραση στην κατανομή και στην τιμή των παραμενουσών τάσεων. Π.χ. στους χάλυβες που σχηματίζουν μαρτενιτική δομή στη ζώνη της κόλλησης μπορούν να δημιουργηθούν θλιπτικές τάσεις, οι οποίες εξισορροπούνται με τις εφελκυστικές τάσεις από τα μη θερμαινόμενα μέρη του υλικού. Στο σχήμα 5.5 φαίνεται η κατανομή των τάσεων σχ για τους μαλακούς ανθρακοχάλυβες και τους ωστενιτικούς χάλυβες.



Σχήμα 5.5 : Διαμήκειες παραμένουσες τάσεις: α) κατά την συγκόλληση ανθρακοχαλύβων ή ωστενιτικών χαλύβων, β) κατά την συγκόλληση ανθρακοχάλυβα που βάφεται.

Η χημική σύνθεση και οι θερμικές διαδικασίες επιδρούν στην τιμή του ορίου πλαστικότητας, μετά τη στερεοποίηση της κόλλησης, άρα και στην τιμή των παραμενουσών τάσεων.

5.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των τάσεων συγκόλλησης

Για να αναλυθεί το πρόβλημα των τάσεων συγκόλλησης, πρέπει να διαχωρισθεί σε δύο υποθέσεις: το πρόβλημα των τάσεων συγκόλλησης και το πρόβλημα των εσωτερικών δυνάμεων συστολής, δρώντων στη συγκολλητή κατασκευή.

Το μέγεθος των τάσεων συγκόλλησης εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

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

Οι παράγοντες αυτοί, γενικά, συνδέονται με τις φυσικές ιδιότητες του συγκολλούμενου υλικού, γι' αυτό δεν μπορούν να έχουν αποφασιστική επίδραση. Μόνο η δυσκαμψία της κατασκευής μπορεί να βελτιωθεί σε μεγαλύτερη περιοχή.

Όλοι οι προαναφερθέντες παράγοντες αποτελούν το αίτιο αύξησης των τάσεων. Η πλαστικότητα του υλικού ασκεί επίδραση όχι στην τιμή των τάσεων, αλλά στο είδος των παραμορφώσεων - στα υλικά με υψηλή πλαστικότητα οι τάσεις δημιουργούν πλαστικές παραμορφώσεις ενώ στα ψαθυρά υλικά προξενούν θραύσεις.

Οι δυνάμεις συστολής,

δημιουργούμενες στη συγκολλητή σύνδεση, εξαρτώνται από:

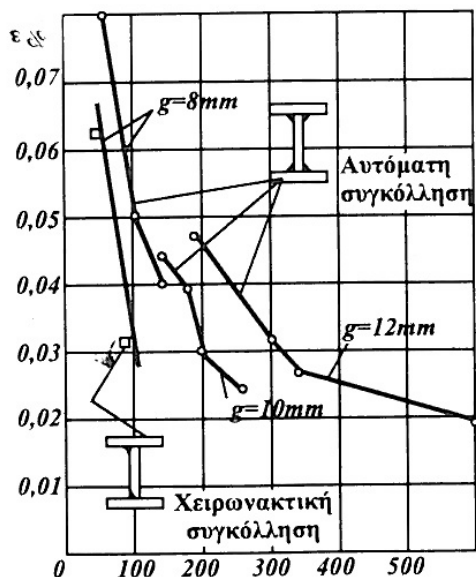
- α) το πλάτος της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά (ΘΕΖ)
- β) τον τρόπο εναπόθεσης των κολλήσεων

Αυτοί οι δύο παράγοντες εξαρτώνται από την αποδειχθείσα τεχνολογία.

Η αύξηση του πλάτους της ΘΕΖ ευνοεί την αύξηση των δυνάμεων που προξενούν την παραμόρφωση του συγκολλούμενου υλικού. Το μέγεθος αυτής της ζώνης

εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του συγκολλούμενου υλικού και την εντατικότητα της πηγής θερμότητας. Μικρή ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση πηγής ενέργειας με αυξημένη εντατικότητα.

Συνέπειες επίδρασης των τάσεων συγκόλλησης στις συγκολλητές κατασκευές



Σχήμα 5.6 : Η τιμή της συστολής κατά μήκος των συγκολλητών δοκών, ανάλογα με την εγκάρσια τομή τους[1].

Όπως προκύπτει από την επίδραση των τάσεων συγκόλλησης, τα συνδεδεμένα εξαρτήματα παραμορφώνουν όλη την κατασκευή ή προξενούν τοπική παραμόρφωση στην περιοχή της κόλλησης. Η μία, όπως και η δεύτερη μορφή παραμορφώσεων, οδηγεί στη μερική ελευθέρωση των τάσεων στη συγκολλούμενη σύνδεση.

Η παραμορφωμένη κατασκευή παρατηρείται στην περίπτωση συγκόλλησης εξαρτημάτων λεπτού πάχους, εκτελεσμένων από υλικά με σημαντική πλαστικότητα. Όμως, στην περίπτωση συγκολλητής κατασκευής με μεγάλη δυσκαμψία δημιουργείται τοπική παραμόρφωση στην περιοχή της κόλλησης των συνδεδεμένων εξαρτημάτων, με μορφή πλαστικής παραμόρφωσης ή θραύσης. Ο βαθμός της παραμορφωμένης κατασκευής καθώς και η τοπική της παραμόρφωση εξαρτάται από την εμφανιζόμενη συστολή μετά το πέρας της συγκόλλησης.

Διακρίνονται τρία είδη συστολών στα συγκολλούμενα εξαρτήματα: διαμήκης, εγκάρσια συστολή στο πάχος των υλικών.

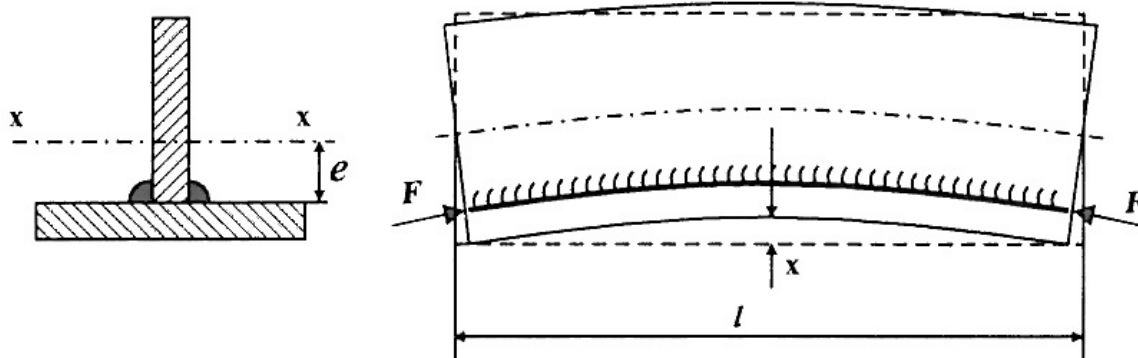
Διαμήκης συστολή. Η τιμή της διαμήκουσ συστολής εξαρτάται από το λόγο της διατομής της κόλλησης ως προς την εγκάρσια διατομή της σύνδεσης. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο λόγος τόσο μεγαλύτερη είναι και η συστολή. Από τα

πειράματα προκύπτει ότι αυτή η συστολή κυμαίνεται στα όρια 0.1-0.3 mm/m της κόλλησης.

Στο σχήμα 5.6 φαίνεται η σχέση των κατά μήκος παραμορφώσεων βαρέων συνδέσεων με την μορφή διπλού T συναρτήσει των εγκέρσιων διατομών και του πάχους.

Όπως προκύπτει από το σχήμα 5.6, οι κατα μήκος παραμορφώσεις των δοκών μειώνονται με την αύξηση της εγκάρσιας διατομής και του πάχους των ελασμάτων.

Η **επιμήκης συστολή** τους, εκτός από την σμίκρυνση της σύνδεσης, μπορεί να προκαλέσει και το λυγισμό της, εφόσον η κόλληση έχει εκτελεστεί στον άξονα του κέντρου βάρους. Παράδειγμα τέτοιας σύνδεσης έχουμε στο σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7 : λυγισμός της δοκού σχήματος T, προξενούμενος από την επίδραση των δυνάμεων συστολής F , εφαρμοζόμενης έκκεντρα ως προς το κέντρο βάρους.

Η εμφανιζόμενη εδώ δύναμη συστολής F, δράσα κατά μήκος της απόστασης e προξενεί ροπή κάμψης:

$$M = F \cdot e$$

Ως επακόλουθο της δράσης αυτής της ροπής η δοκός θα υποστεί λυγισμό με τιμή f

$$f = \frac{M \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{F \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I}$$

Όπου: M- ροπή συστολής

F- δύναμη συστολής

e- απόσταση από τον άξονα του κέντρου βάρους

l- μήκος της κόλλησης

E- μέτρο ελαστικότητας

I- ροπή αδρανείας

Η εγκάρσια συστολή, αναπτυσσόμενη στη σύνδεση, προξενεί την εγκάρσια σμίκρυνσή της, στην περίπτωση εναπόθεσης της κόλλησης συμμετρικά, καθώς και σμίκρυνση και λυγισμό γωνιακό, κατά την εναπόθεση της κόλλησης ασύμμετρα.

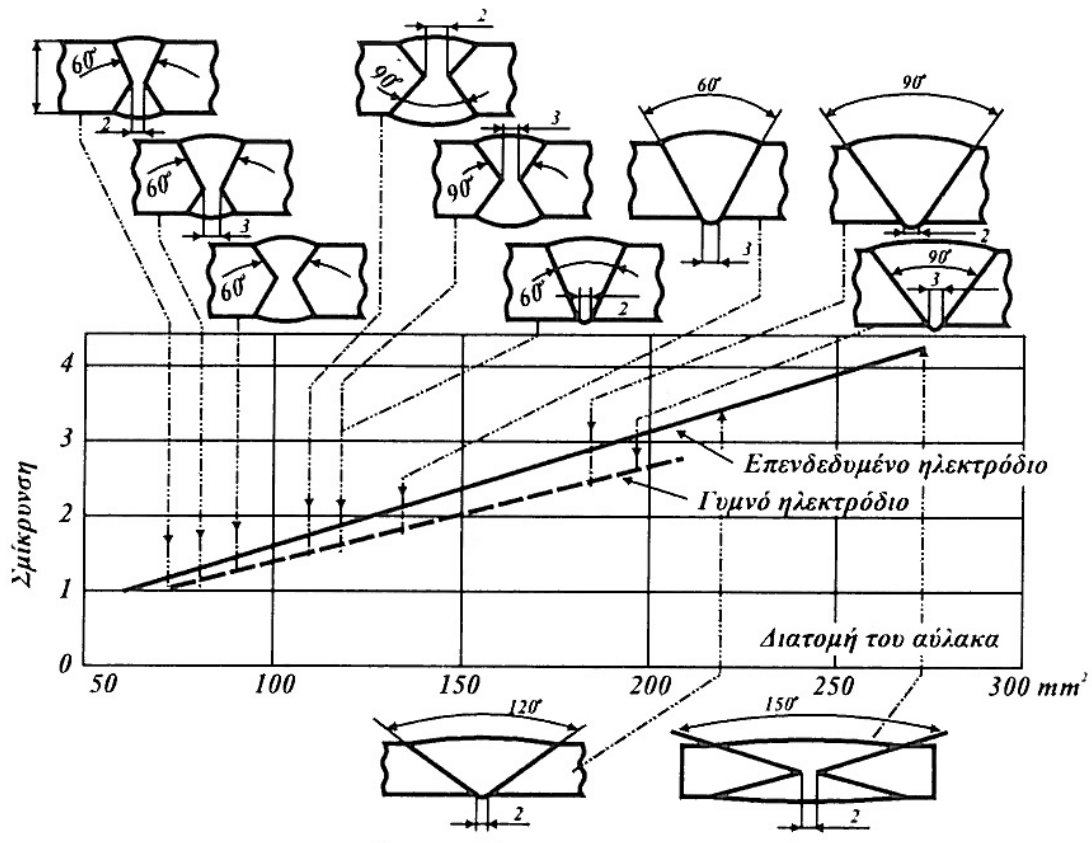
Η τιμή της εγκάρσιας συστολής είναι ευθέως ανάλογη προς τον όγκο του εναποτιθέμενου υλικού στο αυλάκι της κόλλησης (σχ. 5.8).

Όπως φαίνεται από το σχ. 5.8, η εγκάρσια συστολή λαμβάνει σημαντικές τιμές. Ως εκ τούτου στην περίπτωση στερέωσης της σύνδεσης ως προς την εγκάρσια διεύθυνση, θα πρέπει να αναμενουμε την εμφάνιση μεγάλων τάσεων συστολής.

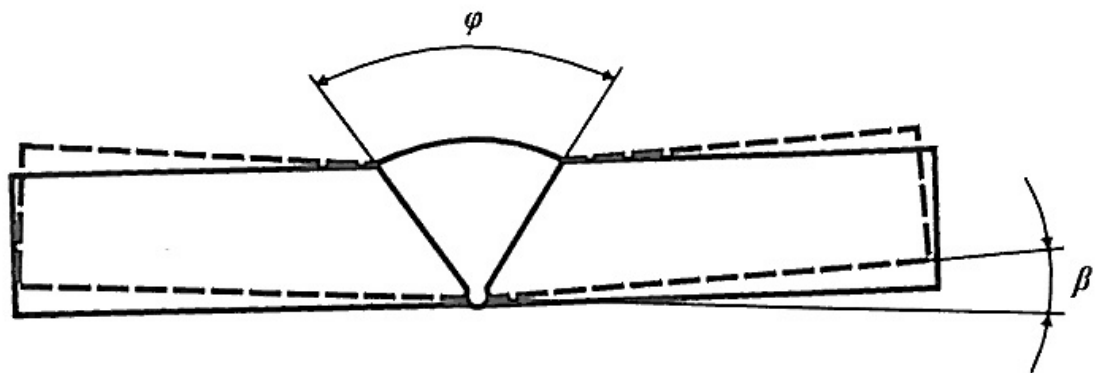
Στη συνέχεια η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης β σε κόλληση μονής στρώσης εξαρτάται, όπως φαίνεται από την γωνία αυλάκωσης της κόλλησης φ (σχήμα 5.9)

$$\beta = 2 \cdot \alpha_t \cdot T_{\text{μεσ.}} \cdot t_g \frac{\varphi}{2} \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\beta = 2 \cdot \frac{2\pi}{360} \cdot \alpha_t \cdot T_{\text{μεσ.}} \cdot t_g \frac{\varphi}{2} \text{ (rad) ,}$$



Σχήμα 5. 8: Η σχέση της εγκάρσιας συστολής με τη διατομή της κόλλησης



Σχήμα 5.9 : Γωνιακή παραμορφωμένη μετωπική σύνδεση

Όπου α - γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής

$T_{μεξ}$ – μέση θερμοκρασία μετάβασης του τηκόμενου μετάλλου από πλαστική κατάσταση σε ψαθυρή (για τους περισσότερους κατασκευαστικούς χάλυβες είναι περίπου 600oC)

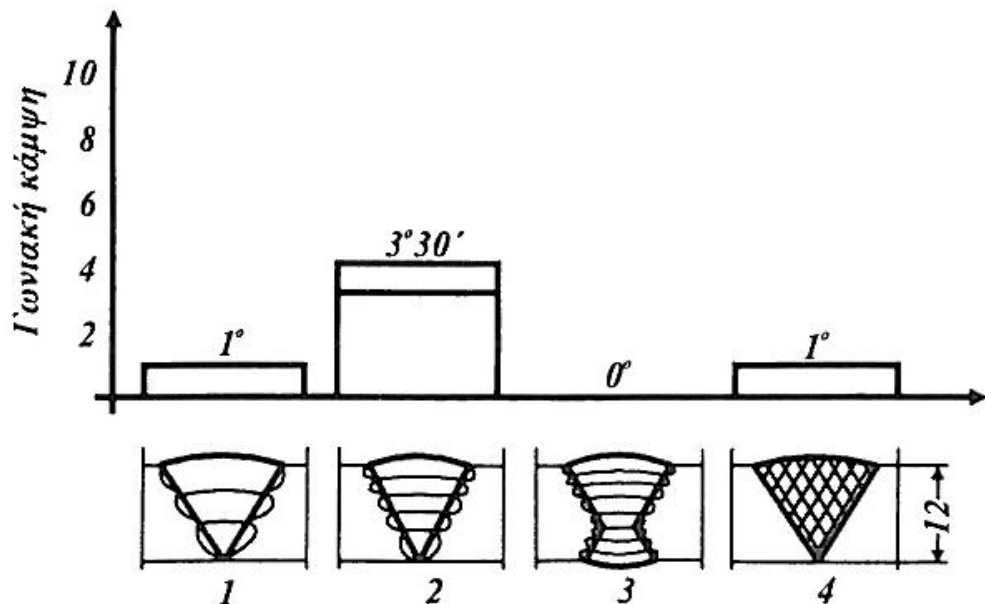
Για τους κατασκευαστικούς χάλυβες, ο παραπάνω τύπος παίρνει την μορφή:

$$\beta = 0,0144 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (^\circ)$$

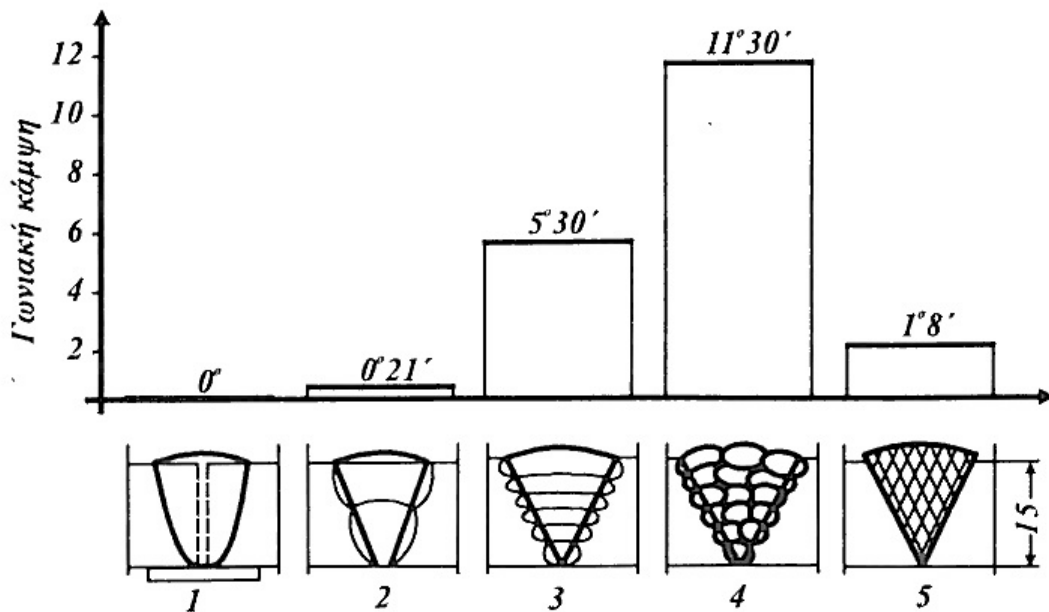
$$\beta = \frac{2\pi}{360} \cdot 0,0144 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (\text{rad})$$

Στην περίπτωση των κολλήσεων με πολλές στρώσεις, η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης μεταβάλλεται και εξαρτάται από τον αριθμό των στρώσεων της κόλλησης, τη μορφή της αυλάκωσης της κόλλησης και το πάχος της σύνδεσης (σχήμα 5.10 και 5.11).

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



Σχήμα 5.10 : Η επίδραση του πλήθους των στρώσεων των κολλήσεων στην τιμή του γωνιακού λυγισμού ελασμάτων με πάχος 12 mm.



Σχήμα 5.11: Η επίδραση του πλήθους των στρώσεων των κολλήσεων στην τιμή του γωνιακού λυγισμού ελασμάτων με πάχος 15 mm.

5.2.4 Τρόποι μείωσης των παραμορφώσεων και των τάσεων συγκόλλησης

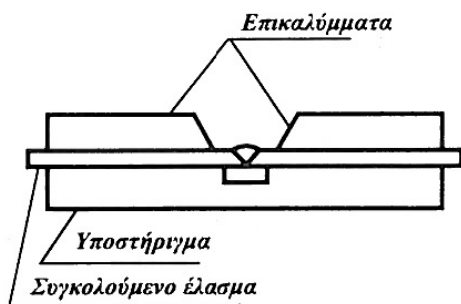
Οι εμφανιζόμενες τάσεις για να μη στρεβλώνουν αρκετά τις συγκολλητές κατασκευές, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, επιβάλλεται να χρησιμοποιούνται ιδιοσκευές συγκολλήσεως. Π.χ. η διαδικασία συγκόλλησης των εξαρτημάτων λεπτού πάχους πρέπει να εκτελείται με τη χρησιμοποίηση ιδιοσκευών συγκόλλησης. Οι ιδιοσκευές αυτές επιτρέπουν την ισχυρή συγκράτηση (δέσιμο) των συνδεόμενων εξαρτημάτων, και ως αποτέλεσμα αυτού οι στρεβλώσεις μειώνονται σημαντικά. Εκτός αυτού υπάρχουν και άλλοι τρόποι μείωσης των εμφανιζόμενων παραμορφώσεων κατά τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων. Μπορούν να μειωθούν αυτές με: α) την τοποθέτηση υποστηριγμάτων επαγωγής θερμότητας (σχ. 5.12) β) κατάλληλη τοποθέτηση ελασμάτων για τη συγκόλληση (σχ. 5.13). γ) την εκτέλεση μετωπικής κόλλησης αντί γωνιακής (σχήμα 5.14).

Με σκοπό την αποφυγή ανεπιθύμητων παραμορφώσεων κατά τη συγκόλληση παχέων ελασμάτων, λοξοτομημένων σε σχήμα V, ή επίσης στις επιφανειακές κολλήσεις, πρέπει να τοποθετηθούν καταλλήλως τα εξαρτήματα (σχήμα 5.15). Παράδειγμα που παρουσιάζει την επίδραση της διαδοχικής σειράς εκτέλεσης των κολλήσεων, για να μην παραμορφωθεί η κατασκευή, είναι η συγκόλληση διπλού T (σχήμα 5.16).

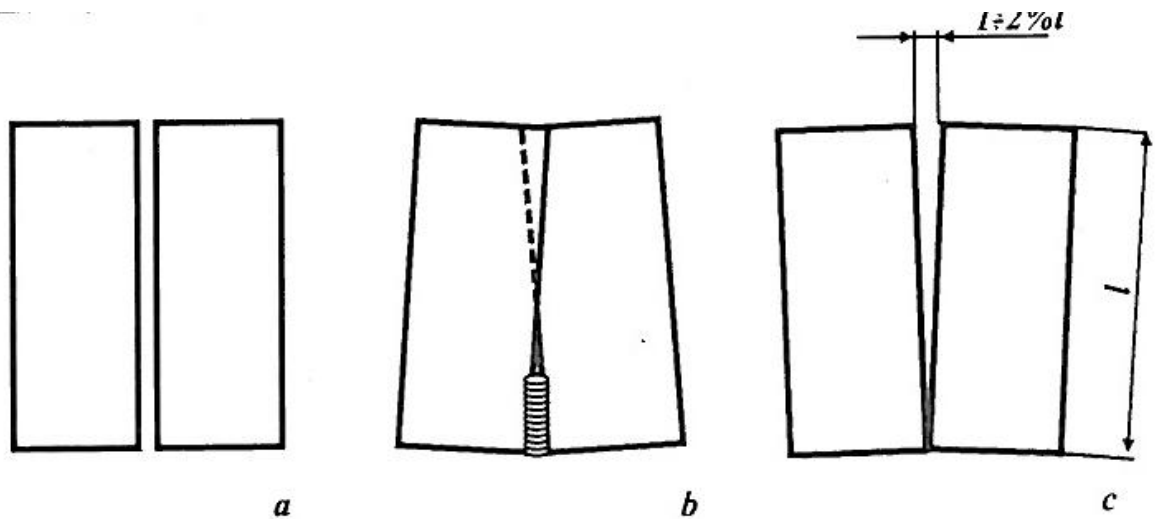
Για την μείωση του λυγισμού, σε μεγάλα μήκη των κολλήσεων, πρέπει το όλο μήκος της κόλλησης να διαιρεθεί σε τμήματα με ποντάρισμα και, στην συνέχεια να

γίνει η συγκόλληση με κορδόνι «βηματικό», «αναπήδησης», ή «βηματικό-αναπήδησης». Γενική αρχή σ' αυτούς τους τρόπους συγκόλλησης είναι να εκτελούνται διαδοχικά τα τμήματα , μετά από το κρύωμα των γειτονικών. Η αρχή των διάφορων τρόπων εναπόθεσης των κολλήσεων φαίνεται στο σχήμα 5.17.

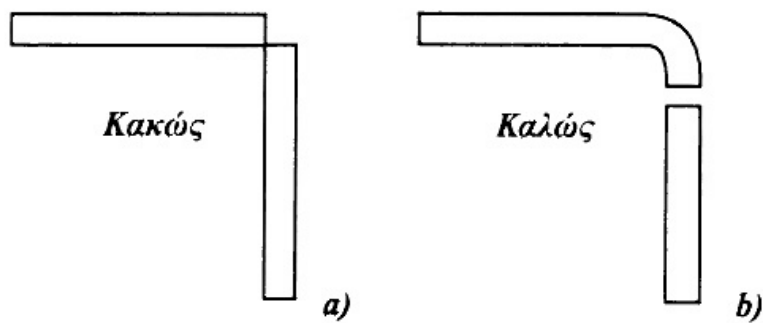
Οι τρόποι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα αποφεύγουν μόνο σε κάποιο βαθμό την παραμορφωμένη κατάσταση της κατασκευής , ενώ δεν μειώνουν αποφασιστικά τις τάσεις και τις δυνάμεις συστολής. Η τιμή των εσωτερικών δυνάμεων που επικρατούν στη σύνδεση μπορεί να μειωθεί με ειδική εναπόθεση των κορδοαίων και κατάλληλη σειρά των στρώσεων κόλλησης.



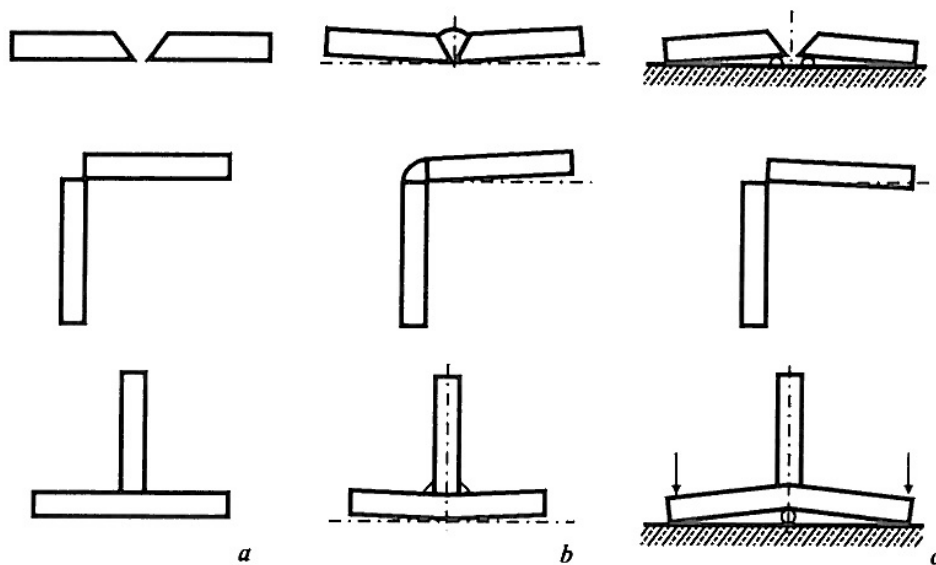
Σχήμα 5. 12: Συγκόλληση με υποστηρίγματα για την επαγωγή της θερμότητας



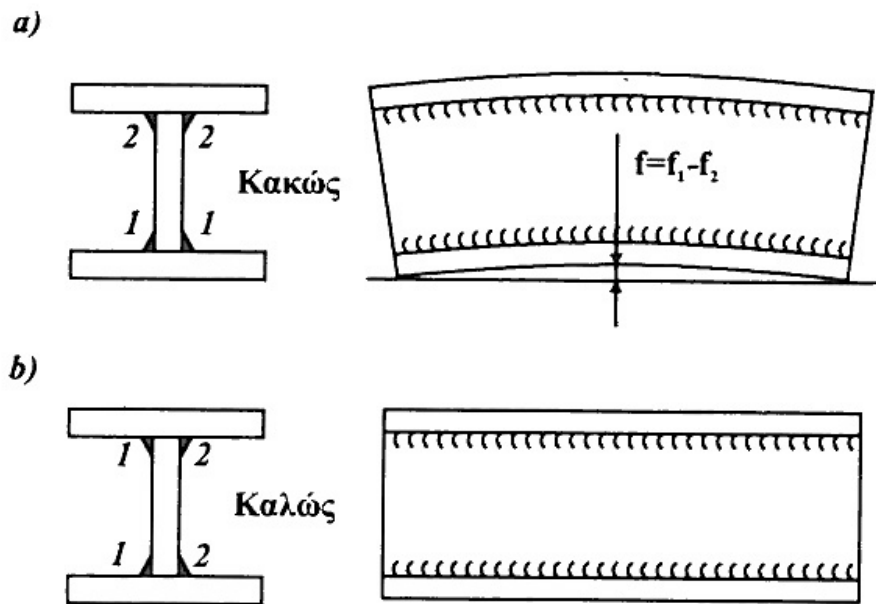
Σχήμα 5.13: Τοποθέτηση των ελασμάτων για την συγκόλληση, και την αποφυγή παραμόρφωσης της σύνδεσης: α) τα ελάσματα προ της συγκόλλησης, β) η συμπεριφορά των ελασμάτων κατά την συγκόλληση, γ) ορθή τοποθέτηση των ελασμάτων , λαμβάνοντας υπόψη την εγκάρσια διαστολή.



Σχήμα 5.14: Τρόπος τοποθέτησης των ελασμάτων για την αποφυγή των παραμορφώσεων.

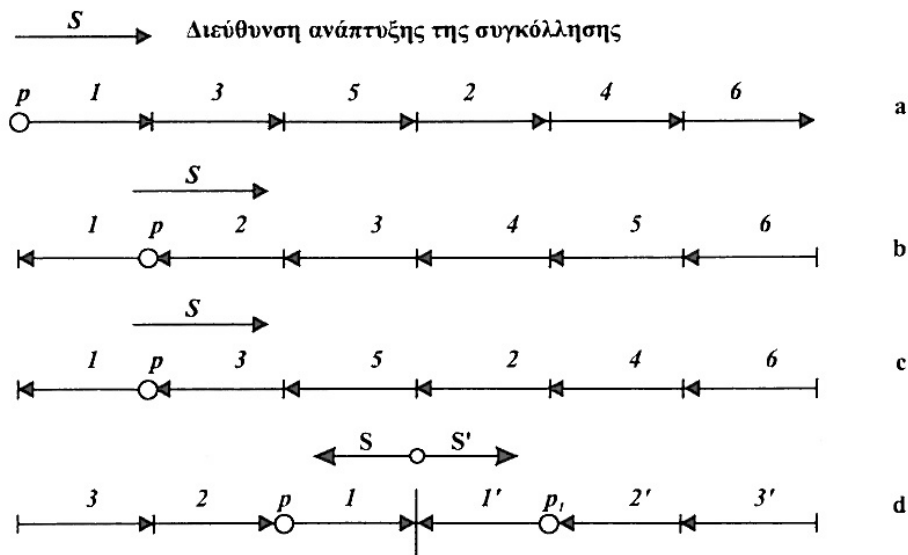


Σχήμα 5. 15 : τρόπος αποφυγής της παραμόρφωσης της συγκολλητής κατασκευής (με κολλήσεις V και αυχενικές): α) κακή τοποθέτηση , b) η συνέπεια της κακής τοποθέτησης, c) σωστή τοποθέτηση.



Σχήμα 5. 16: Η επίδραση του τρόπου εναπόθεσης των κολλήσεων για την αποφυγή της παραμόρφωσης της δοκού τύπου T α) κακώς, b) καλώς

Κατά την εκτέλεση κολλήσεων πολλών στρώσεων, η εναπόθεση κάθε επόμενης στρώσης προξενεί αποτατική ανόπτηση στην προηγούμενη στρώση. Σε τέτοιες περιπτώσεις προτείνεται η εναπόθεση των διαδοχικών στρώσεων κλιμακωτά (σχήμα 5.18).



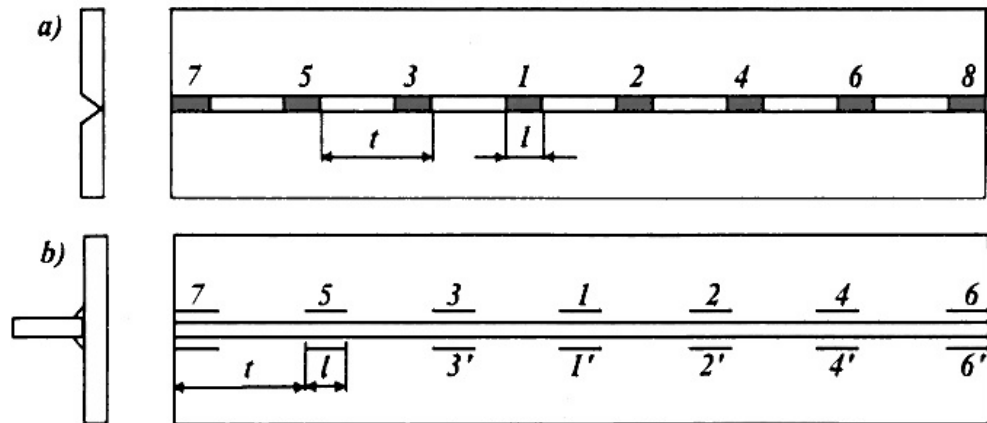
Σχήμα 5. 17: Τύποι κορδονιών που μειώνουν την παραμόρφωση της συγκολλητής κατασκευής:α) κορδόνι αναπήδησης,β)βηματικό κορδόνι,γ)κορδόνι βηματικό-αναπήδησης,δ)αναπήδησης- βηματικό κορδόνι,Ρ) αρχή της συγκόλλησης.



Σχήμα 5.18: Κλιμακωτό κορδόνι

5.2.5 Εκτέλεση κολλήσεων συγκράτησης για τη συγκόλληση εξαρτημάτων μεγάλου μήκους

Τα συνδεόμενα εξαρτήματα με προετοιμασμένα τα άκρα πρέπει να συγκροτηθούν με κατάλληλα εργαλεία, έτσι που κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης να μην προκύψει αλλαγή της θέσης των εξαρτημάτων από την επίδραση της θερμότητας. Εάν τα προετοιμασμένα εξαρτήματα για συγκόλληση δεν έχουν συγκρατηθεί με εργαλεία που να καθορίζουν τη θέση τους, τότε πρέπει αυτά να συνδεθούν με ειδικές κολλήσεις συγκράτησης.



Σχήμα 19: Η σειρά εναπόθεσης των κολλήσεων συγκράτησης :α) για μετωπική σύνδεση,β)για αυχενική κόλληση.

Στην περίπτωση ελασμάτων και μορφοσιδήρων, το βήμα των κολλήσεων συγκράτησης t (μετωπικών και αυχενικών) πρέπει να είναι: $t = (20 \text{ έως } 30) S \text{ mm}$

όπου: S - το πάχος των συγκολλούμενων εξαρτημάτων, mm.

Για την αποφυγή παραμόρφωσης σε εξαρτήματα μεγάλου μήκους, οι κολλήσεις συγκράτησης εκτελούνται από το κέντρο προς τα άκρα (σχ. 19).

Εφαρμοζόμενες θερμικές κατεργασίες στις συγκολλητές συνδέσεις

Για τη μείωση ή την αποφυγή των τάσεων και παραμορφώσεων στις συγκολλητές συνδέσεις γίνεται εφαρμογή από μία σειρά θερμικών διαδικασιών, όπως: η αρχική ή η ενδιάμεση προθέρμανση, η αποτατική ανόπτηση και η εξομάλυνση.

6. Σχόλια – Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας λοιπόν αυτό που μας μένει είναι ότι ο χάλυβας είναι ένα μοναδικό αλλά και αναγκαίο πολλές φορές υλικό για πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία. Αυτό συμβαίνει γιατί ο χάλυβας υπάρχει σε πολλές ποιότητες με πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά και πολλές διαφορετικές ιδιότητες και αυτό τον καθιστά ένα υλικό το οποίο μπορεί να βρεί σχεδόν παντού εφαρμογή.

Ακόμα ένα άλλο πλεονέκτημά του είναι ότι η παραγωγή του μπορεί να γίνει με αρκετές διαφορετικές μεθόδους γεγονός που δίνει λύσεις στην βιομηχανία ανάλογα με την ποσότητα παραγωγής αλλά και το κόστος.

Ακόμα είδαμε στο δεύτερο κεφάλαιο πως πάνω από το 50% του βάρους ενός μέσου οχήματος αποτελείται από χάλυβα. Πάντως παρόλο που σιγά σιγά ο χάλυβας αρχίζει να αντικαθίστατε από το πλαστικό και το αλουμίνιο σε κάποια μέρη του οχήματος παραμένει ως κυρίαρχο υλικό κυρίως λόγω χαμηλού κόστους παραγωγής.

Όσον αφορά τις μεθόδους συγκολλήσεων που περιγράφονται στο τρίτο κεφάλαιο αναφέραμε ότι διαχωρίζονται σε αυτογενείς και ετερογενείς.

Κατά τις αυτογενείς συγκολλήσεις απαιτείται λιώσιμο τοπικά ή όχι ενός συγκολλητικού μέσου όπως πχ στην οξυγονοκόλληση, ηλεκτροκόλληση, συγκόλληση με αντίσταση, συγκόλληση με laser κτλ.

Στις ετερογενείς συγκολλήσεις δεν χρειάζεται τοπική τήξη, μόνο τοποθέτηση λιωμένου μέσου πχ στην κασιτεροκόλληση και στην μπρουτζοκόλληση.

Ουσιαστικά αντιλαμβανόμαστε ότι σε πολλές περιπτώσεις οι συγκολλήσεις αντικαθιστούν κάποιες φορές τη χύτευση και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την οικονομία στο υλικό και στο κόστος αλλά μας δίνετε και η δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε πιο δύσκολες αλλά και πιο σύνθετες κατασκευές.

Ένα άλλο σχόλιο στο οποίο θα πρέπει να σταθούμε είναι η έννοια της συγκολλητότητας, έτσι είδαμε πως όσο λιγότερο άνθρακα περιέχει ο χάλυβας τόσο πιο εύκολα συγκολλάται.

Όσον αφορά τις μεθόδους συγκολλήσεων πρέπει να σταθούμε και να τονίσουμε πως κάθε μέθοδος έχει τα υπέρ και τα κατά της και πάντα η σωστή επιλογή πρέπει να γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή, το μέγεθος των συγκολλήσεων αλλά και το κόστος. Το κόστος τώρα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψιν στην βιομηχανία. Έτσι λοιπόν το κόστος πρέπει να αναφέρουμε πως επηρεάζεται από τα εξής:

- 1) Το κόστος της εγκατάστασης
- 2) Κόστος των υλικών
- 3) Την ταχύτητα παραγωγής και το απαιτούμενο εργατικό δυναμικό
- 4) Την πιθανότητα έμμεσης μείωσης του κόστους με απλοποίηση της παραγωγής

Τέλος σε κάθε τελικό προϊόν θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος ποιότητας και αξιοπιστίας του υλικού ο οποίος πραγματοποιείται με καταστροφικές ή μη καταστροφικές μεθόδους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στην μεταλλογραφία και τονίσαμε πως είναι απαραίτητη ώστε να μελετήσουμε το υλικό σε μοριακό επίπεδο. Ακόμα αναφερθήκαμε στην Θ.Ε.Ζ και τονίσαμε πως εκεί καταπονείται περισσότερο το υλικό. Έτσι ένα ακόμα συμπέρασμα είναι πως πρέπει να ελαχιστοποιούμε με όποιες δυνατές μεθόδους τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από την τοπική θέρμανση του υλικού στην Θ.Ε.Ζ.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύσαμε το φαινόμενο δημιουργίας των τάσεων που αναπτύσσονται λόγω της συγκόλλησης και εξηγήσαμε από ποιούς παράγοντες επηρεάζονται,

όπως τη θέση και την απόσταση του σημείου από τον άξονα συγκόλλησης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό συγκόλληση τεμαχίων, από την αρχική θερμοκρασία των τεμαχίων αλλά και από τις φυσικές ιδιότητες των υπό συγκόλληση υλικών.

Βιβλιογραφία

1. Θ. Α. Διαμαντούδης Συγκολλήσεις Μετάλλων
2. Ιστοσελίδα Βικιπαιδεία
3. Ιστοσελίδα corusautomotive.com
4. Peckner D. Bernstein I. 1977, Handbook of stainless steels, McGraw-Hill, New York
5. Thielsch H. 1951. Physical and welding metallurgy of chromium stainless steel, Welding Journal.
6. Παπάζογλου Β.Ι, Παπαδημητρίου Γ, 1994. Επιστήμη και τεχνική των συγκολλήσεων, NTUA
7. Παντελής, Δ.Ι & Χρυσουλάκης, Γ.Δ 2003. Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών. Αθήνα : Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
8. Γεωργίου Δ. Παπαδημητρίου Εισαγωγή στη Μεταλλουργία, την Τεχνολογία και τον Έλεγχο των Συγκολλήσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1996.