



Μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία της τεχνολογίας συγκολλήσεων

του Βασίλη Ι. Παπάζογλου

1. Εισαγωγή

Η τεχνολογία των συγκολλήσεων, όπως τη γνωρίζουμε και τη χρησιμοποιούμε σήμερα, άρχισε να αναπτύσσεται στα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Η ανάπτυξη αυτή βασίστηκε τόσο σε πρωτοποριακές ιδέες που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα σε διάφορες επιστημονικές περιοχές, όσο και στις άοκνες προσπάθειες πρακτικών ανθρώπων, οι οποίοι όχι μόνο διείδαν τη σημασία της τεχνολογίας αυτής αλλά και προσπάθησαν, πολλές φορές χωρίς επιτυχία, να εφαρμόσουν στην πράξη κάθε νέα γνώση που έβλεπε το φως της δημοσιότητας, για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων.

Αν όμως οι σημερινές μέθοδοι συγκόλλησης έχουν ηλικία μικρότερη του ενός αιώνα, η τεχνολογία της ένωσης μετάλλων με την προσθήκη θερμότητας ήταν γνωστή από την αρχαιότητα. Αρχαία χειρόγραφα περιγράφουν με λεπτομέρεια τις θαυμαστές μεταλλουργικές εργασίες της εποχής των Φαραώ, ενώ παρόμοιες εργασίες αναφέρονται συχνά και στην Παλαιά Διαθήκη. Την

εποχή της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας ήταν ήδη σε γενική χρήση η μπρουντζοκόλληση, η κασσιτεροκόλληση και η συγκόλληση με σφυρηλάτηση.

Σήμερα, ξέρουμε ότι η μπρουντζοκόλληση και η κασσιτεροκόλληση ήταν γνωστές από την χάλκινη εποχή (7000 με 1000 π.Χ. περίπου), όπου η χρήση τους ήταν κυρίως για την κατασκευή κοσμημάτων και ειδών οικιακής χρήσης. Μπορούμε να πούμε ότι η τέχνη της κασσιτεροκόλλησης χρυσού που ήταν γνωστή στο Ούρ της Αρχαίας Μεσοποταμίας (Σουμερίας) 5000 χρόνια πριν, είναι ίδια με την τέχνη που χρησιμοποιείται σήμερα στην Ευρώπη.

Η συγκόλληση με σφυρηλάτηση, μια ξεχασμένη τεχνική σήμερα, θεωρείται ως ο πρόδρομος των παραδοσιακών μεθόδων συγκόλλησης. Παραδείγματα εφαρμογής της τεχνικής αυτής σε χυτό βρικόσκονται στα μουσεία σε όλο τον κόσμο, μερικά από τα οποία χρονολογούνται από τα μέσα της χάλκινης εποχής. Για την ίδια περίοδο υπάρχουν ακόμα ενδείξεις συγκόλλησης σιδήρου με σφυρηλάτηση, όπως προκύπτει από την ανακάλυψη ενός μικροσκοπικού σιδηρένιου ακουμπιστηριού κεφαλιού, βάρους μόλις 45 γραμμαρίων, στο εσωτερικό της χρυσής σαροφάγου του Τουταγχαμών που χρονολογείται από το 1350 π.Χ. Το αντικείμενο αυτό φαίνεται ότι έχει κατασκευαστεί από δύο ή περισσότερα κομμάτια σιδήρου, τα οποία συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με κάποια δυσκολία. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι σε πολλά μουσεία μπορεί κανείς να δει σήμερα αντικείμενα τα

οποία έχουν προφανώς συγκολληθεί και που χρονολογούνται από τους πρώτους αιώνες της εποχής του σιδήρου (1200 με 800 π.Χ.).

Ο πλαισιωτός σκελετός του Κολοσσού της Ρόδου, αποτελεί πιθανόν την πρώτη μεγάλη σιδηρένια κατασκευή. Το άγαλμα αυτό, το οποίο ανεγέρθηκε μεταξύ 304 και 292 π.Χ. είχε εσωτερικό σιδηρένιο σκελετό καλυμμένο από φύλλα μπρούτζου. Σύμφωνα με τον αρχαίο Έλληνα μαθηματικό Φίωνα, οι πάνω από 40 μέτρα μήκος σιδηρένιες ράβδοι, που ζύγιζαν περίπου 7,5 τόννους, φαίνεται ότι είχαν ενωθεί μεταξύ τους σε κατάλληλα σημεία με «σφυρηλάτηση χρησιμοποιώντας Κυκλώπεια δύναμη».

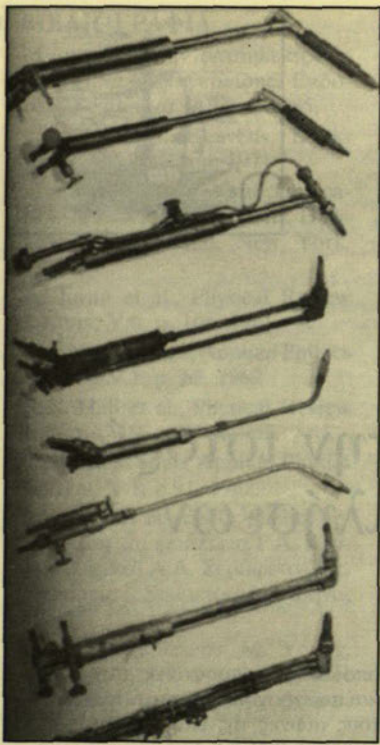
Πολλά θα μπορούσε να γράψει ακόμα κανείς για την πολύ ενδιαφέρουσα αυτή εποχή, αλλά επιφυλασσόμεστε να το κάνουμε σε μελλοντικό άρθρο. Στις επόμενες παραγράφους θα προσπαθήσουμε να δούμε σε συντομία τους κυριότερους σταθμούς της ιστορίας της σύγχρονης τεχνολογίας συγκολλήσεων.

2. Τα πρώτα βήματα

Η βελτίωση των μεθόδων παραγωγής σιδήρου από τον 16ο αιώνα, και ιδιαίτερα η ευρεία χρήση του χυτοσιδήρου, περιόρισαν την εφαρμογή της συγκόλλησης στους σιδηράδες και στους κοσμηματοποιούς. Άλλες μέθοδοι ένωσης, όπως με ήλους ή καρφιά, βρήκαν μεγάλη εφαρμογή σε νέες κατασκευές, όπως γέφυρες και τρένα. Η

Ο Β.Ι. Παπάζογλου είναι αναπλ. καθηγητής στο Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και Γενικός Γραμματέας ΕΛ.Ι.Τ.Σ.

Το άρθρο αυτό δημοσιεύθηκε στο τ. 58 της επιθεώρησης «ΤΕΧΝΙΚΑ», Ιανουάριος 1991.»



ανάπτυξη των σημερινών μεθόδων συγκόλλησης προέκυψε από την ανάγκη επίτευξης συνεχών ραφών σε μεγάλα χαλύβδινα ελάσματα. Είχε ήδη αποδειχθεί ότι οι ηλώσεις παρουσίαζαν σημαντικά μειονεκτήματα, ιδιαίτερα σε κλειστές κατασκευές όπως οι λέβητες. Οι μέθοδοι συγκόλλησης με αέριο (η γνωστή οξυγόνο-υδρογόνου), με δημιουργία βολταϊκού τόξου και με ηλεκτρική αντίσταση εφευρέθηκαν όλες στο τέλος του 19ου αιώνα.

Η φλόγα οξυγόνου-υδρογόνου αποτέλει ιστορικά την πρώτη φλόγα που ανέπτυσε υψηλές θερμοκρασίες και επομένως ήταν κατάλληλη για συγκολλήσεις. Η χρήση της όμως παρουσίαζε δύο σημαντικούς περιορισμούς: (α) λόγω της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας της δε μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για συγκόλληση μετάλλων πάχους μεγαλύτερου από 6mm, και (β) λόγω του οξειδωτικού χαρακτήρα της φλόγας ήταν πολύ δύσκολη η αποφυγή ψαθυρών (εύθραυστων) συγκολλήσεων.

Η κατάσταση αυτή ανετράπη με βάση δυο σημαντικές ανακαλύψεις. Η πρώτη έγινε το 1836 από τον Άγγλο χημικό Edmund Davy, ο οποίος παρασκεύασε στο εργαστήριό του για πρώτη φορά ακετυλένιο. Η δεύτερη έγινε από τον Γάλλο χημικό Louis Le Chatelier, ο οποίος σε ανακάλυψη που έκανε στην Ακαδημία Επιστημών της Γαλλίας το 1895 ανέφερε ότι η καύση

ίσιων όγκων οξυγόνου και ακετυλενίου παρήγαγε φλόγα θερμοκρασίας άνω των 3300 °C. Επί πλέον ο Le Chatelier έδωσε ιδιαίτερη σημασία στον μη οξειδωτικό χαρακτήρα της. Η φλόγα αυτή ήταν η θερμότερη γνωστή φλόγα της εποχής, ξεπερνώντας τη θερμοκρασία της φλόγας οξυγόνου-υδρογόνου κατά 980 °C περίπου.

Η βιομηχανική χρήση της νέας αυτής φλόγας καθυστέρησε επειδή δεν υπήρχε οικονομική διαδικασία παραγωγής ακετυλενίου και οξυγόνου. Το πρόβλημα λύθηκε το 1892, όταν ο Αμερικανός Thoms L. Wilson απέδειξε ότι ήταν δυνατή η οικονομική παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ανθρακικού ασβεστίου, από όπου μπορούσε πλέον να παραχθεί οικονομικά ακετυλένιο. Το ανθρακικό ασβέστιο αντιδρά με νερό για την παραγωγή ακετυλενίου, μια τεχνική η οποία ακόμα και σήμερα αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες μεθόδους παρασκευής ακετυλενίου. Από το 1898 πλέον, εργοστάσια παραγωγής ανθρακικού ασβεστίου είχαν ιδρυθεί τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α. Κάπως αργότερα αναπτύχθηκε και η δυνατότητα παραγωγής οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα με μία σειρά διαδικασιών συμπίεσης, γυροποίησης και απόσταξης του υγρού αέρα για την παρασκευή οξυγόνου υψηλής καθαρότητας, όπως το επέβαλλαν οι διαδικασίες συγκόλλησης και κοπής με φλόγα οξυγόνου-ακετυλενίου. Η πρώτη τέτοια βιομηχανία παρασκευής οξυγόνου ιδρύθηκε το 1902 στη Γερμανία από τον Dr. Carl von Linde.

Το επόμενο μεγάλο βήμα ήταν η συμπίεση του ακετυλενίου σε ασετόνη, κάτι που επιτεύχθηκε από τον Γάλλο Edmond Fouché, ο οποίος αργότερα όπως θα δούμε ανακάλυψε και τον πρώτο καυστήρα συγκόλλησης. Την τεχνολογία αυτή αγόρασε ο Αμερικανός Eugene Bournoville, ο οποίος την εξέλιξε περαιτέρω και κατορθωσε για πρώτη φορά, με τη βοήθεια αδρανών προσθετικών, να τοποθετήσει το διάλυμα ακετυλενίου-ασετόνης σε δοχεία ικανά να αντέξουν στην απαιτούμενη πίεση. Η σημασία της εξέλιξης αυτής είναι τεράστια, γιατί οδήγησε στο να καταστεί αυτή η μέθοδος συγκόλλησης φορητή, κάτι που της έδινε πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων ένωσης.

Κατά την ίδια χρονική περίοδο ο Fouché, σε συνεργασία με τον Picard, εργαζόταν σκληρά για να επιτύχει έναν τρόπο χρήσης της φλόγας οξυγόνου-ακετυλενίου για τήξη και συγκόλληση μετάλλων. Το 1900 παρουσιάστηκε ο πρώτος καυστήρας για συγκόλληση. Από τότε διάφοροι τεχνικοί έκαναν

σημαντικές προσπάθειες βελτίωσης του πρώτου αυτού καυστήρα, λύνοντας προβλήματα όπως η αναστροφή της φλόγας. Στο Σχήμα 1 φαίνονται μερικοί από τους πρώτους τέτοιους καυστήρες.

Προσπάθειες ανάπτυξης τεχνικών κοπής με φλόγα έγιναν ταυτόχρονα με εκείνες για συγκόλληση. Οι πρώτες αναφορές για κοπή με φλόγα έγιναν από τον Άγγλο Thomas Fletcher σε ανακινώσεις του τα έτη 1887 και 1888. Οι ανακινώσεις αυτές ήταν φαίνεται τόσο πειστικές, ώστε οδήγησαν έναν από τους κυριότερους Άγγλους κατασκευαστές θησαυροφυλακίων να πει ότι η μέθοδος αυτή θα χρησιμοποιηθεί μόνο από κακούργους ή εμπομένους πρέπει να απαγορευθεί. Η ιστορία δικαίωσε τον κατασκευαστή αυτό όταν, μετά την εμφάνιση των πρώτων καυστήρων κοπής το 1901, οι διαρρήκτες θησαυροφυλακίων ήταν από τους πρώτους χρήστες τους. Μεταξύ των σημαντικότερων συμβάντων ήταν η διάρρηξη του θησαυροφυλακίου των Αγγλικών ταχυδρομείων το έτος εκείνο στο Λονδίνο και αντίστοιχη διάρρηξη στο Αννόβερο Γερμανίας. Οι «καλοπληρομένες» αυτές δουλειές κοπής απέτελεσαν τη σημαντικότερη διαφήμιση για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου κοπής με φλόγα!

3. Το ηλεκτρικό τόξο

Έχουν περάσει σχεδόν δύο αιώνες από μια ημέρα του έτους 1801, όταν ο Άγγλος φυσικός Sir Humphrey Davy ανακάλυψε έκπληκτος ότι είχε επιτύχει τη δημιουργία του πρώτου ηλεκτρικού (βολταϊκού) τόξου. Σε ανακίνωση που έκανε στο Royal Institute της Αγγλίας το 1808, περιέγραψε το πείραμά του ως εξής: «Διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα σε δύο ηλεκτρόδια από λευκόχρυσο που ευρίσκοντο σε ατμόσφαιρα αερίου αζώτου, δημιουργήθηκε μία λευκή φλόγα. Η φλόγα αυτή ήταν η λαμπρότερη που είχα παρατηρήσει ποτέ, έχοντας μικρός μεταξύ μισής και μιας και ενός τετάρτου ίντσας». Με βάση την ανακάλυψη αυτή, ο Davy θεωρείται από πολλούς ως ο πρώτος συγκολλητής.

Πριν λίγα χρόνια, όμως, ανακαλύφθηκε μία επιστολή γραμμένη το 1782 από τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου του Goettingen Γερμανίας G.Ch. Lichtenberg και απευθυνόμενη στον φίλο του J.A.H. Reimarius, στην οποία αναφέρεται ότι ο πρώτος έλειωσε το ελατήριο ενός ρολογιού και τη λελίδα ενός σουγιά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε

τιμήματα του ελατηρίου και του σουριγιά ενώθηκαν (συγκολλήθηκαν).

Το 1881 ο Γάλλος χημικός Henry Moissan έκανε την πρώτη χρήση ηλεκτρικού τόξου μεταξύ ηλεκτροδίων άνθρακα για τήξη μετάλλων. Βασίζόμενος στην εργασία αυτή ο Auguste de Meritens κατορθώσε λίγο αργότερα να επιτύχει την πρώτη συγκόλληση με τόξο. Χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια άνθρακα συγκόλλησε τις πλάκες μολύβδου μπαταρίας, συνδέοντας τις πλάκες μολύβδου με τον θετικό πόλο πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και το ηλεκτρόδιο άνθρακα με τον αρνητικό πόλο. Φαίνεται όμως ότι δεν έδωσε ιδιαίτερη σημασία στο επίτευγμά του αυτό, δεδομένου ότι δεν υπάρχε δημοσιευμένη εργασία του.

Δύο άλλοι μηχανικοί, οι N.V. Bernado και S. Olszewski, θεώρησαν την τεχνική αυτή πολύ σημαντική. Εργαζόμενοι για τέσσερα περίπου χρόνια μαζί, πέτυχαν να την αναπτύξουν σε τέτοιο βαθμό, ώστε το 1885 τους απενεμήθη το Αγγλικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 12984 για μία μέθοδο συγκόλλησης με χρήση ηλεκτροδίων άνθρακα και πηγής ηλεκτρικού ρεύματος. Με τη μέθοδο αυτή η τήξη επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικού τόξου μεταξύ του προς συγκόλληση αντικειμένου και του ηλεκτροδίου, με προσθήκη μετάλλου από βοηθητική γάβδο (ηλεκτρόδιο). Την ίδια χρονιά, ο Bernado έκανε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στην Πετρούπολη Ρωσίας, η οποία του εγκρίθηκε το 1887. Στο Σχήμα 2, παρουσιάζεται η πρώτη συσκευή συγκόλλησης του Bernado.

Το 1892 ο Ρώσος μηχανικός N.G. Slavianoff σε άρθρο που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *Journal of the English Iron and Steel Institute*, πρότεινε τη χρήση μεταλλικών ηλεκτροδίων στη θέση εκείνων από άνθρακα, βάζοντας έτσι τις βάσεις μιας από τις πλέον χρησιμοποιούμενες σήμερα μεθόδους συγκόλλησης. Την ίδια εποχή, και εργαζόμενος ανεξάρτητα, ο Αμερικανός μηχανικός Charles A. Coffin, ο οποίος αργότερα διητέλεσε πρόεδρος της General Electric Co., ανέπτυξε μία παρόμοια μέθοδο για την οποία έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις Η.Π.Α. το 1889.

Η μέθοδος συγκόλλησης Bernado, όπως ονομαζόταν, άρχισε πολύ γρήγορα να χρησιμοποιείται τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α. Η ευρεία χρήση και αποδοχή της, όμως, συνάντησε δυσκολίες επειδή ήταν σχεδόν αδύνατο να αποφευχθούν ψαθυρές συγκολλήσεις, λόγω του άνθρακα που αναγκαστικά απορροφάτο από το μέταλλο συγκόλλησης. Αλλά και η χρήση μεταλλικών ηλεκτροδίων είχε προβλήματα, τόσο λόγω της έλλειψης κατάλληλων

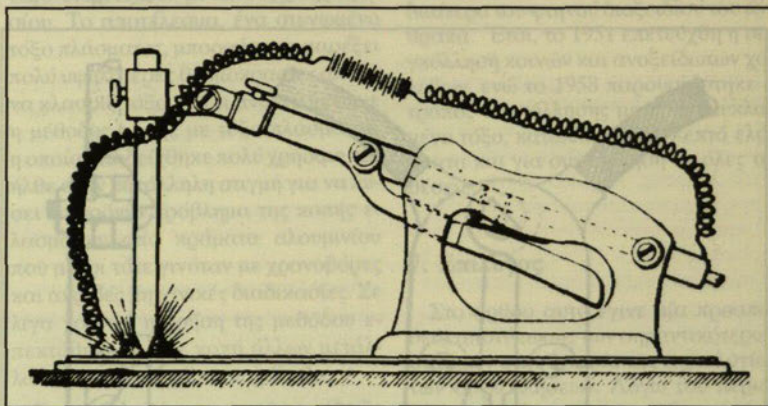
ηλεκτροδίων, όσο και λόγω προβλημάτων που είχαν οι ηλεκτρικές πηγές ενέργειας της εποχής.

Το πρόβλημα των γυμνών μεταλλικών ηλεκτροδίων άρχισε να βρῖσκει τη λύση του από το 1907, όταν ο Σουηδός μηχανικός Oscar Kjellberg έκανε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο. Στα πρώτα αυτά ηλεκτρόδια, τα οποία αναπτύχθηκαν περαιτέρω μετά το 1910, η επένδυση ήταν λεπτή και χρῆσιμπε περισσότερο ως σταθεροποιητής του ηλεκτρικού τόξου παρά ως μέσο προστασίας του μετάλλου συγκόλλησης. Οι συγκολλήσεις που παρήγοντο είχαν πρακτικά τις ίδιες ιδιότητες με εκείνες με χρήση γυμνών μεταλλικών ηλεκτροδίων.

Το πρώτο γενικά αποδεκτό ηλεκτρόδιο με βαρεία επένδυση, αναπτύχθηκε στην Αγγλία από τον κατασκευαστή πιάνων Strohmenger, στον οποίο απε-

στις δεκαετίες του 1880 και 1890, η αρχική ιδέα του J.P. Joule, σχετικά με την θερμότητα που αναπαράγεται κατά τη διάβαση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από μια αντίσταση (η γνωστή σχέση $H = I^2 \cdot R$), οδήγησε σε εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Μία από αυτές είχε σχέση με τη συγκόλληση, η οποία αναπτύχθηκε από τον Καθηγητή Elihu Thomson, που θεωρείται δικαίως ως ο πατέρας της συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση.

Κατά τη διάρκεια πειραμάτων που έκανε ο Thomson το 1877 για τους σπουδαστές του Franklin Institute, χρησιμοποίησε ένα απλό πηνίο για να αυξήσει την ένταση ρεύματος που προερχόταν από μία μπαταρία, με σκοπό τη φόρτιση πυκνωτών μέσω εκκένωσης υψηλής έντασης. Σε μία από τις επιδείξεις αυτές, σκέφτηκε ότι θα ήταν ενδιαφέρον, τόσο για τον ίδιο όσο και



νεμήθη το 1913 δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις Η.Π.Α. Η επένδυση του ηλεκτροδίου αυτού συνίστατο σε χάρτι αμάντων με συνδετικό από πυριτικό νάτριο, ήταν δε το πρώτο ηλεκτρόδιο που οδηγούσε σε «καθαρές» συγκολλήσεις. Από τότε η εξέλιξη στον τομέα των επενδεδυμένων ηλεκτροδίων ήταν ραγδαία, κάτι που οδήγησε στην ευρεία αποδοχή της μεθόδου αυτής της συγκόλλησης. Σήμερα υπάρχουν πολυάριθμοι τύποι ηλεκτροδίων για συγκόλληση μετάλλων. Η επιλογή του κατάλληλου ηλεκτροδίου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή είναι συνάρτηση του είδους του προς συγκόλληση μετάλλου, της θέσης συγκόλλησης, της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής πηγής ενέργειας, κ.λπ.

4. Συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση

Με την ανάπτυξη και ευρεία διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας

για το ακροατήριό του, να δουν τι θα γίνει αν η όλη διαδικασία αναστρέφεται, αν δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο διοχετεύεται από τους πυκνωτές προς το πηνίο. Στη συγκεκριμένη διάταξη οι περιελίξεις του δευτερεύοντος πηνίου ήταν κατασκευασμένες από πολύ λεπτά σύρματα, ενώ οι πρωτεύουσες περιελίξεις από παχύτερο σύρμα με τα άκρα του σε επαφή. Το αποτέλεσμα του πειράματος αυτού ήταν η συγκόλληση των άκρων του πρωτεύοντος.

Η ανακάλυψη της δυνατότητας συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση οδήγησε τον Thomson και τους συνεργάτες του σε συνεχείς προσπάθειες εξέλιξης της μεθόδου, έχοντας ως αποτέλεσμα την έκδοση 150 περίπου διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Το Σχήμα 3 δείχνει την πρώτη πρακτική συσκευή μηχανικής συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση, όπως αυτή παρουσιάζεται στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που δόθηκε στον Thomson το 1886.

Η ευρεία χρήση όμως της μεθόδου αυτής συγκόλλησης άργησε λόγω προβλημάτων που δημιουργήθηκαν με τα διάφορα διπλώματα ευρεσιτεχνίας που είχαν εκδοθεί και των δικαστικών αγώνων που δόθηκαν. Το τελευταίο εμπόδιο υπερπηδήθηκε με μία δικαστική απόφαση του 1920, σύμφωνα με την οποία επιτρεπόταν πλέον η ελεύθερη χρήση της μεθόδου στις Η.Π.Α. Τότε ο Henry Ford, ο οποίος ήταν ένας από τους πλέον ένθερμους υποστηρικτές της τεχνολογίας των συγκολλήσεων, εισήγαγε μεγάλο αριθμό συσκευών συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση στα εργοστάσιά του, δίνοντας σημαντική ώθηση στην τεχνολογία αυτή. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι το έτος 1928 είχαν εγκατασταθεί στα εργοστάσια της Ford συνολικά πάνω από 885 τέτοιες συσκευές συγκόλλησης, τις οποίες χειρίζονταν περί τους 1500 συγκολλητές.

και με ηλεκτρική αντίσταση), με σκοπό την αποδοτικότερη χρησιμοποίησή τους στην παραγωγική διαδικασία. Αν και πολλές από τις προσπάθειες αυτές στέφθηκαν από επιτυχία, οι περισσότερες τέθηκαν σε εφαρμογή κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, όταν παρουσιάστηκε έλλειψη εργατικού δυναμικού.

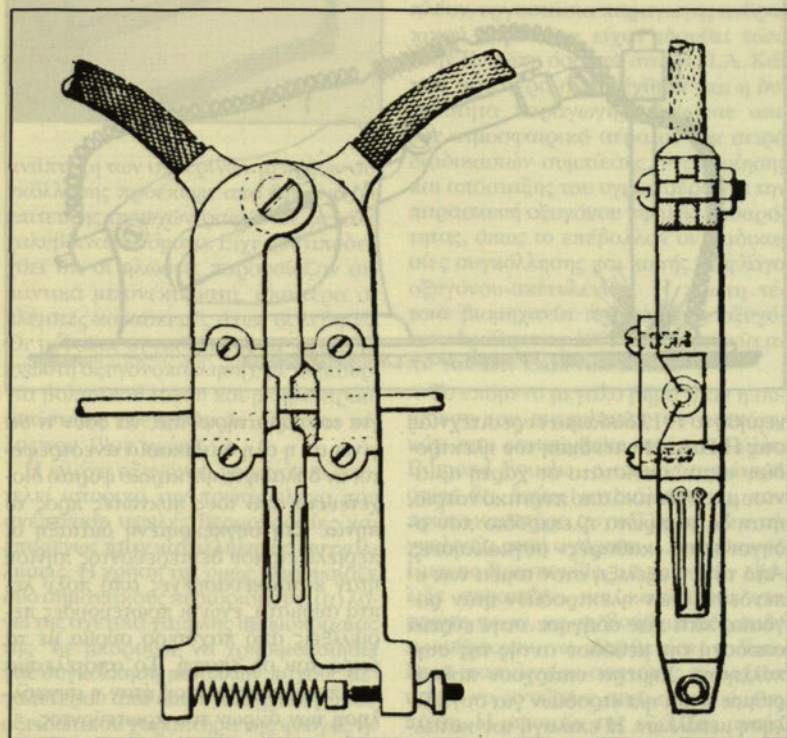
Πρέπει να σημειωθεί, βέβαια, ότι η μέθοδος συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση ήταν από την αρχή μια μέθοδος που άρμοζε σε συγκολλήσεις μαζικής παραγωγής λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της, τα οποία περιλάμβαναν την ανάγκη ακρίβειας στον έλεγχο της εξωτερικά εφαρμοζόμενης πίεσης και της έντασης ρεύματος.

Από την άλλη μεριά, οι προσπάθειες αυτοματοποίησης της μεθόδου συγκόλλησης και κοπής με φλόγα οξυγόνου-ακετυλενίου, μέθοδοι κατ' εξοχή κατάλληλες για επισκευές, οδήγησαν μία

Αν και οι αρχικές προσπάθειες ήταν προς την κατεύθυνση μηχανοποίησης της κίνησης του καυστήρα, η ιδέα αυτή εγκαταλείφθηκε γρήγορα υπέρ της κίνησης του προς συγκόλληση αντικειμένου κάτω από τον καυστήρα.

Για την επίτευξη μηχανοποίησης σε συγκολλήσεις με ηλεκτρικό τόξο, μερικές από τις πρώτες προσπάθειες έκαναν χρήση γυμνού ή ελαφρά επενδεδυμένου σύρματος. Ο έλεγχος του μήκους του τόξου γινόταν με τη βοήθεια ηλεκτρικών και μηχανικών συσκευών, ως συνάρτησης της τάσης του τόξου. Η προθεορία του σύρματος επιτυγχάντο με διάφορους τρόπους, όπως με ηλεκτρομαγνητικές κασάνιες. Λόγω όμως της γενικά πτωχής ποιότητας των συγκολλήσεων με γυμνό σύρμα, οι μηχανοποιημένες συσκευές που αναπτύχθηκαν δε βρήκαν ευρεία χρήση. Μετά την αναγνώριση της σημασίας της προστασίας του μετάλλου συγκόλλησης από τον ατμοσφαιρικό αέρα και την ανάπτυξη των επενδεδυμένων ηλεκτροδίων, οι προσπάθειες στράφηκαν, χωρίς όμως σημαντικά αποτελέσματα, προς τη μηχανοποίηση της μεθόδου συγκόλλησης με τόξο και επενδεδυμένα ηλεκτρόδια.

Η σημαντικότερη εξέλιξη στον τομέα της αυτοματοποίησης των μεθόδων συγκόλλησης την εποχή εκείνη, έγινε το 1935 με την ανακάλυψη της μεθόδου συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο, η οποία ακόμα και σήμερα έχει πολύ ευρεία χρήση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν αυτόματο τροφοδότη γυμνού σύρματος, το οποίο οδηγείται στο τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης που είναι βυθισμένο κάτω από ένα στρώμα κοκκώδους συλλιπάσματος. Το συλλίπασμα προστατεύει την περιοχή γύρω από το μέταλλο συγκόλλησης έναντι οξείδωσης και μόλυνσης από την ατμόσφαιρα, βοηθάει στη σταθεροποίηση του τόξου, και συχνά περιέχει στοιχεία που χρωματοποιούνται με το μέταλλο συγκόλλησης, για επίτευξη βελτιωμένων ιδιοτήτων. Μεγάλη ώθηση στη χρήση της νέας αυτής μεθόδου συγκόλλησης έδωσε η ναυπηγική βιομηχανία.



5. Εισαγωγή αυτόματων συστημάτων

Στη δεκαετία του 1930 συνέβη μία σιωπηρή επανάσταση στην περιοχή της τεχνολογίας των συγκολλήσεων. Σημαντικές προσπάθειες έγιναν την εποχή εκείνη προς την κατεύθυνση της αυτοματοποίησης (μηχανοποίησης ακριβέστερα) όλων των μέχρι τότε γνωστών μεθόδων συγκόλλησης (με φλόγα οξυγόνου-ακετυλενίου, με ηλεκτρικό τόξο

εταίρεια η οποία ήταν από τις πρωτοπόρες της εποχής, την Davis - Bournville Co., σε χρεωκοπία. Το Σχήμα 4, δείχνει μία από τις πρώτες αυτόματες αυτές μηχανές που ανέπτυξε η εταιρεία το 1911, που δεν ήταν τίποτε άλλο από ένα παντογράφο 2 προς 1 συνδεδεμένο με ένα καυστήρα φλογοκοπής. Η ίδια ιδέα χρησιμοποιήθηκε και για την ανάπτυξη αντίστοιχων συστημάτων συγκόλλησης με φλόγα, τα οποία χρησιμοποιούσαν πολλαπλούς καυστήρες.

6. Συγκολλήσεις με προστασία αερίου

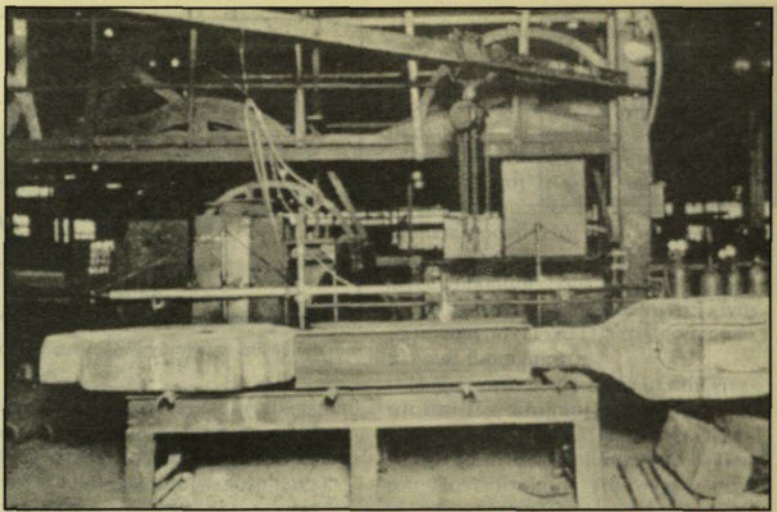
Οι ανάγκες που παρουσιάστηκαν κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο για συγκόλληση και άλλων μετάλλων, ιδιαίτερα χρωμάτων μαγνησίου και αλουμινίου, οδήγησαν στην ανακάλυψη τελείως νέων μεθόδων συγκόλλησης, αυτών με προστασία αερίου. Τα αέρια που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται στις μεθόδους αυτές (Αργό, Ήλιο,

Διοξειδίο του άνθρακα) ήταν γνωστά από τον 17ο και 18ο αιώνα. Στις αρχές του 20ου αιώνα είχαν μάλιστα γίνει αρκετές επιτυχείς προσπάθειες χρησιμοποίησής τους σε μεθόδους συγκόλλησης, η χρήση τους όμως εγκαταλείφθηκε λόγω του υψηλού κόστους των αερίων αυτών.

Το 1940 ανατέθηκε στο μηχανικό συγκολλήσεων Russel Meredith της εταιρείας Northrop Aircraft, Inc. το πρόγραμμα ανάπτυξης μιας μεθόδου συγκόλλησης για την παραγωγή αεροπλάνων από κράματα μαγνησίου. Βασισμένος σε προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες, ο Meredith ανέπτυξε μία μέθοδο συγκόλλησης τόξου στην οποία το τόξο δημιουργείται μεταξύ του προς συγκόλληση αντικειμένου και ενός μη αναλίσκόμενου ηλεκτροδίου από βολφράμιο μέσα σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου, του Ηλίου. Τον Οκτώβριο του 1941 υπέβαλε μάλιστα αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη μέθοδο αυτή, την οποία ονόμασε «Heliarc», και το οποίο του απονεμήθηκε το Φεβρουάριο του 1942. Η μέθοδος αυτή αργότερα ονομάστηκε TIG (Tungsten Inert Gas).

Οι πρώτες εφαρμογές της μεθόδου ήταν σε συγκόλληση κραμάτων μαγνησίου με χρήση περιστροφικών πηγών ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος. Αργότερα εισήχθη πρώτα η χρήση μηχανών συνεχούς ρεύματος με υπέρθεση υψηλού ρεύματος ιονισμού, και μετά πηγών εναλλασσόμενου ρεύματος, οπότε κατέστη δυνατή η συγκόλληση και κραμάτων αλουμινίου. Πολύ σύντομα, νεότερες εξελίξεις στην κατασκευή πηγών ηλεκτρικής ενέργειας κατέστησαν σαφές ότι η νέα αυτή μέθοδος συγκόλλησης ήταν κατάλληλη και για συγκόλληση άλλων υλικών, όπως ανοξείδωτου χάλυβα, χάλυβου, μικροκραμοποιημένων χάλυβων, νικελίου, τιτανίου, μολυβδαινίου, κ.λπ.

Πριν όμως η νέα αυτή μέθοδος φτάσει το ξενιθί της, έγινε η αιτία ανάπτυξης μιας ακόμα μεθόδου, της συγκόλλησης και κοπής με τόξο πλάσματος. Το πλάσμα, μία ηλεκτρικά ουδέτερη στήλη ιονισμένου αερίου, ήταν γνωστό από την εποχή της ανακάλυψης του ηλεκτρισμού, για πολλά όμως χρόνια η γνώση αυτή παρέμενε κλεισμένη στα διάφορα ερευνητικά εργαστήρια. Το 1953 ο Αμερικανός μηχανικός Robert M. Gage, κατά τη διάρκεια πειραμάτων τήξης τιτανίου, παρατήρησε ότι η συγκεντρωμένη θερμότητα που περιεί-



χε ένα τόξο σε αδρανή ατμόσφαιρα μπορούσε να ελεγχθεί καλύτερα αν το τόξο διοχετεύετο μέσω ενός ακροφυσίου. Το αποτέλεσμα, ένα στενωμένο τόξο πλάσματος, μπορούσε να παρέξει πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από ένα κλασικό τόξο. Έτσι ανακαλύφθηκε η μέθοδος κοπής με τόξο πλάσματος, η οποία αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη και ήλθε στην κατάλληλη στιγμή για να λύσει το χρόνιο πρόβλημα της κοπής ελασμάτων από κράματα αλουμινίου που μέχρι τότε γινόταν με χρονοβόρες και ακριβές μηχανικές διαδικασίες. Σε λίγα χρόνια, η χρήση της μεθόδου επεκτάθηκε και σε κοπή άλλων μετάλλων, όπως ανοξείδωτου χάλυβα.

Εν τω μεταξύ, η εμπειρία απέδειξε ότι με τη μέθοδο TIG δεν ήταν δυνατή η συγκόλληση κραμάτων μαγνησίου και αλουμινίου σε πάχη μεγαλύτερα των 12 mm χωρίς προθέρμανση, μία διαδικασία όχι μόνο ακριβή αλλά και σχεδόν αδύνατη στην περίπτωση τεμαχίων μεγάλων διαστάσεων. Το πρόβλημα κλήθηκε να το λύσει η ερευνητική ομάδα του Battelle Memorial Institute. Μετά από προσπάθειες τριών ετών, τον Οκτώβριο του 1948 ο Jesse S. Sohn σε μία ομιλία τον στο ετήσιο συνέδριο της American Welding Society ανακοίνωσε μία νέα μέθοδο συγκόλλησης τόξου με χρήση μεταλλικού αναλίσκόμενου σίματος και προστασία Αργού. Η μέθοδος αυτή, η οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκε για συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου, ήταν ο πρόγονος της σημερινής μεθόδου MIG/MAG. Σε σύντομο χρονικό διάστημα αναπτύχθηκαν διάφορες παραλλαγές που επέξτειναν τη χρήση της, τόσο μέσω βελ-

τιωμένων πηγών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και μέσω της χρήσης εναλλακτικών αερίων προστασίας, ιδιαίτερα του φηνού διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, το 1951 επετεύχθη η συγκόλληση κοινών και ανοξείδωτων χάλυβων, ενώ το 1958 παρουσιάστηκε ο τρόπος συγκόλλησης με βραχυκυκλωμένο τόξο, κατάλληλος για λεπτά ελάσματα και για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις.

7. Επίλογος

Στο άρθρο αυτό έγινε μία προσπάθεια αποτύπωσης των σημαντικότερων σταθμών στην ιστορία της τεχνολογίας των συγκολλήσεων. Λόγω του περιορισμένου χώρου, η ιστορική αυτή αναδρομή δεν έθιξε καθόλου τις νεότερες μεθόδους συγκόλλησης, όπως με δέσμη ηλεκτρονίων, με ακτίνες λέιζερ, με διάχυση, με εκρηκτικά, κ.λπ., για τις οποίες επιφυλασσομάστε να επανέλθουμε σε μελλοντικό άρθρο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burstall, A.F., *A History of Mechanical Engineering*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1965.
2. Simonson, R.D., *The History of Welding*. Monticello Books, Inc., Morton Grove, Illinois, 1969.
3. Phillips, A.L., (ed.), *Current Welding Processes*. American Welding Society, Miami, Florida, 1964.
4. Phillips, A.L., (ed.), *Modern Joining Processes*. American Welding Society, Miami, Florida, 1966.