

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΑΕΡΙΩΝ

- Προστατευτικά αέρια
- Τυποποίηση συρμάτων και ράβδων ηλεκτροσυγκολλήσεως
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις MIG/MAG
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις FCAW
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις TIG
- Ρομποτική των ηλεκτροσυγκολλήσεων

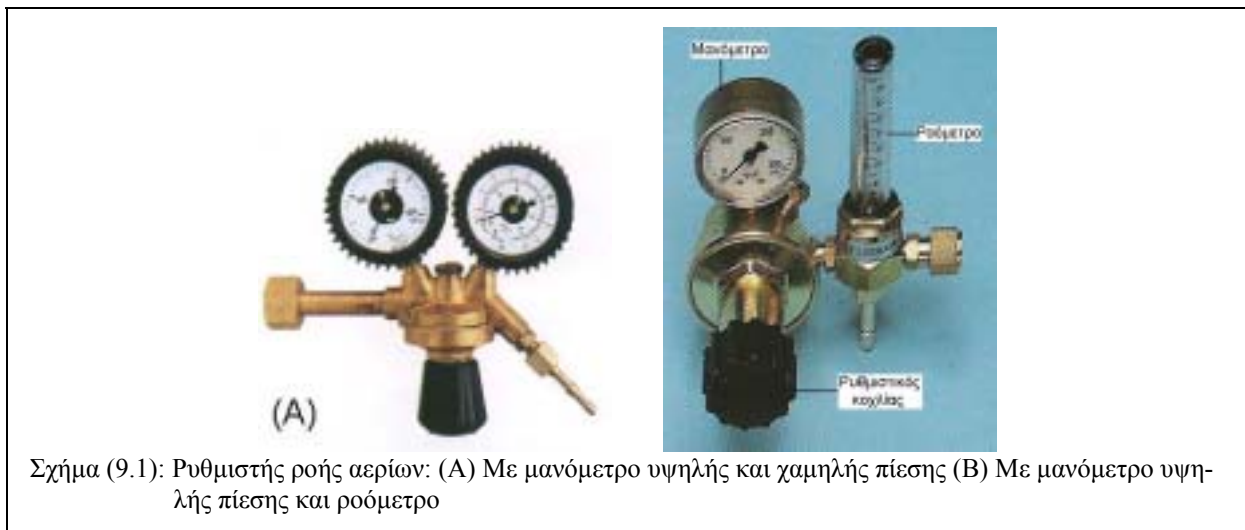
9. ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΑΕΡΙΩΝ

Επιδιωκόμενοι στόχοι:

- Να μπορούν να αναφέρουν οι μαθητές τα κοινά χαρακτηριστικά των ηλεκτροσυγκολλήσεων σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου.
- Να αντιλαμβάνονται τον τρόπο που επενεργούν τα διάφορα είδη προστατευτικών αερίων.
- Να γνωρίζουν τα αναλώσιμα υλικά που χρησιμοποιούνται και την τυποποίησή τους.
- Να μπορούν να εκτελούν συγκολλήσεις MIG/MAG σε χάλυβα και αλουμίνιο.
- Να μπορούν εκτελούν ηλεκτροσυγκολλήσεις FCAW και να εντοπίσουν τις διαφορές μεταξύ της FCAW και της MIG/MAG.
- Να έρθουν σε επαφή με την ηλεκτροσυγκόλληση TIG, εκτελώντας απλές συγκολλήσεις αυτού του τύπου.

9-1. Τα προστατευτικά αέρια

Ο πρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται για την προστασία με αέριο περιλαμβάνει τη φιάλη με το αέριο και ένα ρυθμιστή ροής της παροχής του αερίου. Τα προστατευτικά αέρια, στη συνέχεια, για συντομία, θα τα αποκαλούμε και με τον όρο «αέρια».

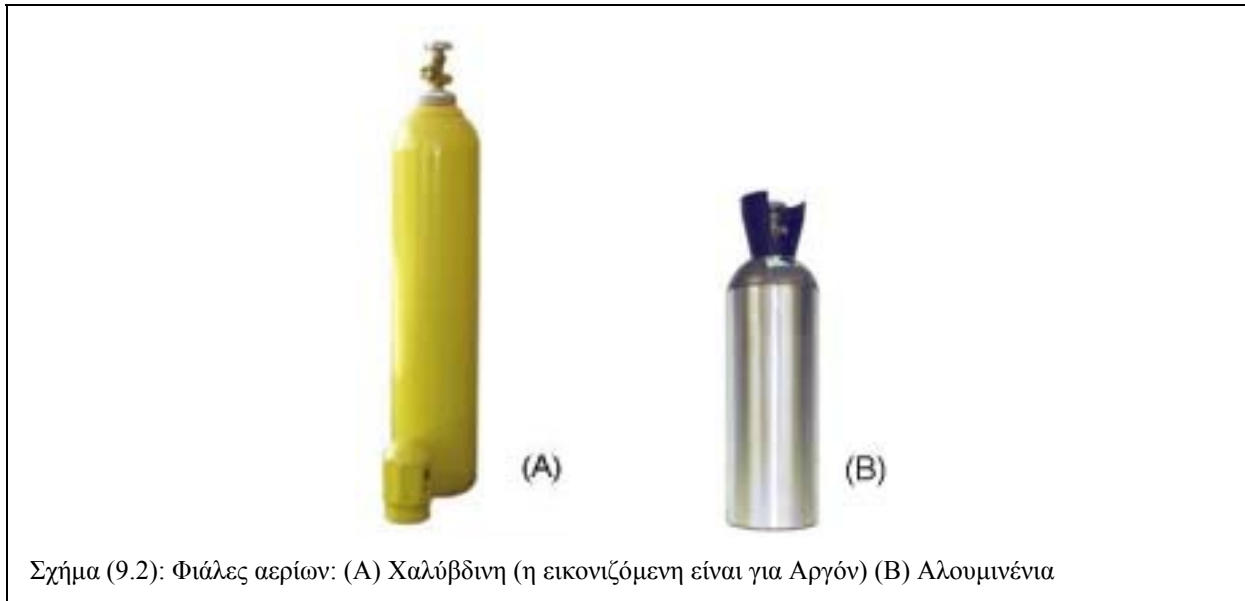


Σχήμα (9.1): Ρυθμιστής ροής αερίων: (Α) Με μανόμετρο υψηλής και χαμηλής πίεσης (Β) Με μανόμετρο υψηλής πίεσης και ροόμετρο

Τα αδρανή αέρια είναι το αργόν (Ar) και το ήλιο (He). Τα ενεργά αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) το οξυγόνο (O₂) και το σπινιότερα το άζωτο. Τα πλέον συνηθισμένα προστατευτικά αέρια είναι το αργόν και το CO₂. Το CO₂ είναι ενεργό, επειδή σε μεγάλες θερμοκρασίες διασπάται σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και σε οξυγόνο¹. Ενεργά αέρια είναι, επίσης, και οι συνδυασμοί αδρανών και ενεργών αερίων. Πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση αερίων με 75%-80% αργόν και 20-25% CO₂.

Η κύρια αποστολή των αερίων είναι να προστατεύουν τη συγκόλληση από την ατμόσφαιρα, δημιουργώντας γύρω από αυτήν ένα προστατευτικό περιβάλλον. Δηλαδή κάνουν ό,τι και η πάστα στα επενδυμένα ηλεκτρόδια.

¹ Ελάχιστο είναι το ποσοστό του CO₂ που διασπάται, γι' αυτό το CO είναι σε ασήμαντη, ακίνδυνη περιεκτικότητα.



Σχήμα (9.2): Φιάλες αερίων: (A) Χαλύβδινη (η εικονιζόμενη είναι για Αργόν) (B) Αλουμινένια

Επίσης, τα αέρια **σταθεροποιούν το τόξο και ρυθμίζουν το βάθος διείσδυσης**. Όπως αναπτύχθηκε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, αν θέλουμε βαθιά διείσδυση, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια κυτταρίνης και, αν θέλουμε πολύ σταθερό (μαλακό) τόξο, χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια ρουτιλίου. Δηλαδή, παρόλο που ο μεταλλικός πυρήνας και στις δύο περιπτώσεις είναι από το ίδιο υλικό, η αλλαγή του είδους της επένδυσης διαφοροποιεί τελείως τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκόλλησης. Κάτι ανάλογο γίνεται και με τα προστατευτικά αέρια. Διατηρώντας δηλαδή την ίδια ποιότητα σύρματος και αλλάζοντας μόνο το προστατευτικό αέριο, μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης. Τα αέρια επηρεάζουν τη συγκόλληση ως εξής:

- Το **CO₂** προκαλεί **βαθιά διείσδυση** και επιτρέπει τη **συγκόλληση σκουριασμένων επιφανειών**. Θα πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι έχει πολύ **χαμηλό κόστος**.
- Το **αργόν (Ar)** **περιορίζει στο ελάχιστο τα πιτσιλίσματα** και, έτσι, επιτρέπει στον ηλεκτροσυγκολλητή να έχει **μεγαλύτερη παραγωγικότητα**.
- Η **προσθήκη CO₂** στο αργόν **σταθεροποιεί το τόξο**.
- Η προσθήκη **μικρού ποσοστού οξυγόνου** στο αργόν (1-2%), επίσης, **σταθεροποιεί το τόξο και χρησιμοποιείται κυρίως στους ανοξειδωτους χάλυβες**.
- Η προσθήκη **ηλίου** στο αργόν **αυξάνει τη θερμοκρασία του τόξου και βελτιώνει τη διείσδυση**.

9-2. Η επίδραση του CO₂ και του οξυγόνου

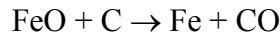
Το CO₂ και το οξυγόνο είναι ενεργά αέρια και προκαλούν χημικές αντιδράσεις. Για να κάνει ο ηλεκτροσυγκολλητής τη σωστή επιλογή του αερίου, πρέπει να γνωρίζει ποιες είναι αυτές οι αντιδράσεις και ποιες οι συνέπειές τους. Το CO₂, όπως ήδη αναφέρθηκε, διασπάται από το ηλεκτρικό τόξο σε CO και O. Η χημική αντίδραση, που λαμβάνει χώρα μεταξύ του CO και του άνθρακα που περιέχεται στο χάλυβα, είναι η:



Η αντίδραση αυτή, **όταν π(C) > 0,12%**, συμβαίνει από τα αριστερά προς τα δεξιά και **δημιουργεί μικρή απανθράκωση του χάλυβα** στο σημείο της ραφής, πράγμα μάλλον ευπρόσδεκτο, επειδή με αυτόν τον τρόπο η ραφή θα παρουσίαζε μικρότερη ευθραυστότητα. Όταν όμως ο χάλυβας έχει μικρή περιεκτικότητα άνθρακα, δηλαδή π(C) < 0,12%, η αντίδραση συμβαίνει από

τα δεξιά προς τα αριστερά και προκαλεί **ενανθράκωση της ραφής**, που είναι **ιδιαίτερα επικίνδυνη στους ανοξειδωτους χάλυβες**, λόγω του σχηματισμού καρβιδίων του χρωμίου. Αυτά συγκεντρώνονται στα όρια των κόκκων και κάνουν τη ραφή εύθραυστη.

Το οξυγόνο, που προέρχεται από τη διάσπαση του CO₂, αντιδρά με το σίδηρο και σχηματίζει οξειδίο του σιδήρου (FeO). Αυτό είναι στερεό και εγκλωβίζεται στη μάζα του μετάλλου. Λίγο αργότερα αντιδρά με τον άνθρακα και έχουμε:



Το CO, που σχηματίζεται με αυτή την αντίδραση, δεν μπορεί να διαφύγει από την ημιστερεοποιημένη μάζα του μετάλλου **και δημιουργεί στη ραφή πόρους και εσωτερικές τάσεις**. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την **προσθήκη αποξειδωτικών** στο σύρμα ηλεκτροσυγκόλλησης, δηλαδή στοιχείων που έχουν μεγαλύτερη χημική συγγένεια με το οξυγόνο από ό,τι ο σίδηρος και ο άνθρακας. Ως αποξειδωτικά, συνήθως, χρησιμοποιούνται το μαγγάνιο (Mn), το πυρίτιο (Si) και, σπανιότερα, το αλουμίνιο (Al). Τα στοιχεία αυτά δημιουργούν σταθερά οξείδια τα οποία δε διασπώνται από τον άνθρακα και, έτσι, δεσμεύουν μόνιμα το οξυγόνο.

Λόγω του προβλήματος της ενανθράκωσης της ραφής, **κατά τη συγκόλληση των ανοξειδωτων χάλυβων, ως σταθεροποιητής του τόξου χρησιμοποιείται το οξυγόνο**, σε πολύ μικρό ποσοστό, συνήθως όχι άνω του 3%, δηλαδή το αέριο είναι Ar+1-3%O₂. Αν στο σύρμα υπάρχουν αποξειδωτικά (Mn, Si, Al), τότε αυτά δεσμεύουν τη μικρή αυτή ποσότητα οξυγόνου και έτσι δε δημιουργείται απανθράκωση στη ραφή. Ορισμένοι κατασκευαστές αναφέρουν ως εναλλακτική λύση και την Ar+3%CO₂.

Παράδειγμα (από μία πραγματική εφαρμογή): Σε ένα σύρμα με χημική σύνθεση π(C)=0,06%, π(Si)=0,62%, π(Mn)=0,7%, μετά τη συγκόλληση παρατηρήθηκαν στο εναποτιθέμενο μέταλλο οι περιεκτικότητες του παρακάτω πίνακα (9-1):

Πίνακας (9-1): Εναποτιθέμενο μέταλλο από σύρμα με σύνθεση π(C)=0,06%, π(Si)=0,62%, π(Mn)=0,7%				
	Αέριο	Εναποτιθέμενο μέταλλο %		
		π(C)	π(Si)	π(Mn)
Αρχική κατάσταση	-	0,06	0,62	0,70
Συγκόλληση με:	Καθαρό CO ₂	0,13	0,46	0,51
	Αργόν + 20% CO ₂	0,10	0,56	0,62
	Αργόν + 1% οξυγόνο	0,06	0,60	0,65

9-3. Ο συμβολισμός και οι εφαρμογές των προστατευτικών αερίων

Αν και τα αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη MIG/MAG είναι πολλά, αυτά που έχουν ευρεία χρήση είναι τα εξής τέσσερα: Αργόν (Ar), Ήλιον (He), CO₂, Ar + 20-25% CO₂ και Ar + 1-3% O₂. Το καθένα από τα μείγματα έχει συγκεκριμένο συμβολισμό, όπως φαίνεται και στον πίνακα (9-2). Το ISO-14175 περιγράφει όλα γενικά τα αέρια των ηλεκτροσυγκολλήσεων και με βάση αυτό, με το "I" συμβολίζονται τα αδρανή αέρια, με το "C" τα μείγματα του CO₂ και με το "M" τα ενεργά μείγματα που βασίζονται στο Ar. Στο ISO-14341, το οποίο αναφέ-

Πίνακας (9-2): Συμβολισμός των προστατευτικών αερίων		
Αέριο	ISO-14175	ISO-14341
Ar	I1	-
He	I2	-
Ar+He	I3	-
CO ₂	C1	C
Ar+1-3%O ₂	M13	A
Ar+20-25% CO ₂	M21	M

ρεται στα σύρματα ηλεκτροσυγκόλλησης, οι συμβολισμοί των C1, M13, M21 απλοποιούνται αντίστοιχα σε C, A, M και με αυτά τα σύμβολα υπεισέρχονται στην περιγραφή των συρμάτων. Τα αέρια Ar, He και Ar+He (δηλαδή τα I1, I2, I3) δε χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση χαλύβων με MIG/MAG.

Οι εφαρμογές των αερίων στην ηλεκτροσυγκόλληση, κυρίως, έχουν ως εξής:

- Στην TIG χρησιμοποιείται **σχεδόν αποκλειστικά το Ar**, ανεξάρτητα από το είδος του μετάλλου βάσης. Σε μερικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μείγμα του Ar με το He.
- Στις συγκολλήσεις **αλουμινίου**, είτε πρόκειται για TIG είτε για MIG, χρησιμοποιείται, επίσης, **σχεδόν αποκλειστικά το Ar** και σε μερικές εφαρμογές το μείγμα Ar με He.
- Στις συγκολλήσεις **ανοξειδωτων χαλύβων χρησιμοποιείται το Ar+1-3% O₂** (συνήθως όμως το O₂ δεν υπερβαίνει το 2%). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί Ar+3%CO₂.
- Στις συγκολλήσεις **MIG/MAG ή FCAW, των ανθρακούχων χαλύβων ή των ελαφρά κραματικών χαλύβων**, όταν επιδιώκουμε να έχουμε **βαθιά διείσδυση, χρησιμοποιείται το CO₂**. Για ομαλή συγκόλληση με πολύ **σταθερό τόξο**, με καλή εμφάνιση και με ελάχιστα πιτσιλίσματα, **προτιμότερο είναι ένα μείγμα του Ar με 20-25% CO₂ ή με 1-3% O₂**. **Δε χρησιμοποιείται καθαρό Ar**, επειδή η συγκόλληση αυτών των χαλύβων απαιτεί την παρουσία και κάποιας ποσότητας ενεργού αερίου.

Παρατήρηση: Η επιλογή του αερίου στους ανθρακούχους και ελαφρά κραματικούς χάλυβες, στην περίπτωση της MIG/MAG θυμίζει την αντίστοιχη επιλογή του είδους των επενδυμένων ηλεκτροδίων (κυτταρίνης ή ρουτιλίου). Όμως, όπως θα δούμε, υπάρχουν και άλλα κριτήρια για τη σωστή επιλογή.

Όσον αφορά τη χρήση κάποιου σύρματος ηλεκτροσυγκόλλησης, με αέριο διαφορετικό από το κανονικά προβλεπόμενο, ως γενικοί κανόνες ισχύουν οι εξής:

- Τα σύρματα για τα οποία προβλέπεται η χρήση τους μόνο με Ar ή μόνο με Ar+1-3% O₂, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κανένα άλλο αέριο.
- Οι περιπτώσεις των συρμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με το CO₂ και δεν επιδέχονται κανένα άλλο αέριο είναι ελάχιστες.
- Τα σύρματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με CO₂ συνήθως λειτουργούν καλά και με μείγμα Ar με 20-25% CO₂ ή με 1-3% O₂. Να αποφεύγεται όμως το καθαρό Ar.
- Τα σύρματα που προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν με Ar+20-25% CO₂, συνήθως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με Ar+1-3% O₂. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν με CO₂, ενώ πρέπει να αποφεύγεται το καθαρό Ar.

9-4. Τα σύρματα και οι ράβδοι ηλεκτροσυγκόλλησης

Για το πόσο μεγάλη σημασία έχει για τον ηλεκτροσυγκολλητή η γνώση της τυποποίησης των αναλωσίμων υλικών της ηλεκτροσυγκόλλησης αναφερθήκαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επαναλαμβάνουμε ότι: **καλός ηλεκτροσυγκολλητής δεν είναι αυτός που ξέρει μόνο να κολλάει καλά, αλλά που ξέρει και να επιλέγει το κατάλληλο υλικό που θα χρησιμοποιήσει.** Το θέμα της τυποποίησης είναι πολύ σοβαρό και πρέπει να επιμείνουμε για να τη μάθουμε πολύ καλά. Είναι η γνώση που δείχνει **την ανωτερότητα του μορφωμένου ηλεκτροσυγκολλητή** έναντι ενός άλλου που έμαθε να κολλάει στην πράξη, χωρίς καμία επιστημονική κατάρτιση.

Συνέβη και αυτό! Κατά τη φάση συγγραφής του βιβλίου, κατά την επίσκεψη ενός χώρου, όπου εκτελούνταν ηλεκτροσυγκολλήσεις, ρωτήθηκε ένας έμπειρος ηλεκτροσυγκολλητής από τον έναν από τους συγγραφείς, να του πει την ποιότητα του σύρματος που χρησιμοποιούσε και αυτός απήντησε: «χρησιμοποιώ το χάλκινο

σύρμα». Πράγματι, τα σύρματα ηλεκτροσυγκόλλησης των ανθρακούχων χαλύβων, μοιάζουν με το χαλκό, επειδή συνήθως είναι επιχαλκωμένα για να μη σκουριάζουν, αλλά στο σύνολο της μάζας τους η ποσότητα του χαλκού είναι τελείως ασήμαντη. Ο τεχνίτης που έδωσε αυτή την απάντηση, όπως διαπιστώθηκε, επί χρόνια είχε την εντύπωση ότι κολλούσε το σίδερο, χρησιμοποιώντας ως συγκολλητικό υλικό το χαλκό! Τέτοιο επίπεδο άγνοιας σε έναν επαγγελματία δεν επιτρέπεται. Το πρόβλημα είναι πολύ πιο σοβαρό σε ένα μικρό συνεργείο αυτοκινήτων, που δε θα υπάρχει κάποιος έμπειρος προϊστάμενος για να υποδείξει το σωστό υλικό.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, **η τυποποίηση που υποχρεωτικά ισχύει στη χώρα μας, είναι κατά ISO, EN και ΕΛΟΤ²**. Στην πράξη όμως, στην τεχνολογία των ηλεκτροσυγκολλήσεων, είναι διαδεδομένη και η πολύ απλή τυποποίηση κατά AWS. Ως εκ τούτου, είναι υποχρεωμένος ο ηλεκτροσυγκολλητής να γνωρίζει την τυποποίηση των συρμάτων και των ράβδων τόσο κατά AWS όσο και κατά ISO. Όπως είδαμε, στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, η τυποποίηση κατά AWS έχει ενσωματωθεί στο ISO (με μόνη σχεδόν αλλαγή στο σύστημα μονάδων). Δεν έχει συμβεί όμως κάτι παρόμοιο και με τα σύρματα και τις ράβδους ηλεκτροσυγκόλλησης. Γι' αυτό, στη συνέχεια, θα αναφερθούμε στην ονομασία που ακολουθείται και στα δύο συστήματα τυποποίησης.

Το χαρακτηριστικό της τυποποίησης **κατά AWS είναι η απλότητά της και η ευκολία απομνημόνευσης** που προσφέρει. Επίσης, πρόκειται για ένα πλήρες σύστημα τυποποίησης, όπου συμπεριλαμβάνονται τα πάντα, όπως π.χ. η τυποποίηση των ηλεκτροδίων του αλουμινίου και των χυτοσιδήρων για τα οποία δεν υπάρχουν αντίστοιχα πρότυπα κατά ISO. Η ονομασία όμως των ηλεκτροδίων, από μόνη της, δε δίνει όλες τις πληροφορίες που, ενδεχομένως, να χρειάζονται, ενώ οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι του συστήματος I-P.

Στις ηλεκτροσυγκολλήσεις που γίνονται κάτω από προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου δεν έχουμε πολλά είδη αναλωσίμων υλικών (σύρματα, ράβδους). Υπάρχει μόνο ένας σχετικά μικρός αριθμός διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα διάφορα αέρια. Η κατάσταση παρουσιάζεται τελείως διαφορετική από αυτήν που συναντήσαμε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, όπου υπάρχει ένα πλήθος διαφορετικών ηλεκτροδίων που έχουν πυρήνα από το ίδιο υλικό και οι ιδιότητές τους μεταβάλλονται εξ αιτίας των πολλών ειδών πάστας που υπάρχουν. Αναλυτικά θα αναφερθούμε στην τυποποίηση αργότερα. Προς το παρόν περιοριζόμαστε στο να αναφέρουμε ότι οι πλέον χρήσιμοι τύποι συρμάτων και ράβδων ηλεκτροσυγκόλλησης που χρησιμοποιούνται στους ανθρακούχους χάλυβες είναι οι εξής:

- Για τη MIG/MAG: Το **G3Si1** που έχει $\pi(\text{Mn})=1,5\%$ ($3 \times 0,5=1,5\%$) και $\pi(\text{Si})=1\%$, με αντίστοιχη ονομασία κατά AWS την ER70S-6 (το 70 σημαίνει αντοχή 70000 psi ή $70 \times 7=490$ MPa και με το 6 βρίσκουμε τα λοιπά χαρακτηριστικά από πίνακες).
- Για την TIG: Το **W3Si1** με αντίστοιχη ονομασία κατά AWS την ER70S-3. Η επεξήγηση των ονομασιών είναι προφανής (το W σημαίνει ράβδος, το G σύρμα, το T σωληνωτό σύρμα).
- Για την FCAW: Σε κλειστό χώρο χρησιμοποιείται το **T462PM** (ή το T422PM). Το 46 σημαίνει αντοχή 460 MPa, το 2 αφορά τη δυσθραυστότητα, το P ότι η περιεχόμενη πάστα είναι ρουτιλίου και το M υποδηλώνει ότι το είδος του αερίου είναι $\text{Ar}+25\%\text{O}_2$. Σε ανοικτό χώρο χρησιμοποιείται το T462W το οποίο δε χρειάζεται προστατευτικό αέριο. Το W υποδηλώνει επένδυση ρουτιλίου ή βασική. Οι αντίστοιχες ονομασίες κατά AWS είναι ER70T-1 για το T462PM (ή για το T422PM) και ER70T-4 για το T462W.

² Κατά το χρόνο που γραφόταν αυτό το βιβλίο, τα περισσότερα πρότυπα ISO είχαν πρόσφατα αναθεωρηθεί και προέβλεπαν δύο τρόπους τυποποίησης. Ο «Α» δεν παρουσίαζε ουσιώδη διαφορά από τις αντίστοιχες EN, για τις οποίες υπήρχαν, επίσης, και αντίστοιχα πρότυπα ΕΛΟΤ (στην ελληνική γλώσσα). Για τα σύρματα ανθρακούχων χαλύβων, ίσχυε το ISO-14341:2002, ενώ για τους ανοξείδωτους χάλυβες το ISO-14343:2002. Τα αντίστοιχα ευρωπαϊκά πρότυπα ήταν τα EN-440 και EN-12072. Η κατάσταση αυτή, όταν θα διδάσκεται αυτό το βιβλίο ενδέχεται να έχει αλλάξει. Στις ομαδικές δραστηριότητες αυτού του κεφαλαίου δίνεται πλήρης κατάλογος των προτύπων, προκειμένου να διερευνηθούν οι μαθητές τις τυχόν αλλαγές που θα έχουν εν τω μεταξύ γίνει.

Οι παραπάνω ονομασίες είναι χαρακτηριστικές για τον τρόπο τυποποίησης και σ' αυτά τα πλαίσια, όπως θα δούμε, κινείται η τυποποίηση όλων των συρμάτων και των ράβδων. Λίγο πιο περίπλοκη είναι η τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων λόγω της περιεχόμενης πάστας και της ανάγκης ή μη ύπαρξης προστατευτικού αερίου, αλλά και πάλι είναι πιο απλή από την αντίστοιχη τυποποίηση των επενδυμένων ηλεκτροδίων που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Σημαντική επισήμανση: Παρακάτω, όταν θα αναπτυχθεί λεπτομερώς η τυποποίηση, αναφέρονται συχνά οι αριθμοί των προτύπων, τόσο κατά AWS όσο και κατά ISO. Ο σκοπός που αναφέρονται είναι για να γνωρίζουν οι μαθητές πού θα μπορούσαν να αναζητήσουν περισσότερα στοιχεία. Οι μαθητές, όπως και κάθε άλλος που ασχολείται με ηλεκτροσυγκολλήσεις, δε χρειάζεται να απομνημονεύουν και τους αριθμούς των προτύπων. Όταν εξετάζονται, αντί να λένε “κατά AWS-A5.10” ή “κατά ISO-440” αρκεί να λένε “κατά AWS” ή “κατά ISO”. Και οι δύο περιπτώσεις πρέπει να βαθμολογούνται εξ ίσου και ουδέποτε να θεωρείται ως πλεονεκτική η διατύπωση που περιλαμβάνει και τον αριθμό του προτύπου.

9-5. Τα υλικά που συγκολλούνται σε ατμόσφαιρα προστατευτικού αερίου

Πίνακας (9-3): Το πεδίο εφαρμογής των διαφόρων ειδών συγκόλλησης						
Πεδίο εφαρμογής	Σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου			Χωρίς προστασία αερίου		
	MIG MAG	TIG	FCAW με αέριο	FCAW χωρίς αέριο	MMA	Οξυγόνο- ασετιλίνη
Λεπτά ελάσματα	Ναι	Άριστη	Όχι	Όχι	Όχι	Άριστη
Ανθρακούχοι χάλυβες	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Ναι
Ανοξείδωτοι χάλυβες	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Άριστη	Ναι
Χυτοσίδηρος	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Άριστη	Ναι
Αλουμίνιο	Άριστη	Άριστη	Όχι	Όχι	Μάλλον όχι	Ναι
Παραγωγικότητα	Άριστη	Μικρή	Άριστη	Άριστη	Μέτρια	Μικρή
Χρήση σε ανοικτό χώρο	Όχι	Όχι	Όχι	Άριστη	Άριστη	Ναι

Στον πίνακα (9-3), βλέπουμε ένα συγκριτικό πίνακα μεταξύ των διαφόρων ειδών ηλεκτροσυγκόλλησης. Παρατηρούμε ότι η MMA είναι η μοναδική μέθοδος που προσφέρεται για συγκόλληση χυτοσιδήρου και η καλύτερη για τη συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων. Αντίθετα, οι συγκολλήσεις αερίου είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για συγκόλληση αλουμινίου και λεπτών ελασμάτων. Η συγκόλληση των λεπτών ελασμάτων έχει μεγάλη σημασία στην τεχνολογία των αυτοκινήτων και αυτό είναι και το μεγάλο πλεονέκτημα των μεθόδων συγκόλλησης σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου.

Το πάχος του ελάσματος στο σύστημα SI μετριέται σε mm, **αλλά είναι πολύ διαδεδομένο το σύστημα σε gauge**, που χρησιμοποιείται, κυρίως, στις χώρες που εφαρμόζουν το I-P. Ο τεχνικός των αυτοκινήτων οφείλει όμως να το γνωρίζει. Στον πίνακα (9-4), δίνουμε τη σχέση μεταξύ ιντσών και της κλίμακας gauge. Για να μετατρέψουμε τα gauge σε mm, πολλαπλασιάζουμε με το 25,4 την αντιστοιχία των gauge με ίντσες που παίρνουμε από τον πίνακα. Προσέξτε ότι άλλη σημασία έχει η κλίμακα gauge στον ανθρακούχο χάλυβα, στον ανοξείδωτο χάλυβα και στο αλουμίνιο. Στην αγορά, τον ανθρακούχο χάλυβα τον βρίσκουμε μέχρι 24 gauge ή 0,6 mm.

Πίνακας (9-4): Η κλίμακα των gauge

Gauge #	Ανθρακούχοι χάλυβες	Αλουμίνιο	Ανοξείδωτοι χάλυβες
0	----	.3249	.3125
1	----	.2893	.2812
2	----	.2576	.2656
3	.2391	.2294	.2500
4	.2242	.2043	.2344
5	.2092	.1819	.2187
6	.1943	.1620	.2031
7	.1793	.1443	.1875
8	.1644	.1285	.1719
9	.1495	.1144	.1562
10	.1345	.1019	.1406
11	.1196	.0907	.1250
12	.1046	.0808	.1094
13	.0897	.0720	.0937
14	.0747	.0641	.0781
15	.0673	.0571	.0703
16	.0598	.0508	.0625
17	.0538	.0453	.0562
18	.0478	.0403	.0500
19	.0418	.0359	.0437
20	.0359	.0320	.0375
21	.0329	.0285	.0344
22	.0299	.0253	.0312
23	.0269	.0226	.0281
24	.0239	.0201	.0250
25	.0209	.0179	.0219
26	.0179	.0159	.0187
27	.0164	.0142	.0172
28	.0149	.0126	.0156
29	.0135	.0113	.0141

9-6. Γενικά για την ηλεκτροσυγκόλληση MIG/MAG

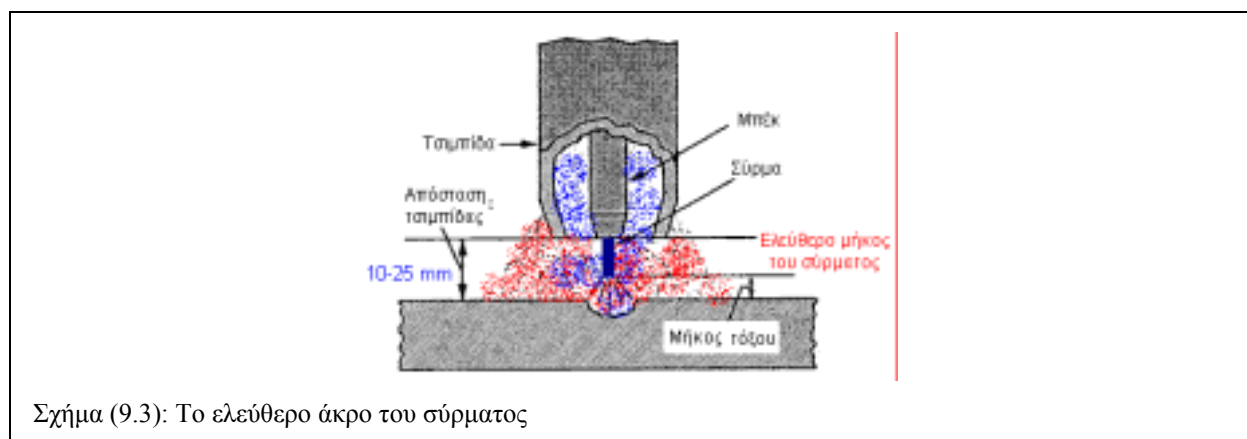
Η MIG/MAG είναι η **πλέον διαδεδομένη** σήμερα μέθοδος ηλεκτροσυγκόλλησης και θα επιμείνουμε σ' αυτήν ιδιαίτερα. Θεωρείται το ευκολότερο είδος ηλεκτροσυγκόλλησης που υπάρχει. Παίρνεις την τσιμπίδα, σκοπεύεις και κολλάς. Φαίνεται στην αρχή πολύ εύκολο. Όμως η εκτέλεση καλών ηλεκτροσυγκολλήσεων με MIG/MAG ή η επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας, χρειάζονται αρκετή εξάσκηση. Η εναλλακτική ονομασία της MIG/MAG είναι η GMAW που χρησιμοποιείται πολύ συχνά και καλύπτει τόσο τον όρο MIG, όσο και τον MAG.

Η ηλεκτροσυγκόλληση των χαλύβων (ανθρακούχων, ελαφρά κραματικών χαλύβων ανοξείδωτων) είναι πάντοτε MAG, επειδή το αέριο είναι πάντα ενεργό. Ο συνδυασμός του Ar με οποιοδήποτε άλλο ενεργό αέριο, είναι προφανώς ενεργό αέριο, ενώ οι χάλυβες ουδέποτε συγκολλούνται με καθαρό Ar. **Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος συγκόλλησης είναι με σύρμα G3Si1 και με αέριο CO₂**. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του σύρματος, τόσο καλύτερη ποιότητα ηλεκτροσυγκόλλησης επιτυγχάνεται, αλλά η διαδικασία μπορεί να είναι αντιπαραγωγική. **Με το πιο λεπτό σύρμα, G3Si1- Φ 0,6 mm μπορούν να συγκολληθούν ελάσματα από πάχος 0,6 μέχρι και 5 mm. Γι' αυτό, το σύρμα αυτό είναι το πλέον κατάλληλο για τα συνεργεία αυτοκινήτων.**

Η συγκόλληση του αλουμινίου είναι πάντοτε MIG και γίνεται μόνο με αδρανές αέριο, κυρίως με Ar. Το πρόβλημα του Ar είναι ότι αναπτύσσονται χαμηλότερες θερμοκρασίες στο τόξο και γι' αυτό δεν παρουσιάζει μεγάλη διείσδυση, πράγμα που δημιουργεί δυσκολίες στη συγκόλληση ελασμάτων μεγάλου πάχους. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την προσθήκη ηλίου (He) σε ποσοστά 25-75%.

9-7. Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης στη MIG/MAG

Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης κατ' αρχήν είναι οι ίδιες με αυτές που ισχύουν και για τη MMA, δηλαδή είναι: το **είδος του ηλεκτροδίου**, η **ένταση του ρεύματος**, το **ύψος του τόξου** και η **ταχύτητα κίνησης της τσιμπίδας** (του ηλεκτροδίου).



Σχήμα (9.3): Το ελεύθερο άκρο του σύρματος

Στη MIG/MAG ο τρόπος που ρυθμίζονται οι παραπάνω παράμετροι είναι διαφορετικός. Η παράμετρος “είδος ηλεκτροδίου” (που για τη MMA σημαίνει διάμετρος ηλεκτροδίου και είδος επένδυσης), αντικαθίσταται από τη **διάμετρο του σύρματος** σε συνδυασμό με το είδος και την **παροχή του προστατευτικού αερίου** (αντί για επένδυση έχουμε αέριο). Επίσης, αντί για ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος έχουμε την **τάση** που καθορίζει έμμεσα την ένταση του ρεύματος και αντί για το ύψος του τόξου έχουμε την **ταχύτητα τροφοδοσίας του σύρματος** η οποία καθορίζει έμμεσα το ύψος του τόξου.

Η τάση του ρεύματος επηρεάζει την ένταση, αλλά ο τρόπος που την επηρεάζει έχει σχέση με το μήκος του ελεύθερου άκρου του σύρματος. Όπως βλέπουμε στο σχήμα (9.3), **το σύρμα πρέπει να προεξέχει περί τα 10-25 mm από το μπεκ τροφοδοσίας του σύρματος**. Το μπεκ βρίσκεται υπό ηλεκτρική τάση και είναι συγχρόνως και το άκρο στο οποίο είναι συνδεδεμένο το καλώδιο της ηλεκτρικής τροφοδοσίας. **Κατά συνέπεια**, η ηλεκτρική αντίσταση μεταβάλλεται όσο μεταβάλλεται το μήκος του ελεύθερου άκρου του σύρματος. Δεδομένου ότι η τάση είναι σταθερή, όταν το ελεύθερο άκρο μεγαλώνει, μειώνεται η ένταση του ρεύματος και αντιστρόφως. Επομένως, έχουμε **ακόμη μία παράμετρο: το μήκος του ελεύθερου άκρου του σύρματος**. Έτσι, οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης που έχουμε να ρυθμίσουμε είναι οι εξής:

- **Η ποιότητα και η διάμετρος του σύρματος**
- **Το είδος και η παροχή του προστατευτικού αερίου**
- **Η τάση ρεύματος**
- **Το μήκος του ελεύθερου άκρου του σύρματος**
- **Η ταχύτητα τροφοδοσίας του σύρματος**
- **Η ταχύτητα της κίνησης της τσιμπίδας**

Η παράμετρος “τάση του ρεύματος” είναι, επίσης, στενά συνδεδεμένη με τη ρύθμιση της “ταχύτητας τροφοδοσίας του σύρματος”. Αύξηση της τάσης, με σταθερό “μήκος του ελεύθερου άκρου”, σημαίνει αύξηση της έντασης του ρεύματος, δηλαδή ότι το σύρμα τήκεται με ταχύτερους ρυθμούς, άρα χρειάζεται μεγαλύτερη ταχύτητα σύρματος. Αντίστοιχα, η μείωση της τάσης απαιτεί μείωση της ταχύτητας του σύρματος. Μπορούμε να επέμβουμε λίγο στην ένταση, αλλάζοντας το μήκος του ελεύθερου άκρου (δηλαδή την απόσταση της τσιμπίδας), αλλά αυτό μπορεί να επηρεάσει την απαιτούμενη παροχή του αερίου, επειδή το αέριο προωθείται μέσω της τσιμπίδας και όσο πιο κοντά είναι η τσιμπίδα, τόσο καλύτερη προστασία παρέχει το αέριο.

Βλέπουμε από τα παραπάνω πως οι παράμετροι της ηλεκτροσυγκόλλησης επηρεάζουν η μία την άλλη. Επίσης, καταλαβαίνουμε πόσο πολύ σημαντικό στη MIG/MAG είναι να διατηρούμε σταθερή απόσταση μεταξύ τσιμπίδας και μετάλλου βάσης. Γι’ αυτό στη MIG/MAG **πρέπει να κρατάμε την τσιμπίδα σταθερά και με τα δύο χέρια**, οπότε πρέπει να χρησιμοποιούμε **μόνο κράνος κεφαλής**. Οι απλές μάσκες της MMA δεν είναι κατάλληλες για MIG/MAG.

Από την ένταση του ρεύματος εξαρτάται ο ρυθμός που εναποτίθεται το μέταλλο, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία πρέπει να προωθείται το σύρμα. Στον πίνακα (9-5) βλέπουμε τις προτεινόμενες τιμές των παραμέτρων ηλεκτροσυγκόλλησης για το σύρμα G3Si1 που είναι το πλέον συνηθισμένο στους ανθρακούχους χάλυβες, καθώς και την εναποτιθέμενη ποσότητα μετάλλου ανά ώρα ηλεκτροσυγκόλλησης. Οι βασικές παράμετροι που θα πρέπει να προσεχτούν σ’ αυτόν τον πίνακα είναι η τάση, η ταχύτητα του σύρματος και η παροχή του προστατευτικού αερίου. Η ταχύτητα κίνησης της τσιμπίδας και το μήκος του ελεύθερου άκρου ρυθμίζονται εμπειρικά από το χειριστή.

Πίνακας (9-5): Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης ανθρακούχων χάλυβων με σύρμα G3Si1 (AWS: ER70S-6)							
Διάμετρος σύρματος, mm	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
Τάση τόξου, V	16-20	18-24	18-26	18-32	18-35	22-36	28-38
Ταχύτητα σύρματος, m/min	5-13	3,2-10	3-12	2,7-15	2,5-15	2,3-15	2,3-15
Παροχή αερίου, L/min	8-10	8-10	9-11	10-12	10-12	11-13	12-14
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, A	50-100	60-200	70-250	80-300	120-380	150-420	225-550
Εναποτιθέμενη ποσότητα kg/ώρα	0,7-1,7	0,8-2,5	0,8-3,3	1,0-5,5	1,3-8,0	1,6-8,7	2,1-11,4

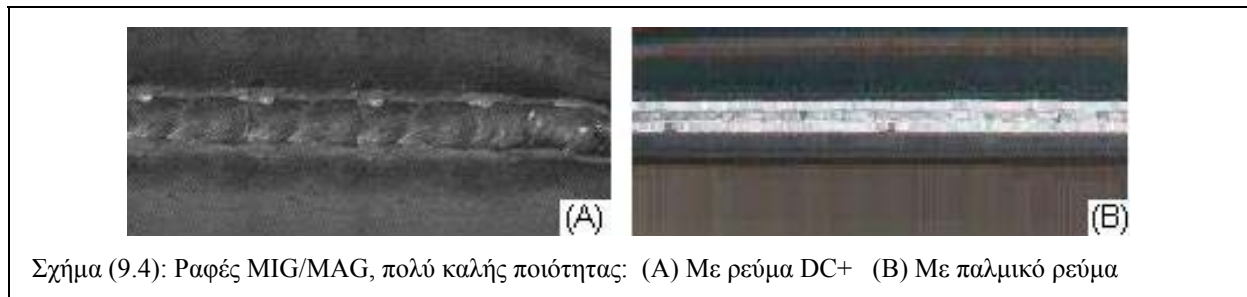
9-8. Τα είδη του ρεύματος ηλεκτροσυγκόλλησης κατά τη MIG/MAG

Ηλεκτροσυγκόλληση MIG/MAG γίνεται μόνο με δύο είδη ηλεκτρικού ρεύματος:

- Με **συνεχές ρεύμα, ανάστροφη φορά** (συμβολισμός DC+ ή DCEP)
- Με **παλμικό ρεύμα** (παλμορεύμα)

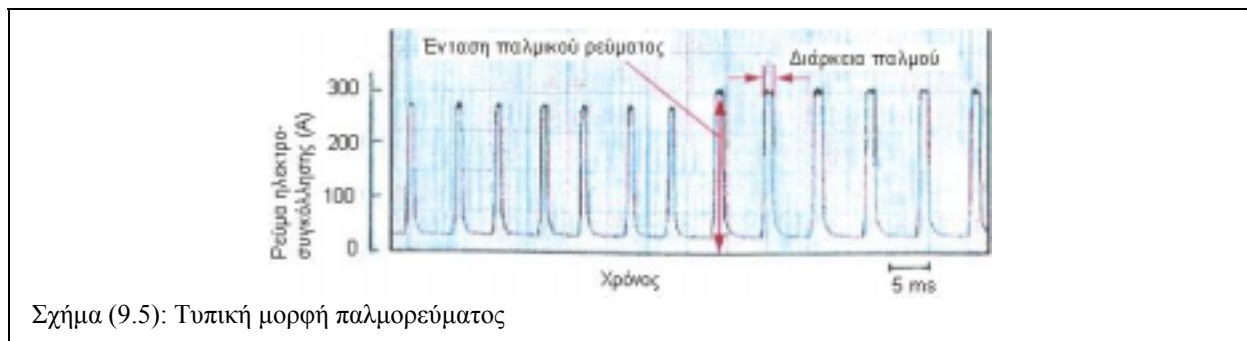
Στο σχήμα (9.4), βλέπουμε τη μορφή ραφών.

Η **κανονική φορά** του συνεχούς ρεύματος (DC- ή DCEN), **δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί** με τη MIG/MAG.



Σχήμα (9.4): Ραφές MIG/MAG, πολύ καλής ποιότητας: (A) Με ρεύμα DC+ (B) Με παλμικό ρεύμα

Το παλμορεύμα είναι ό,τι καλύτερο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για ηλεκτροσυγκολλήσεις MIG/MAG. Η μορφή της ραφής είναι άριστη. Οι σύγχρονες μηχανές είναι σε θέση να κολλήσουν ελάσματα που αρχίζουν από 0,8 mm (21-22 gauge), αλλά δεν μπορούν να συγκολλήσουν ακόμη πιο λεπτά ελάσματα, όπως το 0,6 mm που ενδιαφέρει τα συνεργεία αυτοκινήτων. Τυπική μορφή του παλμορεύματος βλέπουμε στο σχήμα (9.5).



Σχήμα (9.5): Τυπική μορφή παλμορεύματος

9-9. Η μεταφορά του υλικού από το σύρμα στο μέταλλο βάσης με ρεύμα DC+

Υπάρχουν τρεις τρόποι μεταφοράς, τους οποίους, σε σχηματική παράσταση βλέπουμε στο σχήμα (9.6):

- Με **βραχυκυκλωμένο τόξο** που είναι και η πλέον συνήθης περίπτωση
- Με **σταγόνες**
- Με **ψεκασμό**

Η ηλεκτρική τάση στην οποία αρχίζει η μεταφορά με σταγόνες ή με ψεκασμό ποικίλλει ανάλογα με τη διάμετρο και την ποιότητα του σύρματος, καθώς και από το είδος του προστατευτικού αερίου.

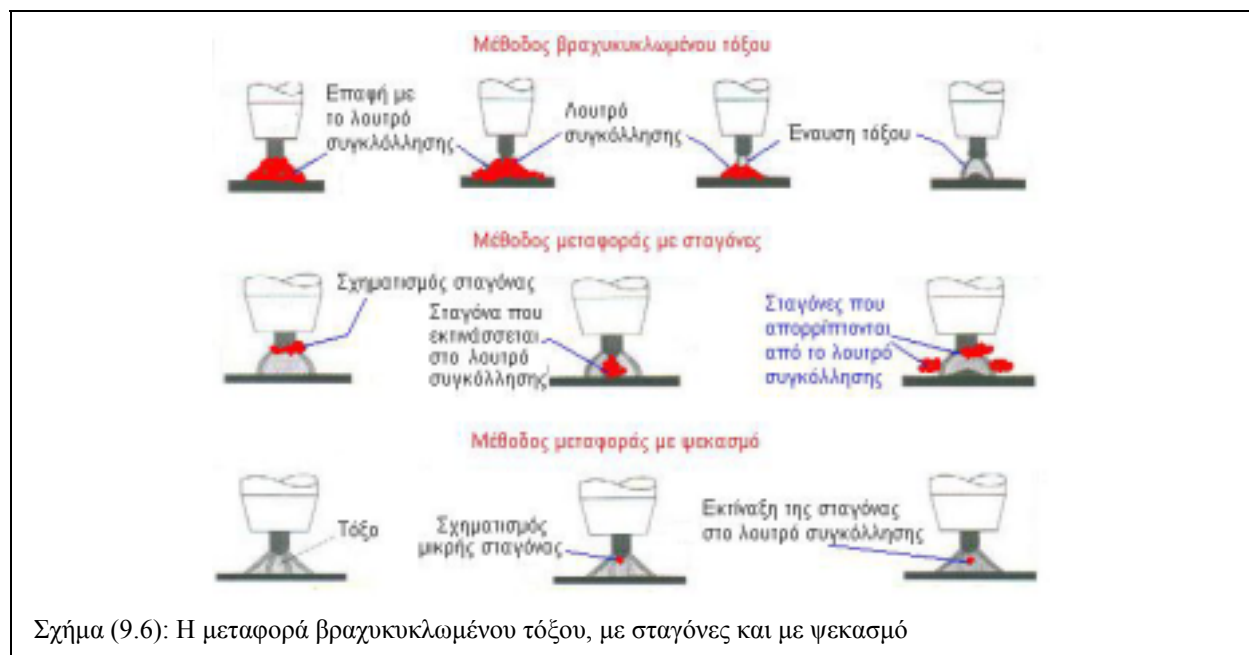
(α) Η μεταφορά με βραχυκυκλωμένο τόξο

Η μεταφορά με **βραχυκυκλωμένο τόξο** λαμβάνει χώρα στις χαμηλές τάσεις. Η διαδικασία της μεταφοράς του υλικού έχει ως εξής:

- ⇒ Το σύρμα ακουμπάει στο μέταλλο βάσης και συγχρόνως το τόξο σβήνει.
- ⇒ Το δημιουργούμενο ισχυρό βραχυκύκλωμα λιώνει την άκρη του σύρματος και το λιωμένο μέταλλο εναποτίθεται στο λουτρό συγκόλλησης.
- ⇒ Με το λιώσιμο της άκρης το σύρμα και το μέταλλο βάσης παύουν να είναι σε επαφή και στο κενό που δημιουργείται ανάβει πάλι το τόξο.
- ⇒ Καθώς η προώθηση του σύρματος συνεχίζεται με σταθερό ρυθμό, πριν ακόμη προλάβει να λιώσει η άκρη του από τη θερμοκρασία του τόξου, ακουμπάει πάλι στο μέταλλο βάσης και σβήνει ξανά το τόξο.
- ⇒ Δημιουργείται, έτσι, ένα νέο βραχυκύκλωμα που λιώνει εκ νέου την άκρη του σύρματος, εναποτίθεται το λιωμένο μέταλλο, ανάβει ξανά το τόξο και συνεχίζεται ο ίδιος κύκλος.

Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται από 20 μέχρι 200 φορές το δευτερόλεπτο. Η μέθοδος αυτή ηλεκτροσυγκόλλησης είναι η ευκολότερη, αλλά και αυτή που έχει τη χαμηλότερη παραγωγικότητα σε σχέση με τις άλλες δύο. Η παραγωγικότητά της είναι όμως πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της MMA. Παρουσιάζει, όμως, αρκετά πεισιλίσματα.

Η μέθοδος είναι ιδανική για τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων, όπως π.χ. των αυτοκινήτων. Το πρόβλημά της είναι ότι σε πάχος ελασμάτων άνω των 6 mm, υπάρχει κίνδυνος να μη δημιουργηθεί καλή πρόσφυση στο μέταλλο βάσης που οφείλεται σε ημιτελή τήξη του μετάλλου βάσης, λόγω της μικρής παραγόμενης θερμότητας. Το αποτέλεσμα είναι η ραφή να μην αντέχει σε καταπόνηση, επειδή η συγκόλληση που έχει γίνει είναι σχεδόν μία μεταλλική επικάλυψη³. Το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο, αν χρησιμοποιηθεί λεπτό σύρμα και ιδίως το 0,6 mm το οποίο, καλό είναι να αποφεύγεται να χρησιμοποιείται σε πάχη ελασμάτων άνω των 4 mm. **Πολύ καλές συγκολλήσεις με τη μέθοδο του βραχυκυκλωμένου τόξου γίνονται σε πάχη ελασμάτων μέχρι 3 mm, ενώ οι συγκολλήσεις σε πάχη άνω των 6 mm πρέπει να αποφεύγονται.**

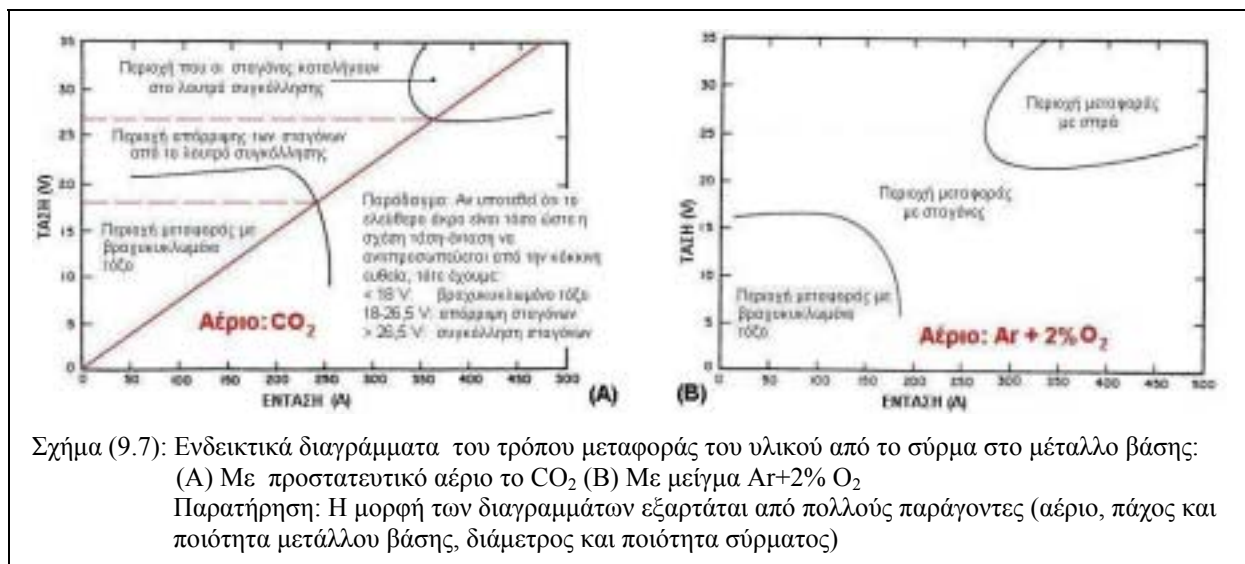


Σχήμα (9.6): Η μεταφορά βραχυκυκλωμένου τόξου, με σταγόνες και με ψεκασμό

³ Αγγλικός όρος: cold lapping που μεταφράζεται ψυχρή επικάλυψη

(β) Η μεταφορά με σταγόνες

Η μεταφορά με σταγόνες γίνεται, όταν αυξηθεί και άλλο η τάση, οπότε η δημιουργία ισχυρών εντάσεων ηλεκτρικού ρεύματος έχει ως συνέπεια να εκλύονται υψηλά ποσά θερμότητας⁴. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται σταγόνες που η διάμετρός τους είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη διάμετρο του σύρματος και που αποσπώνται από την άκρη του σύρματος, πριν ακόμη αυτό προλάβει να ακουμπήσει στο μέταλλο βάσης. Το επιθυμητό είναι οι σταγόνες αυτές να εναποτίθενται στο λουτρό συγκόλλησης, αλλά αυτό δε συμβαίνει πάντοτε. Οι δυνάμεις που επενεργούν στις σταγόνες και τις κάνουν να αποσπώνται από το άκρο του σύρματος είναι, κυρίως, η βαρύτητα και οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. **Αυτές, στις χαμηλότερες εντάσεις του ρεύματος, έχουν ως αποτέλεσμα να εκτινάσσονται οι σταγόνες μακριά από το λουτρό συγκόλλησης και να δημιουργούν πιτσιλίσματα, ενώ στις υψηλότερες εντάσεις να εναποτίθενται στο λουτρό συγκόλλησης.** Και επειδή η ένταση του ρεύματος εξαρτάται, κυρίως, από το μήκος του ελεύθερου άκρου (αφού η τάση είναι σταθερή), πρέπει να διατηρούμε την τσιμπίδα κοντά στο μέταλλο βάσης και να τη μετακινούμε με πολύ σταθερό χέρι, κάτι που δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία στη μεταφορά με βραχυκυκλωμένο τόξο. Αυτό φαίνεται στο σχήμα (9.7), περίπτωση (Α). Η μεταφορά με σταγόνες παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερους βαθμούς παραγωγικότητας, αλλά, προφανώς, απαιτεί περισσότερο έμπειρο χειριστή.



(γ) Η μεταφορά με ψεκασμό

Η μεγαλύτερη παραγωγικότητα με MIG/MAG παρουσιάζεται, όταν αυξηθεί και άλλο η τάση, οπότε, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, δημιουργείται η μεταφορά με ψεκασμό. Η περιοχή που συμβαίνει αυτό φαίνεται στο σχήμα (9.7), περίπτωση (Β). Κατ' αυτήν το σύρμα λιώνει, σχηματίζοντας σταγόνες **μικρότερες από τη διάμετρό του**, που μεταφέρονται κατ' αξονική διεύθυνση στο λουτρό συγκόλλησης, δίνοντας καλή ραφή και χωρίς πιτσιλίσματα. Η μεταφορά με ψεκασμό δεν παρουσιάζεται, όταν χρησιμοποιείται το CO₂ και το αέριο που απαιτείται είναι το Ar + 1-3% O₂. Με το CO₂ ή με το Ar+25%CO₂ μπορούμε να έχουμε μόνο μεταφορά με βραχυκυκλωμένο τόξο ή με σταγόνες.

⁴ Υπενθυμίζουμε ότι $q=I^2R$

(δ) Σύγκριση των μεθόδων μεταφοράς

Με τη μέθοδο **βραχυκυκλωμένου τόξου** μπορούν να γίνουν συγκολλήσεις ακόμη και πολύ λεπτών ελασμάτων. Η συγκόλληση είναι δυνατή σε όλες τις θέσεις. Η εκπαίδευση νέων ηλεκτροσυγκολλητών είναι εύκολη και σύντομης χρονικής διάρκειας. Τα μειονεκτήματά της είναι ότι δημιουργούνται αρκετά πιτσιλίσματα και η παραγωγικότητα είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες δύο, αλλά και πάλι υπερέχει σημαντικά σε παραγωγικότητα από τη MMA. Πρέπει να αποφεύγεται στα μεγάλα πάχη ελασμάτων, επειδή υπάρχει κίνδυνος να μη δημιουργηθεί καλή πρόσφυση λόγω της πιθανής ημιτελούς τήξης του μετάλλου βάσης.

Οι μέθοδοι μεταφοράς με **σταγόνες** και με **ψεκασμό** είναι δυνατές μόνο σε επίπεδες και οριζόντιες θέσεις (PA, PB, PC) και απαιτούν καλά εκπαιδευμένο και έμπειρο χειριστή. Επίσης, εκλύονται πολύ υψηλά ποσά θερμότητας που μπορούν να προκαλέσουν ισχυρές παραμορφώσεις, ιδίως στα λεπτά ελάσματα. Παρουσιάζουν όμως καλή πρόσφυση, βαθιά διείσδυση και υψηλή παραγωγικότητα. Συγκρινόμενες μεταξύ τους, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μεταφορά με σταγόνες χρησιμοποιεί φθηνό αέριο (CO_2), αλλά παρουσιάζει πολλά πιτσιλίσματα. Αντίθετα, η μεταφορά με ψεκασμό χρησιμοποιεί ακριβό αέριο ($\text{Ar} + 1-3\% \text{O}_2$), αλλά προσφέρει ραφή με πολύ καλή εμφάνιση και με ελάχιστα πιτσιλίσματα.

9-10. Η ηλεκτροσυγκόλληση MIG/MAG με παλμορεύματα

Η μεταφορά του υλικού με παλμικό ρεύμα είναι παρόμοια με αυτή του ψεκασμού, με τη διαφορά ότι οι δημιουργούμενες σταγόνες είναι μεγαλύτερης διαμέτρου. Η χαμηλή τάση του παλμού διατηρεί το τόξο αναμμένο, ενώ η υψηλή τάση, συνήθως μικρής διάρκειας, προκαλεί την τήξη του άκρου του σύρματος και την εκτίναξη ενός σταγονιδίου κάθε φορά. Κατά τη διάρκεια της χαμηλής τάσης εκλύεται μικρότερο ποσό θερμότητας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μικρότερη θέρμανση του μετάλλου βάσης, δηλαδή λιγότερες παραμορφώσεις. Αυτό επιτρέπει τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων από 0,8 mm (22 gauge), κάτι που είναι δυνατόν μόνο με τη μέθοδο βραχυκυκλωμένου τόξου. Φυσικά, στο σημείο αυτό το βραχυκυκλωμένο τόξο πλεονεκτεί⁵, αφού μπορεί να συγκολλήσει ελάσματα από 0,6 mm (24 gauge).

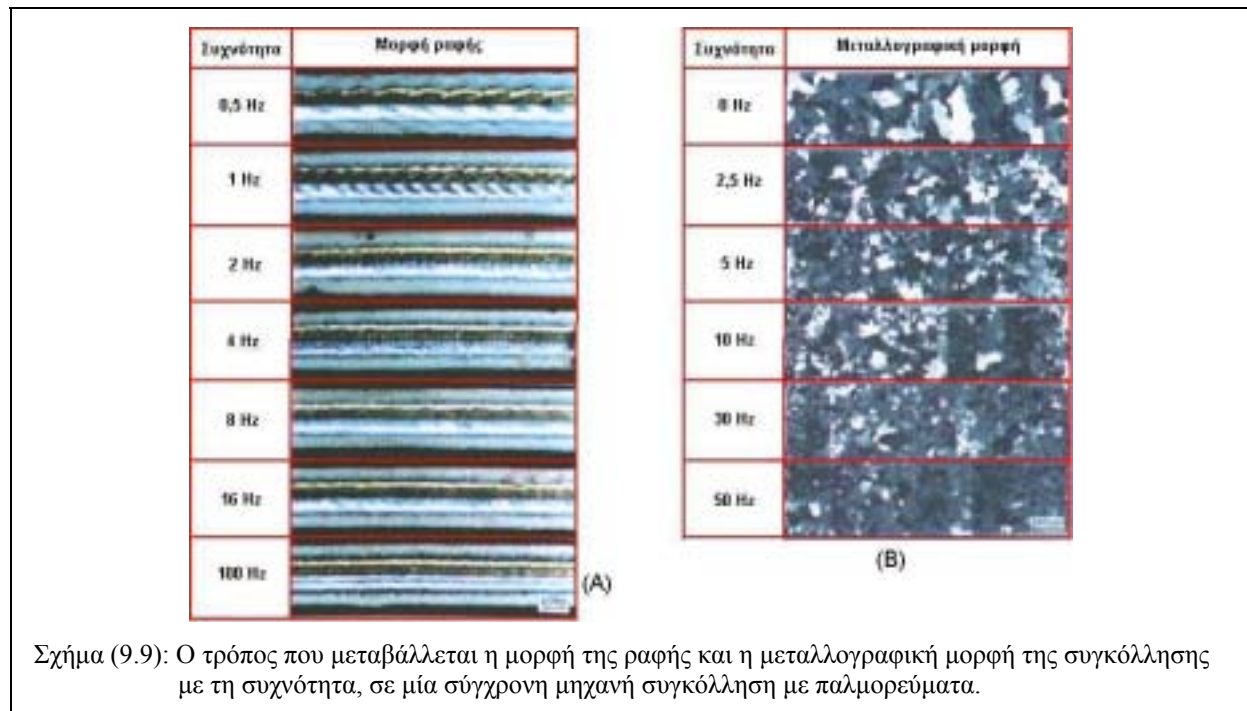


Σχήμα (9.8): Τυπική μορφή συγκόλλησης με παλμικό ρεύμα χαμηλής τάσης

Οι παλμοί συνήθως μεταβάλλονται στην περιοχή 25-250 Hz, αλλά υπάρχουν και μηχανές που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ρεύμα σε πολύ μικρότερη συχνότητα. Στις χαμηλές συχνότητες η μορφή της ραφής συμβαίνει να είναι όμοια με αυτή της TIG, όπως βλέπουμε στο σχήμα (9.8). Τον τρόπο που μεταβάλλεται η μορφή των ραφών με τη συχνότητα των παλμών, τον βλέπουμε στο σχήμα (9.9), περίπτωση (A).

⁵ Με την τεχνολογία κατά το χρόνο συγγραφής του βιβλίου

Τα χαρακτηριστικά του παλμορεύματος μπορούν να ορίζονται από το χειριστή, αλλά η σωστή επιλογή τους, σε συνδυασμό με την ταχύτητα τροφοδοσίας του σύρματος, δεν είναι κάτι το απλό. Η νεότερη τεχνολογία έδωσε τη λύση και σ' αυτό το πρόβλημα και η επιλογή αυτή μπορεί να γίνεται από τη μηχανή. **Αυτό το είδος του παλμού, όπου ο χειριστής ρυθμίζει τη μέση τιμή του ρεύματος ηλεκτροσυγκόλλησης και η μηχανή επιλέγει όλα τα άλλα, ονομάζεται συνεργιακός έλεγχος.** Αντίστοιχα ο παλμός ονομάζεται συνεργιακός και οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης συνεργιακές. Συχνά οι μηχανές με παλμορεύματα προσφέρουν και άλλες δυνατότητες, όπως π.χ. να μπορεί ο χειριστής να επέμβει και στη συχνότητα, ή, ανάλογα με το μήκος του ελεύθερου άκρου του σύρματος, να αλλάζουν αυτόματα τα χαρακτηριστικά του παλμορεύματος, της τάσης τροφοδοσίας κτλ.



Σχήμα (9.9): Ο τρόπος που μεταβάλλεται η μορφή της ραφής και η μεταλλογραφική μορφή της συγκόλλησης με τη συχνότητα, σε μία σύγχρονη μηχανή συγκόλλησης με παλμορεύματα.

Η τεχνολογία των παλμορευμάτων είναι σε συνεχή εξέλιξη. Μεταξύ των άλλων τείνει να βελτιώσει και τη μεταλλογραφική μορφή της ραφής, η οποία παρουσιάζεται λεπτόκοκκη, δηλαδή υψηλής αντοχής και ελαστικότητας. Τη βελτίωση αυτή τη βλέπουμε στο σχήμα (9.9), περίπτωση (B). Η βελτίωση της αντοχής με αυτό τον τρόπο έχει μεγάλη σημασία στις συγκολλήσεις του αλουμινίου, επειδή, με τις συμβατικές μεθόδους συγκόλλησης, η αντοχή της ραφής είναι μικρότερη από την αντοχή του μετάλλου βάσης. Με τη δημιουργία όμως λεπτόκοκκης δομής αυξάνεται σημαντικά η αντοχή της ραφής συγκόλλησης του αλουμινίου και προσεγγίζει αυτή του μετάλλου βάσης.

9-11. Πρακτικές οδηγίες για την επιτυχία των ηλεκτροσυγκολλήσεων με MIG/MAG

Παρακάτω δίνουμε μερικές βασικές οδηγίες οι οποίες θα πρέπει να ακολουθούνται, προκειμένου να εκτελούνται καλές συγκολλήσεις με MIG/MAG:

- **Να επιλέγεται προσεκτικά το πλέον κατάλληλο σύρμα.** Τα συνιστώμενα σύρματα για ανθρακούχους χάλυβες με μεταφορά βραχυκυκλωμένου τόξου (η πλέον συνήθης περίπτωση), είναι τα G3Si1 και G4Si1, με $\pi(\text{Mn})=1,5\%$ και 2% αντίστοιχα (το αντίστοιχο κατά AWS και για τα δύο είδη είναι το ER70S-6). Είναι κατάλληλα και για σκουριασμένες επιφάνειες. Για καλή ποιότητα συγκολλήσεων προτιμότερο είναι το σύρμα 0,6 ή 0,8 mm. Για παραγωγικές εργασίες προτιμότερες είναι οι διάμετροι 1,0 ή 1,2 mm.

- Τα σύρματα 0,6 ή 0,8 mm, παρ' όλων που δίνουν καλύτερη ποιότητα ραφής, πρέπει να αποφεύγονται σε μεγάλα πάχη ελασμάτων, ιδίως όταν η συγκόλληση γίνεται με βραχυκυκλωμένο τόξο. Ο λόγος είναι ότι οι εντάσεις του ρεύματος είναι χαμηλές και, κατά συνέπεια, υπάρχει ο κίνδυνος η τήξη του μετάλλου βάσης να είναι ανεπαρκής. Το σύρμα 0,6 mm να αποφεύγεται σε ελάσματα μεγαλύτερα από 4 mm και το 0,8 mm σε μεγαλύτερα από 6 mm .

Σημαντική παρατήρηση: Τα δύο παραπάνω μεγέθη συρμάτων είναι τα πλέον χρήσιμα για τα συνεργεία αυτοκινήτων, όπου η ανάγκη συγκόλλησης λεπτών ελασμάτων οδηγεί στη μέθοδο του βραχυκυκλωμένου τόξου με λεπτό σύρμα, συνήθως με 0,6 mm. Όταν χρειαστεί να γίνει συγκόλληση σε μεγαλύτερα πάχη, η εύκολη λύση είναι να χρησιμοποιηθεί το σύρμα που είναι ήδη έτοιμο. Αν όμως τα προς συγκόλληση πάχη είναι μεγάλα, μπορεί να έχουμε απροσδόκητα προβλήματα.

- Το πλέον κατάλληλο αέριο για καλή ποιότητα συγκολλήσεων είναι το **Ar+25%CO₂**. Όμως με αμιγές CO₂ μειώνεται σημαντικά το κόστος των ηλεκτροσυγκολλήσεων και προσφέρει μεγάλη διεύθυνση.
- Το μπεκ τροφοδοσίας του σύρματος να είναι σε πολύ καλή κατάσταση. Για την αποφυγή της προσκόλλησης πιτσιλισμάτων πάνω σ' αυτό, μπορούμε να το ψεκάσουμε με ειδικό σπρέι ή να το αλείψουμε με ειδική πάστα.
- Το μπεκ τροφοδοσίας του σύρματος πρέπει να αντικαθίσταται τακτικά, επειδή φθείρεται και μεγαλώνει η εσωτερική του διάμετρος. Συνήθως η φθαρμένη οπή τροφοδοσίας έχει μία μορφή οβάλ. Η διάμετρος του καινούριου μπεκ είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από τη διάμετρο του σύρματος, τόσο ώστε να εξασφαλίζεται η καλή τροφοδοσία, όταν το σύρμα θα έχει διασταλεί λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Αν η οπή φθαρεί πολύ, δε θα εξασφαλίζει τη σωστή ηλεκτρική επαφή, οπότε η ωμική του αντίσταση θα είναι μεγάλη, αλλά, το κυριότερο, δε θα έχει σταθερή τιμή. Έτσι, όχι μόνο θα μειωθεί η ένταση του ρεύματος ηλεκτροσυγκόλλησης, αλλά θα παρουσιάζει και συνεχείς αυξομειώσεις που δε θα επιτρέπουν τη δημιουργία ομαλού τόξου. Επειδή η διαπίστωση του φθαρμένου μπεκ δεν είναι πάντοτε εύκολη, συνιστάται η αντικατάσταση του μπεκ μετά από τη χρήση του με **40-50 kg σύρματος**.
- Να εξασφαλίζεται η πολύ καλή επαφή στο σημείο γείωσης του μετάλλου βάσης και να καθαρίζεται σχολαστικά, με τροχό, η περιοχή της λαμαρίνας που θα εφαρμοστεί το σώμα γείωσης. Επίσης, το καλώδιο να είναι επαρκώς μεγάλης διαμέτρου. Αν υπάρχει σημαντική αντίσταση στο κύκλωμα, θα έχουμε μείωση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, που σε τελευταία ανάλυση, αυτή είναι που έχει σημασία για την ηλεκτροσυγκόλληση και όχι η τάση. Για να επιτευχθεί η υψηλή ένταση ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη συγκόλληση MIG/MAG, σε συνδυασμό με τη χαμηλή και σταθερή τάση, απαιτείται πολύ μικρή ωμική αντίσταση. Ένας πρακτικός τρόπος για να ελέγξουμε αν το ρεύμα συναντάει κάπου αυξημένη αντίσταση είναι, μετά από ένα χρονικό διάστημα εργασίας, να κλείσουμε τη μηχανή (για λόγους ασφαλείας) και με γυμνό χέρι να ελέγξουμε αν υπάρχει υπερθέρμανση στα καλώδια και ιδίως στα σημεία που γίνονται οι ηλεκτρικές συνδέσεις (όπως το σημείο γείωσης).

9-12. Η ηλεκτροσυγκόλληση των ανοξειδωτων χαλύβων με MIG/MAG

Η ηλεκτροσυγκόλληση των ανοξειδωτων χαλύβων μπορεί να γίνει με όλες τις μεθόδους, εκτός από τη μεταφορά με σταγόνες. Οι πλέον κατάλληλες μέθοδοι συγκόλλησης είναι με **ψεκασμό** και με **παλμορεύματα**. Η μέθοδος βραχυκυκλωμένου τόξου εφαρμόζεται μόνο, όταν πρόκειται να συγκολληθούν πολύ λεπτά ελάσματα ή για τη συγκόλληση της ρίζας ή σε δύσκολες θέσεις (PF, PD, PE). Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης φαίνονται στον πίνακα (9-6). Αυτό που έχει τη μεγαλύτερη σημασία είναι η επιλογή του κατάλληλου σύρματος (θα αναφερθούμε στην τυποποίηση των ανοξειδωτων συρμάτων σε επόμενη παράγραφο).

Πίνακας (9-6): Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης χρωμιονικελιούχων ανοξειδωτων χαλύβων					
Διάμετρος σύρματος, mm	0,8	0,9	1,0	1,2	1,6
Τάση τόξου, V	16-22	16-24	16-24	20-28	24-28
Ταχύτητα σύρματος, m/min	3,4-11	3,2-9	2,9-8,4	4,9-8,5	3,2-5,5
Παροχή αερίου L/min	8-10	9-11	10-12	10-12	12-14
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, A	50-140	65-165	80-190	180-280	230-350
Εναποτιθέμενη ποσότητα kg/ώρα	0,8-2,7	0,9-2,9	1,1-3.1	2,6-4,5	3-5,2

Το αέριο που χρησιμοποιείται είναι το Ar + 1-2% O₂. Για μονό πάσο μπορεί ως αέριο να χρησιμοποιηθεί το Ar + 3% CO₂. Στα πολύ λεπτά ελάσματα θα πρέπει να εφαρμοστεί η μέθοδος του βραχυκυκλωμένου τόξου, αλλά στη συγκόλληση των ανοξειδωτων χαλύβων με βραχυκυκλωμένο τόξο απαιτείται το πολύ ακριβό αέριο με 80% He, 7,5% Ar και 2,5%CO₂.

Για την επιλογή του κατάλληλου σύρματος χρειάζεται να γνωρίζουμε αν το μέταλλο βάσης περιέχει Mo (μολυβδαίνιο), διότι τότε χρειάζεται σύρμα που να περιέχει, επίσης, Mo. Ομοίως, ένα σύρμα που περιέχει Mo δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε μη μολυβδαίνιούχους χάλυβες. Αντίθετα, το σύρμα με Nb (νιόβιο), που προορίζεται προς χρήση με τους σταθεροποιημένους χάλυβες⁶, δεν υπάρχει πρόβλημα αν χρησιμοποιηθεί και σε μη σταθεροποιημένους χάλυβες. Επίσης, η συγκόλληση των σταθεροποιημένων χαλύβων είναι δυνατή και με ηλεκτρόδια που δεν περιέχουν Nb.

9-13. Η ηλεκτροσυγκόλληση του αλουμινίου με MIG

Εδώ ισχύουν αυτά που αναφέρθηκαν και στη MMA, ότι δηλαδή η ηλεκτροσυγκόλληση αλουμινίου είναι διαφορετική από τη συγκόλληση του σιδήρου και, όταν κολλάμε αλουμίνιο, ξεχνάμε όσα ξέραμε για την ηλεκτροσυγκόλληση του σιδήρου. Ως τεχνική όμως δεν είναι πιο δύσκολη. Υπενθυμίζουμε τα βασικά σημεία που πρέπει να έχουμε υπόψη μας:

- Πρέπει να προηγείται καθαρισμός από τη σκουριά με συρματόβουρτσα, επειδή η σκουριά του αλουμινίου έχει σημείο τήξης 2000°C έναντι 630°C του καθαρού μετάλλου.
- Η συρματόβουρτσα που έχει χρησιμοποιηθεί σε χάλυβα, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε αλουμίνιο.
- Η τσιμπίδα πρέπει να κινείται γρήγορα, λόγω του χαμηλού σημείου τήξης του αλουμινίου.
- Για την αποφυγή των ρηγματώσεων το καλύτερο είναι να εφαρμόζεται προθέρμανση αλλά όχι άνω των 110°C.
- Υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθούν κρατήρες που αποτελούν αιτία ρηγματώσεων. Για την αποφυγή τους πρέπει η κίνηση του ηλεκτροδίου να γίνεται με σταθερή ταχύτητα, προσέχοντας την εναπόθεση του μετάλλου. Η μορφή της ραφής να είναι ελαφρά κυρτή ή επίπεδη.

Το αέριο είναι αποκλειστικά το Αργόν. Οι παράμετροι συγκόλλησης του αλουμινίου με σύρμα φαίνονται στον πίνακα (9-7). Το E5356 είναι περισσότερο δύστηκτο από το ER4043 και γι' αυτό, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, απαιτεί μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος. Αποτέλεσμα όμως είναι και η εναποτιθέμενη ποσότητα μετάλλου με το ER5356 να είναι κάπως μεγαλύτερη. Με MIG μπορούν να συγκολληθούν πάχη αλουμινίου από 0,8 mm (22 gauge)⁷.

⁶ Υπενθυμίζεται ότι οι σταθεροποιημένοι χάλυβες περιέχουν Nb για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κατακρήμνισης των καρβιδίων του χρωμίου.

⁷ Με τη τεχνολογία κατά το χρόνο συγγραφής του βιβλίου

Πίνακας (9-7): Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης αλουμινίου					
Διάμετρος σύρματος, mm	0,8	1,0	1,2	1,6	2,4
Τάση τόξου, V	20-24	22-26	22-28	24-30	26-30
Ταχύτητα σύρματος, m/min	8-11	7-12	5,5-11	4,5-8	2,5-3
Παροχή αερίου (Ar), L/min	12-14	13-15	14-16	15-17	18-22
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, A	80-120	90-180	130-220	170-320	270-380
Εναποτιθέμενη ποσότητα για ER4043, kg/ώρα	0,6-0,9	0,9-1,5	1,0-2,1	1,5-2,6	1,8-2,8
Εναποτιθέμενη ποσότητα για ER5356, kg/ώρα	0,8-1,1	0,9-1,8	1,2-2,3	1,6-2,7	2,2-2,9

Τα σύρματα αλουμινίου, που κυρίως χρησιμοποιούνται, είναι το **ER5356** και το **ER4043**. Το **ιδανικότερο σύρμα** για την αποθήκη μας **θα ήταν το ER4043, αν δεν ήταν τόσο μαλακό υλικό**. Το ER4043 είναι άριστο στη συγκόλληση των αλουμινίων της σειράς 6xxx, που έχουν πολύ μεγάλη διάδοση, ενώ συγχρόνως είναι σε θέση να κολλήσει και τα αλουμίνια 1xxx που είναι, επίσης, αρκετά διαδεδομένα και για τα οποία το ER5356 είναι ακατάλληλο.

Στην ηλεκτροσυγκόλληση όμως αλουμινίου με MIG, υπάρχει ένα άλλο, πολύ πιο σοβαρό πρόβλημα από την επιλογή του πλέον κατάλληλου συγκολλητικού υλικού. Συγκεκριμένα, το σύρμα ER4043 είναι πολύ μαλακό και μπερδεύεται εύκολα στο σύστημα προώθησης της μηχανής. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, **υπάρχουν ειδικά σετ προώθησης του σύρματος αλουμινίου** (με ειδικά ράουλα, σωλήνα από τεφλόν, μπεκ κτλ.), όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα (9.10). Τα μπεκ για αλουμίνιο είναι διαφορετικά και, συγκεκριμένα, η διάμετρος της οπής είναι λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο που έχουν τα μπεκ του χάλυβα, επειδή το αλουμίνιο διαστέλλεται περισσότερο (η διαφορά φυσικά δε διακρίνεται με το μάτι).

Επίσης, για τις δύσκολες περιπτώσεις, υπάρχουν **ειδικές τσιμπίδες MIG για το αλουμίνιο που έχουν ενσωματωμένο ένα δικό τους σύστημα έλξης του σύρματος**. Αυτό, συνεργαζόμενο με το σύστημα προώθησης σύρματος της μηχανής, περιορίζει σημαντικά τον κίνδυνο εμπλοκής⁸. Τέλος, απαιτείται η προσοχή του χειριστή, ώστε ο σωλήνας τροφοδοσίας του σύρματος να διατηρείται κατά το δυνατόν ευθύς, χωρίς μπερδέματα.



Σχήμα (9.10): Σετ συγκόλλησης αλουμινίου για μηχανές MIG. Περιλαμβάνει: μπεκ αλουμινίου, σωλήνα τεφλόν, ράουλα προώθησης σύρματος και ακροφύσια εισόδου εξόδου του σύρματος στο σωλήνα.

Το **τσαλάκωμα όμως του σύρματος ER5356, για την ίδια διάμετρο σύρματος, είναι περισσότερο δύσκολο, επειδή είναι αρκετά πιο σκληρό από το ER4043**. Ως εκ τούτου η χρήση του ER5356 στα συστήματα MIG είναι αρκετά διαδεδομένη. Όμως με το ER5356 απαιτούνται μηχανές μεγαλύτερες από ό,τι στο ER4043, επειδή η συγκόλληση του ER5356 χρειάζεται μεγαλύτερη ένταση ρεύματος. Γι' αυτό, τα μικρά φορητά συστήματα μπορεί να είναι ανεπαρκή για τη συγκόλληση με ER5356, όταν η διάμετρος του σύρματος είναι μεγαλύτερη από 0,8 mm και το καταλληλότερο σύρμα γι' αυτά φαίνεται να είναι το ER4043 με διάμετρο 1 mm. Το σημείο αυτό θα πρέπει να προσεχτεί ιδιαίτερα, επειδή τα φορητά συστήματα MIG/MAG είναι και τα πλέον κατάλληλα προς χρήση στα μικρά συνεργεία που εκτελούν σπάνια συγκολλήσεις αλουμινίου, όπως είναι τα περισσότερα συνεργεία αυτοκινήτων.

⁸ Συστήματα push-pull

Η συγκόλληση αλουμινίου στα συνεργεία αυτοκινήτων είναι ακόμη πολύ περιορισμένη και το ηλεκτρόδιο εξακολουθεί να αποτελεί την εύκολη λύση. **Όμως το αλουμίνιο χρειάζεται MIG ή TIG και το ηλεκτρόδιο είναι λύση ανάγκης.** Η πλέον κατάλληλη λύση είναι να υπάρχει μία μικρή μηχανή MIG, έτοιμη με σύρμα αλουμινίου όπως στο σχήμα (9.11) και μία μικρή φιάλη Ar. Η μηχανή να είναι κατάλληλη για σύρμα αλουμινίου μέχρι 1 mm και να προτιμηθεί η ποιότητα ER4043. Τέλος, θα πρέπει να έχουμε εξασκηθεί αρκετά με μία τέτοια μηχανή, πριν αποπειραθούμε να κάνουμε συγκόλληση.



Σχήμα (9.11): Μικρή φορητή μηχανή MIG, έτοιμη με τα παρελκόμενά της, για τη συγκόλληση αλουμινίου σε συνεργείο που δεν εκτελεί συστηματικά κολλήσεις αλουμινίου.

9-14. Η ηλεκτροσυγκόλληση TIG

Η ηλεκτροσυγκόλληση TIG ή GMAW είναι η πλέον κατάλληλη για υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις και για συγκολλήσεις πολύ λεπτών ελασμάτων. Η εμφάνιση της ραφής είναι άριστη χωρίς πιτσιλίσματα. Στην TIG δε δημιουργούνται σπινθήρες, ενώ παράγονται ελάχιστες αναθυμιάσεις. Επίσης, δεν υπάρχει πρόβλημα ρηγματώσης εξ αιτίας του υδρογόνου.

Το αέριο που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν αποκλειστικά το Αργόν (Ar). Στα χοντρά ελάσματα μερικές φορές χρησιμοποιείται το μείγμα Ar-He, επειδή το ήλιο (He) βελτιώνει τη διείσδυση και ανεβάζει τη θερμοκρασία του τόξου. Το He μόνο του χρησιμοποιείται πολύ σπάνια, σε εξειδικευμένες κυρίως εφαρμογές, επειδή είναι πολύ ακριβό και, συγχρόνως, επειδή είναι πολύ ελαφρύ, οπότε απομακρύνεται εύκολα από το λουτρό συγκόλλησης. Κατά συνέπεια,, το He προσφέρει μικρότερη προστασία από το βαρύ Ar που έχει ειδικό βάρος περίπου 1,8 kg/m³ έναντι του 1,3 kg/m³ του αέρα.

Η TIG εκτελείται με τις εξής μορφές ρεύματος:

- Με **συνεχές ρεύμα** και κανονική πολικότητα, δηλαδή DC- (συμβολίζεται και DCEN).
- Με **εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας** που συμβολίζεται ως ACHF.
- Με **παλμικό ρεύμα**
- Σπανιότερα εκτελείται με συνεχές ρεύμα με ανάστροφη πολικότητα (DC+ ή DCEP).

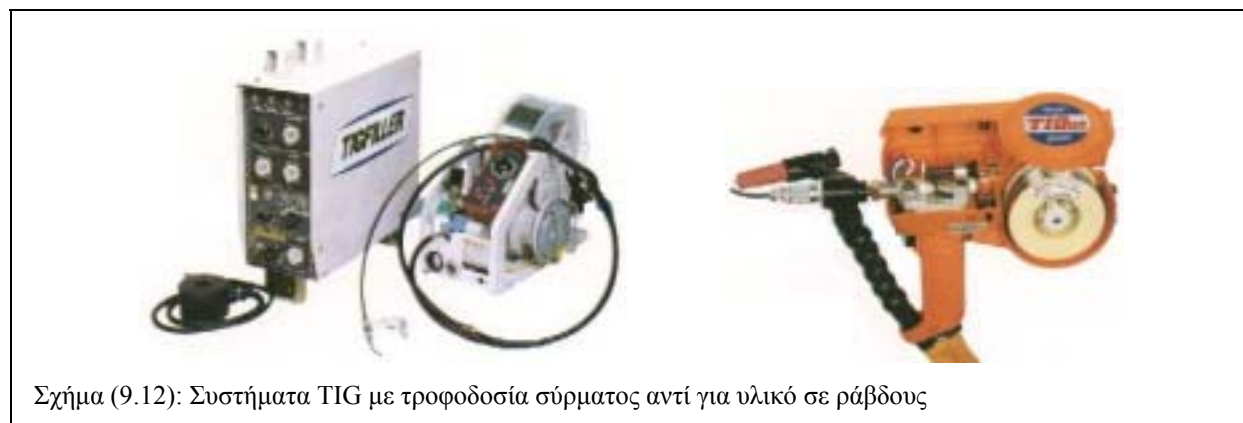
Το πλέον σύνηθες στη συγκόλληση των χαλύβων είναι το ρεύμα DC-. Στο αλουμίνιο χρησιμοποιείται το ρεύμα ACHF, επειδή έχει την ιδιότητα να εμποδίζει την ενσωμάτωση οξειδίων του αλουμινίου στη ραφή συγκόλλησης. Το παλμικό ρεύμα χρησιμοποιείται και στις δύο περιπτώσεις και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγόμενης θερμότητας και την αποφυγή των παραμορφώσεων, ιδίως στα λεπτά ελάσματα.

Οι παράμετροι της ηλεκτροσυγκόλλησης είναι ουσιαστικά οι ίδιες με τη MMA, με μόνη διαφορά ότι η παράμετρος «ηλεκτρόδιο» της MMA αντικαθίσταται από την αντίστοιχη παράμετρο της TIG που περιλαμβάνει: το είδος του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου, το αέριο (είδος, παροχή) και τη ράβδο του υλικού συγκόλλησης (υλικό, διάμετρο). Κατά τα λοιπά, οι παράμετροι είναι ακριβώς οι ίδιες: ένταση ρεύματος, ύψος τόξου και ταχύτητα μετακίνησης της τσιμπίδας. Οι τιμές ρύθμισης των παραμέτρων ηλεκτροσυγκόλλησης αναφέρονται στον πίνακα (9-8).

Πίνακας (9-8): Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης TIG							
Διάμετρος του υλικού συγκόλλησης, mm	Διατίθεται κυρίως σε σύρμα			Διατίθεται κυρίως σε ράβδους			
	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	60-90	70-100	80-110	90-130	100-150	120-170	150-220
Παροχή αερίου (Ar), L/min	5,5-7	6-7,5	6,5-8	7-9	7-9	8-10	8-10

Το συγκολλητικό υλικό είναι σε μορφή ράβδων και σπανιότερα σε μορφή σύρματος. Το μήκος των ράβδων συνήθως είναι 1000 mm, αλλά υπάρχουν και σε διαφορετικά μήκη, (π.χ. 700 mm), ανάλογα με τον κατασκευαστή. Οι ράβδοι έχουν διάμετρο από 1,6 μέχρι 3,2 mm, αλλά σε μερικές περιπτώσεις βρίσκουμε ράβδους με διάμετρο 1 ή 1,2 ή 4 mm.

Οι ράβδοι που χρησιμοποιούνται στην οξυγονοασετιλίνη είναι ακατάλληλες για τη συγκόλληση TIG. Αντίθετα, οι ποιότητες υλικού που χρησιμοποιούνται στη MIG/MAG είναι και οι πλέον κατάλληλες για την TIG. Οι ράβδοι και τα σύρματα ακολουθούν και την ίδια σχεδόν τυποποίηση, όπως θα δούμε παρακάτω.



Σχήμα (9.12): Συστήματα TIG με τροφοδοσία σύρματος αντί για υλικό σε ράβδους

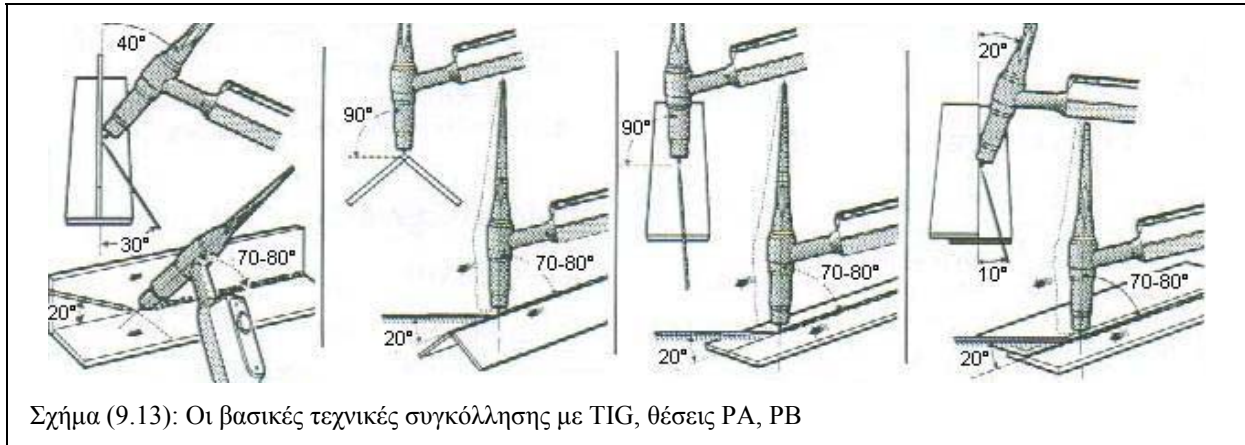
Στα συστήματα της TIG που λειτουργούν με σύρμα, όπως αυτό που βλέπουμε στο σχήμα (9.12), το σύρμα είναι ακριβώς το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται στη MIG/MAG.

Χρειάζεται **ιδιαίτερη προσοχή στη ρύθμιση των παραμέτρων ηλεκτροσυγκόλλησης, όταν κολλάμε λεπτά ελάσματα** για να μην τρυπηθούν από τη θερμοκρασία του τόξου. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται χαμηλή ένταση ηλεκτρικού ρεύματος και σωστή ταχύτητα της τσιμπίδας.

9-15. Η τεχνική των ηλεκτροσυγκολλήσεων με TIG

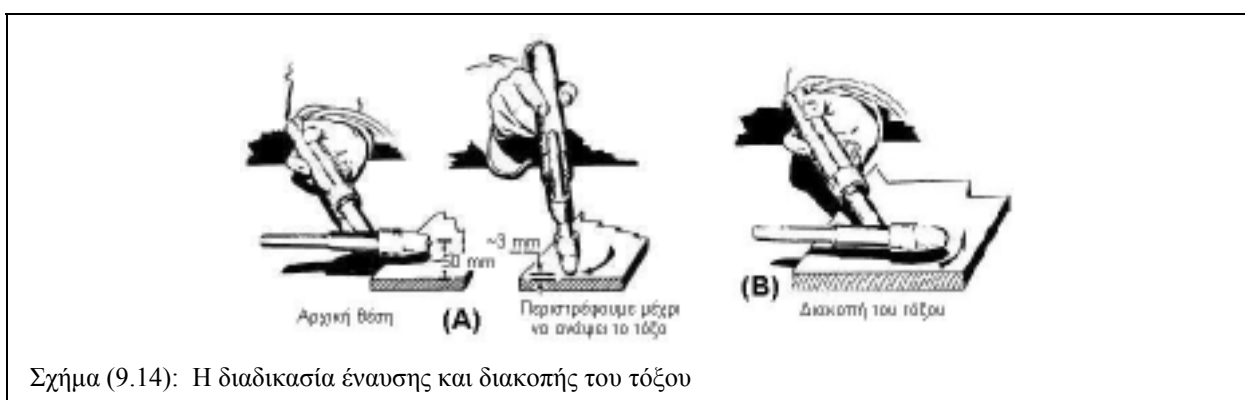
Οι βασικές τεχνικές με τις οποίες χειριζόμαστε το ηλεκτρόδιο και το υλικό συγκόλλησης στην TIG φαίνονται στο σχήμα (9.13), για τις θέσεις PA και PB. Η τεχνική που κρατάμε την τσιμπίδα και τη ράβδο με το συγκολλητικό υλικό καθώς και ο συντονισμός των κινήσεων, μοιάζουν πολύ με αυτόν της οξυγονοασετιλίνης. Γι' αυτό και η πρώτη φάση για την εκπαίδευση σε TIG είναι καλύτερα να γίνεται μέσω της ευκολότερης και ασφαλέστερης διαδικασίας της ασετι-

λίνης που απαιτεί και πολύ φθηνότερο εξοπλισμό (κάτι που ήδη έκαναν οι μαθητές στο κεφάλαιο 5). Ευνόητο όμως είναι ότι ο οξυγονοκολλητής δεν ξέρει να κολλάει και με TIG, αν δεν του γίνει συμπληρωματική εκπαίδευση. Έχει πολλά να μάθει ακόμη, τόσο θεωρητικά (ηλεκτρόδια, ράβδοι, ποιότητες υλικών, επίδραση των αερίων κτλ.), όσο και πρακτικά, όπως τον τρόπο που θα κάνει τη σωστή ρύθμιση του ρεύματος, πώς θα αποφεύγει το σχηματισμό κρατήρα στο τέλος της ηλεκτροσυγκόλλησης κτλ.



Το τόξο, όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 6, δημιουργείται μεταξύ ενός μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης. Η απόστασή τους είναι πολύ μικρή, περί τα 3 mm. Πρέπει να προσέχουμε, **επειδή η επαφή του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου με το μέταλλο βάσης μολύνει το ηλεκτρόδιο με μόρια προερχόμενα από το μέταλλο βάσης** και πέφτει η ποιότητα ηλεκτροσυγκόλλησης. Επίσης, κατά τη φάση της συγκόλλησης, το άκρο του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου είναι σε ρευστή κατάσταση και κατά την τυχόν επαφή θα εναποτεθεί βολφράμιο στο μέταλλο βάσης, το οποίο είναι βλαβερή ουσία για τη ραφή συγκόλλησης. Η προσθήκη του υλικού στη ραφή γίνεται με ράβδο, ακολουθώντας την ίδια περίπου τεχνική με αυτή που εφαρμόζεται κατά τη συγκόλληση με οξυγονοαετιλίνη. Η διαφορά είναι ότι το τόξο της TIG είναι πολύ πιο συγκεντρωμένο στην περιοχή συγκόλλησης και λιώνει το μέταλλο, χωρίς να γίνεται η διασπορά της θερμότητας σε μεγάλη έκταση.

Η έναυση του τόξου είναι σωστό να γίνεται μόνο με ACHF, ακόμη και στην περίπτωση που το ρεύμα συγκόλλησης είναι DC. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα (9.14), περίπτωση (A). Φέρνουμε την τσιμπίδα στην αρχική θέση, περίπου 5 cm πάνω από το μέταλλο, και αρχίζουμε να την περιστρέφουμε. Όταν η απόσταση της ακίδας του ηλεκτροδίου είναι μερικά mm από το μέταλλο βάσης, η υψηλή συχνότητα της τάσης, δημιουργεί διαπίδυση και γίνεται η έναυση του τόξου. Όταν το ρεύμα συγκόλλησης έχει επιλεγεί από το χειριστή να είναι DC, τότε, μετά την έναυση, η μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης το αλλάζει από ACHF σε DC.



Μετά την έναυση, σταθεροποιούμε το τόξο σε απόσταση περίπου 3 mm μεταξύ του άκρου, του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης. Η απόσταση που θα πρέπει να τηρούμε διαπιστώνεται και κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και μπορεί να χρειαστεί να περιοριστεί ακόμη και σε 1-2 mm, πράγμα που αυξάνει τον κίνδυνο να ακουμπήσουν το ηλεκτρόδιο και το μέταλλο βάσης. Η απόσταση πρέπει να διατηρείται, κατά το δυνατόν, σταθερή και αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα, όταν το χέρι που κρατάει την τσιμπίδα ακουμπάει στο τραπέζι εργασίας.

Στις μηχανές, που δεν είναι ειδικές για τη συγκόλληση TIG, υπάρχει πρόβλημα έναυσης του τόξου, επειδή δε διαθέτουν ρεύμα ACHF. Πολλοί τύποι μηχανών MMA έχουν τη δυνατότητα να συγκολλήσουν και με TIG, αρκεί, με κάποιο τρόπο, να εκκινήσει το τόξο και σ' αυτές τις μηχανές. Ο μόνος τρόπος είναι να ακουμπήσει το ηλεκτρόδιο στο μέταλλο βάσης. Η διαδικασία είναι όμοια με αυτή που φαίνεται στο σχήμα (9.14) και που την περιγράψαμε προηγουμένως, με μόνη διαφορά ότι φέρνουμε σε επαφή το ηλεκτρόδιο με το μέταλλο βάσης. Όμως αυτή η επαφή, έστω και στιγμιαία, **αλλοιώνει τη χημική σύσταση του άκρου του ηλεκτροδίου** (το μολύνει με μόρια από το μέταλλο βάσης) και επιδρά αρνητικά στην ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης.

Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα στις ηλεκτροσυγκολλήσεις TIG είναι **ο κρατήρας που δημιουργείται στο τέλος της ραφής** και γι' αυτό έχει μεγάλη σημασία ο τρόπος με τον οποίο θα διακόψουμε την ηλεκτροσυγκόλληση. Για να σταματήσουμε το τόξο πρέπει να εκτελέσουμε ακριβώς την αντίστροφη κίνηση από αυτή που περιγράψαμε προηγουμένως, όπως φαίνεται στο σχήμα (9.14), περίπτωση (B), αλλά αυτή τη φορά, προκειμένου να περιορίσουμε τη δημιουργία του κρατήρα, η κίνηση πρέπει να είναι ακαριαία. Ο σχηματισμός του κρατήρα εμποδίζεται καλύτερα, αν η μηχανή έχει πεντάλ ή διακόπτη ρύθμισης του ρεύματος, οπότε προβαίνουμε σε σταδιακή μείωση του ρεύματος με παράλληλο γέμισμα του κρατήρα με υλικό συγκόλλησης.

9-16. Τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια της TIG

(α) Η τυποποίηση των ηλεκτροδίων

Τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στην TIG είναι τυποποιημένα σύμφωνα με το ISO-6848 (έκδοση 1984) και με το AWS A5.12. **Αποτελούνται είτε από καθαρό βολφράμιο⁹ (W) ή περιέχουν βολφράμιο και κάποια μικρή πρόσμιξη άλλου υλικού.** Στον πίνακα (9-9), βλέπουμε τα περισσότερα χρήσιμα είδη των μη αναλωσίμων ηλεκτροδίων. Τα πλέον διαδεδομένα είναι τα πέντε πρώτα (WP, WT20, EWLa-1.5, WC20, WZ3). Τα ηλεκτρόδια υπάρχουν σε τυποποιημένα μήκη 50, 75, 150 και 175 mm.



Σχήμα (9.15): Ο χρωματικός κώδικας των ηλεκτροδίων βολφραμίου

Όλα τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια είναι χρωματισμένα στο άκρο τους και, **ανάλογα με το χρώμα, καταλαβαίνουμε τη χημική τους σύσταση.** Στο σχήμα (9.15), φαίνεται ο τρόπος σήμανσης και η συσκευασία των ηλεκτροδίων. Θεωρούνται ως μη αναλώσιμα, αλλά στην πραγματικότητα έχουν και αυτά μία πολύ μικρή φθορά. Το σωστότερο θα ήταν να τα ονομάζαμε «ελάχιστα αναλώσιμα ηλεκτρόδια».

⁹ Η αγγλική ονομασία του είναι wolfram αλλά παλαιότερα ονομάζονταν tungsten. Η παλιά ονομασία έχει επικρατήσει στα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια της TIG.

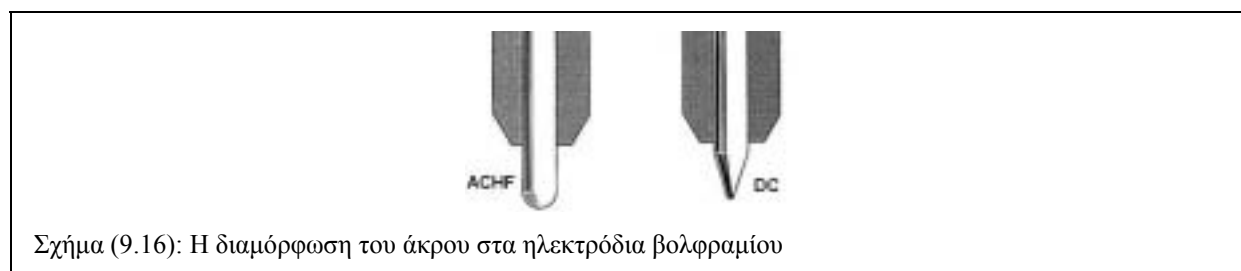
Πίνακας (9-9): Μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια ηλεκτροσυγκόλλησης TIG					
Σύσταση	Ονομασία	Τυποποίηση κατά ISO		Τυποποίηση κατά AWS	
		Συμβολισμός	Χρώμα	Συμβολισμός	Χρώμα
100% W	Βολφραμίου	WP	Πράσινο	EWP	Το ίδιο
W + 2% ThO ₂	Θορίου 2%	WT20	Κόκκινο	EWTh-2	Το ίδιο
W + 1,5% LaO ₂	Λανθανίου 1,5%	-	-	EWLa-1.5	Χρυσό
W + 2% CeO ₂	Δημήτριου	WC20	Γκρί	EWCe-2	Πορτοκαλί
W + 0,3% ZrO ₂	Ζιρκονίου	WZ3	Καφέ	EWZr-1	Το ίδιο
W + 1% ThO ₂	Θορίου 1%	WT10	Κίτρινο	EWTh-1	Το ίδιο
W + 1% LaO ₂	Λανθανίου 1%	WL10	Μαύρο	EWLa-1	Το ίδιο

Παρατηρήσεις: (1) Στην πράξη, το **πορτοκαλί** ή το **γκρι** υποδηλώνουν το WC20.
(2) Το EWLa-1.5 με τη **χρυσή** σήμανση δεν προβλέπεται από το ISO¹⁰ και αποτελεί μία πολύ πρόσφατη εξέλιξη στην τεχνολογία της TIG.

Οι συνιστώμενες εντάσεις του ηλεκτρικού ρεύματος φαίνονται στον πίνακα (9-10). Παρατηρούμε ότι τα ηλεκτρόδια με οξείδιο (π.χ. το WT20), τα οποία μάλιστα συμβαίνει να είναι πολύ χαμηλότερου κόστους από τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου (WP), έχουν ικανότητα χειρισμού μεγαλύτερων εντάσεων ρεύματος. Γι' αυτό και η χρήση των ηλεκτροδίων WP είναι πολύ περιορισμένη και χρησιμοποιούνται μόνο στο αλουμίνιο, λόγω άλλων ιδιοτήτων που παρουσιάζουν. Σημασία, ακόμη, έχει και ο τρόπος διαμόρφωσης του άκρου των ηλεκτροδίων που πρέπει να είναι όπως βλέπουμε στο σχήμα (9.16).

Πίνακας (9-10): Οι εντάσεις ρεύματος στα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια (σε A)				
Διάμετρος ηλεκτροδίου (mm)	Ρεύμα DC- (συγκόλληση χαλύβων)		Ρεύμα ACHF (συγκόλληση αλουμινίου)	
	Καθαρό Βολφράμιο	Με οξείδιο	Καθαρό Βολφράμιο	Με οξείδιο
0,5	2-20	2-20	2-15	2-15
1,0	10-75	10-75	15-55	15-70
1,6	40-130	60-150	45-90	60-125
2,0	75-180	100-200	65-125	85-160
2,4	130-230	170-250	80-140	120-210
3,2	160-310	225-330	150-190	150-250

Με το ανάστροφο ρεύμα DC+, η ικανότητα των ηλεκτροδίων περιορίζεται σε πολύ χαμηλές τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος. Π.χ. ηλεκτρόδιο με διάμετρο 1,6 mm, το οποίο για DC- είναι κατάλληλο για ρεύμα 60-150 A, με DC+ είναι κατάλληλο μόλις 10-20 A.



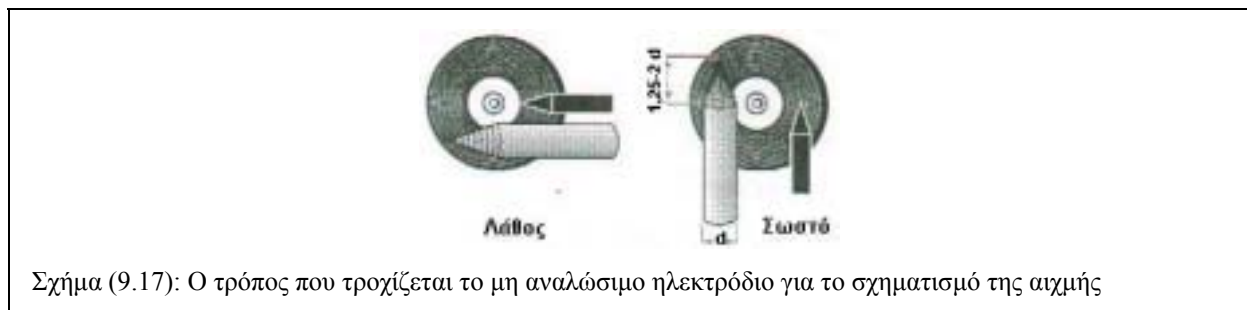
(β) Ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται με ρεύμα DC- (στους χάλυβες)

Το πλέον χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο είναι το WT20, δηλαδή αυτό με την κόκκινη σήμανση (με 2% ThO₂). **Όμως το θόριο (Th) είναι ελαφρά ραδιενεργό και η σκόνη του, από το τρόχισμα, δεν πρέπει να αναπνέεται.** Εναλλακτική λύση είναι το ηλεκτρόδιο WC20 (με 2%

¹⁰ Κατά το χρόνο συγγραφής του βιβλίου

CeO₂) με την γκρι σήμανση (κατά ISO) ή την πορτοκαλί (κατά AWS), επειδή δεν είναι ραδιενεργό, υστερεί όμως σε επιδόσεις έναντι του WT20. **Πρόσφατα ανακαλύφθηκε το ηλεκτρόδιο EWLa-1.5 (χρυσή σήμανση, κατά AWS) το οποίο έχει σχεδόν το ίδιο καλές επιδόσεις με το WT20, αλλά χωρίς να περιέχει ραδιενεργό υλικό.** Έχει ενσωματωθεί στην τυποποίηση κατά AWS, αλλά δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί στην τυποποίηση κατά ISO. Αν ενσωματωθεί, η ονομασία του αναμένεται ότι θα είναι WL15 (επειδή με 1% LaO₂ συμβολίζεται WL10).

Για τη συγκόλληση με ρεύμα DC το ηλεκτρόδιο πρέπει να διαθέτει τροχισμένο κωνικό άκρο, όπως φαίνεται στο σχήμα (9.16). Το μήκος του κώνου συνήθως είναι 1,25-2 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο και αυτό το μήκος αντιστοιχεί σε γωνία κώνου περίπου 30-45°. Για ρεύματα μέχρι 90 A, μπορούμε να έχουμε πιο αιχμηρά ηλεκτρόδια, με γωνία 20-30°. **Χρειάζεται όμως προσοχή στον τρόπο που τα τροχίζουμε, διότι οι γραμμές του τροχού πρέπει να είναι κατά τη διεύθυνση του άξονα και ουδέποτε κάθετα προς αυτόν.** Αν είναι κάθετα, δε θα υπάρχει σταθερότητα στη θέση του τόξου (αλλάζει θέσεις κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης). Ο σωστός τρόπος τροχίσματος του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου φαίνεται στο σχήμα (9.17).



Σχήμα (9.17): Ο τρόπος που τροχίζεται το μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο για το σχηματισμό της αιχμής

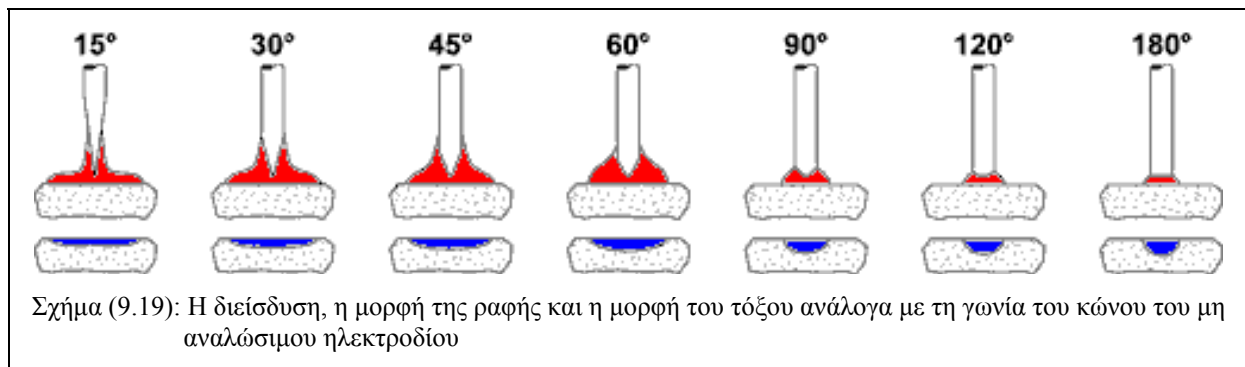
Το τρύχιση πρέπει να γίνεται με σκληρό τροχό (π.χ. με διαμαντοτροχό), επειδή το βολφράμιο είναι πολύ σκληρό. Συχνά χρησιμοποιούνται ειδικά τροχιστικά μηχανήματα, όπως αυτά που βλέπουμε στο σχήμα (9.18), στα οποία ο τροχός είναι κλεισμένος σε διαφανές κάλυμμα. Επίσης, **δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται τροχοί που έχουν τροχίσει οτιδήποτε άλλο εκτός από βολφράμιο**, επειδή, αν μολυνθεί το βολφράμιο με ξένες ουσίες, πέφτει πολύ η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης. Για τον ίδιο λόγο, **οι τροχοί πρέπει να διατηρούνται σε κλειστό χώρο, απομονωμένοι από το περιβάλλον του συνεργείου**, για να μην επικαθονται σκόνη στην επιφάνειά τους, που μολύνουν τα ηλεκτρόδια κατά το τρύχιση. Αυτός είναι ένας επιπλέον λόγος για τη χρήση των ειδικών τροχιστικών μηχανημάτων για τα ηλεκτρόδια βολφραμίου.



Σχήμα (9.18): Ειδικά τροχιστικά μηχανήματα, για το τρύχιση των μη αναλώσιμων ηλεκτροδίων

Η διαμόρφωση των ηλεκτροδίων με ειδικό τροχό έχει το πλεονέκτημα ότι **δεν αφήνει τα μέρια του βολφραμίου να περιφέρονται στην ατμόσφαιρα**. Ακόμη πιο σοβαρό είναι το πρόβλημα, **όταν υπάρχει και θόριο**, επειδή, όπως αναφέραμε, αυτό το υλικό είναι ραδιενεργό. Σε περίπτωση όμως που δε χρησιμοποιούνται ειδικά τροχιστικά μηχανήματα, **το τρύχιση θα πρέπει να γίνεται φορώντας μάσκα** και, αφού αλλάξουμε τον τροχό και βάλουμε στη θέση του τον

ειδικό τροχό που τον διατηρούμε καθαρό μόνο για τα ηλεκτρόδια βολφραμίου. Εναλλακτική λύση είναι να παραγγέλονται έτοιμα, τροχισμένα ηλεκτρόδια (και από τις δύο μεριές) και τα χρησιμοποιημένα να αποστέλλονται για τρόχισμα.



Όπως φαίνεται και στο σχήμα (9.19), ανάλογα με τη διείσδυση που θέλουμε να επιτύχουμε, επιδιώκουμε μεγαλύτερη ή μικρότερη γωνία. Το άκρο του ηλεκτροδίου του όμως δε θα πρέπει να έχει πάντοτε αιχμή, επειδή το μόνο που αυτή προσφέρει είναι η ευκολία ανάματος του τόξου. Ο τρόπος προετοιμασίας του άκρου του ηλεκτροδίου έχει μεγάλη σημασία για τις ιδιότητές του και τη μορφή της ραφής, όπως φαίνεται στον πίνακα (9-11).

Πίνακας (9-11): Οδηγίες για τη σωστή διαμόρφωση του άκρου του μη αναλώσιμου ηλεκτροδίου TIG				
Σημείο σύγκρισης	Διαμόρφωση του άκρου		Γωνία του κώνου	
	Αιχμηρό	Πλατύ	Μικρή	Μεγάλη
Έναυση	Εύκολη	Δύσκολη	Εύκολη	Δύσκολη
Σταθερότητα του τόξου	Μικρή	Μεγάλη	Μικρή	Μεγάλη
Διείσδυση	Ρηχή	Βαθιά	Ρηχή	Βαθιά
Διάρκεια ζωής	Μικρή	Μεγάλη	Μικρή	Μεγάλη
Κατάλληλο για ένταση ρεύματος	-	-	Μικρή	Μεγάλη
Μορφή του τόξου	-	-	Πλατύ	Στενό
Προτεινόμενη αρχική τιμή	[Ρεύμα συγκόλλησης σε A] / 200 (mm) Π.χ. για ρεύμα 100 A: Διάμετρος άκρου=100/200=0,5 mm		Οποιαδήποτε μεταξύ 14° και 60° Μέχρι 90 A προτείνεται: 20-30° Για άνω των 90 A: 30-45°	

(γ) Ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται με το ρεύμα ACHF (με αλουμίνιο)

Το ηλεκτρόδιο καθαρού βολφραμίου χρησιμοποιείται κυρίως στις συγκολλήσεις αλουμινίου με ρεύμα ACHF. Σε ισχυρά μόνο ρεύματα χρησιμοποιείται το ηλεκτρόδιο του ζirkονίου, επειδή, όπως βλέπουμε και από τον πίνακα (9-10), τα ηλεκτρόδια καθαρού βολφραμίου, με ρεύμα ACHF, παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή. Με την εισαγωγή στην τεχνολογία των συγκολλήσεων του ηλεκτροδίου με 1,5% LaO₂, άρχισε να χρησιμοποιείται και το EWLa-1.5, το οποίο φαίνεται να έχει καλή συμπεριφορά και στις ηλεκτροσυγκολλήσεις αλουμινίου.

Τα ηλεκτρόδια που προορίζονται για συγκόλληση με ACHF πρέπει να είναι στρογγυλεμένα στην άκρη τους. Δεν υπάρχει θέμα τροχίσματος του ηλεκτροδίου, καθ' όσον αυτή η στρογγυλή μορφή διατηρείται και κατά τη φάση της συγκόλλησης.

(δ) Η συμπεριφορά των μη αναλώσιμων ηλεκτροδίων κατά την ηλεκτροσυγκόλληση

Η μεταφορά βολφραμίου από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό συγκόλλησης είναι επιβλαβής και, αν τυχόν αποσπαστούν μικρά τεμάχια και πέσουν στο λουτρό συγκόλλησης, αυτά θα πρέπει να αφαιρεθούν.

Παρ' όλον που το βολφράμιο είναι το πλέον δύστηκτο υλικό που υπάρχει, με σημείο τήξης 3410°C, η υψηλή θερμοκρασία του τόξου τήκει το άκρο του ηλεκτροδίου και σχηματίζει ένα σφαιρίδιο. Αυτό είναι πολύ μικρότερο από τη διάμετρο του ηλεκτροδίου στο ρεύμα DC- αλλά μεγαλύτερο από τη διάμετρο στο ACHF.

Το λιωμένο σφαιρίδιο στο άκρο του ηλεκτροδίου σταθεροποιεί το τόξο. Το βολφράμιο εξαερώνεται στους 5920°C και οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, κατά την ηλεκτροσυγκόλληση, δεν επαρκούν να το εξαerώσουν. Το αποτέλεσμα είναι το ηλεκτρόδιο να φθείρεται ελάχιστα, ώστε να μπορεί να θεωρείται ως μη αναλώσιμο. Αν οι διαστάσεις του σχηματιζόμενου σφαιριδίου είναι υπερβολικές, σημαίνει ότι η εκτελούμενη ηλεκτροσυγκόλληση απαιτεί μεγαλύτερης διαμέτρου ηλεκτρόδιο.

9-17. Η τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων και των ράβδων κατά AWS

(α) Συμπαγή σύρματα και ράβδοι για ανθρακούχους και ελαφρά κραματικούς χάλυβες

Όπως συμβαίνει και με τα επενδυμένα ηλεκτρόδια, η τυποποίηση στο σύστημα AWS ακολουθεί πολύ απλούς κανόνες. Συγκεκριμένα, με βάση το AWS-A5.18 έχουμε:

- ER70S είναι το σύρμα ηλεκτροσυγκόλλησης με αντοχή 70.000 psi. Η αντοχή αυτή αντιστοιχεί στο SI με 490 MPa, δηλαδή **πολλαπλασιάζουμε το 70 με το 7**. Αντίστοιχα, μπορεί να συναντήσουμε τα ER80S, ER90S κτλ. Το S υποδηλώνει συμπαγές σύρμα (ενώ το T, που θα συναντήσουμε αργότερα, σημαίνει σωληνωτό σύρμα).
- **Η ίδια ονομασία χρησιμοποιείται, όταν το υλικό είναι σε ράβδους για TIG.**

***Παρατήρηση:** Ο συμβολισμός ER υποδηλώνει υλικό που είναι κατάλληλο για να παραχθεί, τόσο υπό μορφή ηλεκτροδίου (σύρματος) για MIG/MAG όσο και υπό μορφή ράβδου για TIG. Αν το υλικό είναι κατάλληλο μόνο για σύρμα, τότε χρησιμοποιείται το E (όπως συμβαίνει με τα σωληνωτά σύρματα που θα δούμε παρακάτω), ενώ, αν είναι κατάλληλο μόνο για ράβδο, χρησιμοποιείται το R¹¹.*

Τον παραπάνω συμβολισμό ακολουθεί ένας αριθμός π.χ. ER70S-6. Όταν υπάρχουν και μικρές προσμίξεις άλλων μετάλλων (ελαφρά κραματικοί χάλυβες), ακολουθεί ένα γράμμα με έναν αριθμό, π.χ. ER70S-B2. Οι συμβολισμοί αυτοί έχουν σχέση με τη χημική σύσταση του εναποτιθέμενου μετάλλου και βρίσκεται από τους πίνακες που περιέχονται στο πρότυπο.

Συνήθως, τα σύρματα των ανθρακούχων και των ελαφρά κραματικών χαλύβων έχουν επικάλυψη χαλκού για την προστασία τους από τη σκουριά. Αυτή είναι εξαιρετικά λεπτού πάχους, (ελάχιστα μm) και αποτελεί αμελητέα ποσότητα στη χημική τους σύσταση, η οποία ουδόλως επηρεάζει τις ιδιότητές τους.

¹¹ Ο συμβολισμός ER προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Electrode or Rod (= ηλεκτρόδιο ή ράβδος) και το R προέρχεται από το Rod (=ράβδος).

Στην πράξη τα πλέον συνηθισμένα υλικά είναι:

- Το ER70S-6, σε συμπαγές σύρμα που χρησιμοποιείται σε ανθρακούχους χάλυβες.
- Το ER70S-3, σε ράβδους για ηλεκτροσυγκόλληση των ανθρακούχων χαλύβων με TIG. Απαιτεί καθαρή επιφάνεια χωρίς σκουριές.

Η διαφορά των ER70S-6 και ER70S-3: Το πρώτο έχει $\pi(\text{Mn})=1,5\%$ και $\pi(\text{Si})=1\%$, ενώ το δεύτερο έχει $\pi(\text{Mn})=1\%$ και $\pi(\text{Si})=0,5\%$, δηλαδή μικρότερη περιεκτικότητα σε αποξειδωτικές ουσίες. Υπενθυμίζουμε, επίσης, ότι το Mn δεσμεύει και το S και γι' αυτό υπάρχει πάντα στα ηλεκτρόδια και τις ράβδους.

- Στους ελαφρά κραματικούς χάλυβες χρησιμοποιούνται υλικά όπως τα ER80S-B2, ER70S-A1, ER80S-D2, ER90S-B3. Τα υλικά αυτά διατίθενται τόσο σε σύρμα για τη MIG/MAG όσο και σε ράβδους για την TIG.

Επεξήγηση: Το γράμμα A υπονοεί μικρή $\pi(\text{Mo})$, το B μικρή $\pi(\text{Cr}) + \pi(\text{Mo})$ και το D μικρή $\pi(\text{Mn}) + \pi(\text{Mo})$. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός που ακολουθεί, τόσο αυξάνεται η περιεκτικότητα. Π.χ. το B2 έχει $\pi(\text{Cr})=1,25\%$ και $\pi(\text{Mo})=0,5\%$, ενώ το B3 έχει $\pi(\text{Cr})=2,25\%$ και $\pi(\text{Mo})=1\%$. Το A1 και το D2 έχουν και τα δύο $\pi(\text{Mo})=0,5\%$ αλλά το D2 έχει $\pi(\text{Mn})=1,75\%$ αντί του 1% που είναι το σύνηθες.

(β) Ανοξειδωτα σύρματα και ράβδοι

Ακόμη πιο απλό είναι το σύστημα τυποποίησης στους ανοξειδωτους χάλυβες. Ισχύουν οι ίδιες ακριβώς ονομασίες που είδαμε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, με μόνη διαφορά ότι αντί για το γράμμα E, προτάσσονται τα γράμματα ER. Π.χ. το E308L είναι επενδυμένο ηλεκτρόδιο για MMA, ενώ το ER308L είναι γυμνό σύρμα για MIG/MAG ή ράβδος για TIG. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι ανοξειδωτων συρμάτων και ράβδων χρωμιονικελιούχων χαλύβων αναφέρονται στον πίνακα (9-12).

Όπως φαίνεται στον πίνακα (9-12), στα σύρματα ηλεκτροσυγκόλλησης των ανοξειδωτων χαλύβων υπάρχει συχνά και πυρίτιο (Si) ως σταθεροποιητής του τόξου. Αυτή είναι μία ιδιαιτερότητα που συναντάται μόνο στα ανοξειδωτα σύρματα. Η υψηλή περιεκτικότητα Si δε συνηθίζεται στις ράβδους αλλά ούτε και στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας (9-12): Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι ανοξειδωτων συρμάτων και ράβδων		
Ονομασία	Μορφή	Χρήση
ER308L	Σύρμα Ράβδοι	Το τυπικό υλικό συγκόλλησης ανοξειδωτων χαλύβων που περιέχουν Cr και Ni. Είναι ακατάλληλο, όταν περιέχονται στο χάλυβα και άλλες προσμίξεις, ιδίως Mo.
ER309L	Σύρμα Ράβδοι	Για τη συγκόλληση των ανοξειδωτων χαλύβων που, εκτός από Cr, Ni, περιέχουν και Mo.
ER316L	Σύρμα Ράβδοι	Μπορεί με αυτό να συγκολληθεί απλός ανθρακούχος χάλυβας με ανοξειδωτους χάλυβες ή διαφορετικά είδη ανοξειδωτων χαλύβων μεταξύ τους.
ER347	Σύρμα Ράβδοι	Για τη συγκόλληση των σταθεροποιημένων ανοξειδωτων χαλύβων ¹² . Έχει την ίδια χημική σύσταση με το E308L, με επιπλέον προσθήκη Nb.
ER308L Si	Σύρμα	Όπως τα παραπάνω αλλά με μεγαλύτερη περιεκτικότητα Si, η οποία βελτιώνει τη σταθερότητα του τόξου και τη συγκολλησιμότητα του χάλυβα. Η ονομασία (ER) φανερώνει ότι το υλικό είναι κατάλληλο και για ράβδους, στην πράξη όμως υπάρχει σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή σύρματος.
ER309L Si		
ER316L Si		
ER347 Si		

¹² Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1-15, οι χάλυβες που περιέχουν χρώμιο, αντιμετωπίζουν κατά την ηλεκτροσυγκόλληση το πρόβλημα της κατακρήμνισης των καρβιδίων του χρωμίου. Το πρόβλημα αυτό περιορίζεται με την προσθήκη Nb (νιοβίου) ή Ta (τανταλίου) ή Ti (τιτανίου).

(γ) Σύρματα και ράβδοι για τη συγκόλληση του αλουμινίου

Επίσης, πολύ απλό είναι το σύστημα τυποποίησης του αλουμινίου που είναι σύμφωνο με το AWS-A5.10. Δεν υπάρχει αντίστοιχο σύστημα στην τυποποίηση κατά ISO¹³, οπότε αυτό το σύστημα είναι το πλέον κατάλληλο για να χρησιμοποιούμε¹⁴. Ισχύουν οι ίδιες ακριβώς ονομασίες που είδαμε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια, με μόνη διαφορά ότι αντί για το γράμμα E, προτάσσονται τα γράμματα ER. Π.χ. το E4043 είναι επενδυμένο ηλεκτρόδιο για MMA, ενώ το ER4043 είναι γυμνό σύρμα για MIG/MAG ή ράβδος για TIG. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι συρμάτων και ράβδων αλουμινίου αναφέρονται στον πίνακα (9-13).

Πίνακας (9-13): Τα πιο χρήσιμα σύρματα και ράβδοι αλουμινίου				
Ονομασία	Ιδανικό για:	Κατάλληλο επίσης για:	Ακατάλληλο για:	Μορφή
ER1100	1xxx	-	3xxx, 4xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx	Σύρμα Ράβδοι
ER4043, ER4047	6xxx	1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx	5052, 7xxx	
ER5356	5xxx	3xxx, 4xxx, 6xxx, 7xxx	1xxx	

Τα ER4043 και ER4047 περιέχουν Si σε ποσοστά 5% και 12% αντίστοιχα, ενώ το ER5356 περιέχει 5% μαγνήσιο (Mg). Και τα τρία αυτά υλικά έχουν εφαρμογή στις περισσότερες περιπτώσεις (όλα είναι κατάλληλα για τα αλουμίνια 3xxx, 4xxx, 5xxx, 6xxx). Το ER4043 είναι άριστο στη συγκόλληση των αλουμινίων 6xxx που είναι τα πλέον διαδεδομένα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με τα αλουμίνια 1xxx που έχουν επίσης αρκετή διάδοση. Σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη μηχανική χρησιμοποιείται το ER4047 (έχει όμως μικρότερη ελαστικότητα από το ER4043). Όμως, όπως είδαμε, το ER5356 χρησιμοποιείται πολύ στις ηλεκτροσυγκολλήσεις αλουμινίου με MIG, επειδή είναι σκληρό και μπερδεύεται πιο δύσκολα. Χαρακτηριστικό για την υπεροχή του υλικού 4043 είναι και το γεγονός ότι τα επενδυμένα ηλεκτρόδια αλουμινίου που έχουν περιορισμένη χρήση, είναι κυρίως του τύπου E4043, ενώ δεν κατασκευάζονται επενδυμένα ηλεκτρόδια E5356 (όπως είδαμε στο κεφάλαιο 8).

9-18. Η τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων και των ράβδων κατά ISO και κατά EN

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στο σύστημα τυποποίησης που ισχύει κατά AWS το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην αγορά. **Αλλά το επίσημο σύστημα που ισχύει στη χώρα μας είναι αυτό που θα αναπτύξουμε σ' αυτήν την παράγραφο** (εκτός από την τυποποίηση των αλουμινίων). Πρέπει να φροντίσουμε να το μάθουμε καλά. Αν και είναι λίγο πιο δύσκολο από το σύστημα κατά AWS, η ονομασία ενός σύρματος ή μιας ράβδου σύμφωνα με το ISO ή την EN μας δίνει όλα σχεδόν όσα χρειαζόμαστε να γνωρίζουμε γι' αυτό το υλικό. Ένα ακόμη πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι ο **ΕΛΟΤ διαθέτει όλα τα σχετικά πρότυπα στην Ελληνική με τον ίδιο αριθμό που έχουν τα πρότυπα EN**.

(α) Συμπαγή σύρματα και ράβδοι για ανθρακούχους και ελαφρά κραματικούς χάλυβες

Η τυποποίηση γίνεται με βάση το **ISO-14341** το οποίο αναγνωρίζει δύο τρόπους τυποποίησης, τον «**A**» και το «**B**»¹⁵. Ο «**A**» είναι απόλυτα όμοιος με την τυποποίηση κατά **EN-440** ή **ΕΛΟΤ-440**. Οι ελαφρά κραματικοί χάλυβες που προβλέπονται στο πρότυπο αναφέρονται ως **λεπτόκοκκοι χάλυβες**, επειδή οι προσμίξεις τους είναι τέτοιες που οδηγούν σε μικρό μέγεθος κόκκου, δηλαδή σε μεγάλες αντοχές.

¹³ Κατά το χρόνο συγγραφής του βιβλίου. Η κατάσταση κατά το χρόνο της διδασκαλίας μπορεί να έχει αλλάξει.

¹⁴ Υπάρχει και το σύστημα τυποποίησης κατά DIN-1732, με το οποίο τα E1100, E4043, E4047 και E5356 αναφέρονται αντίστοιχα ως EL-A199.5, SG-A1Si5, SG-A1Si12 και SG-A1Mg5.

¹⁵ Το σκεπτικό είναι όμοιο με αυτό με το οποίο γίνεται η τυποποίηση των επενδυμένων ηλεκτροδίων με το ISO-2560 που είδαμε στο κεφάλαιο 8. Τα δύο πρότυπα εκδόθηκαν τον 11/2002.

- **Περιγραφή του τρόπου τυποποίησης ISO-14341-A ή EN-440 ή ΕΛΟΤ-440¹⁶**

Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι η αντοχή περιγράφεται με το όριο **ελαστικότητας** και η δυσθραυστότητα με τη θερμοκρασία στην οποία αυτή έχει τιμή **47 J**.

Παράδειγμα συμβολισμού: **G423M-G3Si1** ή μόνο με το **G3Si1**

Προηγείται το γράμμα G και ακολουθεί ένας αριθμός που, αν πολλαπλασιαστεί με το 10, δίνει το όριο ελαστικότητας σε MPa¹⁷. Οι μόνες τιμές που επιτρέπονται γι' αυτόν τον αριθμό είναι **35, 38, 42, 46, 50** (στο παράδειγμα είναι 42, άρα 420 MPa). Ο επόμενος αριθμός ο οποίος δείχνει τη θερμοκρασία στην οποία η δυσθραυστότητα είναι 47 J, φαίνεται στον πίνακα (9-14) (στο παράδειγμα είναι 3, δηλαδή -20°C). Μετά ακολουθεί ο συμβολισμός του αερίου που χρησιμοποιείται και μπορεί να είναι C, M, A όπως φαίνεται στον πίνακα (9-2) (στο παράδειγμα είναι M, δηλαδή αέριο Ar+20-25%CO₂).

Πίνακας (9-14): Θερμοκρασία στην οποία η δυσθραυστότητα είναι τουλάχιστο 47 J/cm ² κατά ISO-14341-A								
3 ^ο ψηφίο	Z	A	2	3	4	5	6	7
Θερμοκρασία	Άγνωστη	20°C	0°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C

Το τελευταίο μέρος του συμβολισμού αναφέρεται στη χημική σύσταση. **Το πρότυπο επιτρέπει η ονομασία του σύρματος να γίνεται και μόνο με τη χημική του σύσταση.** Στο παράδειγμά μας το **G3Si1** σημαίνει ότι υπάρχει περίπου $3 \times 0,5 = 1,5\%$ Mn και περίπου 1% Si. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται για τη χημική σύσταση δεν είναι πολλοί και περιλαμβάνονται σ' αυτούς μόνο δύο χημικά στοιχεία. Το πρώτο είναι πάντοτε το Mn. Πάντα ξεκινάει ο συμβολισμός με το G και ακολουθεί ένας αριθμός, ο οποίος πολλαπλασιαζόμενος με το 0,5 μας δίνει την κατά προσέγγιση περιεκτικότητα σε Mn. Μετά υπάρχει ο συμβολισμός ενός δεύτερου στοιχείου. Αυτό ενδέχεται να ακολουθείται από έναν αριθμό που υποδηλώνει την περιεκτικότητά του ή, όταν η περιεκτικότητα είναι αρκετά κάτω του 1%, να μην ακολουθείται από αριθμό. **Τυποποιημένοι συμβολισμοί είναι μόνο οι: G2Si1, G3Si2, G4Si1, G2Ti, G2Al, G3Ni1, G2Ni2, G2Mo και G4Mo.** Όταν η χημική σύσταση δεν **εμπίπτει σε κάποια τυποποιημένη κατηγορία, χρησιμοποιείται ο συμβολισμός G0.**

- **Περιγραφή του τρόπου τυποποίησης ISO-14341-B¹⁸**

Η αντοχή περιγράφεται με το όριο **θραύσης** και η δυσθραυστότητα με τη θερμοκρασία στην οποία έχει τιμή **27 J**, όπως συμβαίνει και με τα πρότυπα AWS. Πέραν αυτής της ομοιότητας με το AWS, δεν υπάρχει άλλο κοινό στοιχείο μεταξύ των δύο τυποποιήσεων¹⁹. Οι μόνες τιμές που επιτρέπονται για το όριο θραύσης είναι **43, 49, 53, 57**.

Παράδειγμα συμβολισμού: **G493M-G6** ή μόνο με το **G6**

Ο συμβολισμός είναι σχεδόν ο ίδιος με του ISO-14341-A. Οι μόνες διαφορές που υπάρχουν είναι:

⇒ *Οτι χρησιμοποιείται το όριο θραύσης αντί για το όριο ελαστικότητας*

¹⁶ Υπενθυμίζεται ότι οι μαθητές δε χρειάζεται να απομνημονεύουν και τους αριθμούς των προτύπων. Όταν εξετάζονται αρκεί να λένε ή να γράφουν “κατά AWS” ή “κατά ISO”. Στην προκειμένη περίπτωση η διατύπωση του εξεταζόμενου μαθητή αρκεί να είναι “περιγραφή του τρόπου τυποποίησης κατά ISO ή EN ή ΕΛΟΤ”

¹⁷ 1 MPa = 1 N/mm²

¹⁸ Ό,τι είναι σε πλάγια γραφή, μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος, ανάλογα όμως και με τις τάξεις που θα επικρατούν στην τυποποίηση κατά το χρόνο της διδασκαλίας. Επίσης, οι μαθητές θα έχουν την ευκαιρία να ασχοληθούν περισσότερο με την τυποποίηση, στα πλαίσια των ομαδικών δραστηριοτήτων.

¹⁹ Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στην τυποποίηση των ηλεκτροδίων, όπου το ISO-2560-B είναι σχεδόν όμοιο με το αντίστοιχο πρότυπο κατά AWS.

- ⇒ Στον πίνακα (9-14) αντί για το γράμμα *A* για τους 20 °C χρησιμοποιείται το *Y*.
- ⇒ Οι τυποποιημένοι συνδυασμοί όσον αφορά το συμβολισμό της χημικής σύστασης, είναι διαφορετικοί. Οι μόνες ομοιότητες που υπάρχουν στο συμβολισμό της χημικής σύστασης είναι ότι προηγείται πάντα το *G* και ότι στην περίπτωση που δεν εμπίπτει το σύρμα σε καμία τυποποιημένη κατηγορία χρησιμοποιείται ο συμβολισμός *G0*.

Σε όλους τους ανθρακούχους χάλυβες, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, το γράμμα *G* ακολουθείται από έναν αριθμό που κυμαίνεται από το 2 μέχρι το 17. Ο αριθμός αυτός δεν υποδηλώνει τίποτε άλλο εκτός από το σημείο ενός πίνακα στο οποίο μπορούμε να ανατρέξουμε, αν τυχόν χρειάζεται να βρούμε τη χημική σύσταση του εναποτιθέμενου μετάλλου (ο πίνακας περιέχεται στο πρότυπο).

Στους ελαφρά κραματικούς χάλυβες χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί για τα στοιχεία: *N* για το νικέλιο, *M* για το μολυβδαίνιο, *C* για το χρώμιο και το χαλκό, *T* για το τιτάνιο. Παραδείγματα τέτοιων συμβολισμών είναι: *G3M1* (1,5% Mn, 0,4% Mo), *GN5* (5% Νικέλιο), *GNCC* (περιέχει Ni, Cr και Cu σε ποσοστά κάτω του 1% το καθένα), *GN2M4T* (2% Νικέλιο, 0,8% Mo και μικρό ποσοστό Τιτανίου).

(β) Η τυποποίηση των ράβδων TIG ανθρακούχων και λεπτόκοκκων χαλύβων

Η τυποποίηση γίνεται με την EN-1668. Ο τρόπος τυποποίησης είναι όμοιος με των συμπαγών συρμάτων, με μόνες διαφορές:

- Αντί του **G** χρησιμοποιείται το **W**, τόσο για την ονομασία όσο και για τη χημική σύσταση.
- Δεν υπάρχει σύμβολο του αερίου. Προφανώς αυτό δε χρειάζεται, αφού στην TIG χρησιμοποιείται μόνο το αργόν.

Παράδειγμα συμβολισμού: **W422W2Si** ή **W2Si** (περιέχει περίπου 1% Mn και Si σε ποσοστό μικρότερο του 1%).

(γ) Η τυποποίηση των ανοξείδωτων συρμάτων και ράβδων

Η τυποποίηση, όπως προβλέπεται στο ISO-12072, γίνεται με βάση τη χημική σύσταση του κράματος. Όταν πρόκειται για σύρμα, προηγείται το γράμμα *G*, ενώ για ράβδο το γράμμα *W*. Συμβολισμός για το αέριο δε χρειάζεται, αφού δεν υπάρχουν πολλές επιλογές. **Το αέριο θα είναι Ar για την TIG και Ar+1-3%O₂ για τη MIG/MAG.**

Πίνακας (9-15): Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι ανοξείδωτων συρμάτων και ράβδων							
Είδος συγκόλλησης		Χημική σύσταση					
MIG/MAG	TIG	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb%	Mn %
E 19 9 L	W 19 9 L	< 0,04	18-21	9-11	-	-	< 2,5
E 23 12 L	W 23 12 L	< 0,04	22-25	12-14	-	-	< 2,5
E 19 12 3 L	W 19 12 3 L	< 0,04	17-20	11-14	2-3%	-	< 2,5
E 19 9 Nb L	W 19 9 Nb L	< 0,08	18-21	9-11	-	0,5-1%	< 2,5

9-19. Η ηλεκτροσυγκόλληση FCAW

Η ηλεκτροσυγκόλληση FCAW είναι μία εξέλιξη της MIG/MAG. Με αυτήν επιτυγχάνονται ορισμένες βελτιώσεις της MIG/MAG, αλλά η MIG/MAG εξακολουθεί να υπερέχει σε αρκετά σημεία, όπως π.χ. στην ικανότητά της να εκτελεί συγκολλήσεις ελασμάτων πολύ μικρού πάχους και στο ότι δεν παράγει πολλές αναθυμιάσεις. Ο πίνακας (9-16) μας δίνει μία σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων, προκειμένου να επιλεγεί η πλέον κατάλληλη.

Πίνακας (9-16): Σύγκριση μεταξύ MIG και FCAW (με κόκκινο χρώμα αυτή που παρουσιάζει υπεροχή)		
Σημείο σύγκρισης	MIG	FCAW
Συγκόλληση λεπτών ελασμάτων	Από 0,6 mm (24 gauge)	Από 1 mm (20 gauge)
Συγκόλληση χοντρών ελασμάτων	Χρειάζεται προσοχή σε πάχη > 6 mm (με βραχυκυκλωμένο τόξο)	Δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα
Εμφάνιση της ραφής	Καλή εμφάνιση	Μέτρια εμφάνιση
Πιτσιλίσματα	Λίγα	Πολλά
Αναθυμιάσεις	Περιορισμένες	Πάρα πολλές
Προστασία της ραφής	Πολύ καλή	Άριστη
Ευκολία εκμάθησης-χειρισμού	Πολύ εύκολη	Χρειάζεται εξάσκηση και πείρα
Τήρηση αποθήκης αναλωσίμων	Απαιτούνται ελάχιστα είδη συρμάτων	Χρειάζονται αρκετά σύρματα
Προετοιμασία επιφανείας	Απαιτείται να είναι καλή	Ελάχιστη προετοιμασία
Ευαισθησία σε ρεύματα αέρα	Πολύ μεγάλη	Μικρή
Υπαίθρια συγκόλληση	Όχι	Ναι, με το κατάλληλο σύρμα
Ανάγκη ακρίβειας στη ρύθμιση των παραμέτρων ηλεκτροσυγκόλλησης	Όχι ιδιαίτερη, τα μικρά λάθη δεν έχουν δυσμενείς επιπτώσεις.	Χρειάζεται σχετική ακρίβεια στη ρύθμιση της

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι η **MIG/MAG**, σε γενικές γραμμές, **παρουσιάζει υπεροχή έναντι της FCAW**, αλλά **το πλεονέκτημα της FCAW είναι ότι με το κατάλληλο σύρμα δεν επηρεάζεται από τα ρεύματα αέρα** και γι' αυτό είναι σε θέση, να εκτελέσει και υπαίθριες συγκολλήσεις, κάτι που για τη MIG/MAG είναι αδιανόητο. Ακόμη, δεν πρέπει να παραβλέψουμε τη δυσκολία με την οποία η MIG/MAG μπορεί να κολλήσει χοντρά ελάσματα με τη μέθοδο βραχυκυκλωμένου τόξου (με την οποία συνήθως χρησιμοποιείται σε ανθρακοχάλυβες και ελαφρά κραματικούς χάλυβες), λόγω του κινδύνου να μη γίνει καλή τήξη, ενώ η FCAW δεν αντιμετωπίζει τέτοιο πρόβλημα.

Η συγκόλληση με την FCAW γίνεται με CO₂ ή με μείγμα Ar+20-25% CO₂, **ακόμη και στην περίπτωση που κολλάμε με ανοξειδωτο σύρμα**, επειδή η πάστα παρέχει την απαιτούμενη προστασία και περιέχει και αποξειδωτικά στοιχεία. Με το CO₂ η μεταφορά γίνεται με σταγόνες ενώ περισσότερη βελτιωμένη είναι με το Ar+20-25% CO₂ που προσεγγίζει τη μεταφορά με ψεκασμό. Η μεταφορά με βραχυκυκλωμένο τόξο δε βρίσκει εφαρμογή στην FCAW. Το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν χρησιμοποιείται προστατευτικό αέριο, είναι πάντα DC+, ενώ, όταν δε χρησιμοποιείται (κυρίως στην υπαίθρια ηλεκτροσυγκόλληση) ενδέχεται να είναι DC+ ή DC-, ανάλογα με το είδος του σύρματος, όπως θα δούμε παρακάτω.

Πίνακας (9-17): Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης με FCAW (οι τιμές είναι ενδεικτικές, επειδή ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτροδίου).					
Διάμετρος σύρματος, mm	1,0	1,2	1,4	1,6	2,4
Τάση τόξου, V	14-30	16-32	16-34	18-36	30-38
Ταχύτητα σύρματος, m/min	2,5-10	1,8-12	2-9	1,5-8,5	3-5
Παροχή αερίου L/min	10-12	10-12	11-13	12-14	18-22
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, A	80-250	100-320	120-380	140-450	350-500
Εναποτιθέμενη ποσότητα kg/ώρα	1,2-4,2	1,3-7,5	1,6-7,5	1,6-8	5,5 8,5

Ενδεικτικές τιμές για τις παραμέτρους ηλεκτροσυγκόλλησης δίνονται στον πίνακα (9-17). Μερικά συνηθισμένα σωληνωτά σύρματα είναι τα:

- Για κλειστό χώρο υπάρχουν πολλές επιλογές όπως: το **T422PM** (AWS: E70T1M), με πάστα ρουτιλίου (P ή R) και απαιτεί αέριο M, δηλαδή Ar+20-25% CO₂ ή το **T422MC** (AWS: E70C-6C), που περιέχει μεταλλική σκόνη (M) και απαιτεί αέριο C, δηλαδή CO₂.
- Για υπαίθριο χώρο: **T462W** (κατά AWS: E70T-4) που δεν απαιτεί αέριο.

9-20. Τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων της FCAW κατά AWS

Η τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων είναι αρκετά πιο περίπλοκη από εκείνη των συμμαγών συρμάτων λόγω των πολλών δυνατών συνδυασμών που υπάρχουν, χωρίς όμως να φθάνει την περιπλοκότητα που συναντήσαμε στα επενδυμένα ηλεκτρόδια²⁰.

(α) Σωληνωτά σύρματα, γεμισμένα με σιδηρόσκονη, των ανθρακούχων και ελαφρά κραματικών χαλύβων κατά AWS

Στην τυποποίηση σύμφωνα με το AWS-A5.18, που είδαμε προηγουμένως, προβλέπονται και σωληνωτά σύρματα παραγεμισμένα με σιδηρόσκονη. Αυτά δεν εναποθέτουν προστατευτική σκουριά όπως η πάστα. Η μόνη διαφορά στο συμβολισμό τους είναι ότι αντί του T χρησιμοποιείται το C, π.χ. E70C-6. Όταν το CO₂ δεν είναι κατάλληλο και απαιτείται Ar+20-25%CO₂, προστίθεται στο συμβολισμό το γράμμα M. Όταν είναι χαμηλού υδρογόνου, υπάρχει επιπλέον ο συμβολισμός Hx που σημαίνει ότι περιέχονται το πολύ μέχρι x cm³ αερίου ανά 100 g εναποτιθέμενου μετάλλου, ενώ το x μπορεί να είναι 4 ή 8 ή 16, π.χ. E70C-6MH4.

Δύο άλλες ονομασίες συρμάτων που είναι πολύ συνηθισμένες στα υλικά που βρίσκουμε στο εμπόριο, είναι η E70C-G και η E70C-GS. Αυτές υποδηλώνουν παραγεμισμένο σύρμα του οποίου οι μεταλλικές προσμίξεις δεν εντάσσονται σε κάποια τυποποιημένη κατηγορία (3, 6, A1, B2, B3, D1 κτλ.), αλλά είναι μία ειδική σύνθεση. Τόσο το αέριο που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, όσο και η σύνθεση του εναποτιθέμενου μετάλλου πρέπει να δίνονται από τον κατασκευαστή του σύρματος. Η διαφορά του G από το GS είναι ότι το GS υποδηλώνει υλικό το οποίο είναι κατάλληλο για συγκόλληση μόνο με μονό πάσο (single pass), δηλαδή που είναι ακατάλληλο για πολλαπλά πάσα. Την ονομασία αυτή τη συναντάμε συχνά σε σύρματα με μεγάλες αντοχές, π.χ. E90C-G, E110-G, η αντοχή των οποίων οφείλεται στο είδος των περιεχόμενων προσμίξεων.

Πίνακας (9-18): Κατηγορίες σωληνωτών συρμάτων κατά AWS-A5.29			
Κατηγορία	Ρεύμα	Προστασία αερίου	Πολλαπλά πάσα
E_{xx}T-1	DC+	NAI	NAI
E _{xx} T-2	DC+	NAI	OXI
E _{xx} T-3	DC+	OXI	OXI
E _{xx} T-4	DC+	OXI	NAI
E_{xx}T-5	DC+	NAI	NAI
E _{xx} T-6	DC+	OXI	NAI
E _{xx} T-7	DC-	OXI	NAI
E _{xx} T-8	DC-	OXI	NAI
E _{xx} T-10	DC-	OXI	OXI
E _{xx} T-11	DC-	OXI	NAI
E_{xx}T-G	Προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή		NAI
E _{xx} T-GS			OXI

(β) Σωληνωτά σύρματα γεμισμένα με πάστα ρουτιλίου ή βασική κατά AWS

Στα σωληνωτά σύρματα με πάστα ρουτιλίου ή βασική, η τυποποίηση για μεν τους ανθρακούχους χάλυβες γίνεται σύμφωνα με το AWS-A5.20, ενώ για τους ελαφρά κραματικούς με το AWS-A5.29. Ελάχιστες είναι οι διαφορές από τον τρόπο συμβολισμού των σωληνωτών συρμάτων που είδαμε προηγουμένως. Ο βασικός συμβολισμός που χρησιμοποιείται είναι E70T ή E71T (για μεγαλύτερες αντοχές είναι E80T, E81T, E90T, E91T κτλ.). Η διαφορά των δύο συμβολισμών είναι ότι το E70T είναι κατάλληλο μόνο για τις θέσεις PA, PB, PC, ενώ το E71T είναι για όλες τις θέσεις. Και τα δύο έχουν ελάχιστη αντοχή 70.000 psi, δηλαδή 490 MPa. Το συμβολισμό τον ακολουθεί ένας αριθμός που δίνει πληροφορίες για το κατάλληλο ρεύμα, τη χημική σύσταση, αν απαιτείται προστατευτικό αέριο και αν το σύρμα είναι κατάλληλο για πολλαπλά πάσα. Αυτά, πλην της χημικής σύστασης, τα βλέπουμε στον πίνακα (9-18). Παρατηρούμε ότι όταν ο αριθμός δεν είναι 1, 2, 5, τό-

²⁰ Η διδασκαλία αυτής της παραγράφου μπορεί να παραληφθεί. Η τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων κατά EN (που αναπτύσσεται στην επόμενη παράγραφο) είναι απλούστερη και σαφέστερη από την αντίστοιχη κατά AWS.

τε δεν απαιτείται προστατευτικό αέριο. Στην πράξη, εκτός των ExxT-1, ExxT-4, ExxT-5 και ExxT-G, η χρήση των άλλων τύπων του πίνακα είναι πολύ περιορισμένη²¹ (και για ορισμένους σχεδόν ανύπαρκτη).

Το σύρμα ExxT-1 είναι γεμισμένο με πάστα ρουτιλίου, ενώ το ExxT-5 με βασική πάστα. Περισσότερο διαδεδομένη είναι η χρήση του σύρματος ExxT-1, λόγω της δυσκολίας που παρουσιάζει η χρήση του ExxT-5 (αν και τα τελευταία χρόνια το ExxT-5 έχει βελτιωθεί πολύ).

Τα σωληνωτά σύρματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα με καθαρό CO₂. Σ' αυτή την περίπτωση η χρήση μείγματος Ar+20-25%CO₂ είναι υποχρεωτική και υποδηλώνεται στο συμβολισμό με το γράμμα M. Όταν είναι χαμηλού υδρογόνου, υπάρχει, επιπλέον, ο συμβολισμός Hx που σημαίνει ότι περιέχονται το πολύ μέχρι x cm³ αερίου ανά 100 g εναποτιθέμενου μετάλλου, ενώ το x μπορεί να είναι 4 ή 8 ή 16. Παραδείγματα ονομασίας: E71T-1MH4, E70T-5.

Τα σύρματα αυτά ενδέχεται να περιέχουν μαζί με την πάστα και σιδηρόσκονη. Αυτό υποδηλώνεται με το γράμμα J που ακολουθεί το συμβολισμό του αερίου. Π.χ. E70T-1MJH4. Όπως συμβαίνει και με τα ηλεκτρόδια, στη σιδηρόσκονη ενδέχεται να περιέχονται και οι μεταλλικές προσμίξεις άλλων στοιχείων, ενώ το ίδιο το σωληνωτό σύρμα να είναι κατασκευασμένο από έναν απλό ανθρακούχο χάλυβα. Οι συμβολισμοί είναι οι ήδη γνωστοί: A1 (με Mo), B1, B2, B3 (με Cr και Mo), D1, D2, D3 (με Mo και αυξημένη περιεκτικότητα Mn). Επιπλέον, υπάρχουν και οι συμβολισμοί Ni1, Ni2, Ni3 με αντίστοιχα ποσοστά Ni: 1, 2, 3%. Παραδείγματα ονομασίας: E71T6-Ni1, E80T1-B2.

(γ) Ανοξείδωτα σωληνωτά σύρματα κατά AWS

Η τυποποίηση, σύμφωνα με το AWS A5.22, είναι της μορφής ExxxT-y, όπου xxx είναι το είδος του ανοξείδωτου μετάλλου και το y υποδηλώνει το αέριο στεγανοποίησης σύμφωνα με τον πίνακα (9-19). Σε όλες τις περιπτώσεις το ρεύμα είναι DC+. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα είδη, αντίστοιχα με ό,τι ισχύει για την τυποποίηση των συμπαγών συρμάτων, είναι τα 308L, 309L, 316L και 347. Παραδείγματα ονομασίας: E308LT-1, E347T-2.

Περιγραφή	Αέριο
ExxxT-1	CO ₂
ExxxT-2	Ar+20-25% CO ₂
ExxxT-3	Χωρίς αέριο
ExxxT-G	Άλλο

9-21. Η τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων κατά EN

(α) Η τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων ανθρακούχων και λεπτόκοκκων χαλύβων

Η τυποποίηση γίνεται με βάση το πρότυπο EN-758. Δεν υπάρχει πρότυπο ISO για τα σωληνωτά σύρματα. Το βασικότερο σημείο που διαφοροποιείται η τυποποίηση από αυτή των συμπαγών συρμάτων, που ήδη αναπτύξαμε, είναι ότι προτάσσεται το γράμμα T αντί το G.

Παράδειγμα συμβολισμού: T424BC

Το 42 σημαίνει όριο ελαστικότητας 420 MPa και το 4 ότι η δυσθραυστότητα είναι 47 J, όταν η θερμοκρασία είναι -30°C, ενώ το C σημαίνει ότι το αέριο είναι το CO₂. Δηλαδή αυτά έχουν την ίδια σημασία που έχουν και στα συμπαγή σύρματα. Όταν δεν απαιτείται αέριο, υπάρχει το γράμμα N. Οι συμβολισμοί για το αέριο φαίνονται στον πίνακα (9-20).

Αέριο	Συμβολισμός
Ar+20-25% CO ₂	M
CO ₂	C
Χωρίς αέριο	N

²¹ Έτσι ίσχυε κατά το χρόνο συγγραφής του βιβλίου. Οι μαθητές θα διερευνήσουν την κατάσταση που ισχύει κατά το χρόνο της διδασκαλίας, στα πλαίσια των ομαδικών δραστηριοτήτων. Η χρήση των συρμάτων που δε χρειάζονται αέριο είναι πιθανόν να έχει σταδιακά αντικαταστήσει τα επενδυμένα ηλεκτρόδια στις υπαίθριες συγκολλήσεις.

Το καινούριο στοιχείο στο συμβολισμό είναι το «B» που σημαίνει ότι το σύρμα είναι παραγεμισμένο με βασική πάστα. Για πάστα ρουτιλίου χρησιμοποιείται R ή το P, ενώ για γέμιση με σιδηρόσκονη, το M. Στην τελευταία περίπτωση δεν υπάρχει προστατευτική σκουριά από την πάστα. Στον πίνακα (9-21) φαίνονται όλα τα είδη του γεμίσματος των σωληνωτών συρμάτων.

Πίνακας (9-21): Συμβολισμοί για το είδος της περιεχόμενης πάστας, εφαρμογές, απαιτήσεις αερίου			
Σύμβολο	Περιγραφή	Απαιτήσεις αερίου	Ιδιότητες
R	Ρουτιλίου	ΝΑΙ	Σκουριά βραδείας πήξης
P	Ρουτιλίου	ΝΑΙ	Σκουριά ταχείας πήξης
B	Βασική	ΝΑΙ	
M	Μεταλλική (σιδηρόσκονη)	ΝΑΙ	Χωρίς σκουριά από πάστα
V	Βασική ή ρουτιλίου	OXI	Ακατάλληλο για ραφή με πολλαπλά πάστα
W	Βασική ή ρουτιλίου	OXI	Σκουριά βραδείας πήξης
Y	Βασική ή ρουτιλίου	OXI	Σκουριά ταχείας πήξης
Z	Οτιδήποτε άλλο		

Πέραν των παραπάνω ενδέχεται να υπάρχουν και δύο προαιρετικοί συμβολισμοί. Παράδειγμα συμβολισμού με τα προαιρετικά σύμβολα : T424BC1H5

- Το «1» που ακολουθεί το σύμβολο του αερίου, σημαίνει ότι η συγκόλληση είναι δυνατή σε όλες τις θέσεις. Αν υπάρχει το «3», σημαίνει ότι η συγκόλληση είναι δυνατή μόνο στις θέσεις PA, PB, PC. Αν και υπάρχουν και άλλα σύμβολα για τις θέσεις συγκόλλησης, που φαίνονται στον πίνακα (9-22), στην πράξη χρησιμοποιούνται κυρίως σύρματα που εμπίπτουν στις κατηγορίες «1» και «3».
- Όταν είναι χαμηλού υδρογόνου, υπάρχει επιπλέον ο συμβολισμός Hx που σημαίνει ότι περιέχονται το πολύ μέχρι $x \text{ cm}^3$ αερίου ανά 100 g εναποτιθέμενου μετάλλου (όπως και στα επενδυμένα ηλεκτρόδια κατά ISO ή EN). Το x μπορεί να είναι μόνο 5, 10 ή 15.

Πίνακας (9-22): Ο συμβολισμός των θέσεων συγκόλλησης των σωληνωτών συρμάτων κατά EN-758	
Ψηφίο	Θέσεις συγκόλλησης για τις οποίες προορίζεται το ηλεκτρόδιο
1	Κατάλληλο για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις
2	Κατάλληλο για όλες τις θέσεις εκτός της PG
3	Κατάλληλο μόνο για PA, PB και PC
4	Κατάλληλο μόνο για PA και PB
5	Κατάλληλο για PA, PB, PC και PG

Στην περίπτωση που υπάρχουν προσμίξεις και άλλων μεταλλικών στοιχείων, τότε αυτές αναφέρονται πριν από το γράμμα που υποδηλώνει τη γέμιση του σύρματος. Για παράδειγμα:

T4641NiPM1H5: με 1% Ni,

T46AMoPM1H5: περιέχει Mo (κάτω του 1%, συνήθως είναι περί το 0,5%)

T46AZPM1H5: περιέχει προσμίξεις που δεν εντάσσονται σε κάποια από τις τυποποιημένες προσμίξεις που προβλέπει το πρότυπο και πρέπει να προδιαγράφονται από τον προμηθευτή του ηλεκτροδίου.

Οι τυποποιημένοι συνδυασμοί προσμίξεων είναι οι: Mo, MnMo, 1Ni, 2Ni, 3Ni, Mn1Ni και 1NiMo. Όταν η σύσταση του εναποτιθέμενου μετάλλου δεν ανήκει σε κάποιον από αυτούς τους τυποποιημένους συνδυασμούς, χρησιμοποιείται το Z.

Παρατήρηση: Εκτός από το πρότυπο EN-758, υπάρχουν ακόμη δύο πρότυπα, τα EN-12071 και EN-12535, που αναφέρονται σε σωληνωτά σύρματα ελαφρά κραματικών χαλύβων για ειδικές εφαρμογές. Ο τρόπος τυποποίησης των σωληνωτών συρμάτων σε αυτά τα πρότυπα μοιάζει αρκετά με τον τρόπο που γίνεται στο EN-758, αλλά έχουν διαφορετικούς τυποποιημένους συνδυασμούς προσμίξεων. Δε θα επεκταθούμε περισσότερο στα EN-12071 και EN-12535. Αναφέρεται μόνο η ύπαρξή τους, για να μη δημιουργηθεί απορία στην περίπτωση που μας τύχουν τέτοιες ονομασίες. Παραδείγματα ονομασίας:

κατά EN-12071: **TCrMo1BC3H5** (δεν υπάρχουν σύμβολα για την αντοχή και τη δυσθραυστότητα)

κατά EN12535: **T696Mn2NiCrMoBC53H5, T894ZBM3H5** (έχουν υψηλά όρια ελαστικότητας)

(β) Ανοξείδωτα σωληνωτά σύρματα κατά EN

Η τυποποίηση και εδώ είναι σύμφωνα με το EN-12072. Οι ονομασίες είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές του πίνακα (9-15), με μόνη διαφορά ότι προηγείται το γράμμα T. Έτσι έχουμε τα T199L, T2312L, T19123L και T199NbL (που είναι τα αντίστοιχα των E308LT, E309LT, E316LT και E347T κατά AWS). Ακολουθούν οι ίδιοι συμβολισμοί που αναφέρθηκαν για τα σωληνωτά ηλεκτρόδια των ανθρακούχων χαλύβων, δηλαδή για την πάστα, το αέριο και τη θέση συγκόλλησης. Παράδειγμα ονομασίας: T119LRM1.

9-22. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι συρμάτων και ράβδων στις συνήθεις εφαρμογές

Τα σύρματα και οι ράβδοι που συνήθως χρειάζονται σε ένα συνεργείο είναι πολύ λίγα. Στον πίνακα (9-23) έχουν συγκεντρωθεί μερικά βασικά είδη με τα οποία, αν υπάρχουν στην αποθήκη μας, είμαστε ικανοί να εκτελέσουμε σχεδόν τα πάντα. Υπάρχουν όμως εναλλακτικές λύσεις για αρκετά από αυτά και ως εκ τούτου θα πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά ο πίνακας (9-23), πριν πάρουμε την οριστική απόφαση για τα υλικά που θα χρησιμοποιούμε. Έχοντας οργάνώσει ένα στοκ από τα βασικά υλικά μας, οι περιπτώσεις που θα χρειαστεί να παραγγείλουμε κάποια άλλη ποιότητα σύρματος ή ράβδου θα είναι ελάχιστες.

Πίνακας (9-23): Χρήσιμα υλικά για τη συγκόλληση σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου						
	Τυποποίηση κατά AWS			Τυποποίηση κατά EN		
	MIG/MAG	FCAW	TIG	MIG/MAG	FCAW	TIG
Ανθρακούχοι χάλυβες	ER70S-6	E71T1MH4	ER70S-3	G3Si1	T462PM1H5	W3Si1
Σε ανοικτό χώρο	-	E70T-4	-	-	T462W	-
Ελαφρά κραματικοί χάλυβες	ER80S-D2	-	ER80S-D2	G462MG4Mo	-	W4Mo
Ανοξείδωτοι χάλυβες	ER308LSi	-	ER308L	G199L	-	W199L
Αλουμίνιο	ER5356	-	ER4043	-	-	-

9-23. Η χρήση των μηχανών-ρομπότ στην ηλεκτροσυγκόλληση

Ο αυτοματισμός εισήχθη στην τεχνική των ηλεκτροσυγκολλήσεων με σκοπό τη **μείωση του κόστους**, τη **χρονική επιτάχυνση των εργασιών** συγκόλλησης, η εξασφάλιση **σταθερής ποιότητας** καθώς και **ωραίας εμφάνισης** της ραφής.

Το πρώτο σύστημα αυτόματης διαδικασίας ηλεκτροσυγκόλλησης ήταν η SAW (βυθισμένου τόξου), που είδαμε στο κεφάλαιο 6 και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1951. Κατατάσσεται σε ξεχωριστή μέθοδο ηλεκτροσυγκόλλησης, όπως είναι η MMA, η TIG και η MIG/MAG. Ένα σύστημα SAW βλέπουμε στο σχήμα (9.20). Όλα τα συστήματα SAW χρησιμοποιούν σύρμα, μεγάλης διαμέτρου, που αρχίζει από 2 mm και φθάνει μέχρι και 6 mm, ενώ η πάστα πέφτει στο λουτρό συγκόλλησης σε μορφή χύμα.



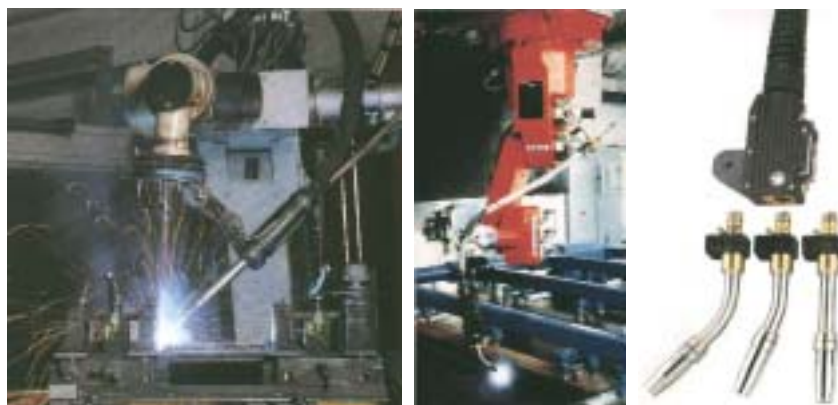
Σχήμα (9.20): Σύστημα ηλεκτροσυγκόλλησης SAW

Έκτοτε ο αυτοματισμός στην ηλεκτροσυγκόλληση έχει κάνει μεγάλη πρόοδο και σήμερα χρησιμοποιούνται στις αυτόματες διαδικασίες και **μηχανές ρομπότ**. Η χρήση των ρομπότ στις ηλεκτροσυγκολλήσεις γίνεται σε εργασίες που εκτελούνται σε σειρά παραγωγή, ή σε εργασίες που δεν είναι δυνατόν να εκτελεστούν από άνθρωπο, όπως, όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες ή δημιουργούνται πολλοί σπινθήρες. Το σύστημα αποτελείται από τα ίδια μέρη που αποτελείται ένα συγκρότημα MIG/MAG, με μόνη διαφορά ότι τη θέση του ανθρώπου την έχει πάρει μία μηχανή που προγραμματίζεται για να εκτελεί συγκεκριμένες κινήσεις.

Τα μέρη ενός ρομποτικού συστήματος είναι:

- **Η μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης**, που ενδέχεται να είναι και ακριβώς η ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται στις ηλεκτροσυγκολλήσεις με το χέρι.
- **Το κατάλληλα διαμορφωμένο τραπέζι εργασίας**, πάνω στο οποίο τοποθετούνται τα προς συγκόλληση τεμάχια.
- **Το ρομπότ**
- **Ο πίνακας ελέγχου του ρομπότ**

Τα ρομποτικά συστήματα δε λειτουργούν από μόνα τους. Ο χειριστής ενός ρομποτικού συστήματος πρέπει να είναι ένας πολύ καλός ηλεκτροσυγκολλητής για να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται την ποιότητα μίας συγκόλλησης. Πρέπει όμως προηγουμένως να εκπαιδευτεί στον προγραμματισμό τέτοιων συστημάτων, δηλαδή ουσιαστικά πρόκειται για έναν ηλεκτροσυγκολλητή-προγραμματιστή. Επίσης, δεν είναι δυνατόν να εκτελούνται όλων των ειδών οι ηλεκτροσυγκολλήσεις με ρομπότ. Συχνά τα ρομπότ κάνουν την εργασία μέχρι ενός σημείου και η εργασία πρέπει να ολοκληρωθεί από κάποιο τεχνίτη με τα συμβατικά συστήματα ηλεκτροσυγκόλλησης.



Σχήμα (9.21): Ρομποτικά συστήματα που βασίζονται στην MIG/MAG και το σύστημα της τσιμπιδας

Σε όλα γενικά τα ρομποτικά συστήματα εφαρμόζονται οι ηλεκτροσυγκολλήσεις σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου. Τα συστήματα MIG/MAG (GMAW) είναι τα πλέον συνηθισμένα, αλλά υπάρχουν και συστήματα που βασίζονται στην TIG (GTAW), με τη μόνη διαφορά από την κλασική TIG ότι η τροφοδοσία του υλικού συγκόλλησης γίνεται υπό μορφή σύρματος. Στο σχήμα (9.21) βλέπουμε διάταξη ρομποτικού συστήματος βασισμένου στην MIG/MAG και στο (9.22), διάταξη βασισμένη στην TIG.



Σχήμα (9.22): Ρομποτικό σύστημα που βασίζεται στην TIG και η μορφή της τσιμπίδας

Στο σχήμα (9.23), φαίνεται ένα πολύ σύγχρονο ρομπότ. Αυτό μπορεί να εκτελέσει 6 διαφορετικές κινήσεις γύρω από άξονες και λέμε ότι είναι ρομπότ των 6 αξόνων. Στην περιοχή όμως που κινείται ένα τέτοιο ρομπότ, όταν αυτό είναι σε λειτουργία δεν επιτρέπεται να εισέλθει κάποιος, επειδή υπάρχει κίνδυνος να τραυματιστεί σοβαρά από κάποια κίνηση του ρομπότ. Γι' αυτό η περιοχή αυτή θα πρέπει να είναι απομονωμένη.



Σχήμα (9.23): Σύγχρονο ρομπότ 6 αξόνων (εκτελεί 6 διαφορετικές κινήσεις)

Τα ρομπότ είναι εφοδιασμένα και με **αισθητήρες** που τους επιτρέπουν να κάνουν τις απαιτούμενες διορθωτικές κινήσεις. Υπάρχουν οι αισθητήρες επαφής που αντιλαμβάνονται τι συμβαίνει κατά την επαφή π.χ. με το λουτρό συγκόλλησης και οι αισθητήρες που αντιλαμβάνονται χωρίς να προκληθεί επαφή, π.χ. μετρώντας κάποια τάση ή κάποια συχνότητα. Επίσης, ενδέχεται να υπάρχουν και οπτικοί αισθητήρες που να μεταφέρουν εικόνα στο χειριστή, ο οποίος, στη συνέχεια, έχει τη δυνατότητα να δώσει στο ρομπότ τις ανάλογες εντολές. Με τη χρήση των αισθητήρων το ρομποτικό σύστημα εκτελεί όλες τις διορθωτικές κινήσεις που χρειάζονται για τη ρύθμιση των παραμέτρων ηλεκτροσυγκόλλησης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα προστατευτικά αέρια που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις είναι κυρίως το Αργόν (Ar) το CO₂, το Ar + 25% CO₂ και το Ar + 1-3% O₂.
- Στις συγκολλήσεις TIG χρησιμοποιείται μόνο καθαρό Ar.
- Στις συγκολλήσεις MIG/MAG το καθαρό Ar χρησιμοποιείται μόνο στο αλουμίνιο. Στους ανθρακούχους και στους ελαφρά κραματικούς χάλυβες χρησιμοποιούνται όλα τα προαναφερθέντα είδη πλην του Ar ενώ στους ανοξειδώτες χάλυβες μόνο το Ar + 1-3% O₂.
- Στις συγκολλήσεις FCAW χρησιμοποιείται CO₂ ή Ar + 25% CO₂.
- Το CO₂ προκαλεί απανθράκωση της ραφής, όταν π(C)>12% και ενανθράκωση, όταν π(C)<12%. Γι' αυτό αποφεύγεται στη MAG με ανοξειδωτους χάλυβες.
- Τα σύρματα και οι ράβδοι είναι τυποποιημένοι κατά ISO / EN / ΕΛΟΤ, αλλά στην πράξη βρίσκει πολύ μεγάλη εφαρμογή και το σύστημα της AWS.
- Η MIG/MAG και η TIG χρησιμοποιούνται στα λεπτά ελάσματα ενώ η FCAW στα πιο χοντρά. Η FCAW με το κατάλληλο σύρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε υπαίθριο χώρο.
- Οι παράμετροι ηλεκτροσυγκόλλησης της MIG/MAG είναι οι εξής: το σύρμα, το αέριο, η τάση του ρεύματος, το μήκος του ελεύθερου άκρου του σύρματος, η ταχύτητα τροφοδοσίας με σύρμα και η ταχύτητα μετακίνησης της τσιμπίδας.
- Τα είδη του ρεύματος στη MIG/MAG είναι το DC+ και το παλμικό.
- Οι μέθοδοι συγκόλλησης με MIG/MAG είναι με βραχυκυκλωμένο τόξο, μεταφορά σταγόνων και μεταφορά με ψεκασμό. Με το παλμικό ρεύμα η μεταφορά γίνεται με ψεκασμό.
- Το παλμικό ρεύμα είναι ό,τι πιο σύγχρονο υπάρχει στη MIG/MAG και συνεχώς εξελίσσεται.
- Η συγκόλληση αλουμινίου με MIG δεν είναι δύσκολη, αλλά χρειάζεται άλλη τεχνική. Για τη σύνδεση με την τσιμπίδα πρέπει να χρησιμοποιείται ειδικό σετ συγκόλλησης αλουμινίου.
- Τα μικρά συνεργεία, είναι καλύτερα να έχουν έτοιμη μία μικρή μηχανή συγκόλλησης αλουμινίου με σύρμα ER4043 του 1 mm, παρά να καταφεύγουν στο ηλεκτρόδιο.
- Η TIG εκτελείται με DC- στους χάλυβες και με ACHF στο αλουμίνιο ή με παλμικό ρεύμα και για τις δύο περιπτώσεις.
- Τα μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια της TIG χρειάζονται προσοχή στο τρόχισμά τους. Επίσης, η σκόνη τους δεν πρέπει να αναπνέεται από τον άνθρωπο, ιδίως μάλιστα του θορίου που είναι ραδιενεργός.
- Η τεχνική της TIG μοιάζει με της οξυγονοασετιλίνης.
- Στην TIG δεν πρέπει να ακουμπήσει το μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο με το μέταλλο βάσης, επειδή θα μολυνθεί και θα πέσει η ποιότητα της ηλεκτροσυγκόλλησης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Ποια είναι τα κυριότερα είδη προστατευτικών αερίων;
2. Σε ποιες εφαρμογές χρησιμοποιείται το κάθε προστατευτικό αέριο;
3. Πώς επιδρά το CO₂ στη συγκόλληση των χαλύβων;
4. Πώς συμβολίζονται τα τρία βασικά προστατευτικά αέρια; (συμβολισμός με ένα γράμμα)
5. Για τη συγκόλληση του χάλυβα, ποια είναι τα πλέον χρήσιμα σύρματα στη MIG/MAG και στην TIG; Δώστε το συμβολισμό τους κατά ISO (EN) και κατά AWS.
6. Αναφέρατε ποια είναι η καλύτερη μέθοδος για τη συγκόλληση:
 - Λεπτών ελασμάτων
 - Ανοξειδωτων χαλύβων
 - Χυτοσιδήρου
 - Αλουμινίου
7. Ποιο είναι το λεπτότερο έλασμα που μπορούμε να συγκολλήσουμε με MIG/MAG και με ποια διάμετρο σύρματος γίνεται αυτή η συγκόλληση;
8. Ποιες είναι οι παράμετροι συγκόλλησης στη MIG/MAG;
9. Ποια είναι τα είδη του ρεύματος που εφαρμόζονται στη MIG/MAG;
10. Με ποιες μεθόδους γίνεται η μεταφορά του υλικού στη MIG/MAG από το σύρμα στο μέταλλο βάσης;
11. Περιγράψτε τη διαδικασία μεταφοράς με βραχυκυκλωμένο τόξο.
12. Σε τι υπερέχει η συγκόλληση με παλμορεύματα;
13. Γιατί πρέπει το μπεκ της τσιμπίδας στη MIG/MAG να διατηρείται σε άριστη κατάσταση;
14. Ποιες είναι οι πλέον κατάλληλες μέθοδοι για τη συγκόλληση των ανοξειδωτων χαλύβων;
15. Ποια είναι τα βασικά σημεία που πρέπει να προσέχουμε, όταν κολλάμε αλουμίνιο;
16. Ποια είναι τα σύρματα αλουμινίου που κυρίως χρησιμοποιούνται (ονομασίες με βάση την ισχύουσα τυποποίηση) και ποια τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους;
17. Γιατί η συγκόλληση αλουμινίου απαιτεί διαφορετικό σετ εξαρτημάτων; Τι περιλαμβάνει;
18. Με τι ρεύμα κολλάμε στην TIG το χάλυβα και με τι το αλουμίνιο;
19. Πώς είναι διαμορφωμένα τα ηλεκτρόδια της TIG στο άκρο τους;
20. Ποια ηλεκτρόδια χρησιμοποιούμε με την TIG στο χάλυβα και ποια στο αλουμίνιο;
21. Πώς γίνεται η έναυση του τόξου στην TIG;
22. Γιατί δεν πρέπει να ακουμπήσει το ηλεκτρόδιο στο μέταλλο βάσης κατά την TIG;
23. Γιατί πρέπει να χρησιμοποιούμε ειδικούς τροχούς στο τρόχισμα των ηλεκτροδίων της TIG;
24. Ποιοι είναι οι 4 βασικοί τύποι ηλεκτροδίων ανοξειδωτου χάλυβα και πότε πρέπει να χρησιμοποιείται ο καθένας;
25. Εξηγήστε τι σημαίνουν οι ονομασίες των υλικών: T462PM1H5, G3Si1, ER70S-6, W3Si1, G199L, W199L, G462MG4Mo.
26. Σε τι ωφελεί η ρομποτική στις ηλεκτροσυγκολλήσεις;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΡΙΣΕΩΣ

1. Πρόκειται να συγκολλήσετε σκουριασμένες λαμαρίνες που δεν καθαρίζονται εύκολα. Τι αέριο θα χρησιμοποιήσετε;
2. Σας ζητάνε να εκτελέσετε κατεπειγόντως συγκόλληση που απαιτεί Ar + 25% CO₂, αλλά αυτό σας έχει τελιώσει και η προμήθεια της νέας φιάλης αναμένεται ότι θα αργήσει πολύ. Έχετε όμως φιάλες με Ar, Ar + 50% He, CO₂ και Ar + 2% O₂. Μπορείτε να αντιμετωπίσετε την κατάσταση;
3. Γιατί με τη MAG οι ανοξείδωτοι χάλυβες δεν επιτρέπεται να συγκολλούνται με CO₂;
4. Γιατί πρέπει να γνωρίζουμε τόσο το σύστημα τυποποίησης κατά ISO / EN / ΕΛΟΤ, όσο και το σύστημα κατά AWS;
5. Γιατί στην τυποποίηση των συρμάτων MIG/MAG και των ράβδων TIG δεν έχουμε πολλές διαφορετικές ποιότητες υλικών;
6. Γιατί στη MIG/MAG χρησιμοποιούμε μάσκα κεφαλής;
7. Ποια μέθοδο μεταφοράς της μάζας του σύρματος στο λουτρό συγκόλλησης και ποιο αέριο θα επιλέγατε στη MIG/MAG με ρεύμα DC+, αν είχατε να συγκολλήσετε:
 - Λαμαρίνες ανθρακοχάλυβα πάχους 0,6 mm
 - Λαμαρίνες ανθρακοχάλυβα πάχους 10 mm
 - Λαμαρίνες ανοξείδωτου χάλυβα πάχους 3 mm
 - Λαμαρίνες ανοξείδωτου χάλυβα πάχους 0,8 mm
8. Τι θα μπορούσε να συμβεί αν, θέλοντας να κολλήσουμε αλουμίνιο, αλλάζαμε απλώς το σύρμα χάλυβα στη μηχανή MIG/MAG και βάζαμε στη θέση του το σύρμα αλουμινίου;
9. Έχετε στο συνεργείο σας μία μικρή φορητή μηχανή MIG, έτοιμη μόνο για συγκόλληση αλουμινίου. Ποια ποιότητα σύρματος αλουμινίου θα προτιμούσατε, αν (α) το σύρμα σας έπρεπε να είναι διαμέτρου 0,8 mm και (β) διαμέτρου 1 mm;
10. Τι θα μπορούσατε να πάθετε, αν τροχίζατε τα ηλεκτρόδια της TIG, χωρίς τον ειδικό τροχό και χωρίς μάσκα προστασίας;
11. Όταν θέλετε στην TIG βαθιά διείσδυση, πώς θα τροχίζατε το ηλεκτρόδιο (αιχμηρό, πλατύ, κτλ.) και ποιες θα ήταν οι δυσκολίες που θα αντιμετωπίζατε με αυτή σας την επιλογή;
12. Το πολύ αιχμηρό τρόχισμα ενός ηλεκτροδίου TIG σε τι μπορεί να ωφελήσει και τι επιπτώσεις μπορεί να έχει;
13. Πότε είναι σκόπιμο να προτιμούμε την FCAW από τη MIG/MAG;
14. Γιατί η τυποποίηση των σωληνωτών συρμάτων είναι πιο περίπλοκη από την αντίστοιχη των συμπαγών συρμάτων;
15. Γιατί στη ρομποτική χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος MIG/MAG;
16. Τι πιστεύετε για το μέλλον της ρομποτικής στις ηλεκτροσυγκολλήσεις;

ΟΜΑΔΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Εισαγωγικές πληροφορίες

Έχει γίνει αντιληπτό πόσο απαραίτητη είναι η καλή γνώση της τυποποίησης των συρμάτων και των ράβδων. Όμως η τυποποίηση είναι κάτι που συνεχώς βελτιώνεται. Αυτό είναι το κύριο αντικείμενο των ομαδικών δραστηριοτήτων που ακολουθούν. Οι μαθητές θα ψάξουν να βρουν τι αλλαγές έχουν γίνει στην τυποποίηση. Η κάθε ομάδα θα συντάξει τεχνική έκθεση. Οι τεχνικές εκθέσεις θα είναι μέσα σε δύο το πολύ σελίδες.

Εργασία 1

Έλεγχος της ισχύος των προτύπων για τη συγκόλληση χάλυβα με MIG/MAG, TIG και FCAW, διερεύνηση για τυχόν αλλαγές

Τα πρότυπα²² που κυρίως θα πρέπει να εξεταστούν είναι τα ISO-14341, EN-440, ΕΛΟΤ-440 (για σύρματα ανθρακούχων χαλύβων), EN-1668 (για ράβδους TIG), ISO-12072 (για ανοξείδωτους ράβδους και σύρματα), EN-758 (για σωληνωτά σύρματα) και το ISO-6848 (μη αναλώσιμα ηλεκτρόδια της TIG).

Θα πρέπει η ομάδα να επικοινωνήσει κατ' αρχάς με τη βιβλιοθήκη του ΕΛΟΤ ή να ψάξει μέσω του Internet. Αν διαπιστωθεί ότι έχουν γίνει πολλές αλλαγές (γίνεται αντιληπτό από τις ημερομηνίες έκδοσης των προτύπων, οι οποίες θα είναι μεταγενέστερες του 2002), θα ενημερώσουν τον καθηγητή, για να αναθέσει το έργο σε περισσότερα άτομα ή να δημιουργήσει συμπληρωματικές ομάδες. Η κάθε ομάδα θα μελετήσει αναλυτικά και θα συντάξει τεχνικές εκθέσεις για μέχρι 2 το πολύ πρότυπα .

Εργασία 2

Έλεγχος της ισχύος των προτύπων για τη συγκόλληση αλουμινίου, διερεύνηση για τυχόν αλλαγές

Θα εξεταστεί κατ' αρχάς αν έχει εκδοθεί πρότυπο ISO ή EN ή ΕΛΟΤ για τα σύρματα και τις ράβδους αλουμινίου. Αλλιώς θα εξεταστεί το AWS-A5.10²³.

Εργασία 3

Μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης με παλμικό ρεύμα, εξελίξεις στον τομέα της χρήσης παλμικού ρεύματος

Η ομάδα εργασίας θα έρθει σε επαφή με αντιπροσώπους μηχανημάτων ηλεκτροσυγκόλλησης, θα συγκεντρώσει πληροφοριακό υλικό και θα συντάξει τεχνική έκθεση.

Επίσης, θα μελετήσει τις δυνατότητες συγκόλλησης λεπτών ελασμάτων, όπως αυτά των αυτοκινήτων με παλμικό ρεύμα.

²² Το κόστος των προτύπων είναι πολύ μικρό και γι' αυτό είναι σκόπιμο να προμηθευτεί το εργαστήριο μία σειρά των κυριότερων προτύπων και να την ανανεώνει. Πλήρης κατάλογος των προτύπων, που έχουν σχέση με τις συγκολλήσεις, υπάρχει στη βιβλιογραφία, όπου και επισημαίνονται αυτά που προτείνονται για να υπάρχουν στο εργαστήριο. Τονίζεται ότι η φωτοτύπηση προτύπων απαγορεύεται.

²³ Κατά το χρόνο συγγραφής του βιβλίου το AWS-A5.10 που αφορά τη συγκόλληση αλουμινίου ήταν στη φάση της αναθεώρησής του.