



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΜΕ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΚΑΙ
ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ .**

**PARTICLES SURFACE REINFORCEMENT OF STEELS VIA
GTAW TECHNIQUE.**

ΜΩΡΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ-Α.Μ. 40242

ΚΑΡΜΠΑΔΑΚΗΣ ΘΟΔΩΡΗΣ-Α.Μ. 40576

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΨΥΛΛΑΚΗ ΠΑΝΔΩΡΑ

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΜΟΥΡΛΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ , MSc

Αιγάλεω, Ιούλιος 2018

Περίληψη.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στη μελέτη της επιφανειακής βελτίωση χαλύβων μέσω της συγκόλλησης. Η συγκόλληση GTAW είναι μία μέθοδος κατά την οποία το ηλεκτρικό τόξο σχηματίζεται μεταξύ ενός μη-αναλισκόμενου ηλεκτροδίου από βολφράμιο (W) και του προς συγκόλληση μετάλλου.

Στην πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε θεωρητική μελέτη της τεχνικής αυτής και βιβλιογραφική ανασκόπηση από δημοσιεύσεις ερευνητών ,οι όποιοι παρουσιάζουν μελέτες επιφανειακής ενίσχυσης δοκιμίων με σωματίδια .

Αναλύσαμε και συγκρίναμε αποτελέσματα και συμπεράσματα των ερευνητών. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να κατανοήσουμε τις βασικές θεμελιώδεις αρχές, τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαδικασία συγκόλλησης της μεθόδου, να αναγνωρίζουμε πιθανά σφάλματα στην συγκόλληση ώστε να είμαστε σε θέση να προτείνουμε πιθανές λύσεις, που θα συνεισφέρουν στη βελτιστοποίησή της.

***Λέξεις κλειδιά:** συγκόλληση, συνδετικό μέσο, σκόνη εναπόθεσης, παράμετροι που επηρεάζουν τη μέθοδο, εξέλιξη τεχνικής*

Ευχαριστίες.

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις πιο θερμές ευχαριστίες μας, στην επιβλέπουσα, Δρ. Πανδώρα Π. Ψυλλάκη καθηγήτρια, του τμήματος μηχανολογίας Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής και τον κύριο Αθανάσιο Γ. Μουρλά, εργαστηριακό συνεργάτη του τμήματος μηχανολογίας Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, για την συνεχή ενθάρρυνση, κατανόηση και υποστήριξη που μας έδειξαν αλλά και για την άρτια επιστημονική καθοδήγηση που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας, για την αμέριστη υποστήριξη και υπομονή που έδειξαν σε όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μας, που στάθηκαν διακριτικά στο πλευρό μας, σε κακές και καλές στιγμές.

Εκφράζουμε τις θερμότερες ευχαριστίες μας τόσο για την ηθική τους συμπαράσταση, όσο και για την υλική τους υποστήριξη και τους αφιερώνουμε αυτή την πτυχιακή εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	7
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
1.1 Τεχνολογία ηλεκτρικού τόξου GTAW	11
1.2 Περιγραφή της μεθόδου.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	14
2.1 Διάταξη και μέρη της μεθόδου GTAW.....	14
2.2 Περιγραφή παραμέτρων της μεθόδου συγκόλλησης GTAW.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ.....	34
3.1 Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα κατασκευών και η έννοια της επιφανειακής ενίσχυσης.....	34
3.2 Σκοπός επιφανειακών κατεργασιών.....	34
3.3 Ταξινόμηση των επιφανειακών κατεργασιών.....	36
3.4 Επικαλύψεις με θερμικό ψεκασμό.....	35
3.5 Επικαλύψεις με ακτινοβολία LASER.	38
3.6 Επικαλύψεις με ηλεκτρική ενέργεια.	38
3.7 Επικαλύψεις με πλάσμα.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΜΕ ΔΕΣΜΗ GTAW.....	45
4.1 <i>Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με συνδεδετικό υλικό πυριτικό άλας νατρίου και GTAW.....</i>	<i>45</i>
4.1.1.Επιφανειακη βελτίωση με απλή προαναπόθεση σκόνης FeCrBSi.....	45

4.1.2. Επιφανειακή βελτίωση AISI 1045 με σκόνη FeCrBSi και ξήρανση με ζεστό αέρα.....	47
4.1.3 . Επιφανειακή βελτίωση AISI 1020 με σκόνη FeTi και ξήρανση με ζεστό αέρα.....	49
4.1.4. Επιφανειακή βελτίωση AISI 1045 με πάστα σκόνης FeTi και συνδετικού υλικού.....	51
4.1.5.Επιφανειακη βελτίωση με σκόνες σιδηρομαγγανίου, σιδηροχρωμίου και καρβιδίου του τιτανίου.....	53
4.2 <i>Επιφανειακή βελτίωση σιδήρου με δέσμη GTAW και συνδετικό μέσο είδη αλκοόλης.....</i>	54
4.2.1. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα 4340 με σκόνη WC.....	54
4.2.2.Επιφανειακη βελτίωση με σκόνη υπερευθηκτικού κράματος άνθρακα.....	56
4.2.3.Επιφανειακη βελτίωση σε ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 με σκόνη CoCrFeMnNbNi.....	58
4.2.4. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με σκόνη TiC.....	60
4.3 <i>Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με συνδετικό μέσο οξικό πολυβινύλιο, σκόνη TiC και δέσμη GTAW.....</i>	61
4.3.1.Επιφανειακη βελτίωση μαλακού χάλυβα με επίστρωση τιτανίου-αργιλίου.....	61
4.3.2.Επιφανειακη βελτίωση χάλυβα με σκόνη εμπορικού τιτανίου καθαρότητας 99.97%	63
4.3.3. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με σκόνη TiC.....	65
4.3.4.Επιφανειακη βελτίωση χάλυβα με σκόνη TiC συμπεριλαμβανομένης μπάλας αλουμίνιας στα πειράματα τριβής.....	68
4.4. <i>Επιφανειακη βελτίωση χάλυβα με σκόνη τιτανίου και δέσμη GTAW.....</i>	70
4.4.1.Επιφανειακη βελτίωση με προ-επεξεργασμένες σκόνες Ti3Al TiAl.....	70
4.4.2. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με πελέτα τιτανίου CP-Ti.....	71
4.4.3. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με διαφορετικά κλάσματα μάζας σκονών Fe και Ti + B4C.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.

1.1. Σχηματική αναπαράσταση μεθόδου TIG-GTAW.....	8
1.2. Διαδικασία χειρωνακτικής συγκόλλησης GTAW με τη χρησιμοποίηση πρόσθετου υλικού.....	9
2.1. Τομή υδρόψυκτου πιστολιού συγκόλλησης GTAW.....	11
2.2. Επίδραση του είδους του προστατευτικού αερίου στην διαμόρφωση του κορδονιού κατά τη συγκόλληση GTA.....	14
2.3. Η πορεία εναλλαγής της έντασης ρεύματος συγκόλλησης GTA με παλμικό ρεύμα.....	17
2.4. Διαφορά συχνότητας ρεύματος ,50 και 120 HZ.....	25
2.5. Παλμικό ρεύμα υψηλής συχνότητας σε μετωπική και κάθετη συγκόλληση.....	26
2.6. Προεξοχή του ηλεκτροδίου βολφραμίου.....	28
2.7. Μήκος τόξου $a=d$	29
2.8. Διάγραμμα που δείχνει πως επιδρά στην τάση και στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος η μεταβολή της απόστασης του καυστήρα.	29
3.1. Ταξινόμηση βασικών τεχνολογιών συγκολλήσεων με εναπόθεση επιστρώσεων.....	32
3.2. Διαδικασία αναγόμωσης με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο : 1- πυρήνας, 2-επένδυση,3- προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, 4-ρευστή σκουριά, 5- λουτρό συγκόλλησης ,6- σκουριά ,7- επίστρωση.....	35
4.1. Πέρασμα που παράγεται στην επιφάνεια του δείγματος με προπληρωμένο πάχος: (α) 1,5 mm και (b) 2,0 mm.....	45
4.2. Διάγραμμα μικροσκληρότητας και βάθος περάσματος.....	46
4.3. Διάγραμμα μικροσκληρότητας και πάχους προπληρωμένης σκόνης.....	48
4.4. Διάγραμμα φθοράς απλού συμβατικού χάλυβα και επιβελτιωμένου χάλυβα.....	50
4.5. Διάγραμμα φθοράς συμβατικού χάλυβα και των επιβελτιωμένων δοκιμίων.....	53
4.6. Εικόνες μικροσκοπικού ελέγχου βάσης μετάλλου και της τιγμένης επιφάνειας.....	55
4.7. Διάγραμμα σκληρότητας δοκιμίων και φθοράς.....	57
4.8. Διάγραμμα φθοράς δοκιμίων προς το φορτίο.....	56
4.9. Διαγράμματα φθοράς και μικροσκληρότητας δοκιμίων βάση φορτίου.....	58
4.10. Διάγραμμα που δείχνει την μικροσκληρότητα από την επιφάνεια περάσματος.....	60
4.11. Διάγραμμα μικροσκληρότητας προς βάθος περάσματος.....	62
4.12. Διάγραμμα σκληρότητας και βάθους περάσματος βάση των διαφορετικών ενεργειών.....	63
4.13. Διάγραμμα σκληρότητας και βάθους περάσματος βάση των διαφορετικών ενεργειών.....	64

4.14. Διάγραμμα μικροσκληρότητας βάση της περιεκτικότητας σκόνης.....	66
4.15. Διάγραμμα φθοράς δοκιμίων.....	69
4.16. Διάγραμμα που δείχνει την σκληρότητα ανάλογα με το βάθος περάσματος.....	71
4.17. Διαγράμματα σκληρότητας των διαφορετικών περασμάτων ανάλογα με το βάθος του περάσματος.....	72
4.18. Διαγράμματα σκληρότητας των διαφορετικών περασμάτων ανάλογα με το βάθος του περάσματος.....	72
4.19. Διάγραμμα μικροσκληρότητας βάση του ποσοστού σιδήρου και βάθους από την επιφάνεια....	74

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.

2.1. Επιλογή ηλεκτροδίου βολφραμίου.....	18
2.2. Προτεινόμενες περιοχές των εντάσεων ρεύματος συγκόλλησης με τη μέθοδο GTAW, οι διαστάσεις του κωνικού άκρου του κραματωμένου ηλεκτροδίου και γωνία του κώνου ,κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα με αρνητική πολικότητα στην ατμόσφαιρα αργού.....	33
4.1. Μεταβολή βάθους και πλάτους περάσματος βάση των διαφορετικών ενεργειών εισόδου.....	62

Εισαγωγή

Η ποικιλομορφία και η επιθυμία για ένα καλύτερο πρότυπο ζωής έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή ανάπτυξη των τεχνολογιών παραγωγής. Σύμφωνα με αυτές τις εξελίξεις, στις υφιστάμενες τεχνολογίες παραγωγής, η ζήτηση για πιο περίπλοκα προϊόντα αυξάνεται. Έτσι, οδηγηθήκαμε με το πέρασμα του χρόνου στην ανακάλυψη νέων μεθόδων συγκόλλησης και στην εξέλιξη αυτών.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την τεχνολογία της συγκόλλησης τόξου με αδρανές αέριο (GTAW) και την βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών που έχουν δημοσιευτεί στο διαδίκτυο σχετικά με την ενίσχυση δοκιμίων με σωματίδια με τη συγκεκριμένη τεχνική.

Η παρούσα μελέτη, εστιάζει στις μελέτες των ερευνητών, στην ιστορική αναδρομή της τεχνικής, στον τρόπο λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου, στα κατάλληλα εργαλεία, στις παραλλαγές της, στις εφαρμογές που βρίσκει στη βιομηχανία και στην εφαρμογή της σε κράματα χάλυβα.

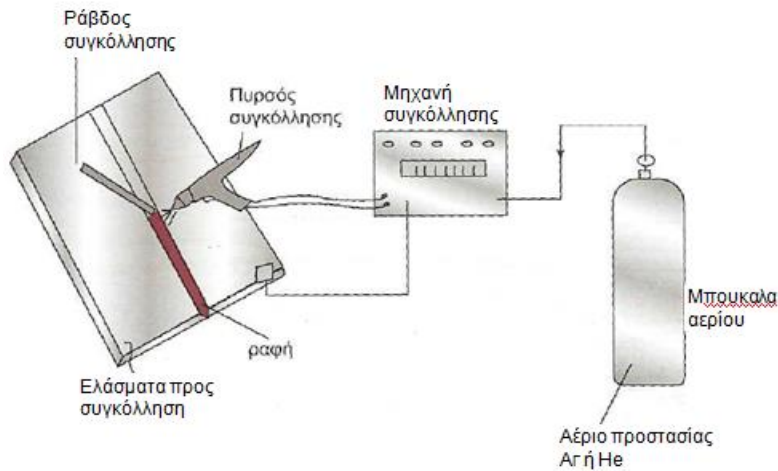
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Τεχνολογία ηλεκτρικού τόξου GTAW

Η συγκόλληση GTAW είναι μία μέθοδος κατά την οποία το ηλεκτρικό τόξο σχηματίζεται μεταξύ ενός μη-αναλυσκόμενου ηλεκτροδίου από βολφράμιο (W) και του προς συγκόλληση μετάλλου. Η συγκόλληση προστατεύεται από συνεχή ροή αδρανούς αερίου. Στην λίμνη συγκόλλησης προστίθεται, εάν απαιτείται, πρόσθετο συγκολλητικό υλικό, που προέρχεται από μία ράβδο συγκόλλησης.

Στο σχήμα.1.1 φαίνεται η διάταξη της συγκόλλησης GTAW. Το αέριο προστασίας χρησιμοποιείται για την προστασία της συγκόλλησης από τον ατμοσφαιρικό αέρα και ειδικότερα από την αντίδραση του τηγμένου μετάλλου με το οξυγόνο και το άζωτο. Οι αντιδράσεις αυτές συνήθως οδηγούν στον σχηματισμό πόρων και εγκλεισμάτων που εξασθενούν την συγκόλληση. Στο σχήμα 1.2 φαίνεται η περιοχή της συγκόλλησης και η προστασία της λίμνης από το αδρανές αέριο. [2]

Το αέριο προστασίας τροφοδοτείται στην περιοχή της συγκόλλησης από τον πυρσό συγκόλλησης. Στις συγκολλήσεις GTAW το αέριο προστασίας είναι αργό (Ar) ή ήλιο (He). Η χρήση του αργού είναι πιο διαδεδομένη λόγω της καταλληλότητας του για την συγκόλληση των περισσότερων μετάλλων και του μικρότερου κόστους σε σχέση με το ήλιο. Στην συγκόλληση GTAW δεν απαιτείται η χρήση επένδυσης (πάστας) ηλεκτροδίου. Έτσι αποφεύγονται όλα τα πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με την χρήση της πάστας, όπως ο εγκλωβισμός της πάστας στην συγκόλληση, καθώς και ο καθαρισμός μετά το πέρας της συγκόλλησης.



Σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση μεθόδου GTAW.

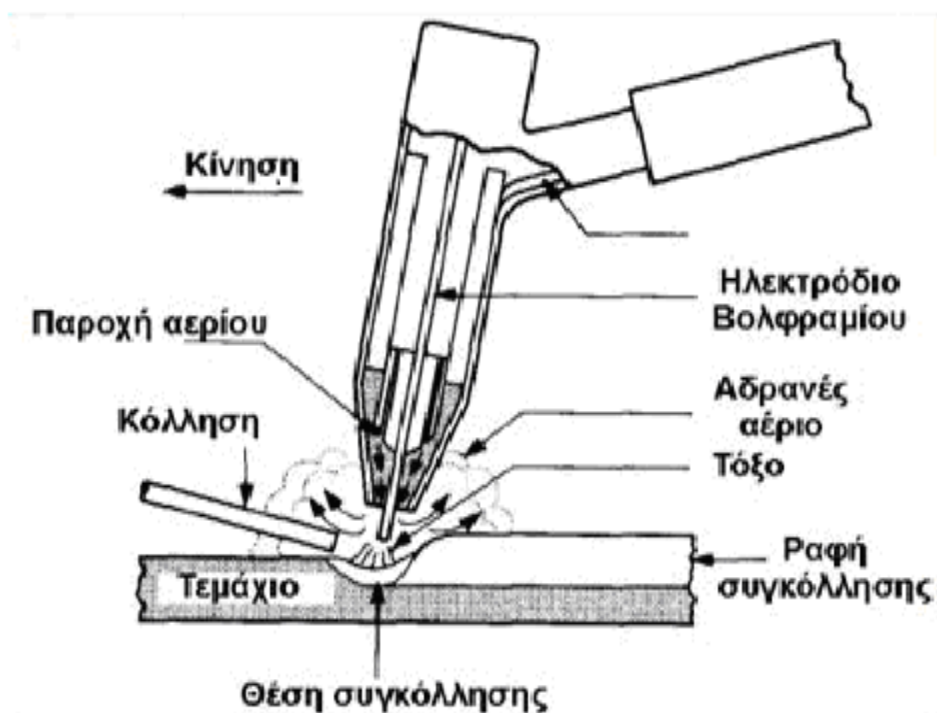
1.2 Περιγραφή της μεθόδου

Η τεχνολογία ηλεκτρικού τόξου, περιγραφόμενη με την ακρωνύμια TIG-GTAW ξεκίνησε το 1926 από τους M.Hobert και P.K.Devers στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και αφορούσε τη συγκόλληση τόξου στην ατμόσφαιρα. Η ακρωνυμία TIG (Tungsten inert Gas) είναι η παλαιότερη ιστορικά αλλά περιλαμβάνει μόνο τα ευγενή αέρια.

Ενώ η ακρωνυμία GTA (Gas Tungsten Arc) όπου περιλαμβάνει τη συγκόλληση με όλα τα είδη προστατευτικών αερίων αδρανών και δραστικών, τώρα η συγκόλληση GTA είναι μια από τις βασικές διαδικασίες δημιουργίας κατασκευών, ιδιαίτερα με τους κραματομένους και τους ειδικούς χάλυβες, τα κράματα νικελίου, αλουμινίου, μαγνησίου, τιτανίου και με άλλα ενεργά και πυρίμαχα μέταλλα καθώς και κράματα με μεγάλο εύρος παχών.

Η συγκόλληση με την μέθοδο GTA μπορεί να διενεργηθεί με συνεχές, εναλλασσόμενο και παλμικό ρεύμα, χειρωνακτικά, ημιαυτόματα και αυτόματα σε συνθήκες μηχανουργικές και συναρμολόγησης, σε όλες τις θέσεις συγκολλήσεις. Οι μηχανές για τη συγκόλληση με τη μέθοδο GTA είναι φθηνές και εύκολες στον χειρισμό. Κατά τη διαδικασία συγκόλλησης τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου τήξη πετυχαίνεται η τήξη των συγκολλούμενων αντικειμένων και του εναποτιθέμενου υλικού.

Το λουτρό του ρευστού μετάλλου σχηματίζεται χωρίς τη συμμετοχή συλλιπασμάτων, άρα είναι απαλλαγμένο από μη μεταλλικά εγκλείσματα στην κόλληση και στην επιφάνεια της, ενώ η τήξη του μητρικού μετάλλου και του εναποτιθέμενου υλικού πραγματοποιείται χωρίς αλλαγές στην χημική του σύνθεση. Συγχρόνως δεν έχει ακαθαρσίες του μετάλλου ,τυπικό άλλων διαδικασιών συγκόλλησης τόξου και η δυνατότητα προσθήκης του εναποτιθέμενου υλικού έξω από το τόξο επιτρέπει να γίνει ανεξάρτητα η ρύθμιση της γραμμικής ενέργειας του τόξου και η ποσότητα προσθήκης του εναποτιθέμενου υλικού στον χώρο.



Σχήμα 1.2 Διαδικασία χειρωνακτικής συγκόλλησης GTAW με τη χρησιμοποίηση πρόσθετου υλικού.

Η διέλευση του ρεύματος στο τόξο γίνεται στο ιονισμένο αέριο ενώ οι κύριοι μεταφορείς του ρεύματος είναι τα εκπεμπόμενα από τα άτομα προστατευτικού αερίου ηλεκτρόνια. Το άναμμα του τόξου διενεργείται με μικρής διάρκειας βραχυκυκλώματα του μη τηκομένου ηλεκτροδίου με το αντικείμενο ή σε ειδικό πλακίδιο εκκίνησης και με γρήγορη επαναφορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Διάταξη και μέρη της μεθόδου GTAW

Στο σχήμα 1.1 φαίνεται αναλυτικά ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται καθώς και η διάταξη του κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης GTAW. Η μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης GTAW είναι πιο πολύπλοκη και ο εξοπλισμός της έχει μεγαλύτερο κόστος από τις απλές ηλεκτροσυγκολλήσεις. Αποτελείται από μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης, ο οποίος τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Το ρεύμα που δίνει για συγκόλληση είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο.

Για την ομαλοποίηση του τόξου, η μηχανή φέρει πυκνωτές σε σειρά συνδεδεμένους με το κύκλωμα του ηλεκτροδίου. Φέρει δύο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες οι οποίες ενεργοποιούνται όταν ο χειριστής πιέσει τον διακόπτη του πυρσού.

Με την ενεργοποίηση των βαλβίδων, παρέχεται προστατευτικό αέριο και υγρό ψύξης (νερό) για την ψύξη του ηλεκτροδίου βολφραμίου. Με την πίεση του διακόπτη του πυρσού, ταυτοχρόνως παρέχεται ηλεκτρικό ρεύμα για συγκόλληση, δηλαδή υπάρχει τάση στα άκρα και τίθεται σε λειτουργία ο χρονοδιακόπτης.

Ο πυρσός που διαθέτει είναι αερόψυκτη και πρέπει να δοθεί η δέουσα προσοχή ώστε να μην υπερθερμαίνεται το ηλεκτρόδιο. Συνιστάται η συγκόλληση μικρών ραφών σε ελάσματα μικρού πάχους. [19]

Ο εξοπλισμός της μεθόδου GTAW περιλαμβάνει:

- Τον καυστήρα συγκόλλησης (σχήμα 2.1).
- Τη μηχανή συγκόλλησης
- Το ηλεκτρόδιο (πίνακας 2.1).
- Το μέταλλο προσθήκης.
- Το προστατευτικό αέριο (σχήματα 2.2 και 2.3).

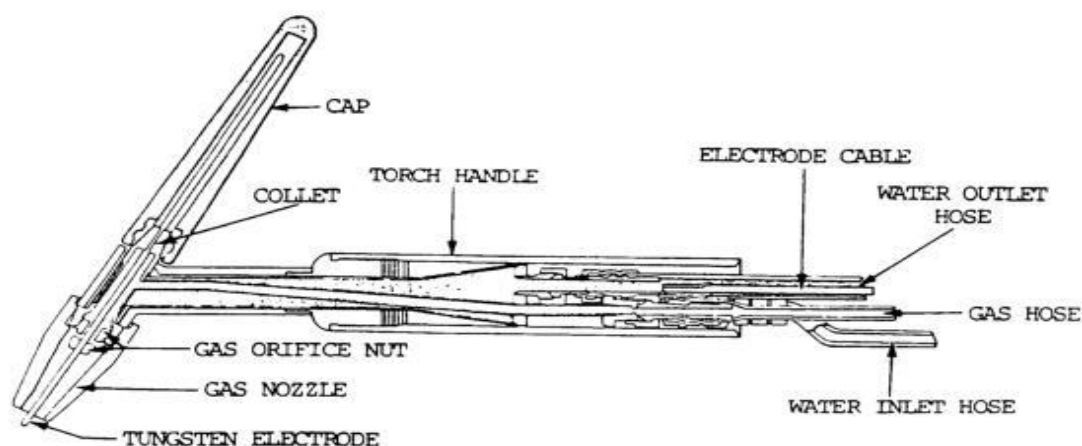
Καυστήρας

Υπάρχουν διάφοροι τύποι καυστήρων ανάλογα με την επιθυμητή εφαρμογή. Το πιστόλι συγκόλλησης μπορεί να προορίζεται για αυτοματοποιημένο ή χειροκίνητο χειρισμό. Άλλα είναι υδρόψυκτα και άλλα αερόψυκτα ενώ μερικά φέρουν και βαλβίδες για τη ρύθμιση της παροχής του αερίου προστασίας. Συνήθως, τα αερόψυκτα καυστήρες χρησιμοποιούνται για συγκολλήσεις στις οποίες η ένταση του

ηλεκτρικού ρεύματος είναι σχετικά χαμηλή (200 A) ενώ για υψηλότερες εντάσεις (έως 600 A) απαιτούνται υδρόψυκτοι καυστήρες. Ο καυστήρας συγκόλλησης είναι συνδεδεμένο με τη μηχανή συγκόλλησης μέσω καλωδίων ενώ με την μονάδα παροχής αερίου (και νερού σε περίπτωση υδρόψυκτου καυστήρα) μέσω δικτύου σωληνώσεων.

Τα εσωτερικά μεταλλικά τμήματα του καυστήρα είναι κατασκευασμένα από ισχυρά κράματα χαλκού ή χαλκού-ψευδαργύρου διότι τα παραπάνω εξασφαλίζουν την απαραίτητη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το ηλεκτρόδιο βολφραμίου πρέπει να στηρίζεται στιβαρά στο κέντρο του ακροφύσιου συγκόλλησης μέσω ενός κυλινδρικού σφιγκτήρα .

Ο σφιγκτήρας απαιτείται να είναι κατάλληλου μεγέθους ώστε να εξασφαλίζει την ύπαρξη αρκετού χώρου στην περίμετρο του ηλεκτροδίου για την διοχέτευση του αδρανούς αερίου. Το μέγεθος του σφιγκτήρα και κατ'επέκταση του ακροφύσιου είναι ανάλογο της διαμέτρου του ηλεκτροδίου. Επειδή το ακροφύσιο πρέπει να έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα κατασκευάζεται από σύνθετα υλικά (πολυμερή ή κεραμικά). Το εξωτερικό τμήμα του καυστήρα είναι κατασκευασμένο από ειδικά θερμομονωτικά και ηλεκτρομονωτικά πλαστικά τα οποία περιβάλλουν τα μεταλλικά τμήματα του εσωτερικού τμήματος του καυστήρα και παρέχουν προστασία στον χειριστή.



Σχήμα 2.1 Τομή υδρόψυκτου καυστήρα συγκόλλησης GTAW.

Πηγή ρεύματος

Η GTAW χρησιμοποιεί μηχανή συγκόλλησης σταθερού ρεύματος. Αυτό σημαίνει πως η ένταση του ρεύματος (και κατ'επέκταση η προσδιδόμενη θερμότητα) παραμένει σχετικά σταθερή ακόμη και αν το μήκος του τόξου ή η τάση μεταβληθούν. Το ανωτέρω γεγονός είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι πρόκειται κατά κύριο λόγο για χειροκίνητη ή ημιαυτοματοποιημένη διαδικασία με το συγκολλητή να χειρίζεται το καυστήρα συγκόλλησης. Στην περίπτωση όπου η μηχανή συγκόλλησης είναι σταθερής τάσης, προκαλεί δραματικές αλλαγές στην παρεχόμενη θερμότητα και δυσχεραίνει τη διατήρηση σταθερού μήκους τόξου.

Η επιλογή της πολικότητας του ρεύματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέταλλο που πρόκειται να συγκολληθεί. Συνεχές ρεύμα με αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο (DCEN) χρησιμοποιείται συχνά σε συγκολλήσεις χάλυβα, τιτανίου και άλλων μετάλλων καθώς και σε αυτοματοποιημένες συγκολλήσεις GTAW αλουμινίου ή μαγνησίου όταν χρησιμοποιείται το ήλιο ως αέριο προστασίας. Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο παράγει θερμότητα εκπέμποντας ηλεκτρόνια τα οποία κινούνται κατά μήκος του τόξου προς το τεμάχιο, προκαλώντας ιονισμό του προστατευτικού αερίου και αυξάνοντας την θερμοκρασία του μετάλλου βάσης.

Συνεχές ρεύμα με θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο (DCEP) χρησιμοποιείται λιγότερο και οι εφαρμογές του περιορίζονται κυρίως σε συγκολλήσεις μικρού πάχους εφ'όσον παράγεται λιγότερη θερμότητα στο μέταλλο βάσης. Σε αντίθεση με τη DCEN, στην περίπτωση θετικά φορτισμένου ηλεκτροδίου, τα ηλεκτρόνια κινούνται από το μέταλλο βάσης προς το ηλεκτρόδιο με αποτέλεσμα το τελευταίο να υπερθερμαίνεται. Προκειμένου να μπορεί να διατηρήσει την μορφή και τη σκληρότητα του, επιλέγεται ηλεκτρόδιο μεγαλύτερων διαστάσεων.

Καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται προς το ηλεκτρόδιο, το ιονισμένο αέριο προστασίας κινείται προς το μέταλλο βάσης, αφαιρώντας οξειδία και άλλες ακαθαρσίες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και ως εκ τούτου βελτιώνει την ποιότητα της συγκόλλησης.

Εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται συχνά στις χειροκίνητες ή ημιαυτοματοποιημένες συγκολλήσεις μαγνησίου και αλουμινίου. Η περίπτωση του εναλλασσόμενου ρεύματος συνδυάζει τις δυο περιπτώσεις συνεχούς ρεύματος, με το ηλεκτρόδιο και το μέταλλο βάσης να εναλλάσσουν θετικό και αρνητικό φορτίο. Κατ'αυτό τον τρόπο, η ροή των ηλεκτρονίων εναλλάσσεται συνεχώς αποτρέποντας την υπερθέρμανση του ηλεκτροδίου και διατηρώντας ταυτόχρονα τα κατάλληλα επίπεδα θερμότητας στο μέταλλο βάσης. Τα οξειδία που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία αφαιρούνται και πάλι στο χρονικό διάστημα που το ηλεκτρόδιο είναι θετικά φορτισμένο ενώ το μέταλλο βάσης θερμαίνεται πιο έντονα όταν το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικά φορτισμένο.

Ηλεκτρόδιο.

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στη GTAW είναι είτε καθαρού βολφραμίου είτε κάποιου κράματος βολφραμίου. Το βολφράμιο έχει το υψηλότερο σημείο τήξης απ'όλα τα μέταλλα (3422°C) και για αυτό τον λόγο το ηλεκτρόδιο στην GTAW (σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους συγκόλλησης) είναι μη αναλίσκόμενο.

Η διάμετρος των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται στην GTAW κυμαίνεται από 1.25 μέχρι 6.25 mm ενώ το μήκος τους από 75 μέχρι 610 mm.

Τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια διακρίνονται σε:

- Καθαρού βολφραμίου (WP ή EWP). Πρόκειται για σχετικά φθηνά ηλεκτρόδια γενικής χρήσεως με χαμηλή θερμική αντίσταση και εκπομπή ηλεκτρονίων. Βρίσκουν περιορισμένες εφαρμογές σε συγκολλήσεις μαγνησίου και αλουμινίου εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Κράματος βολφραμίου και οξειδίου του δημητρίου (Cerium Oxide, EWCe). Το οξείδιο του δημητρίου ως κραματικό στοιχείο βελτιώνει τη σταθερότητα του τόξου και βοηθάει το άναμμα του ενώ ταυτόχρονα αποτρέπει την οξειδωση του ηλεκτροδίου λόγω υπερθέρμανσης (burn-off). Η προσθήκη οξειδίου του δημητρίου δεν είναι όσο αποτελεσματική είναι η προσθήκη θορίου αλλά το οξείδιο του δημητρίου δεν είναι ραδιενεργό.

- Κράματος βολφραμίου και οξειδίου του λανθανίου (EWLa). Το κράμα αυτό έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το κράμα βολφραμίου-οξειδίου του δημητρίου. Προσθήκη 1% λανθανίου έχει τις ίδιες επιπτώσεις με προσθήκη 2% δημητρίου.
- Κράματος βολφραμίου και θορίου (EWTh). Τα κράματα αυτά προορίζονται για συγκολλήσεις με συνεχές ρεύμα και μπορούν να αντέξουν σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια. Ταυτόχρονα παρουσιάζουν εξαιρετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως μεγαλύτερη εκπομπή ηλεκτρονίων, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερη αντίσταση σε απορρόφηση ακαθαρσιών από το περιβάλλον, ευκολότερο άναμμα τόξου ενώ και το ίδιο το τόξο είναι σταθερότερο. Το κυριότερο μειονέκτημα των ηλεκτροδίων βολφραμίου-θορίου είναι ότι το θόριο είναι ραδιενεργό στοιχείο και επομένως απαιτείται εξαιρετική προσοχή ούτως ώστε να αποφευχθεί εισπνοή ρινισμάτων θορίου κατά την προετοιμασία των ηλεκτροδίων.
- Κράματος βολφραμίου και οξειδίου του ζirkονίου (EWZr). Αυξάνουν το περιθώριο αντοχής σε υψηλότερες εντάσεις ρεύματος, βελτιώνουν τη σταθερότητα και διευκολύνουν το άναμμα του τόξου ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του ηλεκτροδίου. Το μειονέκτημα τους συγκριτικά με τα ηλεκτρόδια βολφραμίου-θορίου είναι το χαμηλότερο σημείο τήξης.

Πίνακας 2.1 Επιλογή ηλεκτροδίου βολφραμίου.

Electrode Diameter	Amperage Range - Gas Type ♦ - Polarity			
	DC - Argon - Electrode Negative/Straight Polarity	DC - Argon - Electrode Positive/Reverse Polarity	AC - Argon - Using High Frequency	AC - Argon - Balanced Wave Using High Freq.
2% Thorium Alloyed Tungsten (Red Band)				
1/16"	50-160	10-20	50-150	60-120
3/32"	135-235	15-30	130-250	100-180
1/8"	250-400	25-40	225-360	160-250
5/32"	400-500	40-55	300-450	200-320
3/16"	500-750	55-80	400-500	290-390

Μεταλλο προσθήκης

Μέταλλο προσθήκης χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις GTAW με κυριότερη εξαίρεση τη συγκόλληση δοκιμίων μικρού πάχους (συνήθως πάχους μικρότερου από 3,2mm). Ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε συγκόλλησης επιλέγεται το κατάλληλο μέταλλο προσθήκης. Συνήθως διατίθενται σε ράβδους διαφόρων διαμέτρων οι οποίες προστίθενται στη λίμνη συγκόλλησης με το χέρι αν και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναγκαία η προσθήκη τους με αυτοματοποιημένο τρόπο.

Προστατευτικό αέριο

Όπως όλες οι τεχνικές συγκόλλησης με προστασία αδρανούς αερίου, έτσι και η GTAW χρησιμοποιεί αδρανή αέρια (ήλιο, αργό ή κάποιο μίγμα τους) προκειμένου να προφυλάξει την περιοχή συγκόλλησης από τις δυσμενείς επιπτώσεις της επαφής της τελευταίας με αέρια της ατμόσφαιρας όπως άζωτο και οξυγόνο. Τα αέρια προστασίας διοχετεύονται αρχικά από τη φιάλη αερίου στο καυστήρα συγκόλλησης και εν συνεχεία στη λίμνη τηγμένου μετάλλου.

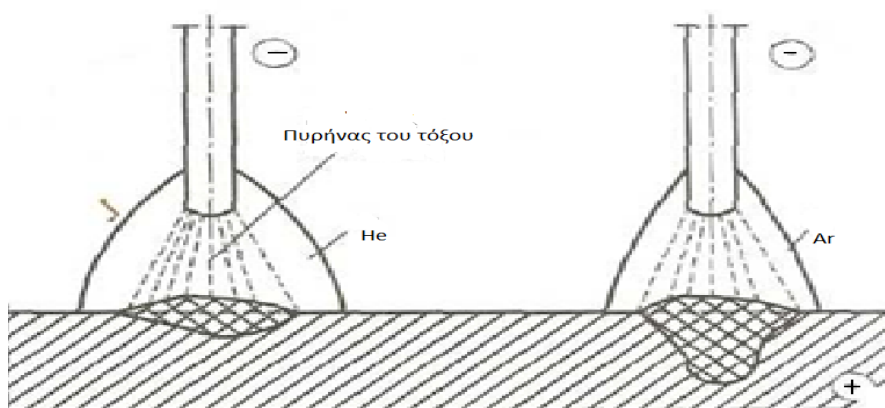
Η επιλογή του αδρανούς αερίου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέταλλο που συγκολλείται, τον τύπο σύνδεσης και την επιθυμητή μορφή της τελικής συγκόλλησης.

Το αργό είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο αδρανές αέριο στη GTAW αφενός λόγω του χαμηλού του κόστους και αφετέρου λόγω των χημικών ιδιοτήτων του, που ευνοούν την συγκόλληση. Η χημική του σύσταση διευκολύνει τη δημιουργία τόξου πλάσματος περισσότερο από κάθε άλλο αδρανές αέριο ενώ ταυτόχρονα το αργό είναι βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα, οπότε τον εκτοπίζει, προστατεύοντας βέλτιστα την περιοχή συγκόλλησης. Η χρήση του αργού σε συνδυασμό με εναλλασσόμενο ρεύμα οδηγεί σε υψηλή ποιότητα συγκόλλησης και καλή εμφάνιση.

Το ήλιο χρησιμοποιείται περισσότερο σε περιπτώσεις όπου απαιτείται συγκόλληση μεγάλης διείδυσης, αυξημένης ταχύτητας ή συγκόλληση μετάλλων αυξημένης

θερμικής αγωγιμότητας , όπως αλουμίνιο και χαλκός. Το κυριότερο μειονέκτημα της χρήσης ηλίου ως αέριο προστασίας έγκειται στη δυσκολία ανάμματος και διατήρησης σταθερού τόξου γεγονός που οδηγεί σε συγκόλληση μειωμένης ποιότητας.

Μίγματα ηλίου-αργού χρησιμοποιούνται ευρέως στις συγκολλήσεις GTAW διότι παρέχουν την δυνατότητα ρύθμισης της παρεχόμενης θερμότητας ενώ ταυτόχρονα διατηρούνται τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του αργού. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα μίγματα αυτά περιέχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό ηλιο (περί το 75%). Μίγματα αυτής της κατηγορίας αυξάνουν την ταχύτητα και την ποιότητα συγκόλλησης αλουμινίου με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος και επίσης διευκολύνουν το άναμμα του τόξου.



Σχήμα 2.2 Επίδραση του είδους του προστατευτικού αερίου στην διαμόρφωση του κορδονιού κατά τη συγκόλληση GTA.

2.2 Περιγραφή παραμέτρων της μεθόδου συγκόλλησης GTAW

Οι βασικοί παράμετροι συγκόλλησης με τη μέθοδο GTA είναι:

- Το είδος της έντασης ρεύματος.
- Η τάση του τόξου.
- Η ταχύτητα συγκόλλησης.
- Το είδος και η ένταση ροής του προστατευτικού αερίου.
- Η χημική σύσταση του ηλεκτροδίου.
- Η διάμετρος του ηλεκτροδίου.
- Τα πρόσθετα εναποτιθέμενα υλικά.

- Η συχνότητα του ρεύματος.
- Η κλήση του κώνου του άκρου του ηλεκτροδίου.
- Η απόσταση του εσωτερικού ακροφυσίου από το μέταλλο βάσης .
- Το μήκος τόξου.

Η συγκόλληση με τη μέθοδο GTA διενεργείται με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Η συγκόλληση με συνεχές ρεύμα μπορεί να έχει πορεία με θετική και αρνητική πολικότητα. Όταν το ηλεκτρόδιο είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο (θετική πολικότητα), η έντονη ροή των ηλεκτρονίων στο ηλεκτρόδιο, με την κρούση τους στην πυρωμένη επιφάνεια του άκρου, προξενεί σημαντική θέρμανση, περιορίζοντας, σε μεγάλο βαθμό, την επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος συγκόλλησης. Γι' αυτό για να μεταφερθεί η ένταση ρεύματος με θετική πολικότητα, το ηλεκτρόδιο πρέπει να έχει μεγαλύτερη διάμετρο απ' ότι κατά τη σύνδεση του με τον αρνητικό πόλο.

Η σύνδεση του ηλεκτροδίου με τον αρνητικό πόλο (αρνητική πολικότητα) γίνεται κατά τη συγκόλληση στην ατμόσφαιρα αργού ή ηλίου συνήθως όλων των μετάλλων και κραμάτων τους, με εξαίρεση τα λεπτά ελάσματα του αλουμινίου και των κραμάτων του καθώς και τα κράματα μαγνησίου.

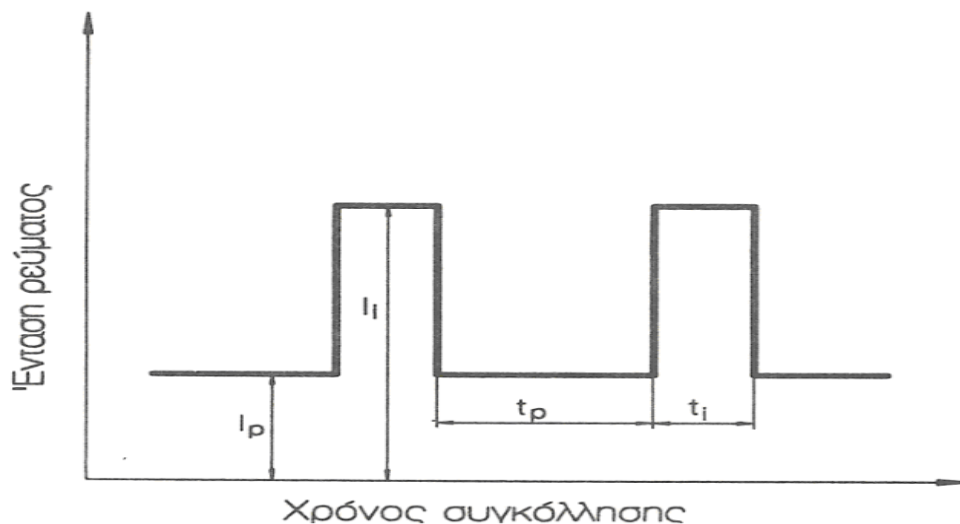
Στην περίπτωση συγκόλλησης αλουμινίου και μαγνησίου, απαραίτητη είναι η αφαίρεση του πυρίμαχου στρώματος των οξειδίων από την επιφάνεια της περιοχής συγκόλλησης του αντικειμένου, αλλά τότε απαιτείται θετική πολικότητα του ηλεκτροδίου, στην οποία συμβαίνει ο καθοδικός καθαρισμός. Άλλη λύση είναι η χρησιμοποίηση συνεχούς ρεύματος με αρνητική πολικότητα (αρνητικός πόλος στο ηλεκτρόδιο) και με πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια ο μηχανικός ή ο χημικός καθαρισμός της σύνδεσης αμέσως προ της συγκόλλησης. Από την άποψη της δυνατότητας επίτευξης σημαντικού βάθους διείσδυσης και μεγάλης ταχύτητας συγκόλλησης, στην περίπτωση σύνδεσης ελασμάτων πάχους πάνω από 3,2 mm, προτείνεται η συγκόλληση με συνεχές ρεύμα και αρνητική πολικότητα στην ατμόσφαιρα αργού, με μικρό τόξο κάτω από 1,5 mm. Στην ατμόσφαιρα με καθαρό ήλιο, και με τη διατήρηση μικρού τόξου, κάτω από 3,0 mm, παρέχεται η δυνατότητα συγκόλλησης αλουμινίου και μαγνησίου και των κραμάτων τους, με συνεχές

ρεύμα, με αρνητική πολικότητα (στο ηλεκτρόδιο αρνητικός πόλος), χωρίς μηχανικό ή χημικό καθαρισμό του στρώματος των οξειδίων.

Η συγκόλληση με εναλλασσόμενο ρεύμα επιτρέπει την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της συγκόλλησης με συνεχές ρεύμα και θετική πολικότητα (φαινόμενο διάσπασης του στρώματος οξειδίων επί της επιφανείας), χωρίς ειδικούς περιορισμούς του ρεύματος, που απαιτούνται κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα, με θετική πολικότητα. Κατώτερη είναι, όμως η σταθερότητα του τόξου και, επιπλέον, εμφανίζεται το φαινόμενο ανόρθωσης του ρεύματος (σχήμα 2.4). Στο αναμμένο τόξο στην ατμόσφαιρα αδρανών αερίων, το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται με μεγαλύτερη ευκολία από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο θετικό αντικείμενο, επειδή το βολφράμιο έχει σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία απ' ό,τι το συγκολλούμενο μέταλλο και, έτσι, εκπέμπει ευκολότερα τα ηλεκτρόνια.

Η ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να φτάσει σε τέτοια κατάσταση, που θα παύσει να γίνεται η διέλευση του ρεύματος με θετική πολικότητα του ηλεκτροδίου. Κατά τη συγκόλληση αλουμινίου η μορφή του ρεύματος παραμορφώνεται με τη σταθερά συνιστώσα του συνεχούς ρεύματος.

Ο χρόνος t_1 και η ένταση I_1 του ρεύματος με θετική τιμή έχουν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές από τις αντίστοιχες t_2 και I_2 του ρεύματος με τιμή αρνητική, ενώ ο χρόνος t_0 είναι τόσο μεγάλος, που το τόξο δεν μπορεί να ανάψει ξανά με μειωμένη ένταση. Για το λόγο αυτό η συσκευή συγκόλλησης είναι εφοδιασμένη με συστοιχία πυκνωτών ή με συσσωρευτή, με σκοπό την εξάλειψη αυτών των αρρυθμιών, καθώς και με ιονιστή ο οποίος προξενεί το άναμμα του τόξου με μικρής διάρκειας παλμούς και με πάρα πολύ μεγάλη τάση τη στιγμή διέλευσης των ημιτονοειδών του ρεύματος από το μηδέν. Η συγκόλληση με παλμικό συνεχές ρεύμα συνίσταται στην παλμική προσαγωγή της θερμότητας στο τόξο. Οι παλμοί του ρεύματος συγκόλλησης επαναλαμβάνονται κυκλικά (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3 Η πορεία εναλλαγής της έντασης ρεύματος συγκόλλησης GTA με παλμικό ρεύμα.

Σκοπός του βασικού ρεύματος είναι η διατήρηση του τόξου και η μείωση της ταχύτητας ψύξης των διάφορων σημειακών κολλήσεων, δημιουργούμενων από τους διαδοχικούς παλμούς του ρεύματος. Η συνεχόμενη κόλληση αποτελείται από τις συμβαίνουσες διαδοχικές σημειακές κολλήσεις.

Μεταβάλλοντας τις παραμέτρους του παλμικού ρεύματος, είναι δυνατόν να ρυθμισθούν, με αποτελεσματικό τρόπο, η μορφή και οι διαστάσεις του λουτρού συγκόλλησης, ώστε να επιδράσουν στην κρυστάλλωση του τήγματος και στο πλάτος της ζώνης επηρεαζόμενης θερμικά και να μειωθούν σημαντικά οι τάσεις και οι παραμορφώσεις συγκόλλησης. Κατά τη συγκόλληση με παλμικό ρεύμα, είναι δυνατόν με τη μέθοδο GTA να γίνει η συγκόλληση σε όλες τις θέσεις, με τις ίδιες παραμέτρους συγκόλλησης.

Η συγκόλληση με συνεχές παλμικό ρεύμα είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος σύνδεσης ελασμάτων πάχους από 0,1 μέχρι 0,6 mm. Η συγκόλληση με παλμικό ρεύμα με τη μέθοδο GTA διενεργείται χειρωνακτικά ή αυτόματα, με ή χωρίς πρόσθετο εναποτιθέμενο υλικό, χάρη της δυνατότητας ελέγχου της κρυστάλλωσης της κόλλησης και της ταχύτητας ψύξης της σύνδεσης, είναι σημαντικά εκτεταμένες οι περιοχές δυνατοτήτων για τη συγκόλληση υλικών. Υπάρχει και δυνατότητα περιορισμού ακόμη και εξάλειψης των θερμικών κατεργασιών πριν και μετά τη συγκόλληση. Ιδιαίτερα ωφέλιμα αποτελέσματα επιτυγχάνονται κατά τη συγκόλληση

ελαφρά κραματωμένων χαλύβων υψηλής αντοχής, ειδικών χαλύβων, κραμάτων νικελίου, τανταλίου, νιοβίου και άλλων.

Η ένταση ρεύματος είναι καθοριστική για το βάθος διείσδυσης και το πλάτος της κόλλησης, αλλά συγχρόνως επιδρά και στη θερμοκρασία του άκρου του μη τηκόμενου ηλεκτροδίου. Η αύξηση της έντασης του ρεύματος συγκόλλησης μεγαλώνει το βάθος διείσδυσης και επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας συγκόλλησης. Η υπερβολική ένταση του ρεύματος προξενεί στο άκρο του ηλεκτροδίου βολφραμίου μερική τήξη, έτσι εμφανίζονται στην κόλληση μεταλλικά εγκλείσματα.

Η τάση του τόξου, είναι ανάλογα με το είδος του προστατευτικού αερίου, αποφασιστική για το είδος του τόξου καθώς και για τη μορφή της κόλλησης. Για την ακρίβεια, εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη ένταση του ρεύματος και το είδος του υλικού του ηλεκτροδίου.

Η αύξηση της τάσης του τόξου διευρύνει το πλάτος του μετώπου της κόλλησης, μειώνει το βάθος διείσδυσης και, έτσι, χειροτερεύουν οι συνθήκες προστασίας του τόξου και του ρευστού μετάλλου της κόλλησης. Το αργό έχει χαμηλό δυναμικό ιονισμού - 15.7 V και το τόξο διατηρείται σταθερά αναμμένο. Το δυναμικό ιονισμού του ηλίου είναι σημαντικά υψηλότερο και ισούται με 24,6 V, άρα με το ίδιο μήκος τόξου, που έχει και το προστατευτικό αργό, δημιουργείται σημαντική αύξηση της πτώσης της τάσεως, ως αποτέλεσμα, το τόξο στο προστατευτικό ήλιο είναι λιγότερο σταθερό.

Οι πηγές του ρεύματος συγκόλλησης με τη μέθοδο GTA πρέπει να έχουν χαρακτηριστική με απότομη φθίνουσα πορεία, έτσι που η τάση του τόξου να είναι βασική αποτελεσματική παράμετρος, εξαρτώμενη από την καθορισμένη ένταση του ρεύματος συγκόλλησης, το μήκος του τόξου και το είδος του.

Η ταχύτητα συγκόλλησης, με σταθερή ένταση ρεύματος και τάση του τόξου, είναι αποφασιστική για τη γραμμική ενέργεια συγκόλλησης. Μεταβάλλοντας την ταχύτητα συγκόλλησης, είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η δομή της κόλλησης και το

μέγεθος κατανομής των τάσεων και παραμορφώσεων συγκόλλησης. Η ταχύτητα συγκόλλησης επιδρά συγχρόνως στη διείδυση και στο πλάτος της κόλλησης. Η παράμετρος αυτή, είναι επίσης σημαντική από την άποψη του κόστους της διαδικασίας συγκόλλησης.

Τα βασικά προστατευτικά αέρια που χρησιμοποιούνται, για τη συγκόλληση με τη μέθοδο GTA, είναι τα αδρανή αέρια Ar και He ή το μίγμα αυτών, με ενδεχόμενη προσθήκη υδρογόνου (H_2)

Μερικές φορές στο αδρανές αέριο προστίθεται το άζωτο, σκοπός του οποίου είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του τόξου, που βοηθάει τη συγκόλληση να γίνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αυτό είναι ωφέλιμο, επειδή απαιτούνται μεγάλες ταχύτητες για τη συγκόλληση του χαλκού και των κραμάτων του, χωρίς αρχική προθέρμανση.

Άλλες αντιδράσεις των προστατευτικών αερίων, όπως του CO_2 , προξενούν την ταχεία φθορά του ηλεκτροδίου ή τη μη σταθερότητα του τόξου. Σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν προσθήκες CO ή O_2 στο αργό ή στο ήλιο, επειδή τότε προξενείτε ταχεία φθορά του ακριβού, μη τηκόμενου ηλεκτροδίου. Το προστατευτικό αέριο, εκτός από την κάλυψη του λουτρού συγκόλλησης από τον επιβλαβή ατμοσφαιρικό αέρα, λειτουργεί, επιπλέον, καθοριστικά και για τη γραμμική ενέργεια συγκόλλησης (τάση του τόξου) για τη διαμόρφωση της κόλλησης και για τη χημική σύνθεση του εναποτιθέμενου υλικού. Οι βασικές φυσικές ιδιότητες των προστατευτικών αερίων, που επιδρούν αποφασιστικά στη διαδικασία συγκόλλησης με τη μέθοδο GTA είναι:

- Το δυναμικό ιονισμού.
- Η θερμική αγωγιμότητα.
- Το ειδικό βάρος.
- Το σημείο ζέσεως.
- Η διάσπαση και οι παραλλαγές του αερίου.

Το δυναμικό ιονισμού προστατευτικού αερίου είναι αποφασιστικό για τη διευκόλυνση του ανάμματος του τόξου, για την αγωγιμότητα του ρεύματος διά του τόξου (αντίσταση του τόξου) και για την τάση του τόξου. Έτσι το άναμμα του

τόξου είναι σημαντικά ευκολότερο και σταθερότερο στην ατμόσφαιρα του αργού από ότι του ηλίου. Οι χαμηλότερες τάσεις του αναμμένου τόξου στην ατμόσφαιρα αργού είναι ωφελιμότερες κατά τη συγκόλληση συνδέσεων με μικρό πάχος.

Μικρότερες είναι επίσης και οι μεταβολές της τάσης του τόξου, όταν μεταβάλλεται το μήκος του τόξου. Άρα η προστασία με ήλιο δεν προτείνεται για τη χειρωνακτική συγκόλληση, επειδή ακόμη και με μικρές μεταβολές του μήκους του τόξου προξενούνται σημαντικές μεταβολές στην τάση του τόξου και, ως αποτέλεσμα αυτού, στην ποσότητα της προσαγόμενης θερμότητας στη συγκολλούμενη σύνδεση.

Το υψηλό δυναμικό ιονισμού του ηλίου αυξάνει σημαντικά την ενέργεια του τόξου. Αυτό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο κατά τη συγκόλληση ελασμάτων μεγάλου πάχους ή μετάλλων με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, όπως το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και ο χαλκός. Η προστασία με ήλιο προτείνεται, επίσης, για τη μηχανοποιημένη συγκόλληση, με μεγάλες ταχύτητες συγκόλλησης συνδέσεων αποτελούμενων από χάλυβες ανθεκτικοί στη διάβρωση. Επειδή η τάση του καλυμμένου τόξου με ήλιο είναι πάρα πολύ «ευαίσθητη» ακόμη και σε πολύ μικρές μεταβολές του μήκους του τόξου, για την αυτόματη συγκόλληση GTA χρησιμοποιείται αποκλειστικά ήλιο ή μίγμα ηλίου με αργό, ενώ η τάση του τόξου είναι η βασική παράμετρος αξιοποίησης για την καθοδήγηση της διαδικασίας συγκόλλησης.

Η θερμική αγωγιμότητα του προστατευτικού αερίου είναι αποφασιστική για τη διαμόρφωση του κορδονίου της κόλλησης. Το ήλιο χαρακτηρίζεται με ιδεώδη θερμική αγωγιμότητα, που έχει ως αποτέλεσμα η στήλη του τόξου GTA να είναι πλατιά, η προσαγόμενη θερμότητα να εξαπλώνεται σε μεγαλύτερη περιοχή και η κόλληση να είναι πλατιά, ρηχή, ομαλή και επίπεδη. Το αργό είναι αέριο με πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Κατ' επέκταση, το προστατευόμενο τόξο με αργό έχει θερμό και στενό πυρήνα και σημαντικά πιο κρύα την εξωτερική ζώνη. Η κόλληση έχει βαθύτερη διείσδυση και στενότερο μέτωπο από ό,τι κατά τη συγκόλληση στο ήλιο.

Το ειδικό βάρος του αερίου παίζει ρόλο όσον αφορά στο βαθμό προστασίας του λουτρού συγκόλλησης. Το αργό είναι 10 φορές πιο βαρύ από το ήλιο και 1,5 φορά από τον αέρα. Για τη σωστή προστασία του χώρου συγκόλλησης από την εισχώρηση του αέρα, απαιτείται μεγαλύτερη μείωση της έντασης ροής του αργού από ό,τι του ηλίου. Ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνική συγκόλλησης, τη μορφή της σύνδεσης και το είδος του συγκολλούμενου μετάλλου, προτείνεται συνήθως ένταση ροής του αργού της τάξεως των 6-16 l/min ενώ για το ήλιο της τάξεως των 14 – 30 l/min.

Συνοψίζοντας, το αργό, σε σχέση με το ήλιο, παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Ευκολότερο άναμμα του τόξου.
- Διευκόλυνση στη σταθερότητα και στο σιγανό άναμμα του τόξου.
- Εγγύηση για την ακριβή ρύθμιση των θερμικών συνθηκών συγκόλλησης.
- Διευκόλυνση στον καθαρισμό της επιφάνειας της σύνδεσης από το στρώμα των οξειδίων, κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα θετικής πολικότητας και με εναλλασσόμενο ρεύμα.
- Απαιτεί μικρότερη ένταση ροής για εγγυημένη προστατευτική ατμόσφαιρα του τόξου.

Το υδρογόνο αναμειγμένο με το αργό μεταβάλλει τη χαρακτηριστική του τόξου και αυξάνει την αντίσταση του τόξου και, κατ' αυτόν τον τρόπο, μεγαλώνει η γραμμική ενέργεια συγκόλλησης, αυξάνοντας το βάθος διείσδυσης μέχρι 50% σε σχέση με τη συγκόλληση με καθαρό αργό. Τα μίγματα ηλίου και υδρογόνου, που περιέχουν από 5 μέχρι 30% υδρογόνο, εγγυώνται ακόμη πιο υψηλή τάση του τόξου και, κατ' επέκταση, μεγαλύτερη γραμμική ενέργεια συγκόλλησης απ' ό,τι με την προστασία καθαρού ηλίου.

Η προσθήκη υδρογόνου στο αργό ή στο ήλιο είναι ανεπίτρεπτη κατά τη συγκόλληση αλουμινίου, μαγνησίου, χαλκού και κραμάτων τους, από την άποψη του κινδύνου δημιουργίας πόρων και ρηγματών. Κατά τη χειρωνακτική συγκόλληση GTA συνδέσεων από χάλυβα ανθεκτικό στη διάβρωση, με σκοπό την επίτευξη καθαρών

κολλήσεων, χωρίς υποκοπές, προτείνεται προσθήκη στο προστατευτικό κάλυμμα του αργού μέχρι 5% υδρογόνο.

Μεγάλη επίδραση στην ταχύτητα συγκόλλησης και στην ποιότητα των κολλήσεων ασκεί η καθαρότητα του προστατευτικού αερίου. Ιδιαίτερα ευαίσθητα στις ακαθαρσίες είναι τα δυσκολοτηκόμενα μέταλλα: το τιτάνιο, το ζirkόνιο, το ταντάλιο και το νιόβιο. Οι ανθρακούχοι χάλυβες και οι ανοξείδωτοι χάλυβες δεν απαιτούν αέριο με μεγάλη καθαρότητα, ενώ το αλουμίνιο και το μαγνήσιο πρέπει να συγκολλούνται στην προστατευτική ατμόσφαιρα αερίων με καθαρότητα 99,96% μέχρι 99,995%.

Με σκοπό την αποφυγή των ακαθαρσιών από τον αέρα για το ισχυρά θερμαινόμενο μέταλλο της κόλλησης από την πλευρά της ρίζας, κατά τη συγκόλληση του κορδονίου ρίζας της σύνδεσης, πρέπει να προστατευτεί με πρόσθετη προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, αυτός ο χώρος.

Στην περίπτωση συγκόλλησης όλων των μετάλλων με τη μέθοδο GTA στην προστατευτική ατμόσφαιρα της ρίζας, επαρκεί το καθαρό ήλιο ή το αργό. Κατά τη συγκόλληση χαλύβων ανθεκτικών στη διάβρωση, χαλκού και κραμάτων του, επαρκεί προστατευτική ατμόσφαιρα της ρίζας, την οποία παρέχει το άζωτο. Προτεινόμενες εντάσεις ροής προστατευτικού αερίου είναι 0,5 μέχρι 30 l/min, ανάλογα με τη μορφή της σύνδεσης, το είδος της κατασκευής, τις κατασκευαστικές λύσεις των θαλάμων ή προστατευτικών καναλιών, όπως και τον όγκο του θαλάμου, από τον οποίο πρέπει να γίνει η εκκένωση του αέρα.

Κατά κανόνα, επιβάλλεται το φύσημα όλου του όγκου να γίνει τέσσερις φορές με το προστατευτικό αέριο. Μετά το φύσημα του αέρα, πρέπει να μειωθεί η ένταση ροής του προστατευτικού αερίου στο επίπεδο, που επιβάλλει η προστασία της σύνδεσης, δηλαδή με ελαφρά υπερπίεση από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Στην περίπτωση συγκόλλησης μετωπικών συνδέσεων σωλήνων, σημαντική είναι η χρησιμοποίηση προστατευτικών διαφραγμάτων με δικλίδες εισόδου και εξόδου, με σκοπό την αποφυγή της υπερβολικής πίεσης, κατά τη διάρκεια συγκόλλησης στο μέσο του σωλήνα, έτσι που να μη δημιουργηθεί φύσημα του λουτρού της

κόλλησης στο τελευταίο τμήμα του κορδονιού της ρίζας ή να μην εμφανισθεί ατελής τήξη στη ρίζα.

Προτείνεται, επίσης, η χρησιμοποίηση ειδικής χάρτινης ταινίας στεγανοποίησης της ρίζας, κολλημένη από το εσωτερικό του σωλήνα ή από την εξωτερική πλευρά του αύλακα συγκόλλησης, στην περίπτωση σωλήνων με μικρή διάμετρο. Η ταινία αυτή επιτρέπει τη σημαντική μείωση κατανάλωσης του προστατευτικού αερίου, ενώ το κάψιμο της από την επίδραση της θερμότητας του τόξου δεν ασκεί αρνητική επιρροή στην ποιότητα της κόλλησης.

Τα μη τηκόμενα ηλεκτρόδια , για τη μέθοδο GTA, αποτελούν το βασικό στοιχείο του κυκλώματος συγκόλλησης, και από τα χαρακτηριστικά τους εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, η ποιότητα συγκόλλησης καθώς και το κόστος της διαδικασίας.

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η ευκολία ανάμματος του τόξου και η σταθερότητα του, η διάρκεια και η ταχύτητα φθοράς του ηλεκτροδίου. Τα μη τηκόμενα ηλεκτρόδια παρασκευάζονται ως καθαρά βολφραμίου ή από κράματα βολφραμίου με προσθήκες με μικρό έργο εξόδου των ηλεκτρονίων, όπως το θόριο (Th), το ζιρκόνιο (Zr), το λανθάνιο (La), το δημήτριο (Ce) κ.ά., τα οποία εγγυώνται τη μείωση του έργου εξόδου των ηλεκτρονίων σε σχέση με το καθαρό βολφράμιο και την ψιλόκοκκη δομή του ηλεκτροδίου. Στη σύσταση των κραματωμένων ηλεκτροδίων βολφραμίου εισάγονται συνήθως από 0,2 μέχρι 2 + 3% οξειδία των δραστικών στοιχείων ThO_2 , ZrO_2 , La_2O_3 , CeO_2 , Y_2O_3 . Το θόριο είναι ραδιενεργό στοιχείο και εκπέμπει ακτινοβολία α και γ , με μικρή ένταση.

Για το χειριστή είναι επικίνδυνη η σκόνη που δημιουργείται κατά τη λείανση του άκρου του ηλεκτροδίου, η οποία επικάθεται στους πνεύμονες του. Προτείνεται, επομένως, η αντικατάσταση των ηλεκτροδίων θορίου με ηλεκτρόδια που περιέχουν La_2O_3 ή CeO_2 . Το ηλεκτρόδιο βολφραμίου που περιέχει 1% La_2O_3 έχει τον ίδιο ποσοστιαίο όγκο οξειδίων με το ηλεκτρόδιο που περιέχει 1,5% ThO_2 . Η ζωή των ηλεκτροδίων βολφραμίου είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα των οξειδίων σε όγκο. Έτσι, λοιπόν, τα ηλεκτρόδια βολφραμίου με

προσθήκες La_2O_3 ή CeO_2 παρουσιάζουν καλύτερες ιδιότητες συγκόλλησης και μεγαλύτερη διάρκεια απ' ό,τι τα ηλεκτρόδια με προσθήκη του ThO_2 .

Η διάμετρος του σφαιρικού άκρου του μη τηκόμενου ηλεκτροδίου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,5 της διαμέτρου του ηλεκτροδίου, επειδή, έτσι, μπορεί να αποκοπεί από το ηλεκτρόδιο. Το άκρο του ηλεκτροδίου τροχίζεται σε γωνία της κορυφής του από 15° έως 120° , ανάλογα με την απαιτούμενη συγκεντρώτητα του τόξου και τη διάμετρο στόμωσης από 0,2 έως 1,5 mm, που δεν τήκεται και δεν έχει μεταλλικά εγκλείσματα στην κόλληση .

Τα ηλεκτρόδια με προσθήκες 0,3- 0,5% ζirkονίου (ΖΓ) έχουν ενδιάμεσες ιδιότητες μεταξύ των ηλεκτροδίων καθαρού βολφραμίου και των κραματωμένων ηλεκτροδίων βολφραμίου με θόριο (Th), παρά το ό,τι παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα κατά τη συγκόλληση με εναλλασσόμενο ρεύμα.

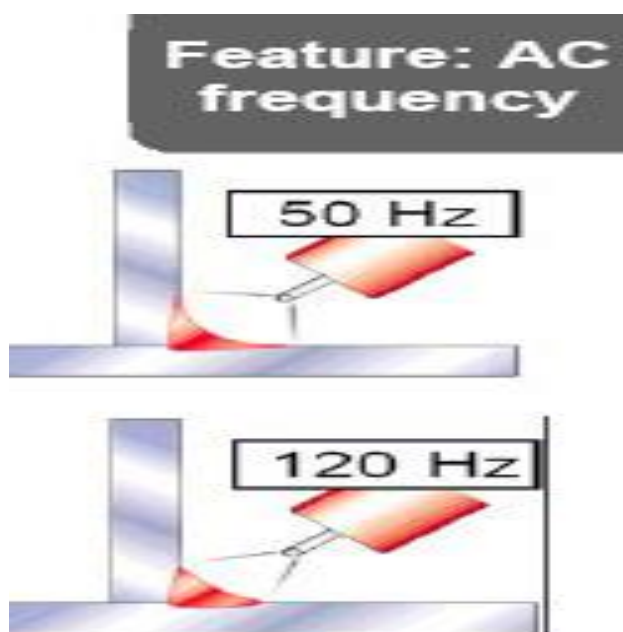
Η ικανότητα μεταφοράς υψηλών εντάσεων ρεύματος συγκόλλησης σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς αλλαγές στη μορφή του ηλεκτροδίου, εξαρτάται όχι μόνο από τη χημική σύσταση των ηλεκτροδίων αλλά, επίσης, και από το είδος της λαβίδας συγκόλλησης (ψύξη με νερό ή με αέρα), το ελεύθερο μήκος εξόδου του ηλεκτροδίου από λαβίδα, τη θέση συγκόλλησης, τον τύπο του προστατευτικού αερίου και το είδος του ρεύματος συγκόλλησης.

Τα πρόσθετα εναποτιθέμενα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση GTAW περισσότερες περιπτώσεις έχουν την ίδια χημική σύσταση με το συγκολλούμενο υλικό. Σε μερικές περιπτώσεις, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση εναποτιθέμενου υλικού με καθαρά διαφορετική χημική σύσταση από το συγκολλούμενο υλικό. Και έτσι, π.χ. για τη συγκόλληση χαλύβων ανθεκτικών στη διάβρωση τύπου 9% Νί, χρησιμοποιούνται κράματα νικελίου. Οι ορείχαλκοι συγκολλούνται με μπρούντζο αλουμινίου, φωσφόρου ή πυριτίου. Η επιλογή του εναποτιθέμενου υλικού είναι συνδυασμός μεταξύ μεταλλουργικών παραμέτρων και λειτουργικών ιδιοτήτων της σύνδεσης.

Το τόξο GTAW από μόνο του δεν είναι εστιασμένο, ως αποτέλεσμα η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας είναι χαμηλή εστιάζοντας το τόξο σε μικρότερη επιφάνεια, με την ίδια ένταση ρεύματος συγκόλλησης θα έχουμε αύξηση της ενέργειας ανά mm² και η αύξηση της συχνότητας AC θα έχει ως αποτέλεσμα την εστίαση του τόξου.

Συγκεντρώνοντας τη θερμότητα σε μικρότερη επιφάνεια έχουμε:

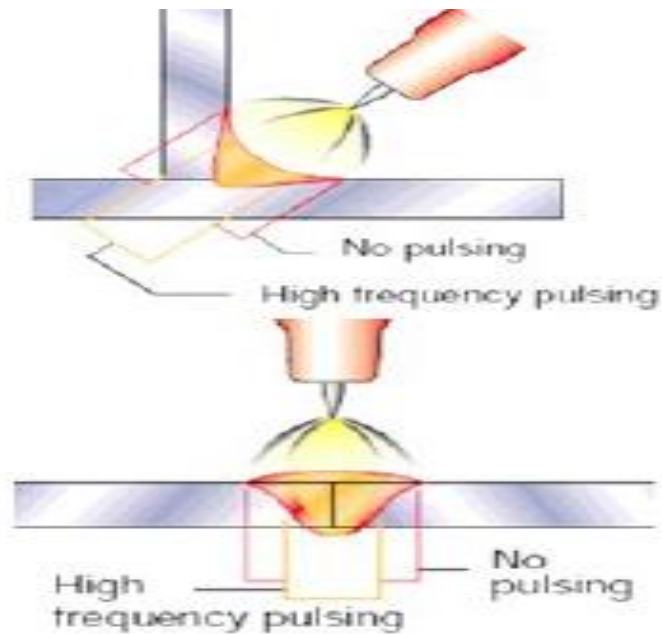
- Μείωση της έντασης ρεύματος.
- Αύξηση της ταχύτητας συγκόλλησης.
- Μείωση της προσαγόμενης θερμότητας και συνεπώς μικρότερη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (ΘΕΖ).



Σχήμα 2.4 Διαφορά συχνότητας ρεύματος ,50 και 120 HZ.

Επίσης πολλές φορές υψηλή συχνότητα χρησιμοποιείται και για το άναμμα του τόξου. Σπινθήρας υψηλής συχνότητας ανάβει το τόξο.

Όταν η συχνότητα των παλμών (παλμικό ρεύμα) είναι μεγαλύτερη των 100Hz και έως 300-500Hz, τότε χαρακτηρίζεται ως παλμικό ρεύμα υψηλής συχνότητας. Κάποιος δε μπορεί να δει το τόξο πλέον να αναβοσβήνει, το τόξο είναι περισσότερο εστιασμένο, η θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη είναι μικρότερη (ΘΕΖ), υπάρχει μείωση των εναπομενουσών τάσεων, η ενέργεια είναι περισσότερο εστιασμένη και η ταχύτητα συγκόλλησης αυξάνεται.



Σχήμα 2.5 Παλμικό ρεύμα υψηλής συχνότητας σε μετωπική και κάθετη συγκόλληση.

Η χειρωνακτική συγκόλληση GTA διενεργείται από τους περισσότερους χειριστές με την τεχνική συγκόλλησης με διακοπτόμενη μετατόπιση της λαβίδας και του σύρματος. Η τεχνική αυτή συνίσταται στο ότι, μετά το άναμμα του τόξου, εκτελούνται μικρές, κυκλικές κινήσεις με το ηλεκτρόδιο, μέχρι που να επιτευχθεί ο απαιτούμενος όγκος του λουτρού συγκόλλησης και, μετά, δίνεται κλίση στη λαβίδα, από κάθετη, σε περίπου 15° , στην αντίθετη διεύθυνση προς τη διεύθυνση συγκόλλησης κατά μήκος της σύνδεσης. Στην περίπτωση συγκόλλησης με πρόσθετο υλικό (σύρμα ή ράβδος), πρέπει να εναποτίθεται στην περιοχή συγκόλλησης υπό γωνία $10^\circ - 25^\circ$ προς το επίπεδο της σύνδεσης προ του λουτρού συγκόλλησης.

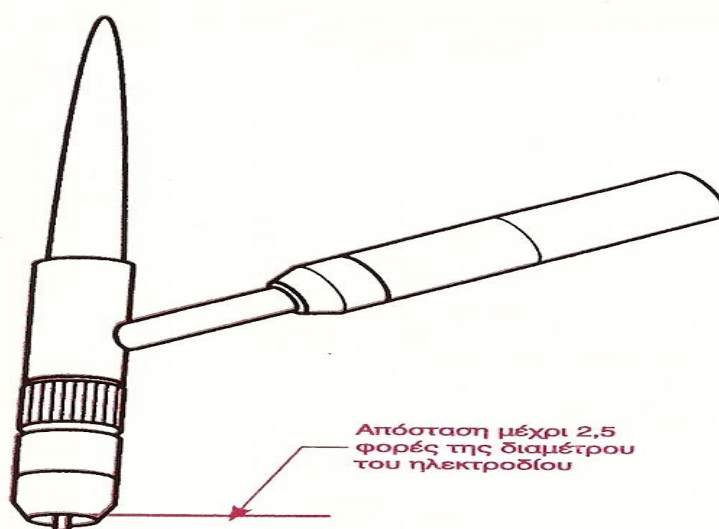
Η αυτόματη συγκόλληση GTA συνίσταται στη διενέργεια διαδικασίας συγκόλλησης, χωρίς τη συμμετοχή του χειριστή στην καθοδήγηση των παραμέτρων συγκόλλησης, οι οποίες εκτελούνται με ηλεκτρονικά συστήματα προσαρμογής. Το σύστημα καθοδήγησης εκτελεί τις διορθώσεις των παραμέτρων συγκόλλησης βάσει των πληροφοριών που επιτεύχθηκαν από τα σήματα των ιδιοτήτων ποιότητας της περιοχής συγκόλλησης, όπως π.χ. οι διαστάσεις, η θερμοκρασία του λουτρού συγκόλλησης, ο ήχος του τόξου και άλλα. Η συγκόλληση μπορεί να διενεργηθεί χωρίς τη συμμετοχή του εναποτιθέμενου υλικού ή με τη συμμετοχή του

εναποτιθέμενου υλικού με μορφή σύρματος, προωθούμενο στην περιοχή της συγκόλλησης με γωνία 15° - 45° προς τον άξονα της λαβίδας (ηλεκτροδίου).

Πινάκας 2.2 Προτεινόμενες περιοχές των εντάσεων ρεύματος συγκόλλησης με τη μέθοδο GTAW, οι διαστάσεις του κωνικού άκρου του κραματωμένου ηλεκτροδίου και γωνία του κώνου, κατά τη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα με αρνητική πολικότητα στην ατμόσφαιρα αργού.

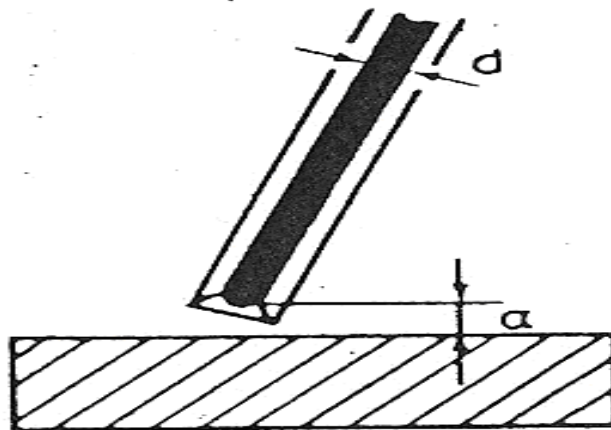
Διάμετρος ηλεκτροδίου, mm	Γωνία του κώνου του άκρου του ηλεκτροδίου	Διάμετρος στόμωσης της κορυφής του άκρου mm	Περιοχή των εντάσεων ρεύματος συγκόλλησης, A	Περιοχή των εντάσεων παλμικού ρεύματος
1,0	12°	0,125	2 - 15	2 - 25
1,0	20°	0,25	5 - 30	5 - 60
1,6	25°	0,50	8 - 50	8 - 100
1,6	30°	0,80	10 - 70	10 - 140
2,4	35°	0,80	12 - 90	12 - 100
2,4	45°	1,10	15 - 150	15 - 250
3,2	60°	1,10	20 - 200	20 - 300
3,2	90°	1,50	25 - 250	25 - 350

Η απόσταση του ακροφυσίου από το προς συγκόλληση μέταλλο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της συγκόλλησης με τόξο. Αυξάνοντας την απόσταση αυτή ελαττώνεται η θερμοκρασία του τόξου και το βάθος της διεύδυσης. Αντίθετα πολύ μικρή απόσταση έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του λουτρού συγκόλλησης, γεγονός που μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στην συγκόλληση του δοκιμίου, ιδανική απόσταση είναι μέχρι 2,5 φορές την διάμετρο του ηλεκτροδίου.

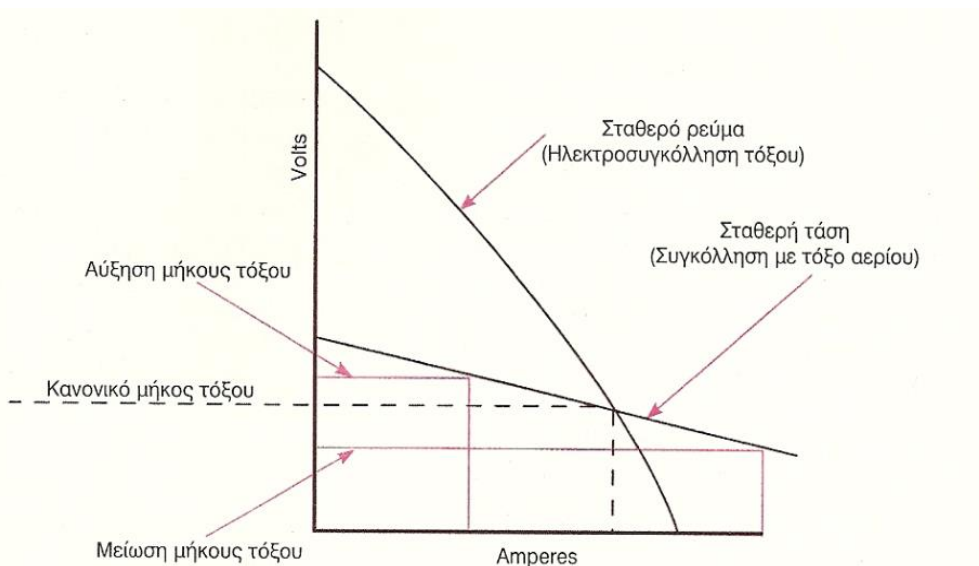


Σχήμα 2.6 Προεξοχή του ηλεκτροδίου βολφραμίου.

Το μήκος τόξου σε ιδανική περίπτωση πρέπει να είναι ίσο με τη διάμετρο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτροδίου. Αν το τόξο είναι πολύ μεγάλο, η ραφή γίνεται πολύ πλατιά, ανώμαλη και με μικρή διείσδυση. Αν το τόξο είναι πολύ μικρό, το ηλεκτρόδιο κολλάει συχνά στο μέταλλο και η ραφή γίνεται πολύ στενή, ανώμαλη και χωρίς διείσδυση.



Σχήμα 2.7 Μήκος τόξου $a=d$



Σχήμα 2.8 Διάγραμμα που δείχνει πως επιδρά στην τάση και στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος η μεταβολή της απόστασης του καυστήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

3.1 Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα κατασκευών και η έννοια της επιφανειακής ενίσχυσης.

Ο όρος Επιφανειακή Κατεργασία (Surface Engineering) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ευρύ φάσμα διεργασιών τροποποίησης των εξωτερικών στρωμάτων ενός υλικού που στόχο έχει είτε την μικροδομική και μηχανική τους ενίσχυση, ή την μεταβολή της μικρογεωμετρίας τους.

Οι επιφανειακές κατεργασίες στοχεύουν στην τροποποίηση της ποιότητας της συμπεριφοράς επιφανειακού στρώματος υλικού, πολύ μικρών διαστάσεων σε σχέση με το συνολικό μέγεθος του αντικειμένου.

Οποιαδήποτε κι αν είναι η τελική χρήση ενός επιφανειακά κατεργασμένου προϊόντος, δεν θα πρέπει να αγνοείται ο ρόλος του βασικού μετάλλου, το οποίο αποτελεί τον κύριο «φορέα» των καταπονήσεων που υφίσταται η κατασκευή και που θα πρέπει να είναι, ανάλογα με την εφαρμογή, στιβαρό ή ελαστικό ή δύσθραυστο ή μονωτικό. [1]

3.2 Σκοπός επιφανειακών κατεργασιών.

Οι επιφανειακές κατεργασίες, που εφαρμόζονται στα χαλύβδινα αντικείμενα έχουν σκοπό να τα προστατεύσουν (δηλ. να αυξήσουν την αντοχή τους) έναντι:

- Φθοράς, που προκαλείται από την επαφή της επιφάνειας με τις επιφάνειες άλλων αντικειμένων.
- Διάβρωσης, όταν η επιφάνεια φέρεται σε υγρό περιβάλλον που δρα δυσμενώς επ' αυτής.
- Οξειδωσης, όταν η επιφάνεια υπόκειται σε ξηρό περιβάλλον με υψηλές θερμοκρασίες που ενεργοποιεί τη χημική δράση των οξειδωτικών αερίων.
- Κόπωσης, η οποία εκδηλώνεται ως αστοχία του υλικού λόγω εναλλασσόμενης μηχανικής ή θερμικής φόρτισης.

3.3 ταξινόμηση των επιφανειακών κατεργασιών

Οι επιφανειακές κατεργασίες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- (α) Κατεργασίες τροποποίησης της επιφάνειας, με τις οποίες επιτυγχάνεται μεταβολή της κρυσταλλικής δομής ή/και της χημικής σύστασης της επιφάνειας, χωρίς εναπόθεση πρόσθετου υλικού σ' αυτή.
- (β) Κατεργασίες με απόθεση υλικού, κατά τις οποίες εναποτίθεται πάνω στην υπό προστασία επιφάνεια στρώμα άλλου υλικού (επίστρωση ή επικάλυψη).

Την τελευταία εικοσαετία, αναπτύχθηκαν οι τεχνικές βομβαρδισμού με δέσμες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας (δέσμη ηλεκτρονίων, ιόντων ή laser). Μέσω ειδικών συστημάτων εστίασης, παρέχεται η δυνατότητα εστίασης της δέσμης, υψηλής ενεργειακής πυκνότητας (10^3-10^7 W/cm²), σε πολύ μικρές επιφάνειες. Η ψύξη της επιφάνειας του υλικού είναι ταχεία και εξασφαλίζεται με αγωγή της θερμότητας, διαμέσου του κύριου όγκου του υλικού. Πραγματοποιείται, δηλαδή, αυτοβαφή της επιφάνειας.

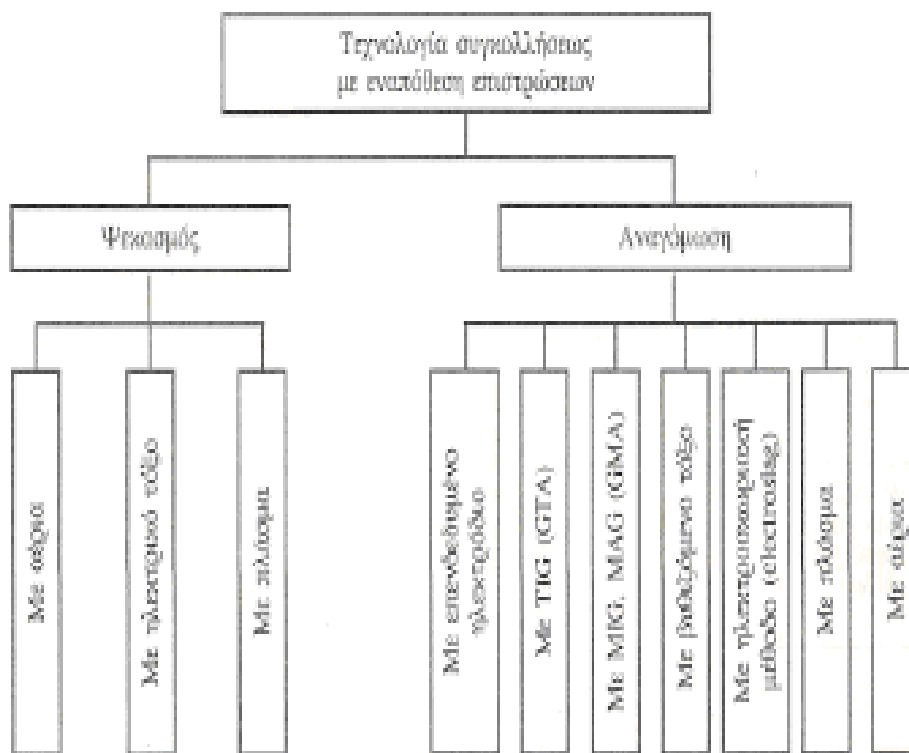
Η δέσμη ηλεκτρονίων και ιόντων εκπέμπεται υπό κενό και απορροφάται εύκολα από τη μεταλλική επιφάνεια. Αντιθέτως, η δέσμη laser δεν απαιτεί την εφαρμογή κενού, αλλά ανακλάται εύκολα από ανοικτόχρωμες και λείες επιφάνειες.

Προκειμένου να αυξηθεί η απορροφητική ικανότητα της επιφάνειας, καθίσταται απαραίτητη η κατάλληλη προετοιμασία της πριν ακτινοβοληθεί με τη δέσμη laser. Σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές επιφανειακής βαφής, η χρήση δεσμών υψηλής ενεργειακής πυκνότητας επιτρέπει την τοπική κατεργασία επιφανειακών στρωμάτων μικρού πάχους (από 0,1 έως 3 mm).

Οι τεχνικές αυτές συνίστανται στον ψεκασμό της προς επικάλυψη επιφάνειας με τηγμένο μέταλλο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικοί ψεκαστήρες, όπου το μέταλλο εισάγεται με τη μορφή σύρματος ή σκόνης, τήκεται σε υψηλή θερμοκρασία και εν συνεχεία, εκτοξεύεται στην επιφάνεια του στόχου, με τη μορφή λεπτών σταγονιδίων. Τα τελευταία φτάνοντας στην προς επικάλυψη επιφάνεια στερεοποιούνται ταχύτατα, προσδίδοντας άριστη πρόσφυση μεταξύ υποστρώματος-επίστρωσης. Με ψεκασμό δημιουργούνται επικαλύψεις τόσο

καθαρών μετάλλων, όσο και κραμάτων. Πολλές φορές, για την επίτευξη καλής πρόσφυσης επιβάλλεται η δημιουργία ενδιάμεσου στρώματος συνδετικού υλικού. Στις τεχνικές αυτές δεσπόζουσα θέση κατέχει η μέθοδος ψεκασμού με τη βοήθεια πλάσματος, η οποία επιτρέπει την ταχεία δημιουργία επιστρώσεων πολύ καλής ποιότητας.

Η εξέλιξη των συγκολλήσεων, αναγκαία στη σύγχρονη βιομηχανία, μεταξύ άλλων συνίσταται, στην επεξεργασία διάφορων τεχνολογιών με εναπόθεση επιστρώσεων μεταλλικών, κεραμικών υλικών ή συνθετικών υλών στις επιφάνειες διάφορων κατασκευών εκτελουμένων από μέταλλα, κεραμικά υλικά, συνθετικές ύλες ακόμη δε και από ύαλο. Η εναπόθεση επιστρώσεων πετυχαίνεται με ψεκασμό ή αναγόμωση (σχήμα.3.1).



Σχήμα 3.1 Ταξινόμηση βασικών τεχνολογιών συγκολλήσεων με εναπόθεση επιστρώσεων.

Η αναγόμωση χαρακτηρίζεται από την ακριβείας μεταλλουργική σύντηξη της εναποτιθέμενης επίστρωσης, με το βασικό υλικό, η συμμετοχή του οποίου στο μέταλλο της σχηματισμένης επίστρωσης ανέρχεται μέχρι 609°C.

Η πηγή θερμότητας τήξης του πρόσθετου υλικού με μορφή σύρματος, ράβδου, ταινίας ή σκόνης είναι φλόγα αερίου, ηλεκτρικό τόξο ή τόξο πλάσματος. Είναι δυνατόν να γίνει, εναπόθεση στρωμάτων πάχους από 0,05 mm έως 100 mm με ένα πέρασμα.

Οι εναποτιθέμενες επιστρώσεις έχουν μεγάλη μεταλλουργική και δομική ομοιογένεια, εκτός των περιπτώσεων αναγόμωσης, όπου επιβάλλεται η σκλήρυνση με κράματα υψηλής σκληρότητας, με την προϋπόθεση ότι επιτρέπεται σ' αυτά η εμφάνιση ρηγματώσεων.

3.4 Επικαλύψεις με θερμικό ψεκασμό.

Κατά τον θερμικό ψεκασμό το υλικό επικάλυψης οδηγείται σε ζώνη υψηλών θερμοκρασιών, όπου τήκεται μερικά ή ολοκληρωτικά, και εκτοξεύεται (ψεκάζεται) με μεγάλη ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια κατάλληλα προετοιμασμένου υποστρώματος.

Οι σταγόνες του υλικού προσκρούουν πάνω στο υπόστρωμα και στερεοποιούνται απότομα, με αποτέλεσμα την παραγωγή μιας επικάλυψης.

Το υλικό της επικάλυψης μπορεί να είναι κεραμικό, κεραμομεταλλικό, μέταλλο (σε ειδικές περιπτώσεις και πλαστικό) και έχει τη μορφή σκόνης, σύρματος ή ράβδου, η δε τήξη του μπορεί να επιτευχθεί με καύση αερίων, με ηλεκτρικό τόξο ή με τόξο πλάσματος.

Η πρόσφυση της επικάλυψης είναι μηχανική. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του υποστρώματος σπάνια ξεπερνά τους 1500 °C, οπότε δεν λαμβάνει χώρα τήξη του υλικού και σχηματισμός στερεού διάλυματος υποστρώματος-επικάλυψης. Άρα, κάθε υπόστρωμα που δεν αλλοιώνεται από τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες μπορεί να υποβληθεί σε ψεκασμό φλόγας, π.χ. σκληρά μέταλλα και κεραμικά μπορούν να

επικαλύψουν ακόμη και υποστρώματα από θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή (thermosetting). Για την επίτευξη καλής πρόσφυσης της επικάλυψης πάνω στο υπόστρωμα, απαιτείται προηγούμενη εκτράχυνση της επιφάνειας του υποστρώματος (συνήθως με αμμοβολή).

3.5 Επικαλύψεις με ακτινοβολία LASER.

Οι κατεργασίες επικάλυψης με δέσμη ακτίνων laser υψηλής ισχύος (104-106 W/cm²) διακρίνονται με κριτήριο τον τρόπο τροφοδοσίας του υλικού επικάλυψης σε δύο τεχνικές:

- Επικάλυψη με προαπόθεση σκόνης στην επιφάνεια του τεμαχίου. Η δέσμη laser σαρώνει την επιφάνεια του υποστρώματος η οποία φέρει προαποτεθειμένη σκόνη επ' αυτής. Επέρχεται τήξη της σκόνης, που οδηγεί σε ανάμιξη των υλικών επιθέματος και υποστρώματος.
- Επικάλυψη με ταυτόχρονο ψεκασμό σκόνης.

Η δέσμη laser προκαλεί τήξη της επιφάνειας του υποστρώματος μέσα στην οποία καταλήγει το ψεκαζόμενο υλικό. Η τεχνική αυτή χαρακτηρίζεται από:

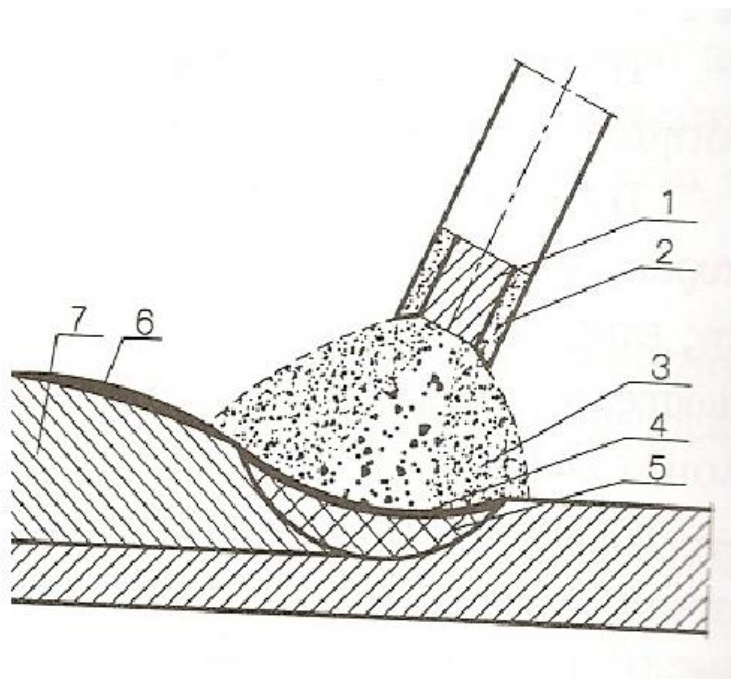
- Επαναληψιμότητα.
- Δυνατότητα αυτοματοποίησης.
- Ευχέρεια κατεργασίας πολύπλοκων γεωμετριών.

3.6. Επικαλύψεις με ηλεκτρική ενέργεια.

Η αναγόμευση με ηλεκτρική ενέργεια (θερμότητα) είναι διαδικασία στην οποία το πρόσθετο υλικό τήκεται στο ηλεκτρικό τόξο και εναποτίθεται στο τηκόμενο συγχρόνως υπόβαθρο, σχηματίζοντας με μεταλλουργική διεργασία τη μεταλλική επίστρωση.

Η θερμοκρασία του τόξου, ανάλογα με τη μορφή του και το βαθμό συγκέντρωσης, κυμαίνεται γύρω στους 5000 °C για το τόξο με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο και πάνω από 20000 °C για το πλασματικό τόξο.

Η απόδοση τήξης φτάνει την τιμή των 200 kg/h (ηλεκτροσκληρωτική συγκόλληση - electroslag), ενώ το πάχος του εναποτιθέμενου υλικού με ένα πέρασμα κυμαίνεται από μερικά δέκατα του χιλιοστού μέχρι και άνω των 100 mm.



Σχήμα 3.2 Διαδικασία αναγόμωσης με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο : 1- πυρήνας, 2-επένδυση,3-προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου, 4-ρευστή σκουριά, 5- λουτρο συγκόλλησης ,6- σκουριά ,7- επίστρωση.

Πρόσθετο υλικό κατά την ηλεκτρική αναγόμωση, πρακτικά, μπορεί να είναι κάθε μέταλλο και κράμα με μορφή επενδεδυμένου ηλεκτροδίου με πυρήνα συμπαγή ή σκόνης, με μορφή συμπαγούς σύρματος, σύρματος σκόνης, συμπαγούς ταινίας και ταινίας σκόνης. Η ηλεκτρική αναγόμωση εφαρμόζεται στις εργασίες επισκευών και αναγέννησης.

Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται συνήθως:

- Αναγόμωση τόξου χειρωνακτικά με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο (MMA- Manual Metal Arc).
- Αναγόμωση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων TIG (GTA - Gas Tungsten Arc).
- Αναγόμωση τόξου με ηλεκτρόδιο τηκόμενο στην ατμόσφαιρα αερίων MIG, MAG (GMA - Gas Metal Arc).
- Αναγόμωση βυθιζόμενου τόξου (SA – Submerged).

- ARC – BT αναγόμευση ηλεκτροσκοωριακή (electroslag).
- Αναγόμευση με πλάσμα.

Αναγόμευση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο στην ατμόσφαιρα αερίων.

Η αναγόμευση τόξου με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο, ονομαζόμενη συνήθως αναγόμευση με τη μέθοδο TIG (GTA), συνίσταται στην προσαγωγή πρόσθετου υλικού στην περιοχή του αναμμένου τόξου μεταξύ του ηλεκτροδίου βολφραμίου και του αντικειμένου προς αναγόμευση, στην ατμόσφαιρα αδρανών αερίων. Το πρόσθετο υλικό τήκεται και με τη σύντηξη της επιφάνειας του αντικειμένου σχηματίζεται η επίστρωση.

Το πρόσθετο υλικό προσάγεται με μορφή σύρματος, ράβδου συμπαγούς ή σκόνης και είναι δυνατόν να προσάγεται χειρωνακτικά ή αυτόματα.

Η αναγόμευση διενεργείται με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας ή με εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ η πηγή ρεύματος πρέπει να έχει πτωτική ή κατακόρυφη χαρακτηριστική, όπως συμβαίνει και με τα επενδεδυμένα ηλεκτρόδια.

Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται, όταν η αναγόμευση διενεργείται με συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας και χρησιμοποιείται ηλεκτρόδιο βολφραμίου με θόριο. Τότε εξασφαλίζεται μεγάλη σταθερότητα του τόξου, εύκολη ρύθμιση των παραμέτρων αναγόμευσης και μικρή συμμετοχή του μητρικού υλικού στην επίστρωση, της τάξεως των 5 - 10%, με απόδοση 1 -3 kg/h. Λόγω της έξοχης προστασίας του τόξου με το αδρανές αέριο, το μέταλλο της επίστρωσης παρουσιάζει υψηλή ποιότητα, ενώ με ένα πέρασμα εναποτίθεται στρώμα από 1,5 - 5,0 mm.

Οι βασικές παράμετροι αναγόμευσης με τη μέθοδο TIG (GTA) είναι:

- Το είδος και η ένταση ρεύματος.
- Η τάση του τόξου.
- Η ταχύτητα (ρυθμός) αναγόμευσης.
- Το είδος και η ένταση ροής του αερίου προστασίας.

- Η διάμετρος του ηλεκτροδίου βολφραμίου.
- Η διάμετρος του πρόσθετου υλικού.

Οι άριστες παράμετροι αναγόμωσης επιλέγονται όπως και κατά τη συγκόλληση με τη μέθοδο TIG, συσχετίζοντας, επί πλέον, τις απαιτήσεις που προκύπτουν από την ιδιομορφία της διαδικασίας και ιδιαίτερα:

- Τις απαιτούμενες ιδιότητες λειτουργίας της επίστρωσης.
- Την πρόσβαση και το μέγεθος της περιοχής αναγόμωσης.
- Την επιτρεπόμενη συμμετοχή του μητρικού υλικού στην επίστρωση.

Η χειρωνακτική μέθοδος αναγόμωσης TIG εκτελείται με παρόμοια τεχνική όπως κατά την αναγόμωση με τη φλόγα οξυγόνου - ασετυλίνης. Με τη μέθοδο TIG επιτυγχάνεται λίγο μεγαλύτερη διείσδυση στο υλικό του υπόβαθρου, αλλά αποφεύγονται οι αρνητικές επιδράσεις της φλόγας οξυγόνου - ασετυλίνης για μερικά μέταλλα και κράμματα. Επειδή είναι δυνατόν η αναγόμωση να γίνεται με μεγαλύτερες ταχύτητες, άρα προκύπτει μικρότερη θέρμανση των αντικειμένων και χάρη αυτού οι παραμορφώσεις και τάσεις συγκόλλησης είναι μικρότερες.

Το σύρμα ή η ράβδος με διάμετρο περίπου με 1 - 8 mm και μήκος με 0,5 - 3 m προσάγεται περιοδικά στην περιοχή του τόξου, ενώ ο πυρσός προωθείται προς τα αριστερά ή δεξιά.

Η συχνότητα τροφοδότησης του σύρματος εξαρτάται από το απαιτούμενο πάχος του στρώματος της κόλλησης, το οποίο κυμαίνεται στα όρια από 1,5 - 5 mm. Η τεχνική προς τα αριστερά επιτρέπει μικρότερη διείσδυση στο υλικό του υπόβαθρου, απ' ό.τι η προς τα δεξιά. Η μέθοδος αυτή συχνά χρησιμοποιείται για την αναγόμωση των επιφανειών των σωλήνων γεώτρησης ή μικρών επιφανειών εργαλείων κοπής ορυκτών υλικών.

Η αυτόματη αναγόμωση με τη μέθοδο TIG εκτελείται συνήθως με κρύο ή θερμό σύρμα. Η αυτόματη αναγόμωση με θερμό σύρμα χρησιμεύει στην ελάττωση της συμμετοχής του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση και την αύξηση της

απόδοσης της αναγόμωσης μέχρι 5 - 8 kg/h. Το θερμαινόμενο σύρμα με αντίσταση τήκεται με γρήγορο ρυθμό, σχηματίζοντας λουτρό συγκόλλησης με μεγάλο όγκο, μειώνοντας το ρυθμό τη σύντηξης του υλικού του υπόβαθρου.

Με τη χρήση συρμάτων σκόνης μπορεί να επιτευχθεί αναγόμωση στρωμάτων με μεγάλη σκληρότητα, τα οποία δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν με τη χρήση συμπαγών συρμάτων.

Με τη μέθοδο TIG η αναγόμωση επιτυγχάνεται, βασικά, σε επίπεδη θέση ή με κλίση της επιφάνειας προς αναγόμωση με γωνία τουλάχιστον 30°. Είναι δυνατόν να διενεργείται αναγόμωση αντικειμένων που εκτελούνται από χάλυβα, χυτοσίδηρο, χυτοχάλυβα, κράματα χαλκού και κράματα αλουμινίου. Το πάχος των επιτευχθέντων στρωμάτων με ένα πέρασμα ισούται από 1,5 - 5 mm, η συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση ισούται από 5 -10% ενώ η απόδοση της διαδικασίας από 1 -8 kg/h. Η διαδικασία διενεργείται χειρωνακτικά, ημιαυτόματα και αυτόματα.

3.7 Επικαλύψεις με πλάσμα.

Η αναγόμωση με πλάσμα συνίσταται στην τήξη στο πλασμικό τόξο με πολύ υψηλή θερμοκρασία, της τάξης των 18000 - 24000 K, του πρόσθετου υλικού με μορφή σκόνης ή σύρματος, το οποίο μαζί με μη σημαντική σύντηξη του υλικού του υπόβαθρου σχηματίζει την επίστρωση. Η αναγόμωση εκτελείται ημιαυτόματα ή αυτόματα σε οριζόντια θέση. Εφαρμόζονται οι ακόλουθες μέθοδοι αναγόμωσης με πλάσμα:

- Πλασμική αναγόμωση σκόνης.
- Πλασμική αναγόμωση TIG με θερμό ή κρύο σύρμα.
- Πλασμική αναγόμωση MIG.

Οι βασικές παράμετροι πλασμικής αναγόμωσης με σκόνη είναι:

- Η ένταση ρεύματος του κύριου και βοηθητικού τόξου.
- Η τάση του πλασμικού τόξου.
- Η ταχύτητα αναγόμωσης.

- Η κατανάλωση της σκόνης.
- Η ένταση της ροής του πλασμικού αερίου και μεταφοράς.
- Οι παράμετροι της ταλαντωτικής κίνησης του καυστήρα.
- Η απόσταση του καυστήρα από το αναγομωμένο αντικείμενο.

Χάρη της μεγάλης σταθερότητας του πλασμικού τόξου, είναι δυνατή η διενέργεια της αναγόμωσης σε ευρεία περιοχή μεταβολών της έντασης του ρεύματος. Με την αύξηση της έντασης του ρεύματος αυξάνεται και η απόδοση αναγόμωσης αλλά και η τήξη του υπόβαθρου και εξ' αυτού η συμμετοχή του στην επίστρωση. Επιλέγοντας καταλλήλως τις παραμέτρους αναγόμωσης, και κυρίως την ένταση του ρεύματος του κύριου τόξου, την ταχύτητα αναγόμωσης και την ανάλωση σκόνης, είναι δυνατόν να εκτελεσθεί η επίστρωση, με πολύ υψηλή μεταλλουργική καθαρότητα και με την ελάχιστη συμμετοχή του υλικού του υπόβαθρου στην επίστρωση, ακόμη και κάτω του 5%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΜΕ ΔΕΣΜΗ GTAW

4.1 Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με συνδετικό υλικό πυριτικό άλας νατρίου και δέσμη GTAW.

4.1.1.Επιφανειακη βελτίωση με απλή προεναπόθεση σκόνης FeCrBSi.

Οι Xinhong et al. μελέτησαν την παρασκευή επίστρωσης κράματος με βάση το σίδηρο ενισχυμένη με σωματίδια TiC. Για το σκοπό αυτό αρχικά προεναπόθεσαν μίγμα σκόνης κράματος FeCrBSi, γραφίτη, σιδηροτιτανίου και κρυσταλλικού γραφίτη με καθαρότητα 99.5% με συνθετικό μέσο πυριτικό άλας νατρίου. Σκοπός των ερευνητών ήταν η μελέτη των επιπτώσεων του πάχους του στρώματος της σκόνης που προεναποτίθεται στη μικροδομή, στη σκληρότητα και στην αντίσταση κατά της φθοράς.

Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι τα σωματίδια TiC παρήχθησαν με άμεση μεταλλουργική αντίδραση μεταξύ του σιδηροτιτανίου και του γραφίτη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας GTAW. Τα σωματίδια τα οποία διασκορπίστηκαν στη μήτρα έχουν μέγεθος στο εύρος 3-5 μm . [3]



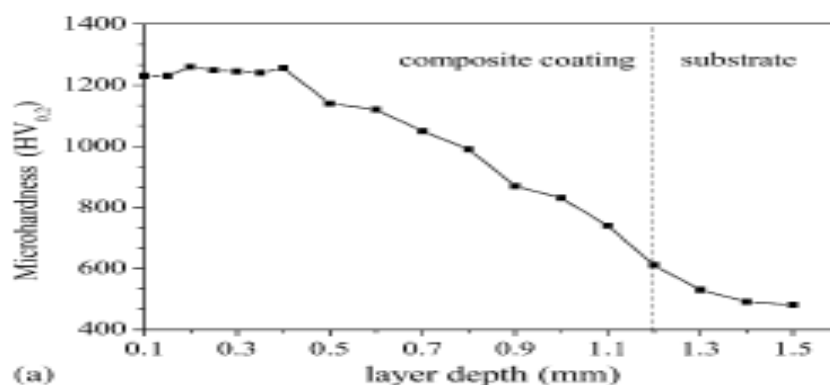
Σχήμα 4.1 Πέρασμα που παράγεται στην επιφάνεια του δείγματος με προεναποτιθέμενο πάχος:

(a) 1,5 mm και (b) 2,0 mm.

Με βάση τους φυσικοχημικούς χαρακτηρισμούς των επιστρώσεων βρέθηκε ότι η επιφάνεια δεν είναι πορώδης. Πιο αναλυτικά, όταν το προεναποτιθέμενο πάχος του μείγματος σκόνης ήταν μικρότερο από 1,2 mm, οι λωρίδες τήξης βρέθηκαν απαλλαγμένες από πόρους, εγκλείσματα και ρωγμές.

Ωστόσο, όταν το πάχος του μείγματος σκόνης ήταν μεγαλύτερο των 2,0 mm, ο σχηματισμός των περασμάτων έγινε φτωχός και σχηματίστηκαν πόροι εξαιτίας του αερίου και υπήρξε ελλιπής σύντηξη. Επίσης παρατηρήθηκε ότι το κλάσμα όγκου των σωματιδίων TiC και η σκληρότητα αυξάνεται από τον πυθμένα προς την κορυφή των σύνθετων επιστρώσεων. Οι επιστρώσεις οι οποίες είναι ενισχυμένες με TiC έχουν και πιο αυξημένη σκληρότητα και αντίσταση στη διάβρωση.

Πιο συγκεκριμένα, η επίστρωση με πάχος 1,2 mm παρουσίασε την υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση. Στην περίπτωση που το πάχος ήταν παραπάνω από 2 mm, όπως προαναφέρθηκε τα δείγματα παρουσίαζαν ρωγμές.



Σχίμα 4.2 Διάγραμμα μικροσκληρότητας συνάρτηση βάθους.

Οι ερευνητές αποδίδουν την καλή συμπεριφορά της επίστρωσης, στη διάβρωση, στην καινοτόμο μέθοδο σύνθεσης των TiC από την προαναφερόμενη σκόνη. Επίσης ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός έδειξε ότι οι φάσεις έχουν σύνθετη επικάλυψη με κύριες φάσεις TiC, α-Fe, α-Fe και διαμεταλλικές ενώσεις.

Οι ενώσεις είναι (Fe, Cr)₇C₃ και FeB. Επιβεβαιώνει σαφώς ότι τα σωματίδια TiC μπορούν να συντίθεται με άμεση αντίδραση μεταξύ του σιδηροπυριτίου και του γραφίτη.

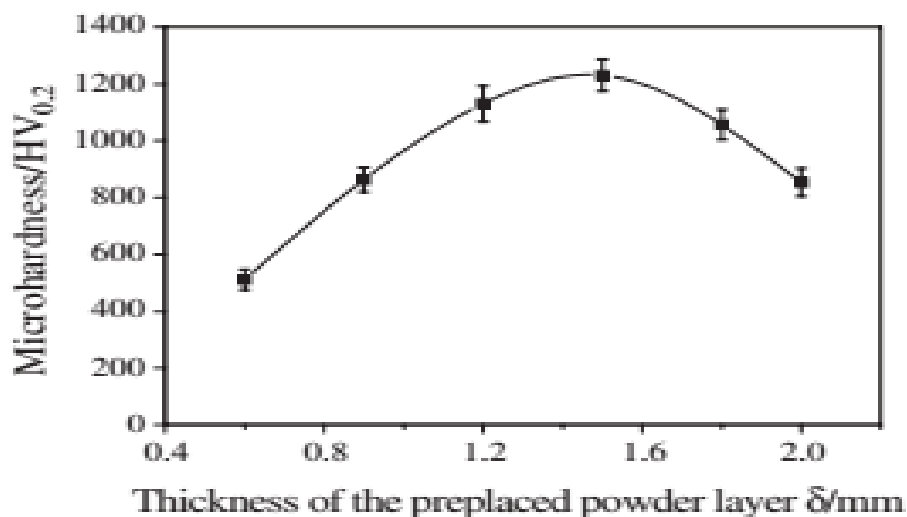
4.1.2.Επιφανειακή βελτίωση AISI 1045 με σκόνη FeCrBSi και ξήρανση με ζεστό αέρα.

Η επιφάνεια ανθρακούχου χάλυβα AISI 1045 ενισχύθηκε μέσω της τεχνικής συγκόλλησης GTAW με χρήση σκόνης γραφίτη, σιδηροτιτανίου και Fe–Cr–B–Si και μελετήθηκε από τους Wang et al.

Με βάση τη διεργασία που ακολούθησαν οι ερευνητές, η σκόνη προεναποτέθηκε επάνω στο AISI 1045 αφού αρχικά αναμίχτηκε με πυριτικό άλας νατρίου για να διατηρηθεί σταθερή κατά την έγχυση αδρανούς αερίου. [4]

Μετά την εναπόθεση του μίγματος σκόνης με το συνδετικό υλικό υπέστη ξήρανση με θερμό αέρα. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν σωματίδια TiC από την αντίδραση του σιδηροτιτανίου και γραφίτη κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

Σωματίδια TiC με μέσο μέγεθος 1-4 μm με βάση το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό παρατηρήθηκε να είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα στη μήτρα. Αυτά τα λεπτά σωματίδια TiC δρουν ως ενίσχυση και βελτιώνουν τις τριβολογικές ιδιότητες των επιστρώσεων σημαντικά.



Σχήμα 4.3 Διάγραμμα μικροσκληρότητας και πάχους πρόεναποτιθέμενης σκόνης

Η ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων μπορεί να αποδίδεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να οδηγήσει στην παγίδευση ή την ώθηση σωματιδίων. Η παγίδευση μπορεί να επιφέρει μια ομοιόμορφη

κατανομή σωματιδίων στις ενδοδενδρικές ζώνες ενώ η ώθηση έχει ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό σε ζώνες που τελικά έχουν στερεοποιηθεί.

Επιπλέον, η ταχεία στερεοποίηση μπορεί επίσης να μειώσει σημαντικά τη συσσωμάτωση των σωματιδίων που είναι επιβλαβής για την ευαισθησία των επικαλύψεων. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι το πάχος της αρχικής σκόνης που προ-εναποτίθεται καθώς και οι πειραματικές συνθήκες επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, όταν η ταχύτητα συγκόλλησης και το πάχος της σκόνης είναι σταθερές, καθώς αυξάνεται το ρεύμα συγκόλλησης, μειώνεται η σκληρότητα των επικαλυμμένων επιστρώσεων.

Γενικότερα όμως, λόγω της παρουσίας των σωματιδίων TiC η σκληρότητα ήταν μεγαλύτερη και ο ρυθμός διάβρωσης μικρότερος. Η μέγιστη τιμή σκληρότητας λήφθηκε όταν το πάχος του στρώματος της σκόνης ήταν σχεδόν 1.4 mm. Καθώς αυξάνονταν το πάχος μειώνονταν και η τιμή της σκληρότητας. Ένα επιπλέον θετικό χαρακτηριστικό είναι ότι η σκληρότητα και η αντοχή στη διάβρωση αυξήθηκαν χωρίς να αυξηθεί ο συντελεστής διάβρωσης των επιστρώσεων.

Μπορεί λοιπόν να ειπωθεί ότι η ενισχυμένη επιφάνεια, με σύνθετη επίστρωση βασίζεται στα σωματίδια TiC και είναι πιο αποτελεσματική βελτιώνοντας την αντίσταση στη φθορά.

Με βάση λοιπόν το συντελεστή τριβής έναντι της ολισθαίνουσας δύναμης σε 100 N, ο συντελεστής τριβής των σχηματιζόμενων τεμαχίων τα οποία ενίσχυθηκαν με σύνθετη επίστρωση με βάση το Fe είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν της επίστρωσης κράματος με επιγώμωση. Ως εκ τούτου, η επί τόπου σύνθετη επίστρωση με σωματίδια TiC μπορεί να ενισχύσει τη σκληρότητα και τη φθορά χωρίς να αυξάνεται ο συντελεστής τριβής των επικαλύψεων.

4.1.3.Επιφανειακή βελτίωση AISI 1020 με σκόνη FeTi και ξήρανση με ζεστό αέρα.

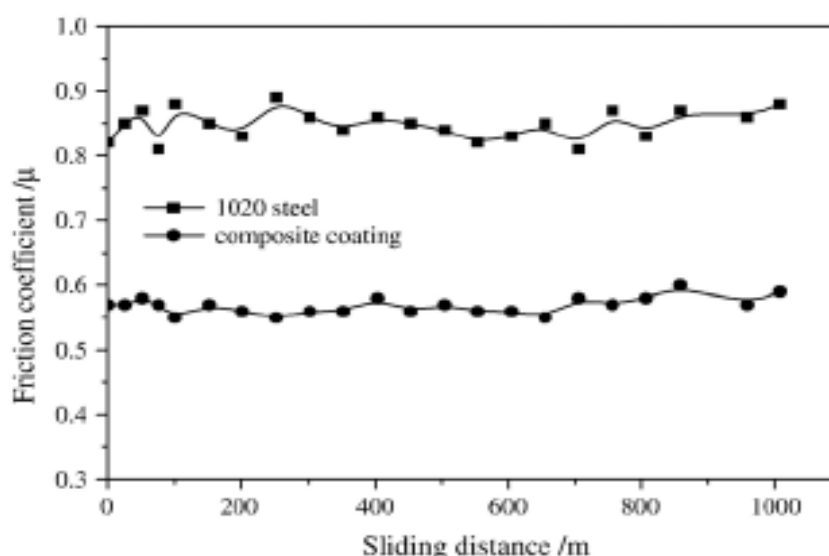
Οι Wang et al. δημιούργησαν επικάλυψη με βάση το σίδηρο ενισχυμένη με σωματίδια TiC επάνω σε επιφάνεια AISI 1020. Για την εφαρμογή της επικάλυψης χρησιμοποιούν τη μέθοδο GTAW δημιουργώντας πολλαπλά περάσματα.

Οι μικροδομές και οι ιδιότητες φθοράς των σύνθετων επικαλύψεων ερευνήθηκαν μέσω του διαθλασίμετρου ακτίνων X . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι επικαλύψεις

πολλαπλών περασμάτων σύνθετων επιφανειών τήξης με τις κατάλληλες παραμέτρους συγκόλλησης, δημιουργούν επικαλύψεις χωρίς ρωγμές και επιφάνεια χωρίς πόρους.

[5]

Τα σωματίδια TiC σχηματίζονται μέσω της αντίδρασης FeTi και γραφίτη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Στο φυσικοχημικό χαρακτηρισμό η παρουσία σωματιδίων TiC μπορούν να φανούν σαφώς. Επιπλέον, δίπλα στη φάση TiC, βρέθηκαν και κορυφές περίθλασης Fe₃C, οι οποίες αποκαλύπτουν παρουσία της φάσης Fe₃C στη σύνθετη επικάλυψη. Λόγω του χαμηλού ποσοστού του Ti που υπάρχει, το C μπορεί να μην είναι σε θέση να αντιδράσει πλήρως με το FeTi. Έτσι μια μικρή ποσότητα C αντιδράει με το Fe για να σχηματίσει Fe₃C. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν κορυφές FeTi μετά την επικάλυψη πολλών σταδίων της διαδικασίας τήξης GTAW που δείχνει ότι η αντίδραση ήταν πλήρης.



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα φθοράς απλού συμβατικού χάλυβα και επιβελτιωμένου χάλυβα.

Παρατηρήθηκε ότι σε ζώνες όπου δεν έχουν γίνει πολλαπλά περάσματα τα σωματίδια TiC έχουν κυβικό σχήμα και μορφή δενδριτών. Οι σύνθετες επικαλύψεις δίνουν υψηλή σκληρότητα και εξαιρετική αντοχή στη φθορά στο υλικό το οποίο εφαρμόζονται. Ο συντελεστής τριβής της επικάλυψης είναι μικρότερος από εκείνον του AISI 1020. Ως αποτέλεσμα, η διεργασία επικάλυψης πολλαπλών διελεύσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την παραγωγή επιφανειών σύνθετων επικαλύσεων.

Η μικροσκληρότητα στη ζώνη επικάλυψης είναι κάπως χαμηλότερη από εκείνη της ζώνης μη επικάλυψης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο χονδροειδές δενδρίτη και στα λιγοστά σωματίδια TiC στη ζώνη επικάλυψης. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η μικροσκληρότητα της επικάλυψης αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση της απόστασης από τον πυθμένα των επικαλύψεων γεγονός που αποδόθηκε στην κατανομή βαθμίδων των TiC σωματιδίων.

Με βάση τα συμπεράσματα της ερευνητικής ομάδας οι σύνθετες επικαλύψεις δίνουν υψηλή σκληρότητα και εξαιρετική αντοχή στη φθορά. Η αντοχή στη φθορά του σύνθετου υλικού με τις πολλαπλές επιστρώσεις είναι 4-6 φορές υψηλότερες από αυτές του απλού υποστρώματος AISI 1020. Επιπλέον, ο συντελεστής τριβής φθοράς του σύνθετου υλικού με τις πολλαπλές επιστρώσεις είναι μικρότερος από εκείνον του υποστρώματος AISI 1020.

4.1.4.Επιφανειακή βελτίωση AISI 1045 με σκόνη FeTi και συνδεδετικού υλικού πυριτικού άλας νατρίου.

Οι Wang *et al.* στην ανάλυση της μικροδομής και των ιδιοτήτων των ενισχυμένων με σωματίδια TiC σύνθετων επιφανειών με βάση το Fe, που παράγονται με τη μέθοδο τήξης πολλαπλών περασμάτων συγκόλλησης με τη βοήθεια αδρανούς αερίου (GTAW). Σύμφωνα με τους ερευνητές η σκόνη μίγματος γραφίτη και σιδηροτιτανίου (FeTi) εναποτέθηκε ομοιόμορφα σε χαλύβδινο υπόστρωμα AISI 1045, το οποίο κατόπιν θερμάνθηκε με πηγή θερμότητας GTAW. [6]

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κάτω από κατάλληλες παραμέτρους συγκόλλησης μπορεί να επιτυγχάνονται σύνθετες επιστρώσεις ενισχυμένες με σωματίδια TiC.

Οι τηγμένες περιοχές έδωσαν μια ομαλή επιφάνεια με κυματισμό και διαπιστώθηκε ότι είναι απαλλαγμένες από πόρους.

Με βάση το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των ερευνητών δημιουργήθηκαν TiC σε σχήμα κύβου και ευτηκτικά TiC σε σχήμα λεπτής βελόνας. Αυτά σχηματίστηκαν από την τριμερή ευτηκτική αντίδραση μεταξύ FeTi και γραφίτη.

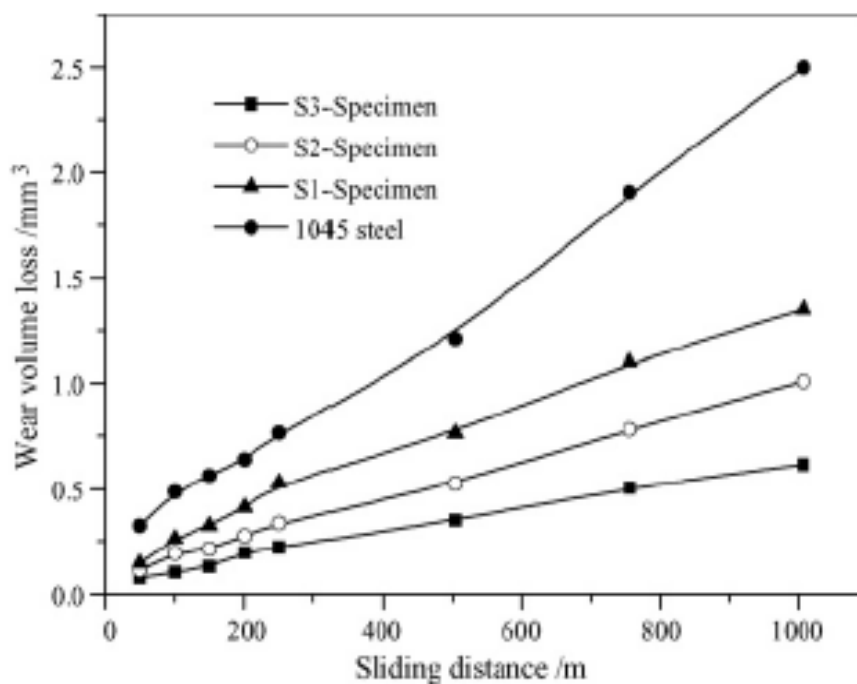
Μαζί με τα TiC, βρέθηκαν επίσης στις σύνθετες επιστρώσεις ακτινωτά ανεπτυγμένοι δενδρίτες πρωτογενών σωματιδίων TiC, οι οποίοι κατανέμονται ομοιόμορφα.

Χαρακτηριστικό επίσης είναι ότι τα TiC δεν αναπτύσσονται πολύ, αλλά κυρίως σχηματίζουν το προαναφερόμενο κυβικό σχήμα.

Λόγω της δημιουργίας αυτών των σωματιδίων TiC και της ομοιογενούς κατανομής τους στη μήτρα, οι σύνθετες επιστρώσεις δίνουν πολύ υψηλή σκληρότητα και εξαιρετική αντοχή στη φθορά.

Η αντίσταση στη φθορά των σύνθετων επιστρώσεων είναι περίπου τρεις έως τέσσερις φορές υψηλότερη από αυτή του απλού AISI 1045. Επιπλέον, η αντοχή των σύνθετων επιστρώσεων στη φθορά αυξάνεται με την αυξανόμενη απόσταση ολίσθησης. Οι σύνθετες επικαλύψεις είναι πιο αποτελεσματικές βελτιώνοντας την αντίσταση στη φθορά με αυξανόμενη απόσταση ολίσθησης από τον AISI 1045. Με βάση τους ερευνητές αποδεικνύεται ότι από τα σχηματισμένα σωματίδια TiC στις σύνθετες επιστρώσεις υπάρχει σημαντική αντίσταση στη φθορά.

Επιπλέον, οι επιστρώσεις πολλαπλών περασμάτων δίνουν μεγαλύτερη αντίσταση στην φθορά από αυτής του μονού περασματος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα σωματίδια TiC στη μήτρα που βασίζεται σε Fe σχηματίζονται κατά τρόπο, ο οποίος βελτιώνει την αντοχή συγκόλλησης μεταξύ αυτών.



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα φθοράς συμβατικού χάλυβα και των επιβελτιωμένων δοκιμίων.

Ως αποτέλεσμα, τα σκληρά σωματίδια TiC δεν αποκολλούνται εύκολα από τη μήτρα κατά τη διάρκεια της ολίσθησης. Ως εκ τούτου, οι σύνθετες επιστρώσεις βρέθηκαν ότι έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή στην πλαστική παραμόρφωση, γεγονός που αυξάνει την αντίσταση στην πλαστική παραμόρφωση και στην αφαίρεση των άκρων των αυλακώσεων κατά τη διάρκεια των επόμενων περασμάτων. Ακόμα, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η μικροσκληρότητα της επίστρωσης αυξήθηκε σταδιακά με την αύξηση της απόστασης από το κάτω μέρος των επιστρώσεων. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική πυκνότητα σε κάθε σημείο της επιφάνειας. Ακόμα παρατηρήθηκε ότι οι πολλαπλές επιστρώσεις έχουν υψηλότερη σκληρότητα από εκείνη του μονού περάσματος και του υποστρώματος.

4.1.5. Επιφανειακή βελτίωση με σκόνες σιδηρομαγγανίου, σιδηροχρωμίου και καρβιδίου του τιτανίου.

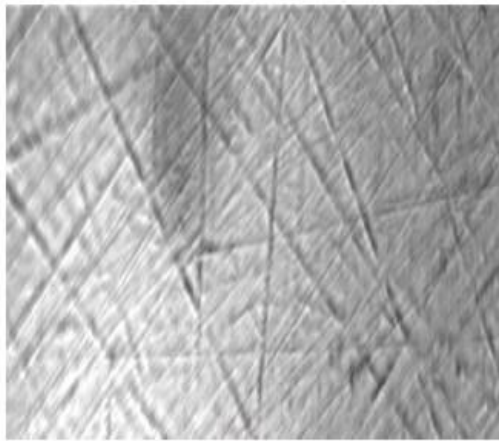
Για αυτό το σκοπό μελετώνται έξι τύποι σκληρών ηλεκτροδίων με βάση το σιδηροχρώμιο, όπου εναποτέθηκαν οι σκόνες. Οι σκόνες που επελέγησαν ήταν σιδηρομαγγανίου, σιδηροχρωμίου και σκόνη καρβιδίου του τιτανίου. [7]

Οι σκόνες αρχικά αναμίχθηκαν για δέκα λεπτά σε μια συσκευή η οποία ταυτόχρονα προκαλεί ξήρανση του μείγματος. Στη συνέχεια προστίθεται υγρός συνδέτης πυριτικού άλατος σε μορφή πάστας, χρησιμοποιώντας διαφορετικά είδη πυριτικού άλατος με διαφορετικά ιξώδη και συνεχίζεται η ανάμειξη για άλλα δέκα λεπτά. Για την εναπόθεση των στρώσεων χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια διαστάσεων 265x125x12mm.

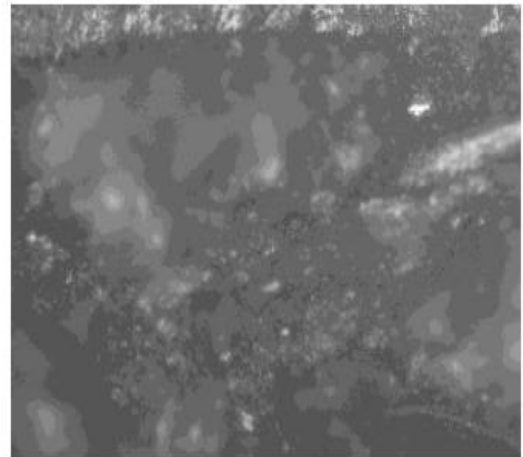
Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι με την αύξηση του Cr, η αντοχή στη φθορά στη συγκόλληση αυξήθηκε όταν σκληρύνθηκε το τροποποιημένο ηλεκτρόδιο. Ακόμα όταν αυξήθηκε το ποσοστό του Cr από 3,5% σε 8,5%, και του φεροχρωμίου από 5% έως 15% η σκληρότητα αυξήθηκε λόγω του σχηματισμού καρβιδίου του χρωμίου στους κόκκους μεταξύ των διεπιφανειών. Λόγω της αύξησης της τιμής της συγκέντρωσης Cr, υπήρξε επίσης προοδευτική βελτίωση στους κόκκους των συγκολλημένων στρωμάτων, με βάση το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό. Σε μερικά δείγματα παρατηρήθηκαν επίσης, με βάση τις μικρογραφίες ηλεκτρονικής σάρωσης, μερικές ρωγμές. Όσον αφορά στις δοκιμές κατά της φθοράς παρατηρήθηκε ότι η απώλεια φθοράς για χρονική περίοδο 300 δευτερολέπτων γίνεται μέγιστη και

συνεχίζει να μειώνεται με την αύξηση του χρόνου για ποσοστά Cr (3,5% έως 16,5%). Παρατηρείται ότι με την προσθήκη Cr (3,5%) σε σύγκριση με το βασικό μέταλλο παρατηρείται μείωση της φθοράς

Μετά από 1500 δευτερόλεπτα η απώλεια λόγω φθοράς γίνεται σταθερή και όλα τα δείγματα παρουσιάζουν την ίδια τάση. Η απώλεια λοιπόν λόγω φθοράς συνεχίζει να μειώνεται με το χρόνο και με αύξηση του ποσοστού του χρωμίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Cr είναι ανθεκτικό στη φθορά.



Weld Zone



Base Metal

Σχήμα 4.6 Εικόνες μικροσκοπικού ελέγχου βάσης μετάλλου και της τηγμένης επιφάνειας.

4.2 Επιφανειακή βελτίωση σιδήρου με δέσμη GTAW και συνδετικό μέσο ειδή αλκοόλης.

4.2.1 Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα 4340 με σκόνη WC.

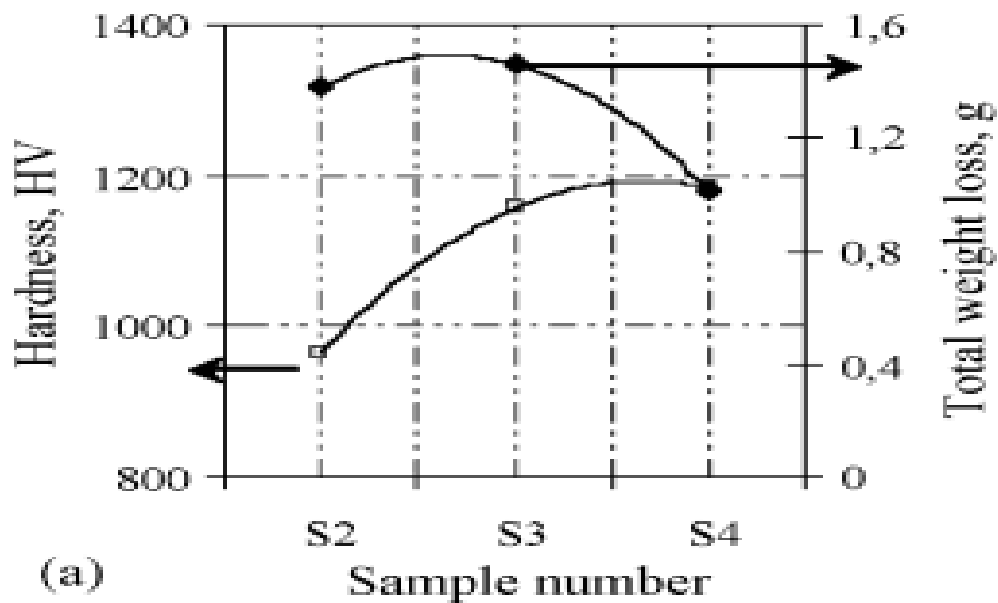
Οι Buytoz et al. χρησιμοποίησαν τηγμένη σκόνη καρβιδίου του βολφραμίου (WC) η οποία εναποτέθηκε στην επιφάνεια χάλυβα AISI 4340. Η σκόνη WC αναμίχθηκε αρχικά με ποσότητα αλκοόλης (δημιουργία πάστας) η οποία χρησιμοποιήθηκε ως συνδετικό υλικό και στη συνέχεια προεναποτέθηκε στο υπόστρωμα (AISI 4340). [8]

Έπειτα το δοκίμιο τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 50°C για μία ώρα, με στόχο την απομάκρυνση της υγρασίας. Σύμφωνα με τους συγγραφείς μετά την εφαρμογή της τεχνικής GTAW παρατηρήθηκε ότι η σκόνη στερεοποιήθηκε σχηματίζοντας διαφορετικές μικροδομές, ανάλογα με τις παραμέτρους παραγωγής. Επίσης αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε η περιεκτικότητα της σκόνης και η τιμή εισόδου θερμότητας .

Εξετάζοντας τη μικροδομή των στρωμάτων που δημιουργήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι στα επιφανειακά τροποποιημένα στρώματα μαζί με τις φάσεις WC, W₂C υπήρξε και μια στερεοποίηση ευτηκτικών και δενδρικών δομών WC. Στο στρώμα που παράχθηκε, οι τιμές σκληρότητας κυμαίνονταν μεταξύ 950 και 1200 Hardness Vickers (HV). Επίσης παρατηρήθηκε ελάχιστη απώλεια μάζας του δείγματος με ρυθμό επεξεργασίας 1.209 mm /s, ρυθμό τροφοδοσίας σκόνης 0.5 g /s και 13.9 kJ /cm ρυθμός εισόδου θερμότητας.

Η ποσότητα τροφοδοσίας της σκόνης επηρέασε το τελικό αποτέλεσμα. Όταν η ποσότητα τροφοδοσίας σκόνης στην επιφάνεια του υλικού αυξάνεται, τα ποσοστά των στοιχείων W, C, Cr και Fe αυξήθηκαν συγκρινόμενα με τη χημική συγκέντρωση του AISI 4340.

Επίσης η ανάλυση των μικροδομών με τη μέθοδο των ακτίνων περίθλασης X, έδειξε ότι σχηματίστηκαν WC, Fe₃W₃C, M₂C, M₇C₃ και g-FeCrNiW καρβίδια και φάσεις καρβιδίων, στο στρώμα το οποίο βελτιώθηκε με χαμηλό ρυθμό σκόνης και υψηλότερη εισροή ενέργειας.



Σχήμα 4.7 Διάγραμμα σκληρότητας δοκιμίων και φθοράς.

Επίσης οι ερευνητές παρατήρησαν ότι στο τροποποιημένο δείγμα όπου είχε εναποτεθεί υψηλή ποσότητα σκόνης και υπήρξε υψηλή εισροή ενέργειας δημιουργήθηκε μια συστηματική στερεοποίηση. Όταν αυξήθηκε η ταχύτητα παραγωγής (γεγονός που οδηγεί σε μείωση της εισροής), οι κόκκοι του WC παρουσίασαν στερεοποίηση χωρίς να παρατηρηθεί διάλυση στη μικροδομή.

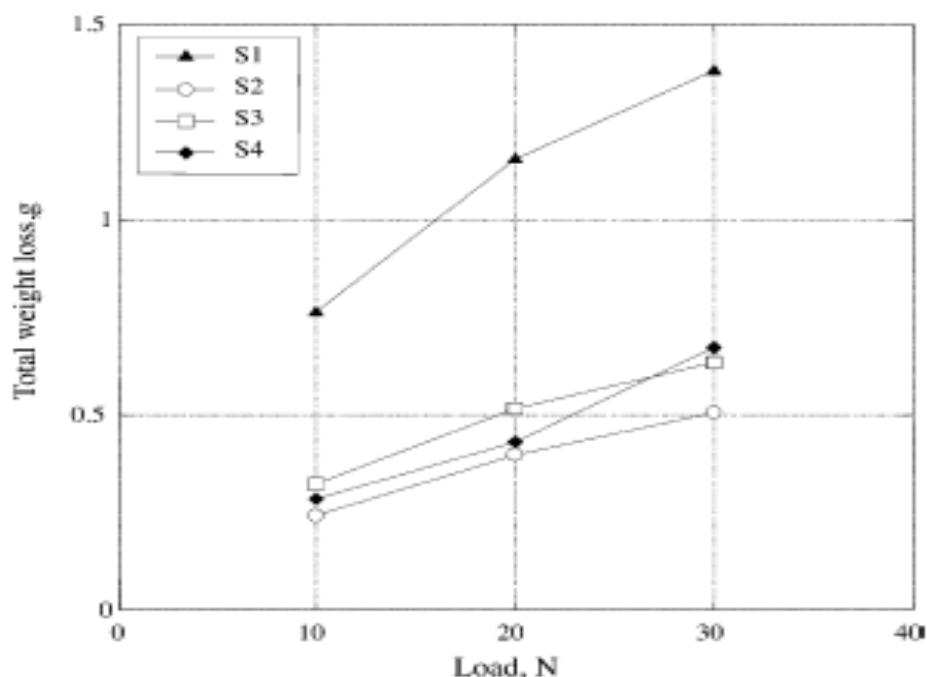
Επιπλέον, λόγω της χαμηλότερης εισροής θερμότητας, το ενισχυμένο στρώμα δεν παρουσίασε συστηματική στερεοποίηση και ως αποτέλεσμα οι κόκκοι WC παρέμειναν διαλυμένοι στη δομή, με αποτέλεσμα να προκληθούν υψηλές τιμές σκληρότητας. Συνεπώς, η εισροή θερμότητας αποτελεί μια παράμετρο που επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα στερεοποίησης.

Στην περίπτωση που υπήρξε υψηλή ταχύτητα τροφοδοσίας σκόνης και υψηλή εισροή θερμότητας υπήρξε συστηματική στερεοποίηση και ελάχιστη απώλεια μάζας του υλικού. Παρόλο που η κατανομή της σκληρότητας στα δείγματα ήταν ομοιόμορφη, στην επιφάνεια η οποία τροποποιήθηκε, παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση της σκληρότητας

Η κατανομή της σκληρότητας στο ανώτερο στρώμα βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 1000 και 1200 HV. Όταν η ποσότητα του καρβιδίου αυξήθηκε, υπήρξε αύξηση της σκληρότητας. Ωστόσο, το πάχος του τροποποιημένου στρώματος μπορεί επίσης να

καθορίζεται από την αλλαγή της σκληρότητας, η οποία εξαρτάται από τις παραμέτρους της διεργασίας.

ρτιο



Σχήμα 4.8 Διάγραμμα φθοράς συναρτήσει φορτίου.

4.2.2 Επιφανειακή βελτίωση με σκόνη υπερευθητικού κράματος άνθρακα.

Σκόνη υπερευθητικού κράματος άνθρακα με υψηλή συγκέντρωση σιδηροχρωμίου διερευνήθηκε με τη μέθοδο συγκόλλησης GTAW από τους Buytoz et al. Το μίγμα σκόνης με την αλκοόλη εναποτίθεται στο υπόστρωμα και ξηραίνεται στο 50°C για 2 ώρες. Ανάλογα με τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν για τη διαδικασία GTAW, δημιουργήθηκαν είτε υποευθητικές είτε υπερευθητικές μικροδομές. [9]

Οι ερευνητές πραγματοποίησαν επίσης δοκιμές φθοράς των επιστρώσεων συναρτήσει του φορτίου επαφής. Με βάση τα αποτελέσματά τους παρατηρήθηκε ότι οι ρυθμοί φθοράς όλων των στρωμάτων επικάλυψης μειώθηκαν ως συνάρτηση του φορτίου. Οι επιστρώσεις καρβιδίων M_7C_3 παρουσίασαν βελτίωση στη αντοχή που οφείλεται στην υψηλή σκληρότητα της υπερευθητικής μικροδομής. Ως αποτέλεσμα, η μικροδομή των επιφανειακών στρωμάτων, η σκληρότητα και η συμπεριφορά κατά

της φθοράς εμφάνισαν διαφορετικά χαρακτηριστικά λόγω των διαφορετικών παραμέτρων εναπόθεσης.

Πιο αναλυτικά, σε υψηλή εισροή θερμότητας και χαμηλή περιεκτικότητα σε σκόνη η μικροδομή περιέχει φάσεις ωστενίτη και καρβιδίων. Λόγω των χαμηλών ποσοτήτων C και Cr στη δομή και λόγω της δομής δενδρίτη, ωστενίτη μαζί με το ευτηκτικό σχηματισμό δομής, καταγράφηκαν σχετικά χαμηλότερες τιμές σκληρότητας.

Επιπλέον, στις υπερευθηκτικές δομές, καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές σκληρότητας λόγω της παρουσίας υπερευθηκτικής μικροδομής αποτελούμενη από πρωτογενή (M (Cr, Fe)₇C₃) καρβίδια και ωστενίτη. Η υπερευθηκτική μικροδομή συνίσταται από (M (Cr, Fe)₇C₃) και (M (Cr, Fe)₇C₃) + ωστενίτη (γ) υπό τις παρούσες συνθήκες διεργασίας. Στα δείγματα στα οποία εφαρμόζεται η επιφανειακή τροποποίηση άνθρακα με σιδηροχρώμιο με υψηλό ποσοστό χρωμίου, καταγράφεται η καλύτερη συμπεριφορά κατά της φθοράς για διαφορετικά φορτία. Σε αυτά τα δείγματα τα πρωτεύοντα (M (Cr, Fe)₇C₃) καρβίδια είναι λεπτώς διεσπαρμένα με μια ομοιόμορφη κατανομή στη μήτρα.

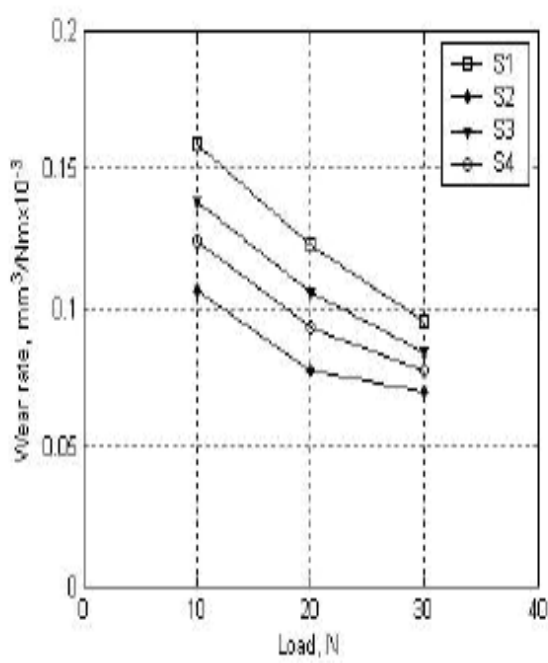


Fig. 5. Variations of abrasive wear rate as a function of load

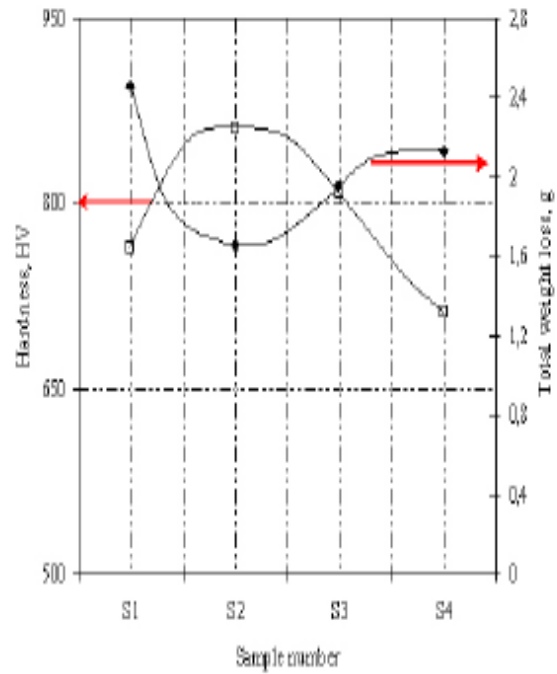


Fig. 6. Relationship between weight loss and average hardness values

Σχήμα 4.9 Διαγράμματα φθοράς και μικροσκληρότητας δοκιμίων συναρτήσει φορτίου.

4.2.3.Επιφανειακή βελτίωση σε χάλυβα AISI 304 με σκόνη CoCrFeMnNbNi .

Οι Huo *et. al.* θεωρούν ότι τα κράματα υψηλής εντροπίας είναι πιθανοί αντικαταστάτες των κραμάτων νικελίου, σιδήρου και κοβαλτίου στη μηχανική κατεργασία λόγω της εξαιρετικής αντοχής και σκληρότητάς τους. [10]

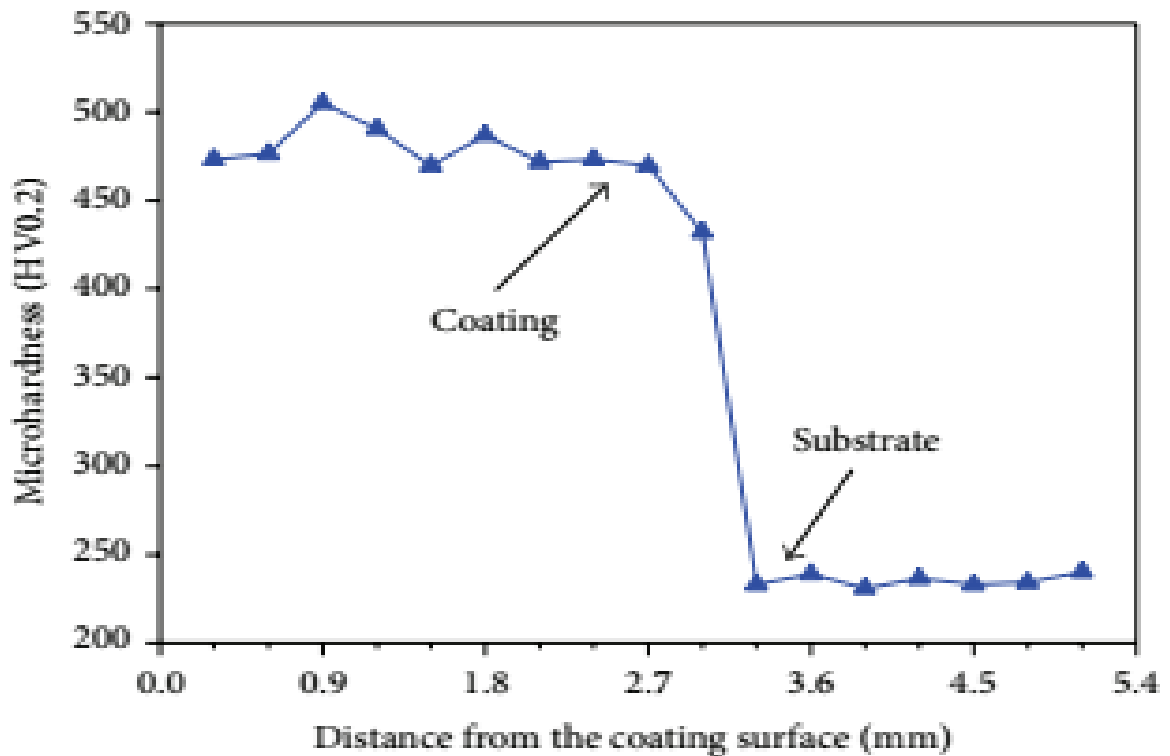
Με βάση λοιπόν αυτή τη λογική οι ερευνητές παρασκεύασαν επίστρωση CoCrFeMnNbNi επάνω σε χάλυβα AISI 304 με τη μέθοδο GTAW. Αρχικά δημιουργήθηκε μια πάστα σκόνης καρβιδίου του πυριτίου (72.35wt% Si-27,65wt% C) και γραφίτη (καθαρότητας 99.5%) αναμιγμένη με αλκοόλη , η οποία έπαιξε το ρόλο του συνδετικού υλικού.

Μελετήθηκε η μικροδομή των επιστρώσεων καθώς και η συμπεριφορά αυτών απέναντι της φθορά. Με βάση τους υπολογισμούς των ερευνητών η μικροσκληρότητα της επίστρωσης μετρήθηκε μεγαλύτερη από εκείνης της δομής. Επίσης βρέθηκε η επίστρωση να έχει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση , υπό την προϋπόθεση ξηρού περιβάλλοντος.

Η εξαιρετική αυτή αντοχή οφείλεται στο γεγονός ότι η σκληρή φάση Laves αντέχει στην καταστροφική δράση της διάβρωσης και προστατεύει την επιφάνεια από σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις.

Με τη σειρά του το κυβικό εδροκεντρωμένο σύστημα με τη σημαντική σκληρότητά του προστατεύει την επιφάνεια από ρωγμές. Η φθορά που προκλήθηκε στην επίστρωση ήταν μικρότερου βάθους από εκείνη που προκλήθηκε στο υπόλοιπο υλικό.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Nb που προστέθηκε καθιστά αργή την πυρήνωση και την ανάπτυξη ενός κυβικού εδροκεντρωμένου συστήματος του στερεού διαλύματος.



Σχήμα 4.10 Διάγραμμα που δείχνει την μικροσκληρότητα από την επιφάνεια περάσματος.

Η επίστρωση παρουσιάζει μεγαλύτερη μικροσκληρότητα σε σύγκριση με το υπόστρωμα. Εξαιρουμένων των αποτελεσμάτων, η βελτίωση της σκληρότητας μπορεί να αποδοθεί στη φάση Laves.

Το προστιθέμενο Nb κάνει τη κρυσταλλική δομή να σχηματίζει τη φάση Laves και ενισχύει το διάλυμα.

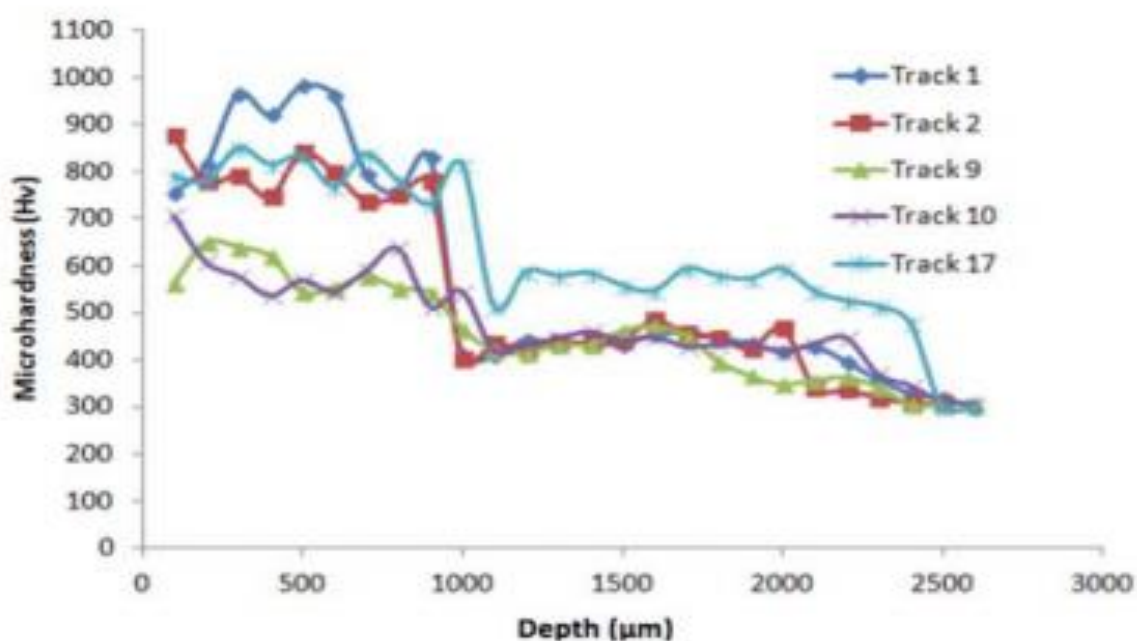
Η μικροσκληρότητα της μεταβατικής ζώνης είναι μικρότερη από την επιφάνεια της επίστρωσης για το λόγο ότι τα στοιχεία του υποστρώματος (όπως Fe, Cr και Ni) έχουν υπερδπλασιαστεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της στερεοποίησης. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η επένδυση.

4.2.4.Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με σκόνη TiC .

Οι Mridha et al. μελέτησαν αλληλοεπικαλυπτόμενα περάσματα με την τεχνική GTAW . Τα αλληλοεπικαλυπτόμενα περάσματα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με την τήξη της σκόνης καρβιδίου τιτανίου (TiC) σε επιφάνειες χάλυβα .

Τα περάσματα παρήγαγαν βάθος τήξης περίπου 1 mm , στα οποία παρατηρήθηκε να μην έχουν ρωγμές, αλλά παρατηρήθηκαν περιστασιακοί πόροι. Η μικροδομή αποτελούνταν από άτηκτα και μερικώς τηγμένα σωματίδια TiC μαζί με επανακαταβυθισμένα σωματίδια TiC, τα οποία προεξείχαν σε κομμάτια επεξεργασμένα στο αρχικό στάδιο. [11]

Πριν την προεναπόθεση η σκόνη ξηράθηκε στους 80°C για 1 ώρα για την απομάκρυνση της υγρασίας. Επίσης ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιήθηκε πολυβινυλική αλκοόλη.



Σχήμα 4.11 Διάγραμμα μικροσκληρότητας συναρτήσει βάθους, για διάφορα περάσματα.

Η υψηλή τιμή σκληρότητας οφείλεται στον υψηλό αριθμό σωματιδίων TiC που καθιζάνουν από τις προηγούμενες διαδρομές. Η παρατηρούμενη τιμή σκληρότητας μειώθηκε σημαντικά όταν άρχισαν να διαλύονται περισσότερα σωματίδια στα επόμενα περάσματα.

Η προαναφερόμενη αυξημένη διάλυση των σωματιδίων οφείλεται στην επανεισαγωγή των σωματιδίων TiC καθώς και στην προθέρμανση εξαιτίας των πολλαπλών περασμάτων.

4.3. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με συνδετικό μέσο PVA ,σκόνη TiC και δέσμη GTAW.

4.3.1.Επιφανειακη βελτίωση μαλακού χάλυβα με επίστρωση τιτανίου-αργιλίου.

Οι Dyuti et al. διερεύνησαν τη δυνατότητα παραγωγής σκληρής επίστρωσης διεσπαρμένου σε επιφάνειες από μαλακό χάλυβα με τεχνική GTAW.

Πριν από την κύρια διαδικασία δημιουργήθηκε πάστα με 50% Ti και 50% Al η οποία προεναποτέθηκε στο υπόστρωμα χρησιμοποιώντας PVA έως συνδετικό μέσο. [12]

Στη συνέχεια η διαδικασία τήξης με τη χρήση αδρανούς αερίου.Στις επιφάνειες που επαναστερεοποιήθηκαν παρατηρήθηκαν κυματισμοί οι οποίοι υποδεικνύουν ότι σχηματίστηκαν λόγω της ταχείας στερεοποίησης του τήγματος. Με βάση τα χαρακτηριστικά της μικροδομής ,η τήξη της προεναποθετημένης σκόνης μαζί με ένα λεπτό στρώμα υποστρώματος παρήγαγε πάνω από 1 mm πάχους επίστρωσης .

Σε όλες τις περιπτώσεις τα βάθη τήξης δεν αυξάνονται με την αύξηση της εισροής ενέργειας αλλά το πλάτος της τήξης αυξάνεται με την εισροή ενέργειας.

Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι το ποσό της εισόδου θερμότητας, το οποίο έλαβε τρεις διαφορετικές τιμές, 540, 608 και 675 J /mmεπηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Σε όλες τις τιμές ενέργειας εισόδου δημιουργήθηκε στρώμα με πάχος μεγαλύτερο του 1 mm. Στις ενεργειακές εισροές 608J/mm, τα μεγέθη των λουτρών τήξης είναι μικρότερα σε σύγκριση με εκείνη που παράγονται με χαμηλότερες εισροές ενέργειας.

Το μέγιστο βάθος τήξης 3,07 mm επιτυγχάνεται όταν υπάρχει εισροή ενέργειας 540 J/mm. Αυτό συμβαίνει επειδή το μέγεθος του τήγματος εξαρτάται από την εισροή ενέργειας. Στη διάρκεια της συγκόλλησης η ενέργεια εισόδου επηρεάζεται από το ρεύμα λειτουργίας, την ταχύτητα διέλευσης των ηλεκτροδίων και το μήκος τόξου του ηλεκτροδίου.

Το μήκος τόξου διατηρήθηκε μεταξύ 1 και 2 mm.Ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός των επιστρώσεων έδειξε σχηματισμό δενδριτών Ti-Al νιτριδίων και διμεταλλικών Ti-Al σε μήτρα φερρίτη.

Επίσης με βάση την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη συγκέντρωση των δενδριτών επιτυγχάνεται κοντά στην επιφάνεια της επίστρωσης και καθώς αυξάνεται το βάθος η συγκέντρωση αυτών μειώνεται. Επιπλέον, η μέγιστη σκληρότητα του τροποποιημένου επιφανειακού στρώματος βρέθηκε να είναι 900 Hv σε σύγκριση με το 180Hv του υποστρώματος μαλακού χάλυβα.

Αυτή η σκληρότητα επιτυγχάνεται με ενέργεια εισροής 608 J/mm. Οι τιμές σκληρότητας των διαφόρων διατομών τήγματος μετριοούνται από την επιφάνεια προς την κατακόρυφη κατεύθυνση του βάθους τήξης. Η επίστρωση που επεξεργάστηκε με μίγμα σκόνης Ti και Al στις εισροές ενέργειας 540, 608 J/mm έδειξε μέγιστη σκληρότητα 788 και 918 Hv, αντίστοιχα, και αυτές οι τιμές είναι πάνω από 4,5 φορές από τη σκληρότητα βάσης (180 Hv). Υπό αυτές τις συνθήκες επιβελτίωσης, οι διατομές τήγματος εμφάνισαν παρόμοια σκληρότητας.

Η μέγιστη σκληρότητα μειώνεται βαθμιαία προς το βάθος τήξης και τελικά μειώνεται κάτω από 300Hv στη γραμμή μήτρας σύντηξης σε βάθος τήξης 1200 μm. Τα περάσματα με εισροή ενέργειας 675 J/mm εμφανίζουν τη μέγιστη σκληρότητα 571 Hv και σιγά σιγά μειώνεται στα 271 Hv σε βάθος τήξης 1441 μm.

Στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης, το πλεόνασμα του αζώτου στο υγρό, το οποίο δεν αντιδρά με το τήγμα, διαφεύγει μέσω της επιφάνειας του λουτρού τήγματος. Σε πολλές εργασίες έχει βρεθεί ότι η περίσσεια αζώτου μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στις επιστρώσεις.

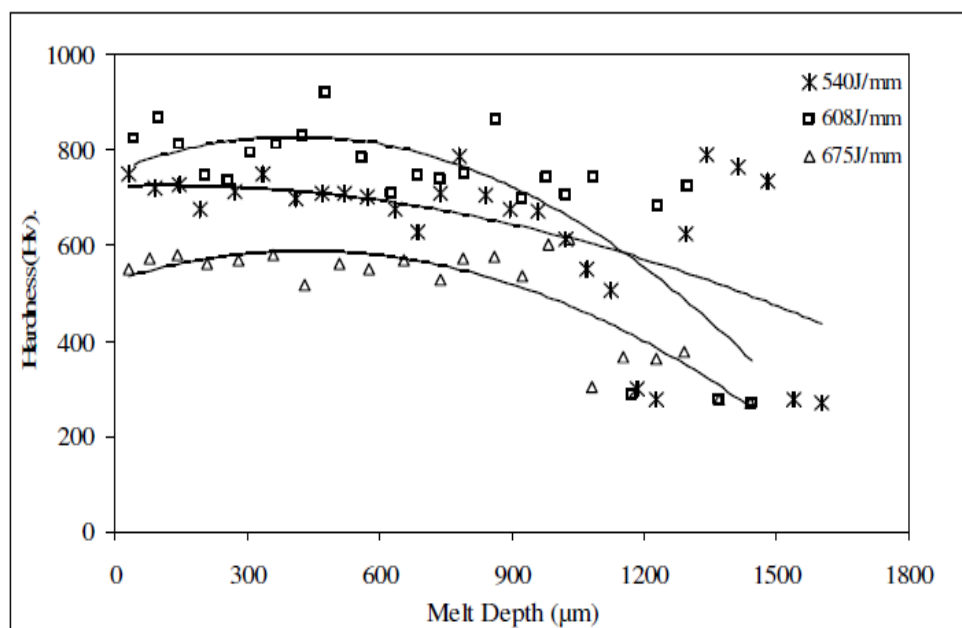
Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία τήγματος στις άκρες ήταν χαμηλότερη με αποτέλεσμα κατά τη στερεοποίηση η ποσότητα του αερίου που διαφεύγει να αφήνει πόρους σε αυτές τις περιοχές.

Πίνακας 4.1 Μεταβολή βάθους και πλάτους περάσματος βάση των διαφορετικών ενεργειών εισόδου.

Energy [J/mm]	Melt depth [mm]	Melt width [mm]
540	3.07	5.67
608	1.67	4.89
675	2.10	6.24

Επίσης το παχύρρευστο τήγμα δεν μπορεί να γεμίσει τους πόρους και έτσι

παράγονται πορώδεις περιοχές. Με βάση το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό, το λουτρό τήγματος περιέχει μικροδομή δενδριτών, η οποία κατανέμεται ανομοιογενώς. Η συγκέντρωση των δενδριτών, γενικά, ήταν υψηλότερη κοντά στην επιφάνεια και μειώθηκε με την αύξηση του βάθους της τήξης. Η μεταβολή της συγκέντρωσής τους οφείλεται στη θερμοκρασία τήξης.



Σχήμα 4.12. Διάγραμμα σκληρότητας συναρτήσει βάθους για διάφορες ενέργειες.

4.3.2. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με σκόνη Ti καθαρότητας 99.97%

Την εναπόθεση ενός νέου διασκορπισμένου σύνθετου στρώματος επάνω σε χάλυβα μελετήθηκε από τους Mridha et al. Για την εφαρμογή της επίστρωσης οι ερευνητές προεναπόθεσαν σκόνη Ti (99.97% καθαρότητα) αναμιγμένη με οξικό πολυβινύλιο το οποίο έχει το ρόλο του συνδετικού μέσου. Η ποσότητα της σκόνης που χρησιμοποιήθηκε ήταν $1,8 \text{ mg /mm}^2$ και χρησιμοποιήθηκαν ενέργειες εισόδου 324, 378 και 432 J /mm. Υπό αυτές τις συνθήκες το λουτρό τήγματος που δημιουργήθηκε είχε πάχος μικρότερο από 1 mm. [13]

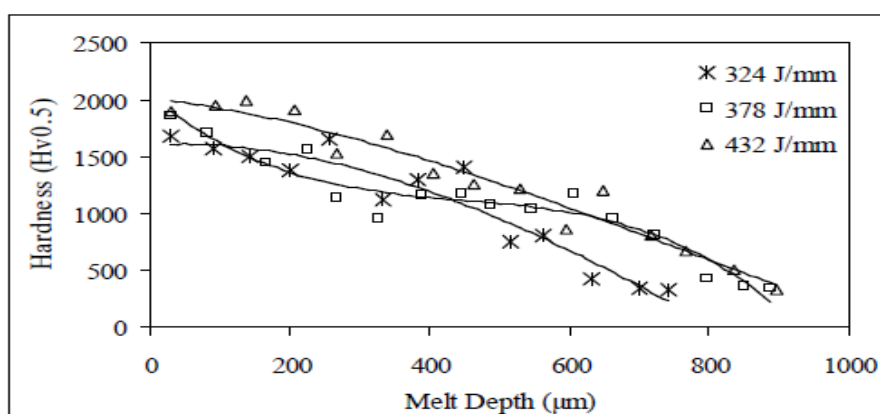
Σύμφωνα με το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των επιφανειών, το αναστεροποιημένο στρώμα τήγματος αποτελείται από διεσπαρμένους δενδρίτες TiN σε μήτρα φερρίτη

και από ένα σύνθετο μίγμα TiN σε φερρίτη που βρίσκονται στην επιφάνεια του χάλυβα.

Η συγκέντρωση των δενδριτών βρέθηκε να είναι υψηλότερη πλησιέστερα στην επιφάνεια του τήγματος και μικρότερη σε μεγαλύτερο βάθος. Με βάση τη μελέτη των δειγμάτων αναπτύχθηκε μέγιστη επιφανειακή σκληρότητα περίπου 2000 Hv στην περιοχή κοντά στην επιφάνεια με εισροή ενέργειας 432 J/mm, με τη σκληρότητα να μειώνεται σταδιακά από την επιφάνεια προς την ενδότερη περιοχή του δείγματος.

Η ανάπτυξη της σκληρότητας σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση των δενδριτών TiN η οποία σχετίζεται άμεσα με την εισροή ενεργείας. Στην επιφάνεια του τήγματος η ταχύτερη στερεοποίηση προκαλεί κατανομή των ιδιαίτερα πυκνών δενδριτών οι οποίοι δημιούργησαν τη μέγιστη επιφανειακή σκληρότητα. Σε μεγαλύτερο βάθος, η θερμοκρασία τήξης μειώνεται και συνεπώς υπάρχει μικρότερη αραίωση του αζώτου, η οποία δημιουργεί κατά συνέπεια λιγότερα νιτρίδια και έτσι μειωμένη σκληρότητα.

Σε όλες τις περιπτώσεις η σκληρότητα μειώνεται σταδιακά καθώς πλησιάζουμε προς τη μήτρα λόγω της βαθμιαίας μείωσης των δενδριτών TiN.



Σχήμα 4.13 Διάγραμμα σκληρότητας και βάθους περάσματος βάσει των διαφορετικών ενεργειών.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι στα άκρα δημιουργήθηκαν πορώδη δομές εξαιτίας της διαφορετικής αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας στα άκρα σε σύγκριση με το κέντρο του δείγματος.

Γενικότερα παρατηρήθηκε ότι η σκληρότητα είναι έντεκα φορές υψηλότερη από ότι η σκληρότητα του απλού χάλυβα .

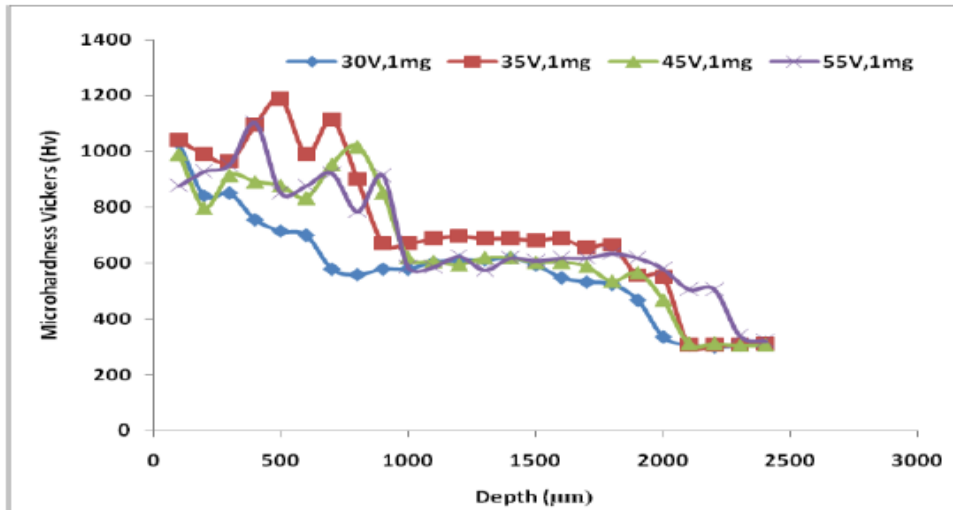
4.3.3. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με σκόνη TiC.

Για να σχηματιστεί επίστρωση κραμάτων από κεραμική σκόνη , που παρέχει προστασία κατά της φθοράς και της διάβρωσης επάνω σε μια επιφάνεια , χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί υψηλή ενέργεια εισόδου. Οι Mridha et al. δημιούργησαν σύνθετη επικάλυψη TiC σε επιφάνειες από κράμα χάλυβα , μελετώντας διαφορετικές τιμές εφαρμογής δυναμικού για την επίτευξη της τήξης. Για την τήξη υιοθετήθηκαν μεμονωμένα περάσματα με ποσότητα σκόνης TiC 1,0 mg /mm². [14]

Το μίγμα αναμίχθηκε με PVA ως συνδετικό υλικό. Πριν τη διεργασία συγκόλλησης η σκόνη ξηράθηκε στους 100°C για μια ώρα μαζί με το υπόστρωμα. Για την τήξη χρησιμοποιήθηκε πηγή που παρήγαγε ρεύμα 80A με τάση μεταξύ 30 και 55 V και σταθερή ταχύτητα περάσματος 1,0 mm/s. Ανάλογα με την τάση που εφαρμόστηκε στο καυστήρα δημιουργήθηκαν λουτρά τήγματος με διαφορετικές διαστάσεις, ημικυκλικού σχήματος. Όσο αυξανόταν η τάση τόσο αυξάνονταν οι διαστάσεις του λουτρού.

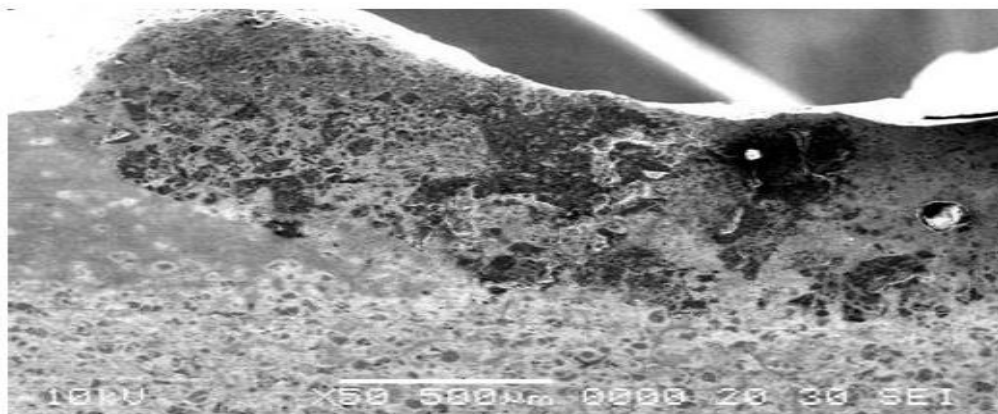
Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τάση 30 V δημιουργήθηκε λουτρό διαστάσεων πλάτους 3,10 mm και βάθους 0,80 mm. Το μέγιστο πλάτος των 3.96 mm δημιουργήθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε τάση 55 V, ενώ το μέγιστο βάθος 0.97 mm όταν εφαρμόστηκε τάση 45 V. Χαρακτηριστικό ήταν ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι παραγόμενες επιστρώσεις ήταν απαλλαγμένες από ρωγμές, αλλά κατά περιοχές ήταν εμφανής ο σχηματισμός κάποιων πόρων.

Με βάση τις αναλύσεις των φυσικοχημικών χαρακτηρισμών οι μικροδομές τήγματος αποτελούνταν από μερικώς διαλυμένα και αδιάλυτα σωματίδια TiC μαζί με δενδρίτες TiC. Παρατηρώντας τις μικρογραφίες ηλεκτρονικής σάρωσης ήταν εμφανής στα άκρα η συσσώρευση των σωματιδίων TiC. Ουσιαστικά με βάση τους ερευνητές αυτό που συμβαίνει είναι ότι σε υψηλή τάση σωματίδια TiC κατακρημνίζονται και εν μέρει αυξάνονται τα διαλυμένα σωματίδια TiC.

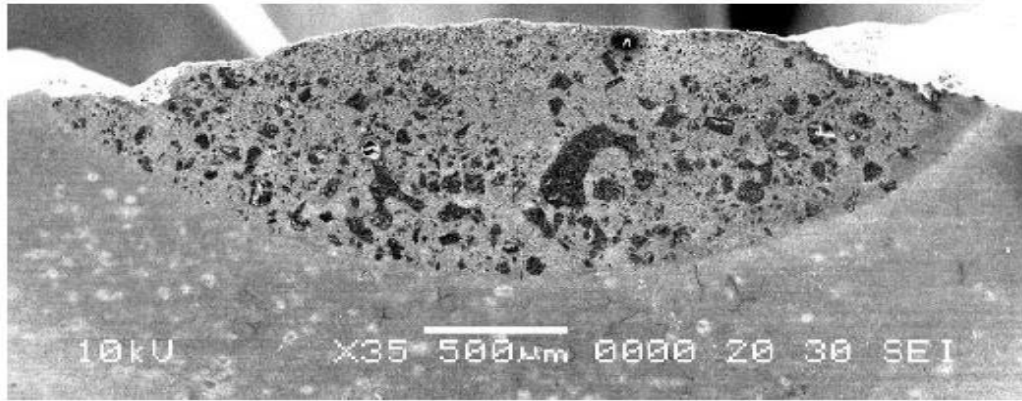


Σχήμα 4.14 Διάγραμμα μικροσκληρότητας βάσει της περιεκτικότητας σκόνης.

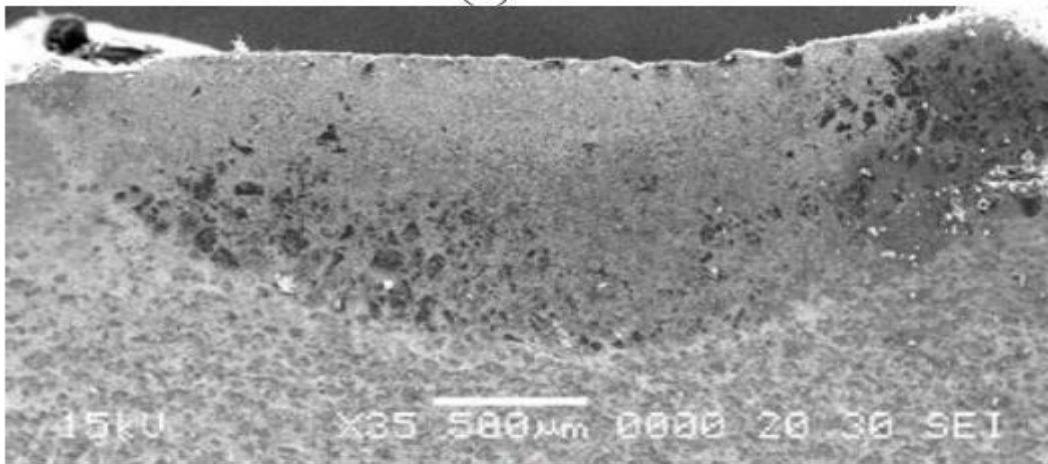
Η σκληρότητα ήταν χαμηλότερη όταν εφαρμόστηκαν 30 V και η τιμή της αυξήθηκε στα 35 και 45 V. Τέλος, βρέθηκε ότι η ποσότητα των σωματιδίων TiC και το μέγεθος τους επηρεάζει τη σκληρότητα και αυτό το φαινόμενο είναι επίσης παρόμοιο για τα κατακρημνισμένα σωματίδια.



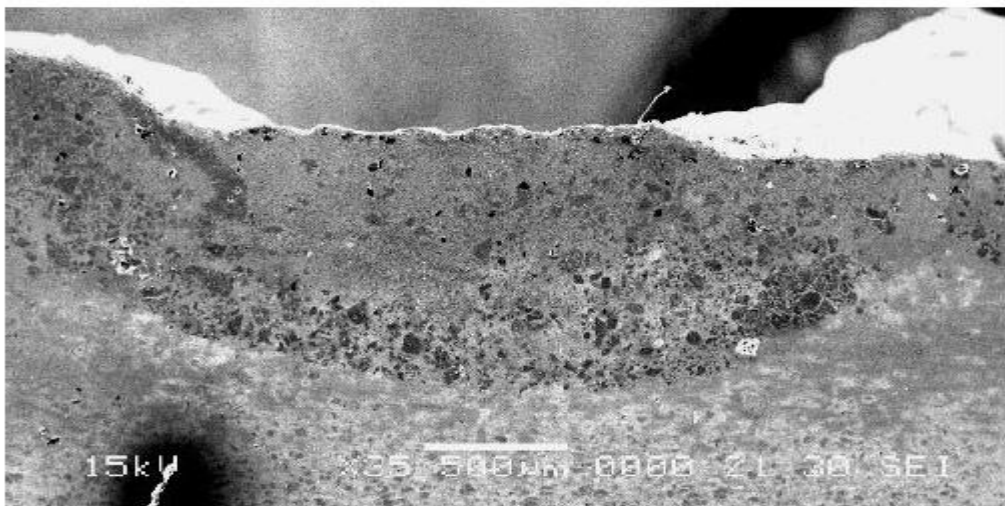
(a) 30 V



(b) 35 V



(c) 45 V



(d) 55 V

Σχήμα 4.15 Εικόνες μικροσκοπικού ελέγχου βάσει των διαφορετικών τάσεων

4.3.4.Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με σκόνη TiC .

Οι Idriss et al. πραγματοποίησαν σύγκριση της φθοράς σε θερμοκρασία δωματίου μεταξύ των μη επεξεργασμένων επιφανειών χάλυβα και των επεξεργασμένων επιφανειών χάλυβα με σκόνη TiC.

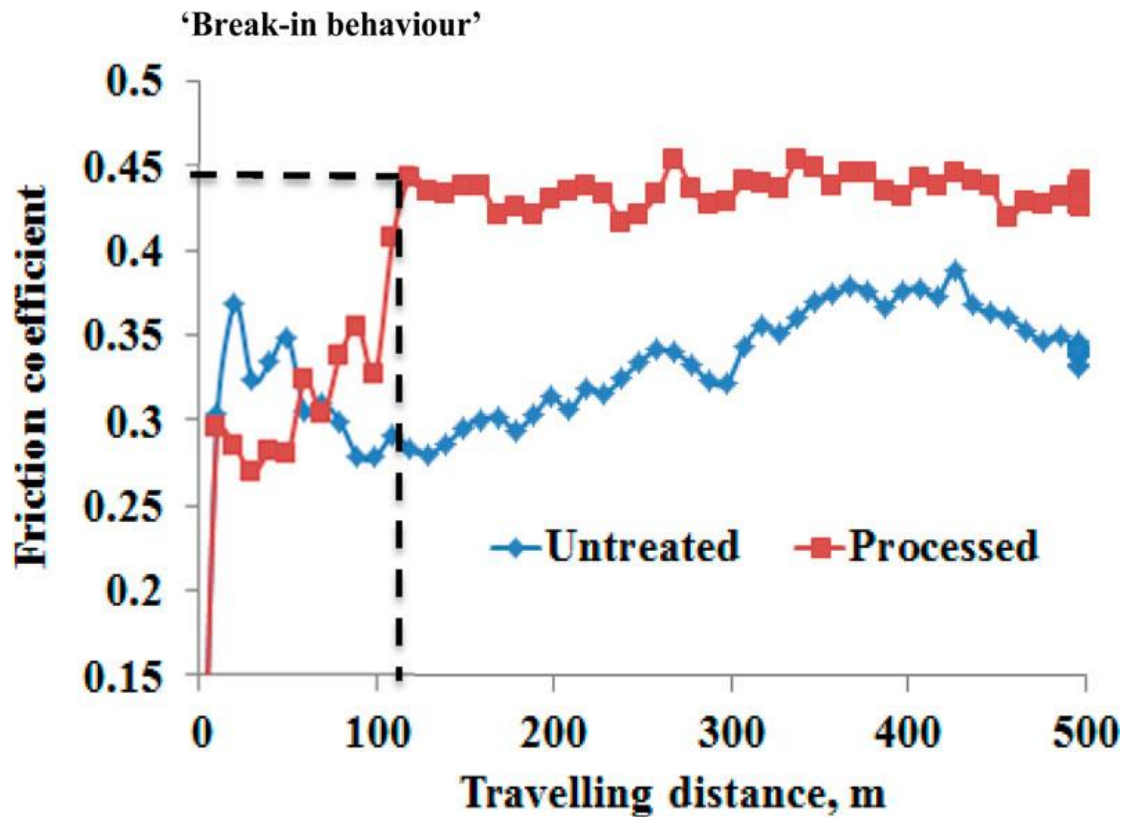
Οι παράμετροι οι οποίες εξετάστηκαν ήταν ο συντελεστής τριβής και ο βαθμός φθοράς στην επιφάνεια. Η σκόνη που χρησιμοποιήθηκε ήταν κεραμική εμπορική σκόνη TiC, 99% καθαρότητας και πριν την προεναπόθεση αναμίχτηκε με συνδετικό υλικό οξικό πολυβινύλιο. Στη συνέχεια προεναποτέθηκε , 1 mg/ mm² και ξηράθηκε στους 80°C για 1 ώρα. [15]

Το καινοτόμο στην παρούσα εργασία ήταν ότι οι ερευνητές για να προσομοιάσουν τις τριβές που μπορεί να υποστεί μια επιφάνεια σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον συμπεριέλαβαν και σφαίρα αλούμινας για τα πειράματα ελέγχου φθοράς.

Όπως αναμένονταν η ενσωμάτωση των σκονών παρήγαγε σκληρότητα 2,6 φορές μεγαλύτερη και ποσοστό φθοράς 21 φορές μικρότερο σε σύγκριση με τις μη επεξεργασμένες επιφάνειες χάλυβα. Στην περίπτωση τριβής από τρίτο σώμα και από τα προεξέχοντα καρβίδια του επεξεργασμένου χάλυβα, υπήρξε ήπια φθορά με τιμή συντελεστή τριβής $\tau = 0,4$.

Ο υψηλός συντελεστής τριβής αποδόθηκε στην προεξοχή των σωματιδίων TiC και στα παρασυρόμενα τρίτα σωματίδια . Και τα δύο δείγματα έδειξαν επιφανειακή χημική αντιδραστικότητα με το περιβάλλον ως αποτέλεσμα της απότομης θερμοκρασίας, δημιουργώντας μια στιβάδα οξειδίου, η οποία επηρέασε τη φθορά.

Ακόμα η παρατηρούμενη διαφορά μεταξύ των λόγων σκληρότητας, 6 για το μη επεξεργασμένο δείγμα και 2.6 για το επεξεργασμένο δείγμα, που παρουσίασε παρόμοιες περιοχές επαφής, θεωρείται ο λόγος για βαθύτερη και ευρύτερη φθορά της αλουμίνας στο μη επεξεργασμένο δείγμα.



Σχήμα 4.16 Διάγραμμα φθοράς δοκιμίων.

Από το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των δειγμάτων βρέθηκε ότι δεν υπήρχαν ρωγμές ή πόροι.

4.4 Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με βάση σκόνη τιτανίου και δέσμη GTAW.

4.4.1. Επιφανειακή βελτίωση με προεπεξεργασμένες σκόνες Ti_3Al και $TiAl$

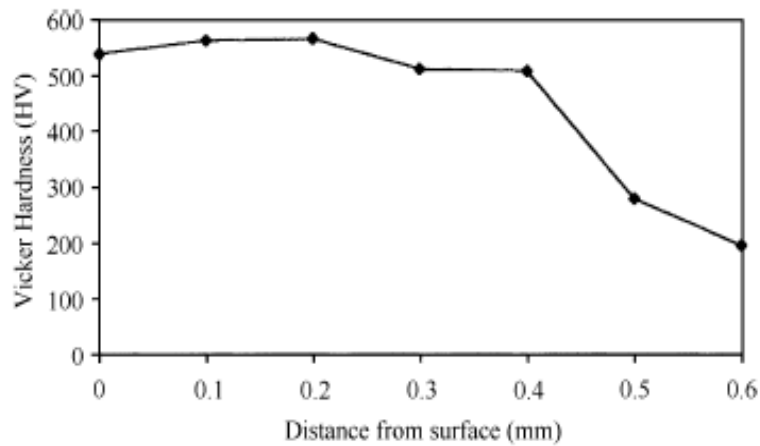
Οι Midra et al. πραγματοποίησαν μια αρχική μελέτη σχηματισμού επιστρώσεων διμεταλλικού κράματος επί επιφανειών τιτανίου αφού πρώτα προ-επεξεργάστηκαν τη σκόνη.

Κατά αυτόν τον τρόπο κατάφεραν να δημιουργήσουν ένα ομοιόμορφο διμεταλλικό στρώμα άνευ ελαττώματος με ανώτερες μηχανικές ιδιότητες έχοντας δομική και μικροδομική ομοιομορφία σε όλο το τμήμα. Οι συνθήκες τήξης βελτιστοποιήθηκαν για την παραγωγή επικαλύψεων Ti_3Al και $TiAl$ χωρίς πόρους, κοιλότητες και ρωγμές.

Τα στρώματα επικάλυψης έδωσαν σκληρότητα άνω των 500 Hv. Όταν λοιπόν υποβάλλονται σε επεξεργασία όπου παράγεται ρεύμα πάνω από 60 A και ταχύτητα σάρωσης 2-4 mm/ s ,δεν παρατηρήθηκαν στα στρώματα επίστρωσης πόροι και ρωγμές. [16]

Η πρόσφυση του στρώματος του κράματος με το μέταλλο προκύπτει από την τήξη ενός λεπτού στρώματος του υποστρώματος. Το πέρασμα χαμηλής ενέργειας (60 A) παράγαγε μια δομή $TiAl$, αλλά σε υψηλή ενέργεια δημιουργήθηκαν ενώσεις Ti_3Al και $TiAl$. Το πάχος του τηγμένου στρώματος κυμαίνονταν από 0,5 έως 2,0 mm, ανάλογα με την ενεργειακή πυκνότητα και οι τιμές σκληρότητας κυμαίνονταν από 450 έως 600 Hv.

Όπως προαναφέρθηκε βρέθηκε ότι η αντοχή της επίστρωσης στη φθορά είναι περίπου 3-4 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του κράματος τιτανίου που δεν έχει υποστεί κατεργασία.

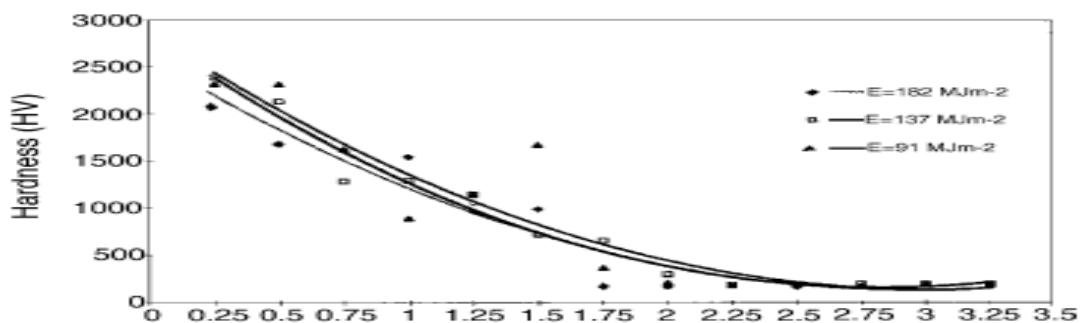


Σχήμα 4.17 Διάγραμμα που δείχνει την σκληρότητα ανάλογα με το βάθος περάσματος.

4.4.2.Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με παλέτα τιτανίου CP-Ti .

Η δυνατότητα σχηματισμού σκληρού στρώματος νιτριδίου-τιτανίου μελετήθηκε με τήξη επιφανειών τιτανίου καθαρότητας (CP-Ti) με τη μέθοδο GTAW σε αδρανές περιβάλλον, καθαρού αζώτου. Για την τήξη της επιφάνειας του Ti η ροή ενέργειας κυμαίνεται από 46 MJ /m² έως 182 MJ /m² και παράγεται επίστρωμα πάχους άνω του 1 mm. [17]

Οι ερευνητές βρήκαν ότι η πυκνότητα ενέργειας επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Για πυκνότητες ενέργειας μεγαλύτερες από 68 MJ /m² υπήρχαν σημάδια κάθετα στην πορεία του ηλεκτροδίου. Με βάση το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των δειγμάτων στα άκρα εμφανίστηκαν πορώδη επιφάνειες. Όπου εμφανίστηκε πορώδης επιφάνεια δημιουργήθηκαν και ρωγμές.



Σχήματα 4.18 . Μεταβολή σκληρότητας συναρτήσει βάθους, για διαφορετικές ενέργειες.

Γενικότερα αυτή η συμπεριφορά είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ακανόνιστων προφίλ τήξης, παρατηρώντας το σχηματισμό δενδριτών ακανόνιστου μεγέθους. Οι κυματιστές πορώδεις ακμές παρατηρήθηκαν για όλα τα κομμάτια νιτριδίου και είχαν ποικίλα πλάτη.

Οι πορώδη ακμές λοιπόν, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας, σχηματίστηκαν από την περίσσεια ποσότητα του αζώτου κατά τη διάρκεια της ψύξης. Η περίσσεια ποσότητα αζώτου θεωρείται υπεύθυνη για την έναρξη της ρωγμής που διαδίδεται σε ολόκληρο το μήκος των επιστρώσεων. Λόγω της Gaussian κατανομής ενέργειας της 'δοκού' η κεντρική περιοχή της διαδρομής τήξης έφτασε σε υψηλότερη θερμοκρασία από ότι στις ακριανές. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία τήγματος στα άκρα ήταν χαμηλότερη και στην επακόλουθη στερεοποίηση το αέριο διέφυγε από τους πόρους σε αυτές τις περιοχές, το παχύρευστο τήγμα δεν μπόρεσε να γεμίσει τους πόρους και έτσι παρήχθησαν πορώδεις περιοχές.

Το αέριο που διαφεύγει επίσης άφησε πόρους στην επιφάνεια στην κεντρική περιοχή αλλά αντισταθμίζονται εύκολα με σχετικά λιγότερο ιξώδες τήγμα στη γύρω περιοχή. Κατά την τήξη της επιφάνειας σε περιβάλλον αζώτου, εισέρχεται μεγάλη ποσότητα αερίου αζώτου στο λουτρό τήγματος.

Κατά την στερεοποίηση, η περίσσεια αζώτου στο υγρό, το οποίο δεν αντιδρά με τιτάνιο, διαφεύγει μέσω της επιφάνειας στο λουτρό τήξης. Το TiN έχει σημείο τήξης μεγαλύτερο από 3000 °C ενώ το σημείο τήξης του τιτανίου είναι περίπου 1670°C.

Κατά την ψύξη του τήγματος, κατακρημνήστηκαν τα σωματίδια TiN και έτσι αυξήθηκε το ιξώδες του λουτρού τήγματος. Έτσι η δημιουργία πορωδών άκρων ενισχύεται περαιτέρω από το σχηματισμό δενδριτών TiN. Με βάση τις μετρήσεις η σκληρότητα της επιφάνειας μετρήθηκε 2000 HV. Βάσει των αποτελεσμάτων των ερευνητών παρατηρείται μια βαθμιαία μείωση της σκληρότητας όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια της επικάλυψης.

Επίσης βρέθηκε ότι η ανάπτυξη της σκληρότητας σχετίζεται άμεσα με τον πληθυσμό των δενδριτών στη λουτρό του τήγματος.

4.4.3. Επιφανειακή βελτίωση χάλυβα με διαφορετικά κλάσματα μάζας σκονών Fe και Ti + B₄C

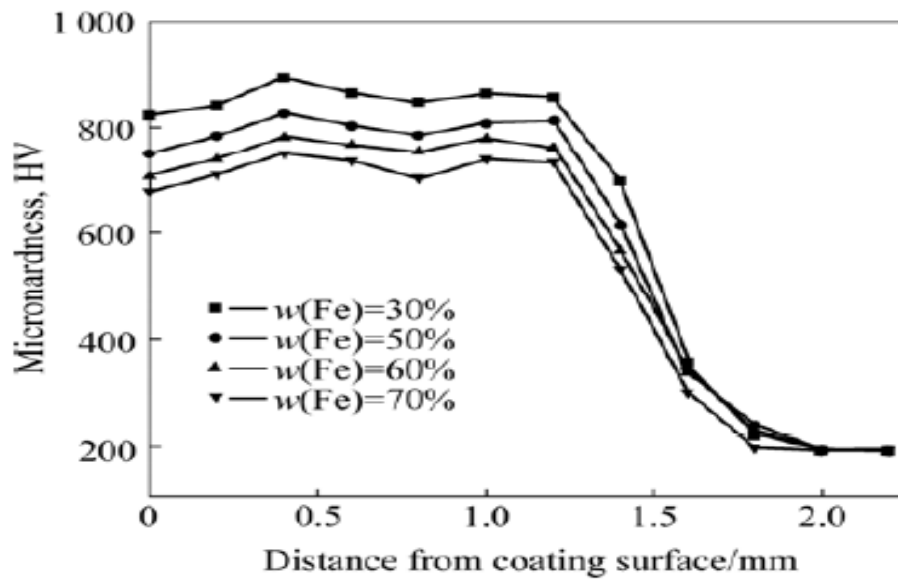
Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν διαφορετικά κλάσματα μάζας σκονών Fe και Ti + B₄C ως συνδετικά υλικά για την παρασκευή σύνθετων επιστρώσεων με σωματίδια TiC-TiB₂. Η τεχνική η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι GTAW.

Η σύσταση της σκόνης ήταν, Ti με 99.5% καθαρότητα, B₄C με 99.5% καθαρότητα και Fe, απουσία συνδετικού μέσου. Αντί για συνδετικού μέσου το μίγμα σκόνης τοποθετήθηκε επάνω στο υπόστρωμα και πιέστηκε με ένα γυαλί για να κρατάει τη σκόνη σταθερή και πριν τη διεργασία συγκόλλησης ξηράθηκε στους 100°C για μια ώρα μαζί με το υπόστρωμα. [18]

Κατά το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό οι ερευνητές παρατήρησαν τη δημιουργία κύριων φάσεων TiC, TiB₂ και α-Fe. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι σχηματίζεται μια εξαιρετική μεταλλουργική σύνδεση μεταξύ της σύνθετης επικάλυψης και του υποστρώματος. Το πάχος της επίστρωσης μετρήθηκε να είναι περίπου 0,8-1 mm, ενώ το κλάσμα όγκου του TiC-TiB₂ ήταν περίπου 28% και 63% και αυξήθηκε με την αύξηση του κλάσματος της μάζας Ti + B₄C.

Επίσης με βάση τα αποτελέσματα των ερευνητών με την αύξηση του κλάσματος του όγκου του Ti + B₄C, αυξάνεται επίσης το κλάσμα του όγκου του TiC-TiB₂. Με βάση τη μελέτη της μικροδομής η επικάλυψη είναι ομοιόμορφη, συνεχής και σχεδόν χωρίς ελαττώματα, ενώ τα σωματίδια κατανέμονται ομοιόμορφα στην επικαλυμμένη επιφάνεια.

Επιπλέον, διερευνήθηκε ο μηχανισμός σχηματισμού των επιστρώσεων και βρήκαν ότι η διάχυση σε στερεά κατάσταση είναι ο μηχανισμός που διέπει τη διαδικασία σύνθεσης. Το TiC είναι η πρώτη σχηματιζόμενη φάση και παρουσιάζει κυβικά σχήματα. Ενώ σχηματίζεται TiB₂ εμφανίζεται μετά, το οποίο παρουσιάζει εξαγωνική μορφή. Τέλος δεν υπάρχουν παροδικά σύνθετα υλικά TiB και Ti₃B₄.



Σχήμα 4.19 Διάγραμμα μικροσκληρότητας βάση του ποσοστού σιδήρου και βάθους από την επιφάνεια.

Σύμφωνα με τους ερευνητές με την αύξηση του περιεχομένου των TiC + TiB₂, η μικρο-σκληρότητα και η αντίσταση στη φθορά βελτιώνονται ακόμα και στη θερμοκρασία δωματίου υπό κανονικές συνθήκες ατμόσφαιρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία εντοπίζει τις κυριότερες εργασίες επιφανειακής βελτίωσης με τεχνική GTAW , σε διαφορετικές περιπτώσεις κραμάτων με διαφορετικές επιφανειακές επιστρώσεις με κυριότερα αποτελέσματα αυτών να είναι η αύξηση της επιφανειακής μικροσκληρότητας και η αντίστοιχη μείωση της φθοράς. Αυτές οι εργασίες επιφανειακής βελτίωσης μπορούν να εφαρμοστούν σε επιφάνειες μεταλλικών κατασκευών οι οποίες περιβάλλονται από συνθήκες υψηλής υγρασίας και διαβρωτικό περιβάλλον ,όπως κτήρια, αεροσκάφη, πλοία και τα περισσότερα εξαρτήματα τους.

Επίσης παρατηρήθηκε πως η ποσότητα σκόνης δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της μικροσκληρότητας στην επιφάνεια. Βάση των δημοσιεύσεων στο Κεφάλαιο 4 παρατηρούμε πως ο μέσος όρος ποσότητας σκόνης που χρησιμοποιείται είναι 1-2 mg /mm², ποσότητα η οποία το οποίο μεταβάλλεται βάση της εισροής ενέργειας, το συνδετικό υλικό και την προεργασία-προθέρμανση του δοκιμίου.

Ακόμη ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι πως οι τιμές μικροσκληρότητας που επιτυγχάνονται στην επιφάνεια είναι αρκετά μεγαλύτερες από το υπόλοιπο πάχος του εναποτεθειμένου στρώματος. Παρατηρούμε πως οι τιμές σκληρότητας μειώνονται αρκετά μετά το βάθος των 0,3 mm.

Πρέπει να σημειωθεί πως οι κατεργασίες πριν και μετά από τα περάσματα καθώς και η προθέρμανση των δοκιμίων παίζουν καθοριστικό ρόλο στα τελικά αποτελέσματα. Αρχικά γιατί πρέπει να εισχωρήσει η σκόνη στην επιφάνεια του δοκιμίου και κατά δεύτερον πρέπει να αφαιρεθούν μετά τη διεργασία και ρωγμές που δημιουργούνται, οι οποίοι δεν επηρεάζουν τις μηχανικές και τριβολογικές ιδιότητες του υλικού.

Επίπλεον φαίνεται πως τα διμεταλλικά κράματα αλουμινίου /τιτανίου διαθέτουν υψηλή ειδική ισχύ, υψηλή σκληρότητα και δυνατότητες υψηλής αντοχής στη διάβρωση και στην οξείδωση για θερμοκρασίες έως και 800 °C. Αυτά τα κράματα

μπορεί να αποτελέσουν κατάλληλους αντικαταστάτες για τις συμβατικές κεραμικές επιστρώσεις που εφαρμόζονται σε πολλά συστήματα των χημικών εγκαταστάσεων και των κινητήρων αεροσκαφών για προστασία από την οξείδωση και τη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες.

Επιπλέον συμπεραίνουμε πως σημαντικό ρόλο στα τελικά αποτελέσματα της σκληρότητας της επιφάνειας αλλά και στην ομοιόμορφη κατανομή των καρβιδίων είναι η τάση V , μέση ταχύτητα περάσματος καθώς και η εισροή ενέργειας. Ενδεικτικά ένας μέσος όρος ταχύτητας και τάσης είναι: $u= 2-4 \text{ mm/s}$ και $V=50V$.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θ.Α. Διαμαντούδης (2000) Συγκολλήσεις Μετάλλων, εκδόσεις Θ.Α. Διαμαντούδης.
2. Γ.Ν. Χαϊδεμενόπουλος (2010) Εισαγωγή στις συγκολλήσεις, εκδόσεις Τζιόλα
3. W. Xinhong, Z. Zengda, S. Sili, Q. Shiyao, Microstructure and wear properties of in situ TiC/FeCrBSi composite coating prepared by gas tungsten arc welding, *Wear*, 260 (2006) 25-29
4. X. Wang, M. Zhang, Z. Zou, S. Song, F. Han, S. Qu, In situ production of Fe–TiC surface composite coatings by tungsten-inert gas heat source, *Surface and Coatings Technology*, 200 (2006) 6117-6122
5. X. Wang, S. Song, S. Qu, Z. Zou, Characterization of in situ synthesized TiC particle reinforced Fe-based composite coatings produced by multi-pass overlapping GTAW melting process, *Surface and Coatings Technology*, 201 (2007) 5899-5905
6. X. Wang, S. Song, Z. Zou, S. Qu, Fabricating TiC particles reinforced Fe-based composite coatings produced by GTAW multi-layers melting process, *Materials Science and Engineering: A*, 441 (2006) 60-67
7. Singh K, Khanna KG, Singla YKG, Design and development of electrode coating for hardfacing application, 2011
8. S. Buytoz, M. Ulutan, M.M. Yildirim, Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings, *Applied Surface Science*, 252 (2005) 1313-1323
9. S. Buytoz, M. Yildirim, Microstructure and abrasive wear properties of M (Cr, Fe) 7C3 carbides reinforced high-chromium carbon coating produced by gas tungsten arc weldign (GTAW) process, *Archives of Foundry Engineering*, 10 (2010) 279-286
10. W.-y. Huo, H.-f. Shi, X. Ren, J.-y. Zhang, Microstructure and wear behavior of CoCrFeMnNbNi high-entropy alloy coating by TIG cladding, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015 (2015)
11. Mridha S, Md Idriss A, Maleque M, Yaacob I, Baker T. Melting of multipass surface tracks in steel incorporating titanium carbide powders. *Materials Science and Technology*. 2015,31:1362 9
12. S. Dyuti, S. Mridha, Hard Layer Formation on Steel Surfaces by Powder Preplacement and TIG Torch Melting Techniques
13. S. Mridha, S. Dyuti, Formation of TiN dispersed composite layer on steel surfaces by titanium powder preplacement and TIG surface melting processes, *Advanced Materials Research, Trans Tech Publ*, 2011, pp. 1415-1420
14. S. Mridha, A.M. Idriss, M. Maleque, S. Suryanto, Effect of voltage on the consolidation of TiC particulates on steel substrate fused by TIG welding arc, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 7 (2012)

15. Md Idriss A, Maleque M, Yaacob I, Nasir R, Mridha S, Baker T. Microstructural aspects of wear behaviour of TiC coated low alloy steel. *Materials Science and Technology*. 2016;32:303-7
16. S. Mridha, H. Ong, L. Poh, P. Cheang, Intermetallic coatings produced by TIG surface melting, *Journal of Materials Processing Technology*, 113 (2001) 516-520
17. Mridha S. Titanium nitride layer formation by TIG surface melting in a reactive environment. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005;168:471-7
18. Wang Z-t, Zhou X-h, Zhao G-g. Microstructure and formation mechanism of in-situ TiC-TiB₂/Fe composite coating. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2008;18:831-5
19. Βασίλειος Στεργίου (2012) Συγκόλληση και επιφανειακή κατεργασία διπλοφασικού ανοξείδωτου χάλυβα 2205 με δέσμη ηλεκτρονίων, Εθνικό Μετσόβιο Πουτεχνείο, Διδακτορική διατριβή