

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΣΤΕΦ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΙΤΛΟΣ : ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝ ΘΕΡΜΩ
ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΣ ΣΙΔΗΡΩΝ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

ΟΙ ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ

**ΨΑΡΡΑ ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑ
ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΣΤΕΛΛΑ**



Ο ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΝΤΑΛΚΑΡΑΝΗ ΘΕΩΔΩΡΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	3642
----------------------	------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΥΤΗΝ	8
1. Διάβρωση Μεταλλικών Υλικών.....	8
2. Προστασία από την Διάβρωση.....	8
2.1 Άμεσες μέθοδοι	9
2.2 Έμμεσες μέθοδοι	9
3. Τρόποι Επιμετάλλωσης	9
3.1 Επιμετάλλωση με πιστολισμό	9
3.2 Επιμετάλλωση με καθοδική διασκόρπιση	10
3.3 Επιμετάλλωση με διάχυση	10
3.4 Ηλεκτροφορητική επιμετάλλωση	10
3.5 Επιμετάλλωση χωρίς ρεύμα	10
3.6 Επιμετάλλωση με έκρηξη	11
3.7 Επιμετάλλωση με διασκόρπιση με φλόγα	11
3.8 Επιμετάλλωση με σύντηξη	12
3.9 Επιμετάλλωση από αέριο	12
3.10 Επιμετάλλωση με συνέλαση	12
3.11 Επιμετάλλωση με πλάσμα	12
3.12 Επιμετάλλωση με εμβάπτιση σε τήγμα	12
3.13 Επιμετάλλωση εν κενώ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ	15
1. Ο Μηχανισμός της Ηλεκτροεναπόθεσης	15
1.1 Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα	15
1.2 Η κάθοδος	15

1.3 Η άνοδος	16
1.4 Το ισορροπημένο λουτρό	16
1.5 Το δυναμικό ισορροπίας	18
1.6 Το δυναμικό επιμετάλλωσης	19
2. Προκατεργασία Επιφάνειας	21
2.1 Γενικά	21
2.2 Απολίπανση I	21
2.3 Ηλεκτρολυτική λείανση	22
2.4 Απολίπανση II	23
3. Το Εναπόθεμα	23
3.1 Γενικά	23
3.2 Το περιβάλλον	23
3.3 Ιδιότητες του εναποθέματος	25
3.4 Υπολογισμός πάχους επιστρώματος	26
3.5 Κρυσταλλική δομή	27
3.6 Επανακρυστάλλωση	28
3.7 Παραμένουσες τάσεις	28
3.8 Σκληρότητα	29
3.9 Εναποθέματα πολλαπλών επιπέδων	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ	31
1. Επίδραση των Επιμεταλλώσεων	31
1.1 Γενικά	31
1.2 Αντοχή επιστρώματος	31
1.3 Παραμένουσες τάσεις	32
1.4 Επίδραση του ρυθμού παραμόρφωσης	32
1.5 Συμπεριφορά επιστρωμάτων στην πλαστική παραμόρφωση	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ	34
1. Εφαρμογές Επιμεταλλώσεων	34

2. Εφαρμογές Επικαθμίωσης	34
3. Εφαρμογές Επιχρωμίωσης	35
4. Εφαρμογές Επιψευδαργύρωσης	36
5. Εφαρμογές Επιχάλκωσης	37
6. Εφαρμογές Επαργύρωσης	37
7. Εφαρμογές Επιχρύσωσης	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΕΙΔΗ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ	40
1. Επιχάλκωση	40
1.1 Γενικά	40
2. Επικαθμίωση	41
2.1 Γενικές αρχές	41
2.2 Εγκαταστάσεις	43
2.3 Έλεγχος ποιότητας	45
3. Επιχρωμίωση	46
3.1 Εισαγωγή	46
3.2 Γενικές αρχές	47
4. Επιχρύσωση	48
4.1 Εισαγωγή	48
4.2 Μέθοδοι επιχρύσωσης	49
5. Επιψευδαργύρωση	50
5.1 Εισαγωγή	50
5.2 Θερμός γαλβανισμός	50
5.2.1 Γενικά	50
5.2.2 Γενική περιγραφή της μεθόδου	51
5.2.3 Τεχνική λεπτομέρειες, μέθοδοι και βελτιώσεις	52
5.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	54
5.3 Ηλεκτρολυτικός γαλβανισμός	56
5.3.1 Γενικά	56
5.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τον ηλεκτρογαλβανισμό	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

Η ΕΤΑΙΡΕΙΑ <<ΥΙΟΙ Κ.Β ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε >>	60
1. Η εταιρεία <<ΥΙΟΙ Κ.Β ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε >>	60
1.1 Γενικά	60
2. Τμήμα μεταλλικών κατασκευών	61
2.1 Γενικά	61
3. Τμήμα διαμόρφωσης σιδηροδοκών	62
3.1 Πρώτες ύλες	62
3.2 Μηχανολογικός εξοπλισμός	62
3.3 Παραγόμενα προϊόντα	64
4. Γαλβανιστήριο	64
4.1 Γενικά	65
4.2 Διαδικασία γαλβανίσματος	65
5. Ποιοτικός έλεγχος	70
6. Το επίστρωμα	71
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 72

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένας σημαντικός παράγοντας για την χρησιμότητα ενός δεδομένου υλικού είναι η αντίσταση του στη διάβρωση κατά την διάρκεια της χρήσης του. Σε κάθε χώρα, οι οικονομικές απώλειες από το φαινόμενο της διάβρωσης είναι αυξημένες και γι' αυτόν τον λόγο επινοήθηκαν διάφοροι τρόποι και μέθοδοι προστασίας από αυτήν, οι οποίοι με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν και βελτιώθηκαν. Μια σημαντική μέθοδος είναι η επιμετάλλωση, η οποία αναλύεται στα παρακάτω κεφάλαια. Έτσι, στο 1^ο κεφάλαιο μελετάται η εξέλιξη των επιμεταλλώσεων μέσα από την πορεία της στην ιστορία ενώ στο 2^ο γίνεται αναφορά σε όλες τις μεθόδους προστασίας από την διάβρωση και ειδικότερα στους διαφορετικούς τρόπους επιμετάλλωσης.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρατίθεται αναλυτική περιγραφή των παραγόντων που συμβάλλουν στον μηχανισμό της ηλεκτροεναπόθεσης καθώς και των ποιοτικών απαιτήσεων και ιδιοτήτων του εναποθέματος.

Στο 4^ο κεφάλαιο μελετάται η συμπεριφορά των επιμεταλλωμένων υλικών σε διαφορετικές καταπονήσεις καθώς και η επίδραση ορισμένων παραγόντων στις ιδιότητες των επιστρωμάτων, ενώ στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις πολλαπλές εφαρμογές των επιμεταλλώσεων σε πολλούς και διαφορετικούς κλάδους της βιομηχανίας.

Στο 6^ο κεφάλαιο περιγράφονται ορισμένα ευρέως χρησιμοποιούμενα είδη επιμεταλλώσεων, όπως είναι η επιχάλκωση, ο γαλβανισμός, η επιχρύσωση, η επικαδμίσωση και η επιχρωμίσωση.

Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εταιρεία <<ΥΙΟΙ Κ.Β. ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε.>>, βιομηχανία παραγωγής σωλήνων-προϊόντων σιδήρου και χάλυβα-γαλβανιστήρια. Η βιομηχανία παράγει προϊόντα σιδήρου-χάλυβα και εν συνεχεία τα επιμεταλλώνει, αφού διαθέτει μονάδα γαλβανίσματος εν θερμώ.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η σύγχρονη ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση άρχισε το 1800, με την ανακάλυψη από τον Α. Βόλτα του βολταϊκού στοιχείου ή συσσωρευτή, που επέτρεψε την παραγωγή αξιόλογων ποσοτήτων συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Την ίδια περίπου εποχή ο συσσωρευτής χρησιμοποιήθηκε για επικαλύψεις με μόλυβδο, χαλκό και άργυρο. Διαπιστώθηκε ότι μετά την εναπόθεση μιας σταγόνας χαλκού σε κάθοδο αργύρου, ο χαλκός δε μπορούσε να αφαιρεθεί. Τον ίδιο χρόνο πραγματοποιήθηκαν εναποθέσεις ψευδαργύρου, χαλκού και αργύρου στα ίδια αυτά μέταλλα και σε πολλά άλλα βασικά μέταλλα όπως είναι ο χρυσός και ο σίδηρος.

Η εμπορική εφαρμογή της ηλεκτρολυτικής επιμετάλλωσης άρχισε περί το 1840 - 1841 και επιταχύνθηκε με την ανακάλυψη των κυανιούχων διαλυμάτων για την επιμετάλλωση με άργυρο, χρυσό, χαλκό και μπρούτζο. Ένα κυανιούχο διάλυμα χαλκού, για παράδειγμα, εξασφάλιζε συνάφεια σε άμεσες επιχαλώσεις σιδήρου και χάλυβα.

Η εμπορική εφαρμογή της επινικέλωσης άρχισε στην Βοστώνη το 1869. Απαιτούσε χημικώς καθαρές ανόδους και άλατα και ουδέτερο ή ελαφρώς όξινο διάλυμα νικελίου. Προηγούμενοι ερευνητές χρησιμοποιούσαν αλκαλικά διαλύματα νικελίου, στα οποία οι άνοδοι νικελίου δε διαλύονταν ικανοποιητικά και μπορούσαν να παραχθούν λεπτότατες μόνο επιμεταλλώσεις. Η επινικέλωση έγινε αμέσως δημοφιλής τόσο ώστε μια σημαντική αμερικανική σιδηροδρομική γραμμή έγινε γνωστή ως "Επινικελωμένη Οδός" (Nickel Plate Road), ως σύμβολο πολυτέλειας και υψηλής απόδοσης.

Μολονότι υπήρξαν πολλές προσπάθειες επινόησης μιας αξιόπιστης μεθόδου επιχρωμίωσης, καμιά δεν είχε επιτυχία μέχρι το 1924. Στις περισσότερες από τις αρχικές προσπάθειες χρησιμοποιήθηκαν τα απλά τρισθενή και δισθενή άλατα του χρωμίου. Χρειάστηκε πολύς καιρός για να επινοηθούν αξιόπιστες και πρακτικές συνθήκες επιχρωμίωσης από διαλύματα χρωμικού οξέος, με αδιάλυτες ανόδους μολύβδου και καταλύτηθειϊκών ιόντων, ίσο κατά βάρος προς το 1% του χρωμικού οξέος.

Πολλοί νεωτερισμοί βρήκαν εφαρμογή στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Άρχισε να εφαρμόζεται ο ηλεκτρολυτικός καθαρισμός και η μαζική επιμετάλλωση μικρών αντικειμένων σε στρεφόμενα τύμπανα. Η επιψευδαργύρωση σιδερένιων εξαρτημάτων για αντισκωρική προστασία καθιερώθηκε βαθμιαία, για να ακολουθήσει γύρω στο 1920, η επικαδμίσωση για τον ίδιο σκοπό. Η επικασσιτέρωση ήταν διαδεδομένη από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, μόνο όμως στην εποχή του Β' Παγκόσμιου Πολέμου άρχισαν να χρησιμοποιούνται όξινια και αλκαλικά λουτρά σε μεγάλη κλίμακα, για την επιμετάλλωση χαλύβδινων λωρίδων που προορίζονταν για λευκοσιδηρά (τενεκεδένια) δοχεία, εξοικονομώντας έτσι κασσίτερο σε σύγκριση με την ποσότητα που απαιτούσε η θερμή επικασσιτέρωση.

Μετά την αρχική χρήση διθειούχου άνθρακα για τη στίλβωση επαργυρώσεων κατά το 1847 μέχρι την εισαγωγή της στίλβνης επινικέλωσης, διαλύματα στίλβνης

επιμετάλλωσης χρησιμοποιούνταν περιστασιακά κατά την δεκαετία του 1930, οπότε άρχισε περίοδος ραγδαίων εξελίξεων προς αυτήν την κατεύθυνση. Άλλη εξέλιξη με παρόμοια αποτελέσματα, ιδιαίτερα για το χαλκό, ήταν η χρήση περιοδικά αναστρεφόμενου ρεύματος στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση. Εντατικές έρευνες για “εξομαλυμένες” επιμεταλλώσεις άρχισαν με την εφαρμογή της ημιστιλνής επινικέλωσης, στις αρχές της δεκαετίας του 1950.

Η εισαγωγή της επιχρωμίωσης το 1925 είχε σημαντικές επιπτώσεις σε όλο το φάσμα της βιομηχανίας επιμεταλλώσεων. Η επιχρωμίωση βρήκε έτοιμη αγορά στους τομείς αυτοκίνησης και οικιακών συσκευών, στους οποίους σύντομα εμφανίστηκαν τα προσόντα των συνδυασμένων νικελοχρωμιώσεων ή χαλκονικελοχρωμιώσεων. Επίσης δημιούργησε νέο τρόπο βελτίωσης της αντοχής μηχανικών εξαρτημάτων στη φορά και καλύτερη απόδοση καλών ιδιοτήτων αντοχής στην τριβή και στη θερμότητα. Φθαρμένα ή υποδιάστατα εξαρτήματα μπορούσαν πλέον να αποκατασταθούν με επιχρωμίωση. Η επιτυχία της επιχρωμίωσης διεύρυνε το πεδίο μηχανολογικών εφαρμογών άλλων μετάλλων, όπως το νικέλιο, ο χαλκός, ο άργυρος και ο χρυσός.

Το Σχέδιο Μανχάταν, για την κατασκευή της ατομικής βόμβας κατά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, δεν θα μπορούσε να έχει επιτύχει χωρίς μια ανθεκτική επινικέλωση των αυλών και βαλβίδων που διαβίβαζαν ατμούς εξαφθοριούχου ουρανίου. Απαιτείτο νικέλιο, το οποίο δεν υπήρχε για την κατασκευή ολόσωμων νικελίνων αυλών.

Η μικρή κατανάλωση ρεύματος των λουτρών επιχρωμίωσης διπλασιάστηκε σχεδόν με τη χρήση συνδυασμένων καταλυτών θεικών και σύμπλεκτων φθοριούχων ιόντων σε αυτορυθμιζόμενα ταχέα λουτρά (self-regulating high speed: SRHS), που περιγράφηκαν το 1950. Τα λουτρά αυτά απέδωσαν επίσης σκληρότερες και στιλνότερες επιχρωμίσεις αυξημένης χρησιμότητας. Μια θαμπή επιχρωμίωση χωρίς ρήγματα επιτεύχθηκε το 1953 και μια στιλνή, επίσης χωρίς ρήγματα, το 1957.

Ενώ η διακοσμητική επιχρωμίωση έχει από πολύ καιρό τυποποιηθεί σε πάχος 0,000254 mm περίπου και απαιτεί συνήθως χρόνο επιμετάλλωσης αρκετών λεπτών, ανακαλύφθηκε μια χρήση μεγάλης κλίμακας για δραστικά λεπτότερες επιχρωμίσεις: η αντικατάσταση του κασιτέρου από λευκοσιδηρά δοχεία. Η εξέλιξη αυτή ξεκίνησε από την Ιαπωνία. Μια ταχέως κινούμενη χαλύβδινη ταινία κατασκευής δοχείων επιχρωμιώνεται, με πάχος 0,0000076 - 0,0000127 mm, σε 1/3 του δευτερολέπτου περίπου, αποκτώντας μια επένδυση που αποτελεί κατάλληλη βάση για την πρόσφυση ενός στρώματος βερνικιού. Το προϊόν χαρακτηρίζεται χάλυβας απαλλαγμένος από κασσίτερο (tin - free steel: TFS) και χρησιμοποιείται κυρίως για τενεκεδένια δοχεία ποτών. Περίπου 10% της παγκόσμιας παραγωγής “τενεκεδένιων” δοχείων στις αρχές της δεκαετίας του 1970, κατασκευάζονταν από TFS και το ποσοστό αυτό αναμενόταν να αυξηθεί στο 30% περίπου.

Μολονότι οι επιμεταλλώσεις αμέταλλων υλικών εφαρμόζονται από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, μια περίοδος ταχείας προόδου στη χρήση ηλεκτρολυτικά επιμεταλλωμένων πλαστικών άρχισε το 1963 με την εισαγωγή του πλαστικού ABS (Acrylonitrile - Butadiene - Styrene), που μπορούσε εύκολα να επιμεταλλωθεί. Έτσι η χρήση επιμεταλλωμένων πλαστικών αυξήθηκε από 4000 τόνους το 1968 σε 16000 περίπου τόνους το 1970.

1. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα περισσότερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα είναι ασταθή σε συνθήκες συνθήκες. Αυτά έχουν παραχθεί τεχνικώς από μεταλλεύματα και τείνουν να επιστρέψουν στην αρχική τους ή σε παρόμοια φυσική κατάσταση, όταν εκτεθούν στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτή η συμπεριφορά ενός μετάλλου σε ένα φυσικό περιβάλλον ονομάζεται διάβρωση. Ανεξάρτητα από το ρυθμό τους, οι βασικές αρχές και οι χημικές αντιδράσεις είναι οι ίδιες. Έτσι υπάρχει:

1. Μια οξειδωτική αντίδραση, όπου το μέταλλο μετατρέπεται σε ιόν και
2. Μια αναγωγική αντίδραση, κατά την οποία τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσα από το μέταλλο μέχρι να φτάσουν σε ένα σημείο, όπου και χρησιμοποιούνται.

Για να συνεχίζεται η διάβρωση είναι απαραίτητο να συμβαίνουν ταυτόχρονα η αναγωγική και η οξειδωτική αντίδραση. Πρέπει να τονιστούν εδώ μερικά ενδιαφέροντα σημεία: στην περιοχή της ανόδου τα ηλεκτρόνια παραμένουν στο μέταλλο, μετά τη μετάβαση του μεταλλικού ιόντος στο διάλυμα και το μέταλλο φορτίζεται αρνητικά. Αντίθετα, στην κάθοδο τα ηλεκτρόνια προσλαμβάνονται από ιόντα, και η περιοχή είναι φορτισμένη θετικά. Με τον τρόπο αυτό έχουμε τη δημιουργία ενός γαλβανικού στοιχείου.

Κάθε μέταλλο έχει διαφορετική τάση να μετατρέπεται σε ιόν, η οποία μετριέται σαν ηλεκτρική τάση (V). Μέταλλα σαν τον ψευδάργυρο έχουν αρνητική τάση με αναφορά την τάση του υδρογόνου, γεγονός που δηλώνει ότι το μέταλλο θα μετατραπεί σε ιόν ευκολότερα από το υδρογόνο, ενώ μέταλλα σαν τον χρυσό, τον άργυρο και το χαλκό δε μετατρέπονται εύκολα σε ιόντα σε σχέση με το υδρογόνο.

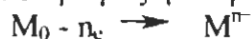
Οι χημικές αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής, που διέπουν το φαινόμενο της διάβρωσης των μεταλλικών υλικών, ορίζονται από τη γνωστή εξίσωση του Nerst στους 25^ο C:

$$E = E_0 + \frac{0,0592}{n} \log C_{\text{ιον}}$$

όπου E: η ηλεκτρεγερτική δύναμη του σχηματιζόμενου γαλβανικού στοιχείου

E_0 : η κανονική ηλεκτρεγερτική δύναμη του σχηματιζόμενου γαλβανικού στοιχείου

n: ο αριθμός ηλεκτρονίων που μετακινούνται κατά αντίδραση



$C_{\text{ιον}}$: η συγκέντρωση των ιόντων.

2. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Με τις μεθόδους προστασίας που επινοήθηκαν, επιδιώκεται η έμμεση ή άμεση ελάττωση του δυναμικού διάβρωσης ή και της έντασης της διάβρωσης. Οι μέθοδοι αυτές είναι γενικές και εφαρμόζονται σε όλα τα είδη διάβρωσης.

2.1 Άμεσες Μέθοδοι

Με τις άμεσες μεθόδους ελαττώνεται το ίδιο το δυναμικό διάβρωσης των μετάλλων ή των κραμάτων, έτσι που αυτά συμπεριφέρονται μόνιμα - αν οι μέθοδοι εφαρμοστούν σωστά - σαν να είχαν μικρότερη προδιάθεση για διάβρωση και γι' αυτό η προστασία με αυτές είναι αποτελεσματικότερη. Οι άμεσες μέθοδοι είναι οι εξής:

- i. Μέθοδος θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων ή θυσιαζόμενων ανόδων,
- ii. Καθοδική προστασία,
- iii. Καθοδική προστασία από θυσιαζόμενες αταξίες και
- iv. Καθοδική προστασία από ακίδες - δόδους. Χρησιμοποίηση του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού.

2.2 Έμμεσες Μέθοδοι

Στις έμμεσες μεθόδους προστασίας από τη διάβρωση, με καταπολέμηση του δυναμικού διάβρωσης, περιλαμβάνεται μια σειρά επιφανειακών επεξεργασιών των μετάλλων και κραμάτων που οδηγούν στη δημιουργία πάνω τους επιστρωμάτων άλλων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων. Το δυναμικό διάβρωσης των επιστρωμάτων αυτών είναι μικρότερο. Γίνεται δηλαδή, κάλυψη με ουσίες, που έχουν προδιάθεση για διάβρωση μικρότερη από το αρχικό μέταλλο ή κράμα, γιατί οι ουσίες αυτές είναι ευγενέστερες ή παθητικότερες. Οι έμμεσες αυτές μέθοδοι είναι οι εξής:

- i. Εναζώτωση, φωσφάτωση, ενανθράκωση - Χρήση Laser και πλάσματος,
- ii. Κάλυψη των χαλύβων με Fe_3O_4 και των κραμάτων αργιλίου με $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$,
- iii. Ανοδική προστασία και
- iv. Επιμεταλλώσεις

3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΗΣ

Χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι επιμετάλλωσης, εκ των οποίων ο πιο σημαντικός είναι ο ηλεκτρολυτικός που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Άλλοι τρόποι επιμετάλλωσης είναι :

3.1 Επιμετάλλωση με πιστολισμό

Δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο μεταξύ ηλεκτροδίων από το μέταλλο, που χρησιμοποιείται για την επίστρωση, και οι ατμοί του οδηγούνται στην επιφάνεια του μετάλλου, που πρόκειται να επιμεταλλωθεί. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα παχύ αλλά ανισόπαχο στρώμα. Η μέθοδος εφαρμόζεται επιτόπου σε τμήματα, όπου

δεν είναι δυνατόν να γίνει ηλεκτρόλυση με μεταφορά τους σε εργαστήριο. Εφαρμόζεται ακόμη για την επιτόπου συμπλήρωση υλικού, όταν αυτό έχει καταστραφεί από τη διάβρωση.

3.2 Επιμετάλλωση με καθοδική διασκόρπιση (cathodic sputtering)

Τα αντικείμενα που πρόκειται να επιμεταλλωθούν τοποθετούνται σε χώρο χαμηλής πίεσης αδρανούς αερίου, π.χ. αργού. Μεταξύ ανόδου και καθόδου, που είναι τοποθετημένο το μέταλλο, παράγονται σπινθήρες που οδηγούν σε εξάχνωση του μετάλλου της καθόδου. Οι ατμοί αυτοί του μετάλλου κατακάθονται στην επιφάνεια του αντικειμένου για να πραγματοποιηθεί η επιμετάλλωση. Με τη μέθοδο αυτή δεν υπάρχει σχηματισμός κρυστάλλων μεταξύ του μεταλλικού αντικειμένου και του μεταλλικού επιθέματος, το οποίο συγκρατείται μηχανικά. Αυτό αποτελεί ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου (μικρή συνάφεια). Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η θέρμανση του αντικειμένου καθώς και ο μικρός ρυθμός απόθεσης. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα επιμετάλλωσης μη αγώγιμων αντικειμένων.

3.3 Επιμετάλλωση με διάχυση

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί ένα προηγούμενο στάδιο επιμετάλλωσης, το οποίο έχει πραγματοποιηθεί με μια οποιαδήποτε άλλη μέθοδο και στη συνέχεια ακολουθεί θερμική κατεργασία. Έτσι πραγματοποιείται αμοιβαία διάχυση των μετάλλων, όπως παραδείγματος χάριν ο γαλβανισμένος χάλυβας.

3.4 Ηλεκτροφορητική επιμετάλλωση

Κολλοειδών διαστάσεων κόκκοι μετάλλων, διασκορπισμένοι σε αραιό διάλυμα ηλεκτρολύτη, αποκτούν ηλεκτρικά φορτία λόγω εκλεκτικής προσρόφησης ενός είδους ιόντων του ηλεκτρολύτη. Τα αντικείμενα για επιμετάλλωση εμβαπτίζονται στο διάλυμα και με τη βοήθεια αδρανούς ηλεκτροδίου οι κολλοειδείς κόκκοι του μετάλλου ηλεκτροφορούνται και αποθέτονται πάνω στο μέταλλο. Σε περίπτωση που οι κόκκοι είναι φορτισμένοι αρνητικά, τα αντικείμενα προς επιμετάλλωση συνδέονται με την άνοδο. Αντίθετα, αν οι κόκκοι φορτίζονται θετικά τότε αυτά συνδέονται με την κάθοδο. Ωστόσο, οι εμπορικές εφαρμογές της μεθόδου αυτής είναι προς το παρόν περιορισμένες.

3.5 Επιμετάλλωση χωρίς ρεύμα

Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως “χημική επιμετάλλωση” ή “επιμετάλλωση με εμβάπτιση” και πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δημιουργία μεταλλικού επιστρώματος είναι αποτέλεσμα αναγωγής ιόντων μετάλλου από το διάλυμα ιόντων του. Το διάλυμα αυτό πρέπει να περιέχει ένα αναγωγικό μέσο και η επιφάνεια, που πάνω της γίνεται η εναπόθεση, να υποβοηθεί την αναγωγή και να διατηρεί αυτήν την ιδιότητα κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης. Μέταλλα, που

συνήθως επιμεταλλώνονται με την τεχνική αυτή, είναι: ο χαλκός, ο άργυρος, το κοβάλτιο και το παλλάδιο.

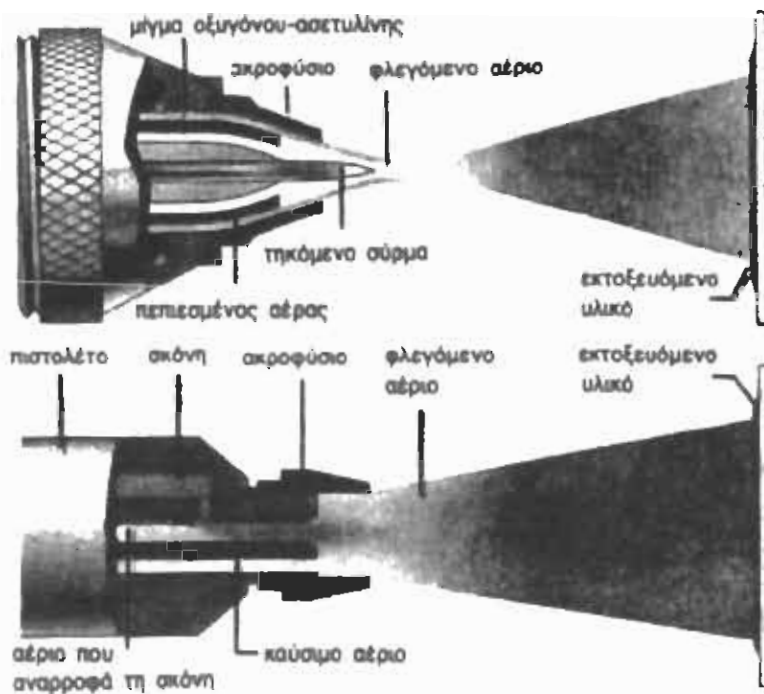
Η επαργύρωση των καθρεπτών εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία. Τυπικές αναγωγικές ουσίες είναι τα υποφωσφορώδη, βορικές αμίνες, φορμαλδεΐδη, βοροϋδρίδια, υδραζίνη κ.ά. Τα επιστρώματα του νικελίου χωρίς ρεύμα δημιουργούνται σε υποφωσφορώδη λουτρά. Πολλές από τις ιδιότητες των επιστρωμάτων εξαρτώνται από το ποσό του περιεχομένου φωσφόρου στο μεταλλικό πλέγμα τους.

3.6 Επιμετάλλωση με έκρηξη

Η μέθοδος περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός δεσμού μεταξύ δύο μετάλλων με την εφαρμογή μεγάλης συμπιεστικής συνοχής που παράγεται υπό πίεση. Αυτή δημιουργείται από ελεγχόμενη έκρηξη. Η συνάφεια μεταξύ των δύο μετάλλων εξαιτίας του δημιουργούμενου κενού είναι μεγάλη.

3.7 Επιμετάλλωση με διασκόρπιση με φλόγα

Σε αυτή την μέθοδο λεπτομερής σκόνη ή σύρμα μετάλλου περνάει μπροστά από μία φλόγα υψηλής θερμοκρασίας, που λιώνει το μέταλλο και το κρατάει σε τήξη μέχρι τα σταγονίδια του να έρθουν σε επαφή με το προς επικάλυψη αντικείμενο. Συνήθως χρησιμοποιείται προς απόθεση, αλουμίνιο ή ψευδάργυρος. Η πυκνότητα του αλουμινίου που προέρχεται από τη μέθοδο αυτή είναι μικρότερη από του κανονικού μετάλλου, γιατί κατά τη μέθοδο δημιουργούνται και πόροι.



3.8 Επιμετάλλωση με σύντηξη

Μέταλλα με χαμηλό σημείο τήξης, όπως κασσίτερος, μολυβδος, ψευδάργυρος και αλουμίνιο, μπορεί να χρησιμοποιηθούν με τη μορφή λάσπης από τις σκόνες τους που επιστρώνονται στις επιφάνειες για επιμετάλλωση. Έπειτα, με θέρμανση πάνω από το σημείο τήξης τους δημιουργείται ένα επίστρωμά τους πάνω στα προς επιμετάλλωση αντικείμενα.

3.9 Επιμετάλλωση από αέριο

Μερικές μεταλλικές ενώσεις μπορούν να αποσυντεθούν με την επίδραση θερμότητας και να αποθέσουν το μέταλλο. Τέτοιες ενώσεις είναι καρβονύλια και αλογονίδια μετάλλων και οργανομεταλλικές ενώσεις. Μπορούν να δημιουργηθούν νικελιούχα επιστρώματα από τη διάσπαση καρβονυλίου του νικελίου. Επίσης, οι ιωδιούχες ενώσεις σε αέρια φάση μπορούν να διασπαστούν θερμικά και να επιμεταλλώσουν χάλυβα.

3.10 Επιμετάλλωση με συνέλαση (cladding)

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται συνέλαση φύλλων χάλυβα με λεπτά φύλλα δύο ή περισσότερων μετάλλων, χωρίς την παρεμβολή άλλων υλικών. Για την καλή πρόσφυση του επιστρώματος απαιτούνται επιφάνειες που δεν έχουν οξειδία, λίπη, υγρασία και άλλες ουσίες πριν το στάδιο της συνέλασης. Η πιο κοινή κατασκευαστική μέθοδος είναι η συνέλαση με μείωση 50 - 75% του πάχους. Η συνέλαση μπορεί να γίνει με ή χωρίς θέρμανση των μετάλλων.

3.11 Επιμετάλλωση με πλάσμα

Αυτή η μέθοδος μοιάζει με την διασκόρπιση με φλόγα, εκτός από το γεγονός ότι η ενέργεια, που εφαρμόζεται για τη θέρμανση του μετάλλου, προέρχεται από ηλεκτρική εκκένωση, που οδηγεί σε δημιουργία πλάσματος του μετάλλου για επίστρωση.

3.12 Επιμετάλλωση με εμβάπτιση σε τήγμα

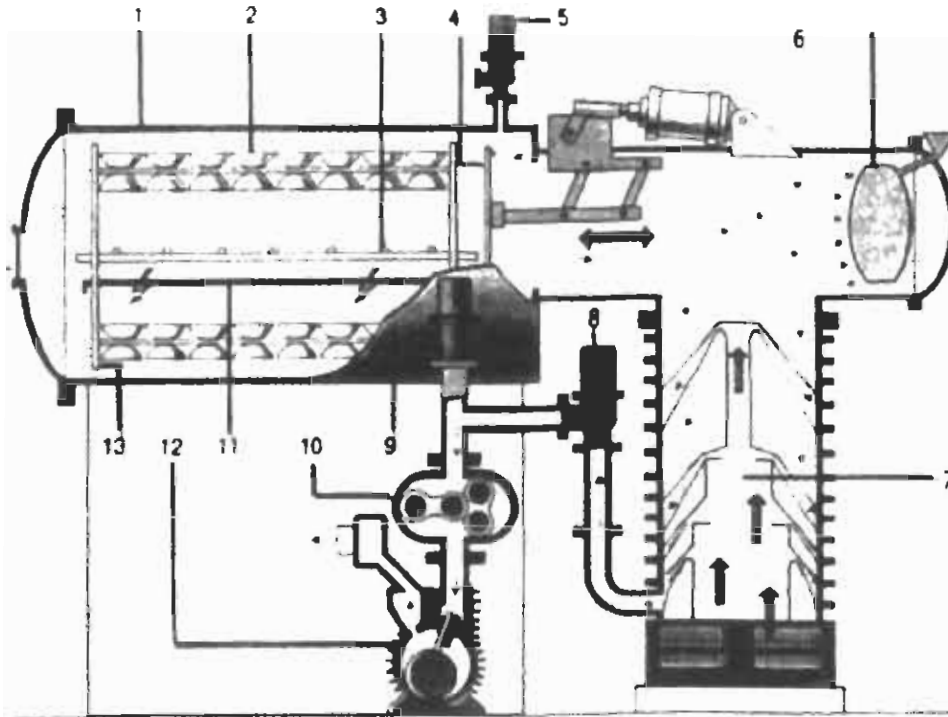
Μεγάλες ποσότητες χάλυβα με τη μορφή φύλλων, σωλήνων, αγκαθωτών συρμάτων επιψευδαργυρώνονται σε συνεχή παραγωγή με εμβάπτισή τους σε λιωμένο λουτρό ψευδαργύρου: γαλβανισμένες λαμαρίνες, γαλβανισμένοι σωλήνες, γαλβανισμένα σύρματα αντίστοιχα.

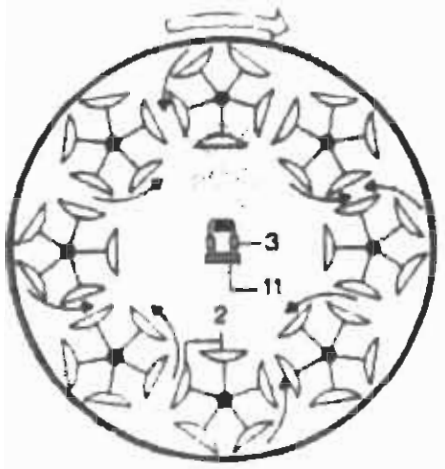
Η δημιουργία καλής πρόσφυσης στη διεπιφάνεια ψευδαργύρου - χάλυβα απαιτεί την παρουσία μικρών ποσοτήτων αλουμινίου στο λουτρό. Το πάχος του επιστρώματος ψευδαργύρου ελέγχεται από αυστηρή ρύθμιση της θερμοκρασίας του λουτρού γαλβανισμού, της ταχύτητας, που με αυτήν περνάνε τα αντικείμενα από το λουτρό, της αρχικής θερμοκρασίας του χάλυβα πριν την εμβάπτιση και της χρήσης ροής αερίου ή αέρα από ακροφύσια τα οποία καθαρίζουν τα αντικείμενα τη στιγμή

που βγαίνουν από το λουτρό. Μέχρι πρόσφατα έτσι γινόταν και επικασιτέρωση του χάλυβα, που τώρα όμως γίνεται με ηλεκτρολυτική απόθεση, γιατί ελέγχεται πολύ πιο αποτελεσματικά το πάχος του επιστρώματος.

3.13 Επιμετάλλωση εν κενώ

Στην επιμετάλλωση εν κενώ θερμαίνεται σε θάλαμο από τον οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας, μεταλλικό στοιχείο που ατμοποιείται και επικάθεται στα προς επικάλυψη αντικείμενα τα οποία έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό του θαλάμου. Το πάχος του, με αυτόν τον τρόπο, εναποτιθέμενου μετάλλου κυμαίνεται από λίγες στοιβάδες ατόμων έως 1 μικρόν, πράγμα που επιβάλλει εξαιρετικά επιμελημένη την προς επικάλυψη επιφάνεια (μηχανική ή ηλεκτρολυτική στίλβωση). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει να καταστεί αγωγίμη η επιφάνεια ενός μονωτικού υλικού. Αυτός ο τύπος επιμετάλλωσης εφαρμόζεται βιομηχανικά σε πολλά αντικείμενα, τόσο για να τα προστατέψει από τη διάβρωση, όσο και για να τους προσδώσει διακοσμητική όψη ή να βελτιώσει τις επιφανειακές τους ιδιότητες (ανακλαστικότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα), ιδιαίτερα σε ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά υλικά (ολοκληρωμένα κυκλώματα) ή οπτικά υλικά (ανακλαστήρες). Οι λεπτότατες επιστρώσεις προστατεύονται με στρώμα άχρωμου βερνικιού.





1. Θάλαμος
2. Αντικείμενα προς επιμετάλλωση
3. Εξατμιστής
4. Δικλίδα υψηλού κενού
5. Δικλίδα αποκατάστασης ατμοσφαιρικής πίεσης
6. Παγίδα χαμηλής θερμοκρασίας
7. Αντλία διάχυσης
8. Δικλίδα πρωτεύουσας αντλίας κενού
9. Δικλίδα κυκλώματος επιστροφής αέρα
10. Αντλία Roots
11. Κάθοδος
12. Πρωτεύουσα αντλία
13. Αντικειμενοφόρο κάλιντρο

Η επιλογή της κατάλληλης, κάθε φορά, μεθόδου είναι αποτέλεσμα συνεκτίμησης μιας σειράς παραγόντων, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι οι ακόλουθοι:

- Η φύση του υλικού που πρόκειται να αποθεθεί,
- Η ταχύτητα πραγματοποίησης της απόθεσης,
- Η σινάφεια μεταξύ μετάλλου βάσης και επιστρώματος,
- Ο βαθμός χημικής καθαρότητας του υποστρώματος,
- Το είδος του απαιτούμενου κάθε φορά εξοπλισμού και το συνολικό κόστος της διαδικασίας,
- Τα θέματα που συνδέονται με την ασφάλεια της μεθόδου, την υγιεινή και το περιβάλλον και
- Η ευκολία εξασφάλισης των απαιτούμενων πρώτων υλών.

1. Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ

1.1 Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα

Ως διαδικασία ηλεκτροεναπόθεσης ορίζεται εκείνη κατά την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσω ενός ηλεκτρολυτικού διαλύματος και επιτυγχάνεται η εναπόθεση μιας ουσίας σε ένα από τα ηλεκτρόδια.

Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα είναι το μέσο το οποίο μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα με τα ιόντων του. Η ικανότητα ενός διαλύτη, ιδιαίτερα του νερού, να ιονίζει ουσίες διαλυμένες σε αυτό, δηλαδή να τις διαχωρίζει σε θετικά και αρνητικά φορτισμένα ιόντα, κάνει την ηλεκτρόλυση δυνατή. Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσω του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, με τη βοήθεια των φορτισμένων ιόντων και τα προϊόντα της ηλεκτρόλυσης αποτίθενται στα ηλεκτρόδια. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τα θετικά φορτισμένα ιόντα έλκονται από την αρνητικά φορτισμένη κάθοδο, ενώ τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα οδεύουν προς τη θετικά φορτισμένη άνοδο. Τα ιόντα τότε μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα και τα προϊόντα της ηλεκτρόλυσης εμφανίζονται στα ηλεκτρόδια.

Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα είναι το αγώγιμο μέσο, στο οποίο η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος επιτυγχάνεται με τη μετακίνηση της ύλης. Αποτελεί επίσης την πηγή, η οποία δημιουργεί ιόντα. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα ιόντα, θετικά φορτισμένα, τότε στην αρνητικά φορτισμένη κάθοδο λαμβάνουν χώρα πολλές αντιδράσεις, αν και συνήθως ένα μόνο προϊόν της ηλεκτρόλυσης είναι εμφανές. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε αντίδραση στα ηλεκτρόδια γίνεται σε συγκεκριμένη τάση και το περισσότερο φορτισμένο θετικά ιόν εναποτίθεται στην κάθοδο.

Κάθε υγρό ή διάλυμα το οποίο περιέχει ιόντα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Η πλειοψηφία των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων, χρησιμοποιεί το νερό ως διαλύτη και γι' αυτό ονομάζονται ένυδρα. Τα τήγματα των αλάτων, που ανήκουν στα άνυδρα ηλεκτρολυτικά διαλύματα, χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλεκτρολυτική παραγωγή μετάλλων, όπως μαγνήσιο και αλουμίνιο. Τα τήγματα αλάτων χρησιμοποιούνται επίσης στον ηλεκτρολυτικό καθαρισμό των μετάλλων. Η εκτεταμένη χρήση του νερού, ως διαλύτη, στις επιμεταλλώσεις οφείλεται στο ότι είναι φθινό, υπάρχει σε αφθονία και τα κοινά άλατα είναι ευδιάλυτα σε αυτό.

1.2 Η Κάθοδος

Οι αντιδράσεις που γίνονται στην κάθοδο είναι αυτές που κυρίως μας ενδιαφέρουν, αφού εκεί παράγονται τα εναποθέματα. Το δυναμικό στο οποίο λαμβάνει χώρα η αντίδραση ονομάζεται δυναμικό εναπόθεσης. Το δυναμικό αυτό μπορεί να μετρηθεί εύκολα στο εργαστήριο. Ωστόσο, δεν είναι ούτε επιθυμητό ούτε βολικό να γίνει η μέτρηση στη δεξαμενή επιμετάλλωσης. Την αντίδραση στην κάθοδο, είναι πιο εύκολο να την αντιληφθούμε και να την κατανοήσουμε εφ' όσον γνωρίζουμε την ποσότητα του ρεύματος που φτάνει στην κάθοδο. Επίσης

γνωρίζοντας την κατανομή του ρεύματος στην κάθοδο, μπορούμε να κάνουμε μια εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο θα επιμεταλλωθεί το δοκίμιο. Παράλληλα μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο που απαιτείται για να παραχθεί το επιθυμητό πάχος της εναπόθεσης, καθώς και να γνωρίσουμε τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται το πάχος της επιμετάλλωσης στην επιφάνεια του δοκιμίου.

Δυστυχώς, είναι δύσκολο να κάνουμε ακριβή υπολογισμό για την κατανομή του μετάλλου στην κάθοδο. Η ποσότητα του ρεύματος που οδεύει προς την κάθοδο, για ορισμένο χρονικό διάστημα, μπορεί να ελεγχθεί και έτσι μπορεί να ελεγχθεί και το πάχος της επιμετάλλωσης. Αν η κατανομή της επιμετάλλωσης δεν είναι η επιθυμητή τότε μπορούν να γίνουν ρυθμίσεις ως προς τη θέση του δοκιμίου ή της ανόδου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, πραγματοποιώντας χημικές ρυθμίσεις στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα, μπορούμε να βελτιώσουμε την κατανομή του μετάλλου πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Το ρεύμα που μεταφέρεται στην κάθοδο πρέπει να είναι ανάλογο με την προς επιμετάλλωση επιφάνεια. Έτσι μπορούμε να ορίσουμε την πυκνότητα ρεύματος ως η ποσότητα ρεύματος ανά μονάδα επιφανείας (A/Ω^2).

Σε ορισμένες εφαρμογές, η δεξαμενή επιμετάλλωσης ελέγχεται μέσω της τάσης. Η διαδικασία αυτή όμως, είναι λιγότερο ικανοποιητική από εκείνη που ελέγχεται μέσω της πυκνότητας ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι η τάση της δεξαμενής επηρεάζεται όχι μόνο από την αντίδραση που πραγματοποιείται στην κάθοδο, αλλά και από πολλούς άλλους παράγοντες. Ωστόσο, η τάση της δεξαμενής είναι πολύ εύκολο να μετρηθεί και δίνει συχνά πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στη διαδικασία επιμετάλλωσης όπως:

- Μείωση της αγωγιμότητας λόγω περιεχομένων αλάτων.
- Πόλωση της ανόδου.

1.3 Η Άνοδος

Οι αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται στην άνοδο, είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες από εκείνες που γίνονται στην κάθοδο. Η θέση και η κατάσταση της ανόδου έχει σχέση με την κατανομή του ρεύματος στην κάθοδο. Ωστόσο οι άνοδοι λειτουργούν καλύτερα μέσα σε μία κλίμακα τιμών πυκνότητας ρεύματος, η οποία μπορεί να αλλάζει ανεξάρτητα από την πυκνότητα ρεύματος στην κάθοδο. Αυτό πραγματοποιείται με αλλαγή της περιοχής της ανόδου.

1.4 Το Ισορροπημένο Λουτρό

Ένα λουτρό επιμετάλλωσης μπορεί να λειτουργεί επιτυχώς για μεγάλο χρονικό διάστημα, αν η σύνθεση του λουτρού δεν αλλάζει πολύ γρήγορα. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται κυρίως στα εξής:

1. Χημική αποσύνθεση.
2. Ατελείς αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια.

Η σταθερότητα του λουτρού μπορεί να διευκρινιστεί καλύτερα αν λάβουμε υπ' όψη μας και άλλα τυπικά λουτρά. Το λουτρό όξινου χαλκού είναι σχετικά εύκολο να ελεγχθεί γιατί η τάση για χημική αποσύνθεση είναι μικρή και οι αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια είναι βασικά τέλειες. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρολυτικό διάλυμα είναι χημικά σταθερό και για κάθε χημικό ισοδύναμο του χαλκού που διαλύεται στην άνοδο, υπάρχει αντίστοιχα ένα χημικό ισοδύναμο του χαλκού που εναποτίθεται στην κάθοδο. Το λουτρό αυτό δε μπορεί να λειτουργεί συνεχώς χωρίς έλεγχο. Ο έλεγχος γίνεται πολυπλοκότερος όταν προστίθεται κόλλα στο λουτρό για να παραχθεί ένα καθαρό και λαμπερό κρυσταλλικό επικάθισμα. Η κόλλα αυτή δεν είναι χημικά σταθερή, γι' αυτό και πρέπει να ελέγχεται. Το λουτρό αυτό είναι ένα τυπικό παράδειγμα των όξινων λουτρών, στα οποία ο κυριότερος παράγοντας ελέγχου είναι αυτός της προστιθέμενης ουσίας που χρησιμοποιείται, όπως π.χ. στην παραπάνω περίπτωση είναι η κόλλα.

Το αλκαλικό λουτρό κασσιτέρου, δεν αποτελεί ένα τυπικό αλκαλικό λουτρό, αλλά ένα καλό παράδειγμα λουτρού στο οποίο απαιτείται προσοχή για τη διατήρηση της ισορροπίας διάλυσης. Στο αλκαλικό λουτρό κασσιτέρου, οι αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια δεν είναι τέλειες, δηλαδή η αποδοτικότητα της ανόδου και της καθόδου είναι μικρότερη του 100%. Επιπροσθέτως, κατά την εναπόθεση κασσιτέρου αναπτύσσεται υδρογόνο στην κάθοδο, ενώ κατά την διάλυσή του παράγεται οξυγόνο στην άνοδο. Για να παραμένει η επιμετάλλωση σε αποδεκτά επίπεδα, το λουτρό υποβάλλεται συνεχώς σε έλεγχο και οι άνοδοι πρέπει να διατηρούν πάντα ένα φιλμ οξειδίου. Αν το φιλμ οξειδίου απουσιάζει ή είναι πολύ λεπτό, τότε υπάρχει κίνδυνος είτε να βγει εκτός ισορροπίας το λουτρό, είτε το εναπόθεμα που θα παραχθεί να μην είναι αποδεκτό. Το λουτρό μπορεί να ελεγχθεί με ρύθμιση:

- Της θερμοκρασίας του λουτρού
- Της πυκνότητας ρεύματος της καθόδου
- Της πυκνότητας ρεύματος της ανόδου
- Συνεχή χημική ανάλυση και
- Κατάλληλες προσθήκες χημικών ουσιών.

Η τάση του λουτρού επηρεάζεται από τις αλλαγές στις ανόδους και λόγω αυτής της ευαισθησίας του, η τάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ελέγχου του λουτρού.

Το λουτρό επιμετάλλωσης πρέπει πάντα να διατηρείται μέσα στα καθορισμένα χημικά όρια, ανεξάρτητα της δυσκολίας διατήρησης της σύνθεσής του. Το λουτρό πρέπει επίσης να χρησιμοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι απαιτήσεις για προσθήκη χημικών ουσιών, να είναι ελάχιστες. Είναι πολύ σπάνιο ένα λουτρό να μην απαιτεί συχνή προσθήκη χημικών ουσιών. Η συνθήκη αυτή είναι εφικτή μόνο όταν η αποδοτικότητα της ανόδου είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από εκείνη της καθόδου. Ένα τέτοιο λουτρό αποτελεί ένα τέλεια ισορροπημένο λουτρό. Αφού είναι απαραίτητη η προσθήκη χημικών ουσιών σε όλα τα είδη των λουτρών, είναι προτιμότερο να τα χρησιμοποιούμε συχνά σε μικρές ποσότητες, έτσι ώστε τα χημικά όρια εύκολα να μπορούν να διατηρηθούν. Αντίθετα η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων οδηγεί σε υπέρβαση των χημικών ορίων του λουτρού, όταν η χημική ανάλυση δεν είναι ακριβής. Οι χημικές προσθήκες, συνήθως, περιέχουν ακαθαρσίες οι οποίες δεν είναι επιβλαβείς σε μικρές ποσότητες, αλλά απαιτείται ηλεκτρόλυση με τεχνητές καθόδους, για την απομάκρυνσή τους.

1.5 Το Δυναμικό Ισορροπίας

Είναι απαραίτητο να αναφέρουμε ορισμένα στοιχεία που αφορούν το δυναμικό ισορροπίας, προτού ξεκινήσουμε να αναλύουμε λεπτομερώς τη διαδικασία της επιμετάλλωσης. Η γνωστή σειρά δυναμικών που αναφέρεται στις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα 1. Η σειρά αυτή ορίζεται επίσης ως η ηλεκτροχημική σειρά ή σειρά ηλεκτρεγερτικής δύναμης των στοιχείων. Αποτελεί ένα αξιόπιστο σημείο αναφοράς, ωστόσο μπορεί εύκολα να παρερμηνευτεί αν χρησιμοποιηθεί ως κύριος και μοναδικός οδηγός μας. Τα δυναμικά ισορροπίας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, όπου δεν έχουμε ροή ρεύματος και υπάρχουν συγκεκριμένες ποσότητες διαλυμένου άλατος και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΣΕΙΡΑ	
Ιόντα	Δυναμικό Αναγωγής
Au^+/Au	
Ag^+/Ag	+ 1,5
Cu^+/Cu	+ 0,7995
Sn^{++}/Sn	+ 0,0528
$2\text{H}^+/\text{H}_2$	+ 0,003
Pb^{++}/Pb	0
Sn^+/Sn	- 0,1264
Ni^{++}/Ni	- 0,1406
In^+/In	- 0,231
Cd^{++}/Cd	- 0,336
$\text{Cr}^{+++}/\text{Cr}$	- 0,4024
Zn^{++}/Zn	- 0,509
Na^+/Na	- 0,762
	- 2,7125

Πίνακας 1

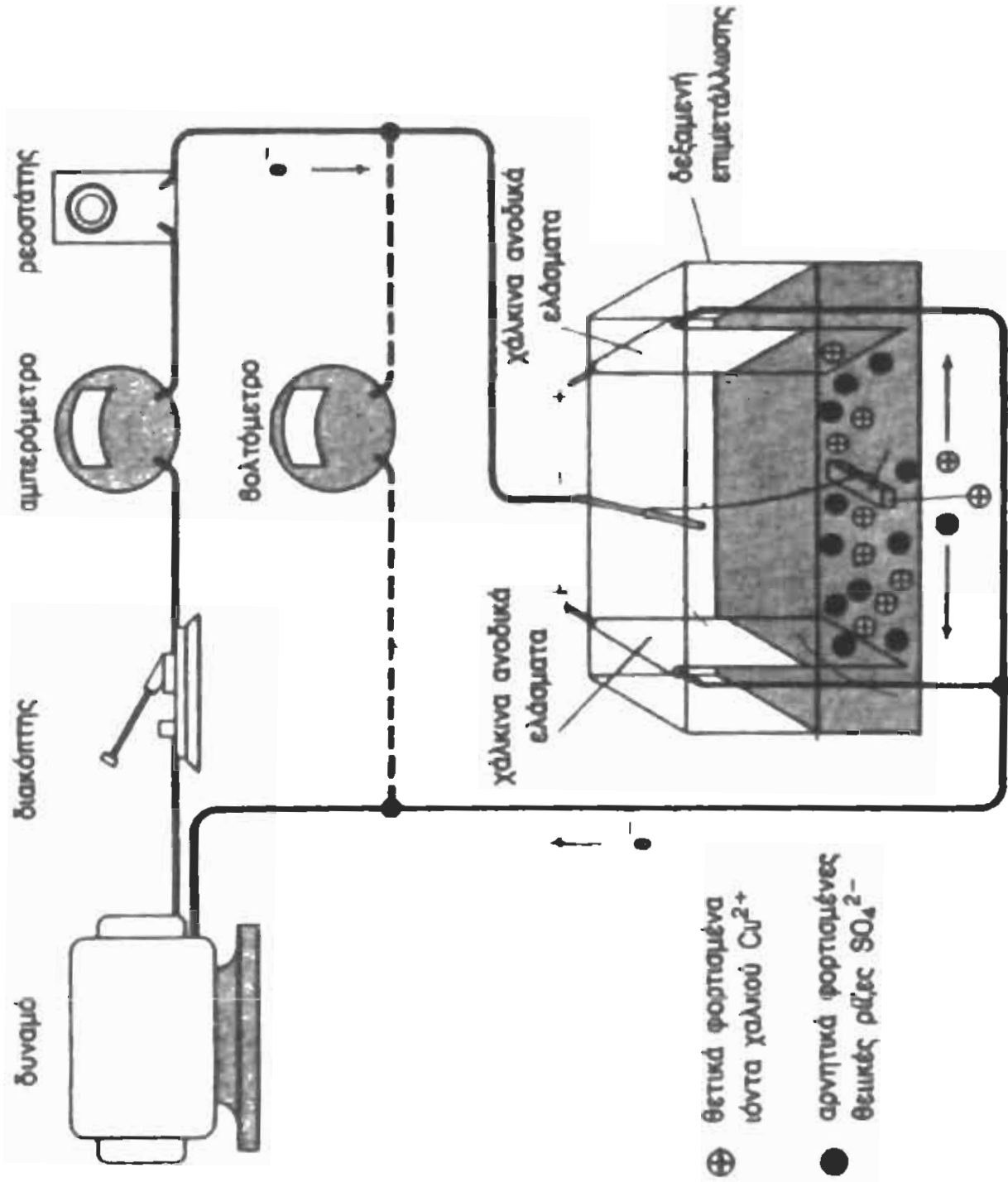
Το υδρογόνο λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς στην ηλεκτροχημική σειρά και έχει λάβει αυθαιρέτως την τιμή μηδέν. Τα μεταλλικά ιόντα των οποίων το δυναμικό έχει καταχωρηθεί ως θετικό, είναι περισσότερο ενεργά από το ιόν υδρογόνου, όταν βρίσκονται σε ισοδύναμες ποσότητες. Αντίθετα, τα μεταλλικά ιόντα με αρνητικό δυναμικό, είναι λιγότερο ενεργά από το ιόν υδρογόνου. Έτσι, καθώς ανεβαίνουμε στην ηλεκτροχημική σειρά, τα μεταλλικά ιόντα γίνονται όλο και περισσότερο ενεργά στην κάθοδο, δηλαδή πιο ηλεκτροθετικά και εναποτίθενται πιο εύκολα. Κατεβαίνοντας την κλίμακα, συναντάμε τα πιο αρνητικά δυναμικά ισορροπίας, όπου τα μεταλλικά ιόντα γίνονται πιο ηλεκτραρνητικά και διαλύονται ευκολότερα (ανοδικά μέταλλα).

Σύμφωνα με την ηλεκτροχημική σειρά, κάθε μέταλλο μπορεί να πάρει στο διάλυμα τη θέση εκείνου που έχει μεγαλύτερο δυναμικό. Αυτό ισχύει μόνο στις συνθήκες κατά τη μέτρηση του δυναμικού των ιόντων και γι' αυτό δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γενικός κανόνας. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτόν, αν ένα κομμάτι χαλκού βυθιστεί σε διάλυμα που περιέχει ιόντα ασημιού, τότε το ασήμι θα εναποτεθεί πάνω στο χαλκό. Αυτό θα συμβεί και σε όξινα διαλύματα, ακόμα και αν η ποσότητα των ιόντων ασημιού είναι πολύ μικρή. Η αντίδραση λειτουργεί και αντίστροφα. Αν βυθίσουμε ένα κομμάτι ασημιού σε συμπυκνωμένο όξινο διάλυμα χαλκού, τότε ο χαλκός θα εναποτεθεί στο ασήμι. Σε μερικά όξινα διαλύματα, ο κασσίτερος μπορεί να επικαθίσει στο χαλκό, παρ' όλο που, σύμφωνα με την ηλεκτροχημική σειρά, ο κασσίτερος βρίσκεται χαμηλότερα του χαλκού. Οι εξαιρέσεις αυτές, συμβαίνουν επειδή οι συνθήκες, κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, διαφέρουν κατά πολύ από εκείνες που ισχύουν κατά τη μέτρηση των δυναμικών.

Τα μέταλλα κάτω από το υδρογόνο, μπορούν να διαλυθούν εύκολα σε οξέα και αυτά που βρίσκονται πολύ χαμηλά, στην ηλεκτροχημική σειρά, αντιδρούν με το νερό. Τα μέταλλα ψηλότερα από το υδρογόνο, διαλύονται μόνο μέσα σε οξέα και κάτω από οξειδωτικές συνθήκες. Επομένως, όταν οι συνθήκες είναι νέες ή διαφορετικές, είναι απαραίτητο να γίνουν πολλές δοκιμές και να μετρηθεί το δυναμικό στις νέες συνθήκες. Κατά την επιμετάλλωση, η μέτρηση του δυναμικού γίνεται σε δυναμικές συνθήκες και ονομάζεται "δυναμικό επιμετάλλωσης".

1.6 Το Δυναμικό Επιμετάλλωσης

Η διαφορά δυναμικού, μεταξύ του ηλεκτροδίου και του διαλύματος, μπορεί να μετρηθεί κατά την διάρκεια της επιμετάλλωσης. Το δυναμικό επιμετάλλωσης διαφέρει ανάλογα με τη συγκέντρωση των μεταλλικών ιόντων στο λουτρό και επηρεάζεται άμεσα από την πυκνότητα του ρεύματος. Καθώς αυξάνεται η πυκνότητα του ρεύματος, αυξάνεται και η πόλωση των ηλεκτροδίων, με αποτέλεσμα οι συνθήκες να ευνοούν την εναπόθεση των μετάλλων, που είναι χαμηλά στην ηλεκτροχημική σειρά, έτσι, μπορεί να επιτευχθεί εναπόθεση ψευδαργύρου από όξινα διαλύματα, ενώ κανονικά ο ψευδάργυρος διαλύεται στα οξέα. Ο χαλκός, παρουσία νιτρικών οξέων εναποτίθεται τελείως. Αν όμως το διάλυμα θερμανθεί κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης, τότε κάποια στιγμή ο χαλκός θα διαλύεται πιο γρήγορα απ' ό,τι εναποτίθεται. Στο σημείο αυτό ο χαλκός θα διαλυθεί τελείως στο νιτρικό οξύ παρ' όλο που κυκλοφορεί ρεύμα. Η συμπεριφορά του χαλκού σε όξινα νιτρικά διαλύματα και του ψευδαργύρου σε όξινα διαλύματα, μας δείχνει ότι είναι απαραίτητη η μελέτη του μηχανισμού εναπόθεσης και η μέτρηση του δυναμικού εναπόθεσης είναι πολύ χρήσιμη.



2. ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

2.1 Γενικά

Είναι απαραίτητη η κατεργασία της επιφάνειας πριν την επιμετάλλωση. Αυτή αποτελεί την πράξη τέλειας απομάκρυνσης από την επιφάνεια και του παραμικρού ίχνους οξειδίου του μετάλλου και οποιασδήποτε ακαθαρσίας (λίπη σαπωνοποιημένα ή όχι, σκόνες κ.λπ.), γιατί και από αυτήν εξαρτάται ο χρόνος ζωής του στρώματος. Η απομάκρυνση των οξειδίων γίνεται στην αρχή μηχανικά. Μια μέθοδος, που χρησιμοποιείται πολύ, είναι η μέθοδος της ψηγματοβολής, δηλαδή η μέθοδος της εκτόξευσης με πίεση, άμμου (αμμοβολή) ή ψηγμάτων χάλυβα ή κόκκων οξειδίων, καολίνη, ακόμα και πάγου πάνω στην επιφάνεια που θέλουμε να καθαρίσουμε. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται πολύ, αλλά δεν είναι η καλύτερη. Αυτό γίνεται γιατί κατά την ψηγματοβολή μένουν συνήθως στην επιφάνεια κόκκοι άμμου, ψήγματα χάλυβα κ.λπ. Οι κόκκοι άμμου δημιουργούν ανομοιογένεια και τα ψήγματα χάλυβα, τοπικά γαλβανικά στοιχεία, με αρνητικό πόλο το μέταλλο για προστασία.

Ακόμη, είτε πρόκειται για αμμοβολή είτε για εκτόξευση ψηγμάτων χάλυβα, η επιφάνεια που δημιουργείται είναι τραχειά. Δηλαδή, με τις μεθόδους αυτές, προδιαθέτουμε την επιφάνεια για μια έντονη διάβρωση με βελονισμούς. Παρ' όλα αυτά, σε πολλές περιπτώσεις, επειδή ο τρόπος αυτός κάθαρσης είναι ο μόνος εφαρμόσιμος, χρησιμοποιείται όπου είναι δυνατό και ευσταθεί οικονομικά. Η κάθαρση πρέπει να πραγματοποιείται με άλλο τρόπο: με σφυριδοτροχό, όλης της σειράς μεγεθών κόκκων και με αιώρημα αλουμίνας κ.ά. ώστε να φτάσουμε σε όσο το δυνατό λεία επιφάνεια. Επομένως, η μηχανική κατεργασία αποβλέπει και στην κάθαρση από τα οξείδια, αλλά και στη λεία επιφάνεια, ώστε να αποφύγουμε αταξίες δομής. Για να πραγματοποιηθεί όσο το δυνατόν πιο λεία επιφάνεια, μετά την απολίπανση, γίνεται ηλεκτρολυτική λείανση. Αυτό γίνεται και για λόγους αισθητικούς, αλλά βασικά για λόγους αντοχής του επιστρώματος.

Η τέλεια κάθαρση της επιφάνειας από τα οξείδια πρέπει να ελεγχθεί, γιατί κάθε ίχνος οξειδίου σχηματίζει τοπικό γαλβανικό στοιχείο, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διάβρωσης, παρά τις μεθόδους προστασίας που έχουν εφαρμοστεί. Η παρουσία οξειδίου δε μπορεί να ελεγχθεί με το μάτι, γιατί το οξείδιο που μένει στην επιφάνεια είναι το FeO που είναι διάφανο και άχρωμο και γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικές μέθοδοι.

2.2 Απολίπανση I.

Πριν την ηλεκτρολυτική λείανση, μεσολαβεί η απολίπανση. Υπάρχει μεγάλος αριθμός μεθόδων, που σε αυτές χρησιμοποιούνται διαλύματα μεγάλου pH, ώστε να σαπωνοποιηθούν τα σαπωνοποιούμενα λίπη, ή και τα διαλυτικά μέσα άλλης κατηγορίας λιπών, διθειάνθρακες κ.ά. Οι τρόποι αυτοί απολίπανσης δεν είναι μερικές φορές αρκετοί και γι' αυτό είναι απαραίτητη η ηλεκτρολυτική απολίπανση. Κατά την ηλεκτρολυτική αυτή απολίπανση γίνεται ηλεκτρόλυση ενός, συνήθως, αλκαλικού διαλύματος. Το ένα ηλεκτρόδιο είναι τα αντικείμενα, που θέλουμε να απολιπάνουμε, και το άλλο, ένα αδρανές ηλεκτρόδιο. Κατά την απολίπανση αυτή πραγματοποιείται και εναλλαγή των πόλων. Για ένα χρονικό διάστημα τα αντικείμενα, για απολίπανση

αποτελούν τον αρνητικό πόλο και για ένα άλλο χρονικό διάστημα, το θετικό. Αυτό γίνεται, γιατί, για τις ακαθαρσίες που σαπωνοποιούνται, απαιτείται έντονο αλκαλικό περιβάλλον και αυτό δημιουργείται στον πόλο, όπου εκλύεται υδρογόνο. Για τις ουσίες που δεν σαπωνοποιούνται, η αθρόα έκλυση υδρογόνου οδηγεί σε μηχανική απομάκρυνσή τους. Ταυτόχρονα όμως, οι ελεύθερες επιφάνειες του μετάλλου μπορούν να απορροφήσουν υδροξόνια και υδρογόνο. Το φαινόμενο αυτό όμως αποτελεί, ένα από τα αίτια ψαθυρής θραύσης ορισμένων κραμάτων, εφ' όσων αρχίσει διάβρωση με βελονισμούς. Τότε αυτό, εύκολα, μπορεί να συμβεί είτε όταν το μέταλλο βρίσκεται σε συνθήκες εξωτερικής μηχανικής καταπόνησης, είτε όταν βρίσκεται σε συνθήκες εσωτερικής μηχανικής καταπόνησης (όταν παρουσιάζει εσωτερικές μηχανικές τάσεις).

Το επόμενο στάδιο είναι τα αντικείμενα να γίνουν θετικός πόλος, για να απομακρυνθεί το υδρογόνο, που απορροφήθηκε. Με τον τρόπο αυτό όμως, οξειδώνεται η ελεύθερη επιφάνεια του μετάλλου και απαιτείται αναγωγή. Για τον λόγο αυτό τα αντικείμενα ξαναγίνονται κάθοδος κ.ο.κ. Αυτό γίνεται αυτόματα με μια συχνότητα πολύ μεγάλη (σε διάστημα ενός λεπτού έχουμε εναλλαγή πόλων 10 - 30 φορές). Στο λουτρό της απολίπανσης αλουμινίου, σιδήρου ή ορείχαλκου τοποθετείται συνήθως ένα σύμπλοκο χαλκού. Έτσι, όταν τα αντικείμενα αποτελούν τον αρνητικό πόλο και αν έχει απολιπανθεί τέλεια η επιφάνεια, αποτίθεται χαλκός. Η μη απόθεση χαλκού σε ορισμένα σημεία αποδεικνύει ότι δεν είναι αρκετή η απολίπανση και πρέπει να την ξανακάνουμε.

2.3 Ηλεκτρολυτική Λείανση.

Μετά την απολίπανση, πραγματοποιείται ηλεκτρολυτική λείανση της επιφάνειας, οπότε τα αντικείμενα τοποθετούνται ως άνοδος και ως κάθοδος χρησιμοποιείται γραφίτης, ανοξειδωτος χάλυβας κ.λπ. Η πυκνότητα ρεύματος πρέπει να είναι τόσο μεγάλη, ώστε να μην έχουμε απλά μια επιτάχυνση της δημιουργίας οξειδίου, αλλά να έχουμε και διάλυσή του ανοδικά. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση των κραμάτων αλουμινίου, το οξειδίό του δημιουργείται με πυκνότητα ρεύματος έως $1,5 \text{ A/dm}^2$. Αν η πυκνότητα ρεύματος είναι πάνω από 6 A/dm^2 , τότε αρχίζει μερική ανοδική διάλυση του δημιουργούμενου οξειδίου. Παρόλα αυτά όμως η οξείδωσή του συνεχίζεται κανονικά. Πάνω από 15 A/dm^2 αρχίζει η λείανση. Ωστόσο, τέλεια λείανση πραγματοποιείται για τιμές πάνω 30 A/dm^2 .

Όταν φθάσουμε σε απόλυτα λεία επιφάνεια, εκεί όπου υπήρχαν ενεργά κέντρα, η διάλυση γίνεται γρηγορότερη, εξαιτίας του ενεργού δρόμου που δημιουργείται από τη διάχυση των ιόντων του μετάλλου σε στερεή κατάσταση. Για να μην συμβεί αυτό τα λουτρά της ηλεκτρολυτικής λείανσης περιέχουν μεγαλομοριακές ουσίες, που αναρροφούνται στα αρχικά ενεργά κέντρα, δημιουργώντας σκέδαση των δυναμικών γραμμών, ώστε η ταχύτητα διάλυσης να μην είναι τόσο μεγάλη. Στη συνέχεια, όταν δημιουργηθεί λεία επιφάνεια αναρροφούνται τα κολλοειδή στα πρώην ενεργά γεωμετρικά κέντρα, προστατεύοντάς τα από περαιτέρω γρήγορη διάλυση. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να επιτύχουμε μια τέλεια κατοπτρική επιφάνεια.

Το επίστρωμα, που θα δημιουργηθεί στη λεία αυτή επιφάνεια θα είναι το ίδιο λείο με αυτήν, χωρίς να παρουσιάζει αταξίες δομής (εφ' όσον δεν παρουσιάζει ούτε

και η επιφάνεια). Αυτό συμβαίνει γιατί στις ηλεκτρολύσεις όταν αποτίθεται ιόν προς ιόν ή όταν δημιουργείται οξείδιο, το επίστρωμα έχει την τάση να “μυμείται” τέλεια την επιφάνεια του μετάλλου. Π.χ. αν η επιφάνεια έχει ενεργά κέντρα δομής τότε και το επίστρωμα θα έχει όμοια κέντρα. Με τη λείανση μικραίνει η προδιάθεση για διάβρωση με βελονισμούς του μετάλλου και του επιστρώματος και η προδιάθεση για ρήξη και αποφλοίωσή του. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι όταν αυτό είναι οικονομικά επιτρεπτό, θα πρέπει να επιδιώξουμε απόλυτα λεία επιφάνεια πριν την επιμετάλλωση.

2.4 Απολίπανση II.

Μετά την ηλεκτρολυτική λείανση ακολουθεί απολίπανση. Ωστόσο, αυτή τη φορά δεν απαιτείται ηλεκτρολυτική απολίπανση, που θα οδηγούσε στην καταστροφή της λείανσης. Το μόνο που χρειάζεται είναι η χρήση ενός διαλυτικού μέσου για τα λίπη και ενός αλκαλικού μέσου.

3. ΤΟ ΕΝΑΠΟΘΕΜΑ

3.1 Γενικά

Ο έλεγχος ενός λουτρού, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, μπορεί να πραγματοποιηθεί από έναν έμπειρο τεχνικό, ο οποίος παρατηρεί την εμφάνιση του εναποθέματος. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να διακρίνει τυχόν θαμπές περιοχές στο εναπόθεμα και να προσδιορίσει άμεσα την ακριβή αιτία του προβλήματος. Για παράδειγμα, όταν παρουσιάζονται κόκκινα εναποθέματα χαλκού, τότε στο λουτρό υπάρχουν μικρές ποσότητες κυανιδίου. Επιπλέον, μετά την αξιολόγηση του προϊόντος της εναπόθεσης, έχει την ικανότητα να προσδιορίσει και στη συνέχεια να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες προσθήκες και αυξομειώσεις στη τιμή έντασης του ρεύματος, ώστε να επιτύχει άμεσα την διόρθωση του προϊόντος. Παρόλο που τέτοιες πρακτικές μέθοδοι είναι αποτελεσματικές σε επείγουσες καταστάσεις, δεν αποτελούν τον καθιερωμένο τρόπο ελέγχου ενός λουτρού. Απλά παρουσιάζει το γεγονός ότι μπορούμε να παράγουμε διαρκώς καλής ποιότητας εναπόθεμα με συνεχή παρατήρηση και διόρθωση.

3.2 Το Περιβάλλον

Το εναπόθεμα προσβάλλεται κυρίως από το άμεσα γειτονικό περιβάλλον της καθόδου, και όχι από την βρομιά που επικάθεται στον πάτο της δεξαμενής ή τη λάσπη (γλίτσα) που προσκολλάται στην άνοδο. Επιπλέον επηρεάζεται από τυχόν αιωρούμενα φορτισμένα σωματίδια καθώς και από τα τοιχώματα της δεξαμενής, όταν αυτά βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από τον χώρο της εναπόθεσης. Με την πάροδο του χρόνου, η επιμετάλλωση μπορεί να εκλύει βρομιά ή γλίτσα, η οποία αιωρούμενη στη δεξαμενή του λουτρού, προσκολλάται στο εναπόθεμα. Ωστόσο, οι συνθήκες που επικρατούν στη κάθοδο είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες από τη σύνθεση του λουτρού καθώς και από τις ανόδους. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο, πανομοιότυπα εναποθέματα είναι δυνατόν να παραχθούν σε λουτρά τα οποία είναι εντελώς

διαφορετικά στις ρυθμίσεις του ρεύματος, της θερμοκρασίας καθώς και της αναταραχής. Επίσης, πανομοιότυπη διανομή ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αλλαγή στην τοποθέτηση της ανόδου και παράλληλη χρήση ειδικών τμημάτων προστασίας (shadows) για να αντισταθμίσουν τη μετατόπιση της ανόδου.

Συνήθως το λουτρό λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οποιοσδήποτε αλλαγές στο διάλυμα και στην άνοδο, αντικατοπτρίζονται άμεσα με αλλαγή στο εναπόθεμα. Μετά από τα παραπάνω, μπορούμε να αναφέρουμε ότι κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η κάθοδος εξαρτάται από τις εκάστοτε αλλαγές στο διάλυμα καθώς και από τον κατάλληλο έλεγχο της ανόδου.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τα παραπάνω σημεία, ας υποθέσουμε ότι ένα λουτρό επιχάλκωσης τύπου Rochelle λειτουργεί στους 140° F. Επίσης, για να επιλύσουμε ορισμένα προβλήματα κατά την εναπόθεση του μετάλλου, χρησιμοποιούμε ένα τύπο κεριού το οποίο μαλακώνει πάνω από τους 125° F. Ελαττώνοντας σταδιακά την ποσότητα του ελεύθερου κυανιδίου και ταυτόχρονα αυξάνοντας την πυκνότητα του ρεύματος, είναι δυνατό να διατηρήσουμε ακριβώς την ίδια ποιότητα εναπόθεσης στους 120° F. Επομένως, θέτοντας νέα όρια ρύθμισης του λουτρού, επιτυγχάνουμε το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα. Τα νέα όρια ωστόσο μπορεί να μην είναι το ίδιο επιθυμητά και αποδεκτά με τα προηγούμενα, γιατί όταν ένα λουτρό λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και με χαμηλότερη περιεκτικότητα ελεύθερου κυανιδίου, τότε υπάρχει περίπτωση η διαλυτότητα της ανόδου να μην είναι το ίδιο ικανοποιητική. Παρ' όλα αυτά, το λουτρό θα μπορέσει να λειτουργήσει τέλεια και με τις κατάλληλες χημικές ρυθμίσεις, είναι εφικτή η επαναφορά των παλαιών ορίων. Γενικά, σχεδόν όλα τα είδη λουτρών είναι δυνατόν να μετατραπούν προσωρινά, με παρόμοιες διαδικασίες.

Όταν ένα λουτρό επινικέλωσης χρησιμοποιείται για την επιμετάλλωση ατσαλιού, είναι συχνά επιθυμητό το λουτρό να λειτουργεί σε χαμηλό pH, καθώς το pH ελέγχεται ευκολότερα σε χαμηλή κλίμακα. Εάν το λουτρό επινικέλωσης πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την επιμετάλλωση καλονπιών χύτευσης ψευδαργύρου, τότε είναι επιθυμητή η λειτουργία του λουτρού σε υψηλό pH, ώστε να μειωθεί ο ρυθμός προσβολής του ψευδάργυρου και επομένως ο ρυθμός μόλυνσης του εναποθέματος. Με τη διοχέτευση διοξειδίου του άνθρακα στο νικέλιο, ώστε να αυξηθεί το pH του λουτρού και με παράλληλη αλλαγή της περιεκτικότητας σε βορικό οξύ και της πυκνότητας του ρεύματος, είναι εφικτή η λήψη ενός ικανοποιητικού εναποθέματος.

Στα λουτρά δεν πρέπει να μεταβάλλονται οι ρυθμίσεις χωρίς προηγουμένως να έχουν γίνει κατάλληλα πειράματα ώστε να προσδιοριστούν οι κατάλληλες αλλαγές που απαιτούνται στα χημικά, στην πυκνότητα του ρεύματος και στη θερμοκρασία. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος, που μπορεί να προκύψει, είναι η μείωση του πεδίου επιμετάλλωσης. Ωστόσο, αν πραγματοποιηθούν δοκιμές και οι αλλαγές στα λουτρά δεν είναι ριζικές, τότε είναι δυνατόν να γίνουν αλλαγές ώστε να επιτευχθούν ειδικού τύπου - απαιτήσεων - επιμεταλλώσεις. Πριν οποιονδήποτε πειραματισμό, πρέπει να γίνεται μια ολοκληρωμένη χημική μελέτη του λουτρού, ώστε να εκτιμηθεί η λειτουργία καθενός συστατικού του και να γίνει εφικτός ο προσδιορισμός των εκάστοτε επιτρεπόμενων αλλαγών. Με τον παραπάνω τρόπο έχει ανακαλυφθεί ότι μερικές αλλαγές δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν. Για παράδειγμα, αν προσπαθήσουμε να λειτουργήσουμε ένα αλκαλικό λουτρό επικασσιτέρωσης σε χαμηλή θερμοκρασία, τότε μπορούμε να ανακαλύψουμε εύκολα ότι η αποδοτικότητα

της ανόδου μειώνεται ραγδαία και ότι δε μπορούμε να μεταβάλλουμε καμμία παράμετρο, του λουτρού, ώστε να επιτύχουμε εναπόθεση κασσιτέρου σε θερμοκρασία δωματίου.

3.3 Ιδιότητες του Εναποθέματος

Η επιστήμη της ηλεκτροεναπόθεσης αποτελεί ένα κλάδο της ηλεκ-τροχημείας. Ακριβώς για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η γνώση της χημείας για την επιτυχημένη δόμηση ενός λουτρού. Ωστόσο, το προϊόν είναι ένα μέταλλο και επομένως ανήκει στο χώρο της μεταλλουργίας.

Οι συνθήκες, κάτω από τις οποίες παράγονται τα μέταλλα με τη διαδικασία της ηλεκτροεναπόθεσης, διαφέρουν κατά πολύ από αυτές των μεθόδων χύτευσης. Για το εναπόθεμα βέβαια ισχύουν όλοι οι νόμοι των μετάλλων. Η θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα στην επιμετάλλωση και στη χύτευση, είναι ότι στην πρώτη διαδικασία, το μέταλλο διαμορφώνεται πολύ αργά και ψυχρά, συγκρινόμενο πάντα με το προϊόν των μεθόδων χύτευσης. Γενικά, το μέγεθος του κόκκου στο εναπόθεμα είναι πολύ μικρότερο από εκείνο των μετάλλων χύτευσης και επομένως είναι αναμενόμενο το εναπόθεμα να έχει τις ιδιότητες των μικρόκοκκων υλικών. Το μέγεθος του κόκκου συχνά είναι τόσο μικρό, που πολλές φορές γίνεται δύσκολο να αναγνωριστεί και να αναλυθεί ακόμα και μετά από μικροσκοπικό έλεγχο. Εξαιτίας αυτού, τα ηλεκτροεναποθέματα είναι παρόμοια με τα μέταλλα χύτευσης, μόνο μετά από πολύ ψυχρή κατεργασία. Τα εναποθέματα πολλές φορές γίνονται άκαμπτα και εύθραυστα, λόγω του εξαιρετικά μικρού μεγέθους του κόκκου. Ωστόσο, οι ιδιότητες αυτές είναι δυνατόν να μεταβληθούν μέσω ειδικής θερμικής κατεργασίας. Επίσης, με αλλαγή της σύνθεσης του λουτρού, μπορούμε να διαμορφώσουμε εύκαμπτα και εύπλαστα εναποθέματα.

Για κάθε εφαρμογή, απαιτούνται συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες του εναποθέματος. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων είναι καλό να μελετήσουμε το μηχανισμό σχηματισμού του εναποθέματος, καθώς οι ιδιότητές του οριοθετούνται από το μηχανισμό αυτό.

Οι καθιερωμένες μέθοδοι μέτρησης, δεν είναι άμεσα προσαρμόσιμες για την εκάστοτε αξιολόγηση ενός εναποθέματος. Οι μέθοδοι πρέπει να εφαρμόζονται σε περιπτώσεις λεπτών ελασμάτων, όπου το εναπόθεμα είναι συνήθως αρκετά λεπτό, καθώς οι ιδιότητες ενός λεπτού εναποθέματος είναι πιθανό να διαφέρουν από εκείνες ενός τεμαχίου μεγάλου πάχους, το οποίο παράχθηκε μερικώς για την πραγματοποίηση δοκιμών. Τα πρώτα επιστρώματα μετάλλου που επικάθονται, παρουσιάζουν συνήθως καλύτερη ποιότητα επιφανείας από τις επόμενες επιστρώσεις. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η αντοχή του δοκιμίου στον εφελκυσμό, μπορεί να μειωθεί, καθώς λεπταίνει το πάχος του επιστρώματος. Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, ένα ξεχωριστό συστατικό, όπως είναι ο γραφίτης ή ένα πολύ λεπτό στρώμα λιπαντικού, είναι απαραίτητο να προστεθεί στη κάθοδο. Επίσης, όταν η κάθοδος γυαλίζεται και καθαρίζεται με διάλυμα μαγνησίου προσεκτικά, χωρίς να χαράσσεται, είναι δυνατόν να απογυμνώσουμε την κάθοδο από το εναπόθεμα. Ωστόσο, όταν ένα εναπόθεμα διαμορφώνεται από μία στιλπνή κάθοδο, είναι σίγουρο ότι θα έχει εξαιρετικότερη επιφάνεια κόκκων από εκείνο που διαμορφώνεται πάνω σε ένα κρυσταλλικό ή όξινα χαραγμένο υπόστρωμα.

Η μεταλλογραφική εξέταση μπορεί να αποκαλύψει κατά πόσο το μέγεθος κόκκου του αποτιθέμενου μετάλλου επηρεάζεται από το μέταλλο “βάσης” (η επιφάνεια που επιμεταλλώνεται). Σε περίπτωση που γίνει εναπόθεση όξινου χαλκού σε καθαρά όξινα χαραγμένο χαλκό, τότε το επίστρωμα έχει την τάση να αναπαραγάγει μέγεθος κόκκου όμοιο με αυτό του υποστρώματος του χυτευμένου χαλκού. Ωστόσο, αν ο όξινος χαλκός αποθεθεί σε στιλπνή - γυαλισμένη επιφάνεια χαλκού (ή οποιουδήποτε άλλου μετάλλου), τότε το εναπόθεμα τείνει να αναπαραγάγει τον πολύ λεπτό κόκκο της ψυχρά επεξεργασμένης βάσης. Καθώς η επιμετάλλωση προχωράει, το μέγεθος του κόκκου αλλάζει συνεχώς έως ότου ένα λεπτό στρώμα εναποθέματος παρουσιάσει κόκκους, οι οποίοι είναι χαρακτηριστικοί του εκάστοτε λουτρού και ανεξάρτητοι από τη μορφή των πρώτων στρωμάτων του μετάλλου.

Αν η διαδικασία της ηλεκτροεναπόθεσης θεωρηθεί ως ένα είδος ψυχρής χύτευσης, είναι αναμενόμενο ότι πολλές από τις ιδιότητες του εναποθέματος δεν θα ανταποκρίνονται σε αυτές των μετάλλων που παράγονται από τις συνήθεις θερμές μεθόδους στο χώρο του χυτηρίου.

3.4 Υπολογισμός του Πάχους Επίστρώματος

Στην ηλεκτρολυτική απόθεση το επίστρωμα πρέπει να έχει ένα ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος, ώστε να είναι δυνατή η προστασία του μετάλλου.

Το πάχος αυτό μπορεί είτε να υπολογιστεί είτε να μετρηθεί απευθείας. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα t , μετά την έναρξη της επιμετάλλωσης, με εφαρμογή του νόμου του Faraday, όπου δίνεται το βάρος του αποτιθέμενου μετάλλου B , συνάρτησε του ποσού του διερχόμενου ρεύματος και του ατομικού βάρους του μετάλλου:

$$B = \frac{M \cdot Q}{n \cdot F} = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{M \cdot i \cdot S \cdot t}{n \cdot F} \quad (1)$$

Επειδή είναι γνωστό το ειδικό βάρος του μετάλλου, βρίσκεται από αυτό ο όγκος του αποτιθέμενου μετάλλου με τον τύπο:

$$B = V \cdot \epsilon \quad (2)$$

όπου

V : ο όγκος του μετάλλου

ϵ : το ειδικό βάρος του μετάλλου.

Λύνοντας ως προς V έχουμε από τον τύπο (2):

$$V = B / \epsilon$$

Εάν η επικαλυπτόμενη επιφάνεια είναι S , τότε το πάχος βρίσκεται από τη σχέση:

$$V = S \cdot h \quad (3)$$

ή

$$h = V / S = B / \varepsilon \cdot S \quad (4)$$

όπου h είναι το πάχος του αποτιθέμενου μετάλλου.

Την επιφάνεια τη βρίσκουμε από τις διαστάσεις του επικαλυπτόμενου αντικειμένου. Αν αυτό είναι για παράδειγμα πλάκα μήκους l και πλάτους d , τότε είναι:

$$S = l \cdot d \quad (5)$$

3.5 Κρυσταλλική Λομή

Η κρυσταλλική δομή των χυτών μετάλλων ελέγχεται ευκολότερα με την μέθοδο της εγχάραξης. Η εξέταση της επιφάνειας του χυτού μετάλλου τις περισσότερες φορές δεν είναι αποκαλυπτική, διότι οι επιδράσεις που προκαλούν στην επιφάνεια η οξείδωση και η ψύξη, δυσκολεύουν την αναγνώριση του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσονται οι κρύσταλλοι. Αντίθετα, μια ηλεκτροεναπόθεση μπορεί να μελετηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια απλή απομάκρυνση της καθόδου από το λουτρό ώστε να γίνει δυνατή η εξέτασή της. Η εξέταση αυτή τις περισσότερες φορές αποκαλύπτει την κρυσταλλική φύση της επιφανείας. Αν το εναπόθεμα, με εξέταση δια γυμνού οφθαλμού, είναι κρυσταλλικό, τότε ονομάζεται “κρυσταλλικό εναπόθεμα”. Αν για να αναγνωρίσουμε την κρυσταλλική φύση του εναποθέματος, είναι απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου, τότε το εναπόθεμα ονομάζεται “εξαιρετικά κρυσταλλικό”. Η εξέταση της επιφανείας, με τη χρήση μικροσκοπίου, είναι δυνατόν να αποκαλύψει ότι το επίστρωμα είναι κρυσταλλικό, με μικρές προεξοχές ή τελείως επίπεδο.

Τα κρυσταλλικά εναποθέματα καθώς και οι μεγάλοι κρύσταλλοι μετάλλων που εμφανίζονται στο λουτρό, είναι χαρακτηριστικά δείγματα καθαρών μεταλλικών αλάτων. Ωστόσο, η προσθήκη δευτερευόντων αλάτων ή ξένων ουσιών στο λουτρό είναι δυνατόν να προκαλέσει διάσπαση της απλής κρυσταλλικής δομής. Κάθε “ακαθαρσία” στο λουτρό επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο το εναπόθεμα. Ορισμένες ενισχύουν την κάθετη ανάπτυξη εναποθέματος στο μέταλλο βάσης προκαλώντας το φαινόμενο του βελονισμού. Μέσω του πειραματισμού αναπτύχθηκαν πρόσθετα για πολλούς τύπους λουτρών ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή τέλεια κρυσταλλικών, στιλπνών και λαμπερών εναποθεμάτων. Οι πρόσθετες αυτές ουσίες αποτελούνται συνήθως από οργανικά συστατικά, κολλοειδείς ουσίες, υλικά αδιαβροχοποίησης και άλατα βαρέων μετάλλων. Μία κατά προσέγγιση ερμηνεία των πρόσθετων ουσιών είναι η ακόλουθη: τα πρόσθετα είναι ουσίες οι οποίες έχουν την ικανότητα να βελτιώνουν την ποιότητα του εναποθέματος όταν προστίθενται σε μικρές ποσότητες στα λουτρά. Αυτός ο ορισμός περιλαμβάνει άλατα, οργανικά και ευγενή μέταλλα. Το κύριο άλας είναι αυτό που δίνει τα ιόντα στο μέταλλο για να επημεταλλωθεί. Γενικά, τα αλκαλικά λουτρά παράγουν σωστά εναποθέματα χωρίς τη χρήση προσθέτων. Παρόλα αυτά η χρήση προσθέτων γίνεται για να δημιουργηθούν στιλπνά εναποθέματα.

Κρίνοντας από το γεγονός ότι το εναπόθεμα θα “αιχμαλωτίσει” μέταλλα, μείγματα μετάλλων, οργανικές ουσίες τότε είναι δυνατόν να αποτελείται από καθαρό μέταλλο, πυκνά διαλύματα, διμεταλλικά μείγματα, δύο ή περισσότερες μεταλλικές φάσεις ή να αποτελείται από μέταλλα και οξειδία, σουλφίδια ή οργανικές ουσίες. Συνήθως, το ποσοστό του οξυγόνου, του θείου και του άνθρακα, σαν συστατικά οργανικών και ανόργανων μειγμάτων, είναι πολύ μικρό σε επί τις εκατό ($\frac{0}{10}$) ή σε επί τις χιλιάδες ($\frac{0}{100}$) αναλογία. Επομένως το εναπόθεμα είναι περίπου 99% καθαρό μέταλλο. Αν υπάρχει και δεύτερο μέταλλο παρόν, το ποσοστό του πρέπει να είναι πολύ μεγάλο για να δημιουργήσει κάποια διαφορά στο εναπόθεμα.

Η κρυσταλλική δομή του εναποθέματος ανήκει στο κρυσταλλικό σύστημα που είναι φυσιολογικό για το μέταλλο. Μερικές φορές, το μέταλλο βάσης επηρεάζει το εναπόθεμα σε τέτοιο βαθμό ώστε η κρυσταλλική δομή να είναι αφύσικη για το συγκεκριμένο μέταλλο. Ηλεκτροεναποθέματα κοβαλτίου και χρωμίου, δείχνουν να εναποτίθενται με τρόπους που δεν παράγονται με μεταλλουργικά μέσα.

3.6 Επανακρυστάλλωση

Εξαιτίας των μικρού μεγέθους κόκκων του μετάλλου ηλεκτροεναπόθεσης, επιβάλλεται επανακρυστάλλωση. Το μέγεθος του επανακρυσταλλομένου κόκκου εξαρτάται από το αρχικό μέγεθος του κόκκου του εναποθέματος. Πολλές φορές ασυνήθιστα αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν από την παρουσία μικρής ποσότητας ακαθαρσιών που μεταφέρονται στα όρια των κόκκων κατά την επανακρυστάλλωση.

3.7 Παραμένουσες Τάσεις

Τα μέταλλα μπορούν να εναποτεθούν κάτω από υψηλή πίεση. Είναι δυνατόν οι δυνάμεις να “εγκλωβιστούν” στην επιφάνεια του μετάλλου και λόγω της σφοδρότητάς της να ξεκολλήσουν το εναπόθεμα από το μέταλλο βάσης. Παρόλο που υπερβολικά μεγάλες παραμένουσες τάσεις δεν είναι φυσιολογικές, για εναποθέματα χρωμίου ή σκληρού νικελίου πολύ υψηλές παραμένουσες τάσεις είναι φυσιολογικές. Για παράδειγμα, αν εναποθέσουμε χρώμιο στη μία πλευρά ενός λεπτού μεταλλικού φύλλου, τότε το φύλλο θα λυγίσει. Αν στη συνέχεια το χρώμιο χαραχθεί όξινά κάτω από συγκεκριμένες - κατάλληλες συνθήκες, οι παραμένουσες τάσεις θα εκτονωθούν και το μεταλλικό φύλλο θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, δηλαδή θα ισιώσει. Οι τάσεις αυτές μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τη σύνθεση του λουτρού και από τις συνθήκες επιμετάλλωσης. Στις πιο συνηθισμένες συνθέσεις λουτρών και σε απλές εφαρμογές, οι τάσεις αυτές δεν προκαλούν μεγάλα προβλήματα. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούνται λεπτά φύλλα μετάλλου προκύπτουν πολλές δυσκολίες. Αν σε ένα μεταλλικό φύλλο γίνει επιμετάλλωση, υψηλών παραμενουσών τάσεων, και στις δύο πλευρές τότε το φύλλο δεν θα λυγίσει γιατί οι δυνάμεις που επενεργούν στο φύλλο είναι ίσες και αντίθετες. Ωστόσο, οι παραμένουσες τάσεις μπορεί να είναι τόσο υψηλές με αποτέλεσμα να σπάσει το μεταλλικό φύλλο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως φαινόμενο “σάντουιτς”, το οποίο συχνά το συγχέουμε με το φαινόμενο της ευθραυστότητας του υδρογόνου.

3.8 Σκληρότητα

Η σκληρότητα του εναποθέματος μπορεί να αλλάξει με τη μεταβολή της πυκνότητας του ρεύματος, της θερμοκρασίας ή του λουτρού. Η σκληρότητα επηρεάζεται από την παρουσία οργανικών ουσιών, ακαθαρσιών και προσθέτων.

Μέταλλο	Τύπος διαλύματος	Αριθμός Brinell	Σκληρότητα κατά Brinell	
			Πήρωξ ενδυναμομένο	Μηχανική Σκλήρυνση
Χρόμιο	Χρωμικό οξύ	400 - 950	70	
Πλατίνα		606 - 642	47	97
Ρόδιο		594 - 641	101	
Παλλάδιο		190 - 196 385 - 435	49	109
Νικέλιο	Εστέρας	125 - 420	70	300
Νικέλιο	Εστέρας με οργανικά κολλοειδή	Έως 550		
Σίδηρος	Εστέρας και χλώριο	140 - 350	69	148
Χαλκός	Όξινος εστέρας με κολλοειδή	40 - 62 έως 130	40	102
Χαλκός	Κυανίδιο	130 - 160		
Ασήμι	Κυανίδιο	60 - 79	25	68
Κάδμιο	Κυανίδιο	12 - 22	20	34
Ψευδάργυρος	Εστέρας	40 - 50	33 - 40	52
Κασσίτερος	Κασσιτερούχ ο	8 - 9	4 - 5	

Το πεδίο τιμών της σκληρότητας φαίνεται στον πίνακα 3 όπως έχει αναφερθεί από τους P. J. Macnaughton και A. W. Hotherhall. Οι τιμές στον πίνακα δείχνουν ότι κατά την επιμετάλλωση μπορούμε να επιτύχουμε τιμές σκληρότητας μεγαλύτερες από αυτές που επιτυγχάνονται με μηχανική σκλήρυνση.

3.9 Εναποθέματα Πολλαπλών Επιπέδων

Μικροσκοπικός έλεγχος της διατομής της επιμετάλλωσης συχνά μπορεί να αποκαλύψει πολλαπλών επιπέδων εναποθέματα. Αυτό οφείλεται στα πρόσθετα, στις ακαθαρσίες ή σε μέταλλα τα οποία δεν ταιριάζουν με την κρυσταλλική δομή. Μια συνθήκη σαν κι αυτή μπορεί να παραχθεί με την προσθήκη μολύβδου σε λουτρό

κυανιούχου χαλκού. Ο μόλυβδος δεν προσαρμόζεται στην κρυσταλλική δομή του χαλκού με αποτέλεσμα ιόντα μολύβδου να αναπτύσσονται γύρω από την κάθοδο. Αφού αρκετή ποσότητα χαλκού εναποτεθεί για να μειωθεί η συγκέντρωση κοντά στην κάθοδο, ο μόλυβδος εναποτίθεται σε στρώματα. Ακόμα ένα στρώμα χαλκού εναποτίθεται στο στρώμα μολύβδου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Μικρές ποσότητες μολύβδου δίνουν λάμψη στο εναπόθεμα του χαλκού, ενώ μεγαλύτερες ποσότητες προκαλούν υποδεέστερες επιμεταλλώσεις.

1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ

1.1 Γενικά

Είναι γνωστό ότι οι συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια, μπορούν να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό την αντοχή διαφόρων υλικών. Η αντοχή των επιμεταλλωμένων υλικών έχει βρεθεί πολλές φορές ενισχυμένη, συγκρινόμενη με αυτή των καθαρών μετάλλων. Τα αποτελέσματα της αυξημένης αντοχής συνοδεύονται από ρωγμές πριν ή και κατά την διάρκεια της παραμόρφωσης. Τα ριγγματα στα επιστρώματα οφείλονται σε αυξημένη πυκνότητα διαταραχών στην επιφάνεια του υποστρώματος. Η καταστροφή αυτή λόγω των παραμενουσών τάσεων στο επίστρωμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Η αυξημένη αντοχή των επιμεταλλωμένων υλικών οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- ✘ Το επίστρωμα δρα ως φράγμα στην κίνηση των διαταραχών από το υπόστρωμα στο επίστρωμα.
- ✘ Η αύξηση των διαταραχών από διάφορες πηγές του επιστρώματος, αναστέλλεται.
- ✘ Οι διαταραχές, που παράγονται στο υπόστρωμα, εμποδίζονται να πλησιάσουν στην επιφάνεια του επιστρώματος από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης κατά την παραμόρφωση.
- ✘ Η κίνηση των διαταραχών εμποδίζεται από το επίστρωμα, όταν αυτό έχει μεγαλύτερο συντελεστή διάτμησης από αυτόν του υποστρώματος.

1.2 Αντοχή Επιστρώματος

Ο κύριος μηχανισμός ο οποίος περιγράφει την ικανότητα της επιμετάλλωσης να εμποδίζει την πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου βάσης, όπως και ο τρόπος με τον οποίο ολισθαίνει σε αυτό, δεν είναι γνωστός. Φαίνεται όμως ότι η μηχανική αντοχή και η συνοχή του επιστρώματος με το υπόστρωμα αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες. Οι πιθανοί τρόποι, με τους οποίους μπορεί να συμπεριφερθεί το αποτιθέμενο στρώμα μετάλλου κατά τη διάρκεια της πλαστικής παραμόρφωσης, είναι:

- a) Διάτμηση
- b) Όλκιμη θραύση
- c) Αποκόλληση του επιστρώματος σε περιοχή όπου στο υπόστρωμα υπάρχει επίπεδο ολίσθησης.

Μια θεωρία, αναφέρει ότι η ολίσθηση μπορεί να λάβει χώρα μεταξύ δύο κρυστάλλων, όταν ο σχετικός προσανατολισμός των δύο κρυστάλλων και κάτω από τις ίδιες συνθήκες σχηματισμού. Στην πραγματικότητα όμως λαμβάνει χώρα πολλαπλή ολίσθηση στα όρια των κόκκων, όπου η διατμητική τάση έχει μέγιστη τιμή.

Παρόλο που πολλά επιστρώματα έχουν καλή συνάφεια με τα υποστρώματα, αυτά υφίστανται διάτμηση ή όλκιμη θραύση κατά την παραμόρφωση.

1.3 Παραμένουσες Τάσεις

Είναι γνωστό ότι τα ηλεκτρολυτικά επιστρώματα υποφέρουν από παραμένουσες τάσεις. Οι τάσεις αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντοχή των επιμεταλλωμένων υλικών.

Για τις ηλεκτρολυτικές επιμεταλλώσεις δεν έχει γίνει ανάλυση για το πρόβλημα των παραμενουσών τάσεων εκτός από λίγα θεωρητικά μοντέλα.

Η θεωρία η οποία επικρατεί, αναφέρει ότι η ύπαρξη των παραμενουσών τάσεων αποδίδεται σε δύο αντίθετες δυνάμεις οι οποίες δρουν στην διεπιφάνεια μεταξύ επιστρώματος και υποστρώματος. Οι αντίθετες αυτές δράσεις είναι ότι από την μία ο κρύσταλλος τείνει να αποκτήσει τη δομή του υποστρώματος και από την άλλη τη δική του δομή. Οι διαταραχές στην διεπιφάνεια προκαλούν ελαστικές παραμορφώσεις οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις τάσεις.

Παρόλο που οι ατέλειες στα πλέγματα είναι σημαντικές στα πολύκρυσταλλικά επιστρώματα, οι γνώσεις για το πρόβλημα των παραμενουσών τάσεων είναι λίγες.

1.4 Επίδραση του Ρυθμού Παραμόρφωσης

Ο ρυθμός παραμόρφωσης είναι ένα σημαντικό στοιχείο στη μελέτη της αντοχής των υλικών. Ο παράγοντας αυτός έχει βαρύνουσα σημασία στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Υπό διαφορετικούς ρυθμούς παραμόρφωσης, σε σταθερή θερμοκρασία, η μηχανική συμπεριφορά ποικίλει. Για πολλά υλικά η αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης αυξάνει την αντοχή τους λόγω του ότι οι διαταραχές δεν προλαβαίνουν να μεταδοθούν. Εάν το αρχικό μήκος του δοκιμίου είναι l_0 και αυτό του παραμορφωμένου είναι l , τότε ο ρυθμός παραμόρφωσης είναι:

$$\frac{d(l-l_0)/l_0}{dt}$$

Ο ρυθμός παραμόρφωσης είναι παντού ο ίδιος, αν η παραμόρφωση είναι ομοιόμορφη, σε όλο το μήκος του δοκιμίου, ενώ, αν αυτή είναι ανομοιόμορφη οι παραμορφώσεις ποικίλουν κατά το μήκος του δοκιμίου.

Πολλά υλικά μεταφέρουν στο περιβάλλον τους θερμότητα όταν βρίσκονται κάτω από συνθήκες αργής παραμόρφωσης. Η ροή των τάσεων, που απαιτείται για τη συνέχεια της πλαστικής παραμόρφωσης, εξαρτάται μόνο από την παραμόρφωση και το ρυθμό: $\sigma = \sigma(\epsilon, \dot{\epsilon})$.

Για υψηλούς ρυθμούς παραμόρφωσης, οι γεωμετρικές μεταβολές δε συνοδεύονται από μεταφορά θερμότητας. Λόγω της υψηλής ταχύτητας, η θερμότητα του υλικού αυξάνει μεταβάλλοντας τις ιδιότητες του υλικού.

Τέλος, άλλο ένα φαινόμενο του υψηλού ρυθμού παραμόρφωσης είναι η εμφάνιση διατμητικών ζωνών σ' ένα μικρό όγκο του δοκιμίου. Το σημείο λαιμού θερμαίνεται και εξασθενίζουν οι δεσμοί στο σημείο αυτό σε σχέση με την υπόλοιπη μάζα του υλικού. Έτσι, η παραμόρφωση συνεχίζει να αυξάνει πιο πολύ στο σημείο εκείνο όπου πλέον το δοκίμιο αρχίζει να λιώνει και τελικά επέρχεται θραύση.

1.5 Συμπεριφορά Επίστρωμάτων στην Πλαστική Παραμόρφωση

Η πλειονότητα των μεταλλικών επιστρωμάτων χαρακτηρίζεται από την τάση να σχηματίζουν ρωγμές ή διατμήσεις κατά την παραμόρφωση. Συγκεκριμένα εμφανίζουν ρωγμές στο επίστρωμα, λόγω εφαρμογής εξωτερικών τάσεων, και συνήθως κάθετα στον άξονα φόρτισης. Η πυκνότητα και η συγκέντρωση των ρωγμών στο επίστρωμα αυξάνει με την αύξηση της παραμόρφωσης. Η φόρτιση αυξάνει την πυκνότητα των διαταραχών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών στην επιφάνεια. Οι διαταραχές αυτές κινούνται προς την επιφάνεια, ανακουφίζοντας σταδιακά το επίστρωμα από τις παραμένουσες τάσεις. Οι περιοχές υψηλής πυκνότητας δεν είναι πάντα παράλληλες στις περιοχές ύπαρξης των επιπέδων ολίσθησης και αυτό συμβαίνει σε μερικά επιστρώματα τα οποία δεν εμφανίζουν ρωγμές αυθόρμητα.

Η καταστροφή της επιφάνειας, είτε από θραύση του επιστρώματος είτε λόγω παραμόρφωσης, αναμένεται ως αποτέλεσμα της μειωμένης αντοχής. Η γέννηση νέων διαταραχών σε διάφορα συστήματα ολίσθησης δημιουργεί κόμβους διαταραχών κοντά στην επιφάνεια. Το ρήγμα έχει την τάση να διαδοθεί βαθύτερα προς το υπόστρωμα.

Η διάδοση προκαλείται από κίνηση των διαταραχών οι οποίες συσσωρεύονται στους κόμβους προκαλώντας μεγάλες συγκεντρώσεις τάσεων. Το αποτέλεσμα είναι η αστοχία του υλικού.

1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ

Τα μεταλλικά επιστρώματα βρίσκουν εφαρμογές σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας. Οι κυριότερες περιοχές χρήσης τους είναι στην:

Ηλεκτροτεχνία και ηλεκτρονική, για την κατασκευή επαφών, αντιστάσεων, φωτοκυττάρων, φωτοανιχνευτών, υπεραγωγίων υλικών, διαφανών επικαλύψεων, σε θερμικά κάτοπτρα κ.ά.

Χημική τεχνολογία, για κατασκευή πλακών ηλεκτρικών συσσωρευτών, κεραμικών υψηλής συνεκτικότητας, καταλυτών.

Μηχανολογία, για ανάπτυξη επιφανειών λίπανσης ανθεκτικών στην τριβή και φθορά, για επιφάνειες μεγάλης σκληρότητας όπως κοπτικά εργαλεία κ.λπ.

Διακοσμητικές τέχνες, όπως οι λαμαρίνες, τα μεταλλικά έπιπλα, τα κοσμήματα, οι προφυλακτικές αυτοκινήτων, τα οικιακά σκεύη.

Οπτική, για κατασκευή ανακλαστικών επιφανειών κατόπτρων αυτοκινήτων, επιφανειών οι οποίες απορροφούν εκλεκτικά τις ηλιακές ακτινοβολίες.

Τέλος, οι επιμεταλλώσεις χρησιμοποιούνται στην **Τεχνολογία τροφίμων**, στην **Πυρηνική τεχνολογία**, ενώ βρίσκουν εφαρμογή και στην **Ιατρική** για την κατασκευή καρδιακών βαλβίδων και διαφόρων τεχνικών οργάνων.

2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΚΑΔΜΙΩΣΗΣ

- ❖ Οι ποικίλες εφαρμογές της επικαδμίωσης στηρίζονται στην ιδιότητα του καδμίου να προστατεύει σε εξαιρετικό βαθμό τα σιδηρούχα υλικά από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το κάδμιο είναι, από ηλεκτροχημική άποψη, ανοδικό σε σχέση με το σίδηρο, οι επικαδμιωμένες επιφάνειες σιδηρούχων εξαρτημάτων προστατεύονται ακόμα και όταν επέρχεται τοπικά φθορά ή ανάλωση της επικάλυψης του καδμίου.
- ❖ Το κάδμιο χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες μέχρι τους 500° F. Τα επικαδμιωμένα τμήματα από χάλυβες υψηλής αντοχής που θα υποβληθούν σε μεγάλα φορτία, δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 450° F.
- ❖ Το κάδμιο σπάνια εναποτίθεται σε άλλες επιστρώσεις. Σε ειδικές εφαρμογές έχει αποθεθεί επιτυχώς σε ψευδάργυρο, χαλκό και νικέλιο.
- ❖ Το κάδμιο μπορεί να αποθεθεί σε ανοξειδωτους χάλυβες και κράματα χρωμίου-νικελίου αντοχής σε θερμότητα, αν το μέταλλο βάσης προηγουμένως

ενεργοποιηθεί και αποκτήσει λεπτό στρώμα νικελίου σε λουτρό υδροχλωρικού οξέως-χλωριούχου νατρίου.

- ◇ Η επικαδμίσωση του χυτοσιδήρου γίνεται δύσκολα λόγω της μικρογραφικής τους δομής. Στην εφαρμογή το κάδμιο υπερτερεί του ψευδαργύρου.
- ◇ Σπανιότατα το κάδμιο χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για άλλα μέταλλα, αφού εμφανίζει μικρή αντίσταση στη διάβρωση σε σχέση με τις περισσότερες των χημικών ενώσεων.
- ◇ Ως σημαντική, από την άποψη των εφαρμογών, ιδιότητα αναφέρεται και η “φυσική λίπανση” που παρέχει στις επικαλυμμένες επιφάνειες. Η ιδιότητα αυτή προκύπτει ως συνέπεια του γεγονότος ότι ο τυχόν σχηματισμός αλάτων-οξειδίων, προϊόντων διάβρωσης, δεν είναι μεγάλος και ογκώδης με αποτέλεσμα τη μη εμφάνιση διαστατικών διαφορών – μεταβολών στις επικαδμιωμένες επιφάνειες.
- ◇ Οι δύο παραπάνω ιδιότητες θεωρούνται “υπεύθυνες” για την τόσο ευρεία χρησιμοποίηση του καδμίου σε κινούμενα εξαρτήματα καθώς και σε απάρτια με σπείρωμα.
- ◇ Σημαντικές ιδιότητες του καδμίου σε σχέση με τις χρήσεις του θεωρούνται τόσο η εξαφρετική αγωγιμότητά του, όσο και η μικρή αντίστασή του σε επαφή. Επομένως οι υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις (soldering) μπορούν να πραγματοποιηθούν με την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιηθούν μη διαβρωτικές πάστες (συλλυψάσματα) σε επικαδμιωμένα εξαρτήματα.
- ◇ Επίσης επικαδμιωμένα ατσάλινα τεμάχια μπορούν να διαμορφωθούν εύκολα ως αποτέλεσμα της ολκιμότητας για την οποία χαρακτηρίζεται το κάδμιο.
- ◇ Σε σύγκριση με τον ψευδάργυρο δίνει ίδια προστασία. Ο ψευδάργυρος υπερτερεί στις βιομηχανικές περιοχές, ενώ το κάδμιο στις παραθαλάσσιες. Στις υπόλοιπες περιοχές παρέχουν ακριβώς την ίδια προστασία παρουσιάζοντας παραπλήσια προϊόντα ατμοσφαιρικής οξείδωσης
- ◇ Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι όσα αναφέρθηκαν και αφορούν τις σιδηρούχες μεταλλικές επιφάνειες ισχύουν και για εξαρτήματα από αλουμίνιο ή χαλκό, όπου η επικαδμίσωση έχει μεγάλο πεδίο εφαρμογών.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΧΡΩΜΙΩΣΗΣ

Η διακοσμητική επιχρωμίωση χρησιμοποιείται σε εξαρτήματα όπου κυρίως για λόγους αισθητικής απαιτείται να εμφανίζονται απαστράπτοντα (λαμπρά). Επίσης, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί τον κύριο αντικειμενικό σκοπό της διακοσμητικής επιχρωμίωσης, είναι δυνατόν να επιτευχθεί παράλληλα και προστασία από τη διάβρωση. Αυτό είναι εφικτό μόνο εφ’ όσον γίνει κατάλληλη επιλογή του υποστρώματος – που μεσολαβεί μεταξύ της επιφάνειας του εξαρτήματος και του

στρώματος του χρωμίου – σε συνδυασμό με τη σύσταση του ηλεκτρολυτικού λουτρού.

Η σκληρή επιχρωμίωση χρησιμοποιείται κυρίως για την επέκταση / επιμήκυνση του ορίου της “λειτουργικής ζωής” ποικίλων μηχανουργικών εξαρτημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται, αφού τα επιχρωμιωμένα εξαρτήματα εμφανίζουν αυξημένη αντίσταση σε φθορά, σε απόξεση, σε διάβρωση γενικά και στη θερμότητα.

Συγκεκριμένες εφαρμογές είναι οι εξής:

Τα ελατήρια πιστονιών εμβολοφόρων κινητήρων αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής σκληρής επιχρωμίωσης για προστασία από φθορά. Το όριο της λειτουργικής ζωής ποικίλων αξόνων μετάδοσης κίνησης αυξάνεται με την επιχρωμίωση. Ένας μεγάλος αριθμός εργαλείων προστατεύεται από τη φθορά λόγω τριβής ή κρούσης με επικάλυψη χρωμίου. Χαλύβδινες μήτρες χύτευσης πλαστικών προστατεύονται από τη διάβρωση και τη φθορά λόγω χρήσης, αν επιχρωμιωθούν. Επιπλέον, η επιφάνεια των πλαστικών χυτών είναι καλύτερης ποιότητας (είναι δηλαδή περισσότερο λείες και ομαλές).

Ως η πλέον ευρεία εφαρμογή της σκληρής επιχρωμίωσης θεωρείται η διάσωση εξαρτημάτων, η αποκατάσταση δηλαδή των διαστάσεων απαρτίων, τα οποία είτε λόγω χρήσης υπέστησαν φθορά είτε εξαιτίας λανθασμένης μηχανουργικής κατεργασίας εμφανίζουν λειτουργικές ατέλειες. Ως χαρακτηριστική εφαρμογή του είδους αυτού αναφέρεται η αποκατάσταση των αρχικών διαστάσεων φθαρμένων επιφανειών αξόνων νηζελομηχανών ή εμβολοφόρων αεροσυμπιεστών. Επίσης, χαρακτηριστικές εφαρμογές είναι οι περιπτώσεις επιχρωμίωσης για την αποκατάσταση των διαστάσεων δίσκων ρότορα αεροκινητήρων μετά από εσφαλμένη μηχανουργική κατεργασία.

Η πορώδης επιχρωμίωση είναι είδος βαριάς επιχρωμίωσης, παχύτερης από 0,1 mm, που χρησιμοποιείται στους κινητήρες ντήζελ και άλλους κινητήρες εσωτερικής καύσης για συγκράτηση ελαίου και για καλύτερες συνθήκες “ρονταρίσματος”. Επιτυγχάνεται με χημική διάβρωση ή κατά άλλον τρόπο με τράχυνση της επιχρωμιωμένης επιφάνειας που ακολουθείται από λείανση ή στίλβωση πριν από την χρήση.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΤΕΥΧΑΡΓΥΡΩΣΗΣ

Ο γαλβανισμός προσφέρει εξαιρετική αντιδιαβρωτική προστασία στον χάλυβα και μάλιστα με σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων επικάλυψης, που έχουν τον ίδιο σκοπό. Η ευρεία διάδοσή της οφείλεται και στην καθοδική προστασία που προσφέρει σε πολλά αντικείμενα (όσον αφορά στις διαστάσεις τους).

Επίσης, οι λύσεις που προσφέρονται σε πολλά προβλήματα και οι τεχνολογικές βελτιώσεις που επιδέχεται ο κλασικός γαλβανισμός, κάνουν τη μέθοδο έξυπνη, ευέλικτη και εφαρμόσιμη σε περιπτώσεις που ο χάλυβας δεν αποτελούσε λύση από μόνος του.

Ειδικότερα, ο γαλβανισμένος χάλυβας χρησιμοποιείται σε χημικές βιομηχανίες, όπου μπορεί να έρθει σε επαφή – χωρίς δυσάρεστες συνέπειες – με οργανικές ενώσεις (εντομοκτόνα, λιπάσματα, καύσιμα, κ.α.), σε διάφορα βιομηχανικά περιβάλλοντα και θερμοκρασίες. Ακόμα, σε κατασκευές για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας (για προστασία από διάβρωση), σε εγκαταστάσεις συσκευασίας και επεξεργασίας τροφίμων και ποτών και γενικά όπου η υγιεινή παίζει πρωτεύοντα ρόλο. Διαδεδομένη είναι και η χρήση γαλβανισμένου χάλυβα σε σταθμούς αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους όπου επικρατεί ατμόσφαιρα επιβαρημένη με καυσαέρια. Γενικά, η αντοχή τους σε κρούση και τριβή είναι μεγαλύτερη από το μαλακό χάλυβα. Οι σιδηρόδρομοι και οι σχετικές κατασκευές, οι οροφές αθλητικών χώρων, οι γέφυρες, οι σιδερένιες και χαλύβδινες κατασκευές εργοστασίων και υποβρυχίων έργων αποτελούν επίσης πεδία εφαρμογών της επιψευδαργύρωσης.

Ο θερμός γαλβανισμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παρασκευή βιομηχανικών και οικιακών συσκευών, όταν απαιτείται ισχυρή επίστρωση του μετάλλου. Αντίθετα ο ηλεκτρολυτικός γαλβανισμός απαιτείται όταν υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές ως προς τις διαστάσεις των προς επιμετάλλωση υλικών. Επίσης, σε μικρές κατασκευές παρουσιάζει ενδιαφέρον λόγω του χαμηλού κόστους σε σύγκριση με το θερμό γαλβανισμό.

Τέλος είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ετήσια κατανάλωση ψευδαργύρου φθάνει τους 150 τόννους.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΧΑΛΚΩΣΗΣ

Η επιχάλκωση χρησιμοποιείται ευρύτατα προς αποτροπή της ένανθράκωσης του χάλυβα σε ορισμένα μέρη. Μπορεί να επιχάλκωθεί ολόκληρο το αντικείμενο και στη συνέχεια να αποξεστεί η επιμετάλλωση από τις περιοχές που πρέπει να σκληρυνθούν.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΑΡΓΥΡΩΣΗΣ

Η επαργύρωση εφαρμόζεται σε επιτραπέζια σκεύη, όπως προύνια, κουτάλια, μαχαιρία και δίσκους, στην κατασκευή προβολέων, μουσικών και χειρουργικών οργάνων και σε ηλεκτρικές επαφές. Έχει επίσης χρησιμοποιηθεί και σε έδρανα μηχανών.

7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΧΡΥΣΩΣΗΣ

Η ευρύτερη χρήση της επιχρύσωσης γίνεται στην κοσμηματοποιία και σε θήκες ωρολογίων.

Μερικές εφαρμογές των επιμεταλλώσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

<i>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ</i>	
<i>Χρήση</i>	<i>Επιμεταλλώσεις με</i>
Τμήματα Μπαταριών	Μόλυβδος Μόλυβδος – Κασσίτερος
Ρουλεμάν	Ασήμι και κράματά του κράματα Μολύβδου κράματα Κασσιτέρου
Φθαρμένα εξαρτήματα	Χρόμιο Νικέλιο Σίδηρος
Δοχεία (για τρόφιμα) (χημικά και λάδια)	Κασσίτερος Μόλυβδος Μόλυβδος – Κασσίτερος
Ηλεκτρικές επαφές	Ασήμι Ασήμι – Ρόδιο Χρυσός
Ηλεκτροδιαμόρφωση (γενικά)	Χαλκός (οξέα)
(φύλλα)	Νικέλιο Σίδηρος Χαλκός
(σωλήνες)	Νικέλιο Νικέλιο
Ηλεκτρονικός εξοπλισμός	Ασήμι Ασήμι – Ρόδιο
Εργαστηριακός εξοπλισμός	Ασήμι Χρυσός Νικέλιο (πάνω σε επιχάλκωση)
Μουσικά όργανα	Ασήμι Χρυσός

<i>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΝ</i>	
<i>Χρήση</i>	<i>Επιμεταλλώσεις με</i>
Βίδες και Παξιμάδια	Μόλυβδος Ψευδάργυρος Κάδμιο Νικέλιο
Χρυσafικά	Ασήμι Χρυσός Ρόδιο Νικέλιο
Ανακλαστήρες (γενικά)	Κοβάλτιο Βερνίκι σε Ασήμι Χρώμιο
Ανακλαστήρες (υπερύθρων)	Χρυσός
Καλώδια (ατσάλινα) (χάλκινα)	Ψευδάργυρος Κασσίτερος

1. ΕΠΙΧΑΛΚΩΣΗ

1.1 Γενικά

Πολλές φορές είναι σημαντικό, πριν την επιμετάλλωση των απαρτίων να γίνεται επιχάλκωση. Αυτό εφαρμόζεται για χάλυβα, ορείχαλκος, άργυρο κλπ. Η επιχάλκωση προϋποθέτει ένα λουτρό, που περιέχει ιόντα χαλκού, ένα ανοδικό ηλεκτρόδιο από χαλκό και το καθοδικό ηλεκτρόδιο το οποίο είναι το προς επιχάλκωση αντικείμενο. Η επιμετάλλωση των κραμάτων σιδήρου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από όξινο λουτρό, γιατί γίνεται αυτόματη αντικατάσταση του σιδήρου από χαλκό: διάλυση σιδήρου και απόθεση χαλκού. Η απόθεση αυτή δεν γίνεται με ελεγχόμενες συνθήκες και οδηγεί σε κακό επίστρωμα. Γι' αυτό, στην περίπτωση σιδήρου, πρέπει το λουτρό επιχάλκωσης να είναι αλκαλικό (σύμπλοκα κυανιούχα). Δύο συνήθειες συνθέσεις αλκαλικών λουτρών επιχάλκωσης φαίνονται στον πίνακα 1.

Ουσίες	g/l	g/l
CuCN	22,5	26
NaCN	30	35
Na ₂ CO ₃	10	30
KNaC ₄ H ₄ O ₆ 4H ₂ O	-	45
NaOH	-	μέχρι pH 12,6
Θερμοκρασία	30° – 40° C	50° – 80° C
Πυκνότητα ρεύματος	0.3 – 0.5 A/dm ²	2 – 6 A/dm ²

Πίνακας 1

Εκείνο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα στις επιμεταλλώσεις είναι να σχηματιστεί ο πυκνός μζοκρύσταλλος ανάμεσα στα δύο μέταλλα και ο χαλκός να αποτίθεται με ταχύτητα ίση προς την ταχύτητα κρυστάλλωσής του. Αν η πυκνότητα ρεύματος είναι μικρή ο μζοκρύσταλλος που σχηματίζεται είναι αραιός και η συνάφεια των δύο μετάλλων είναι μικρή. Αν η πυκνότητα του ρεύματος είναι μεγάλη, τα ιόντα χαλκού που αποτίθενται δεν προφταίνουν να ταξινομηθούν στις θέσεις που προβλέπονται από το κρυσταλλικό του πλέγμα. Έτσι ο χαλκός αποτίθεται ως άμορφος. Άρα υπάρχει ένα χαμηλό όριο πυκνότητας ρεύματος που κάτω από αυτό δεν υπάρχει συνάφεια ανάμεσα στα δύο μέταλλα. Ομοίως υπάρχει και ένα υψηλό όριο πάνω από το οποίο δεν πραγματοποιείται καλή κρυστάλλωση. Εκτός από αυτό το στρώμα του χαλκού δεν θα πρέπει να είναι πορώδες. Θα πρέπει δηλαδή οι κρύσταλλοι του χαλκού να είναι προσανατολισμένοι. Αποδείχτηκε ότι, αν αποτεθεί ηλεκτρολυτικά χαλκός, σε όξινο λουτρό, σε οποιαδήποτε αγωγίμη επιφάνεια, πάνω από ορισμένο πάχος, παρουσιάζεται μια αύξηση της σκληρότητας παράλληλα με την αύξηση του προσανατολισμού των κόκκων στην επιφάνεια του μετάλλου. Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται σε αλκαλικό λουτρό. Επομένως αν θέλουμε το επίστρωμα σε σίδηρο να έχει μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση κάνουμε μια μικρού πάχους απόθεση χαλκού από αλκαλικό λουτρό και συνεχίζουμε την απόθεση χαλκού από όξινο λουτρό.

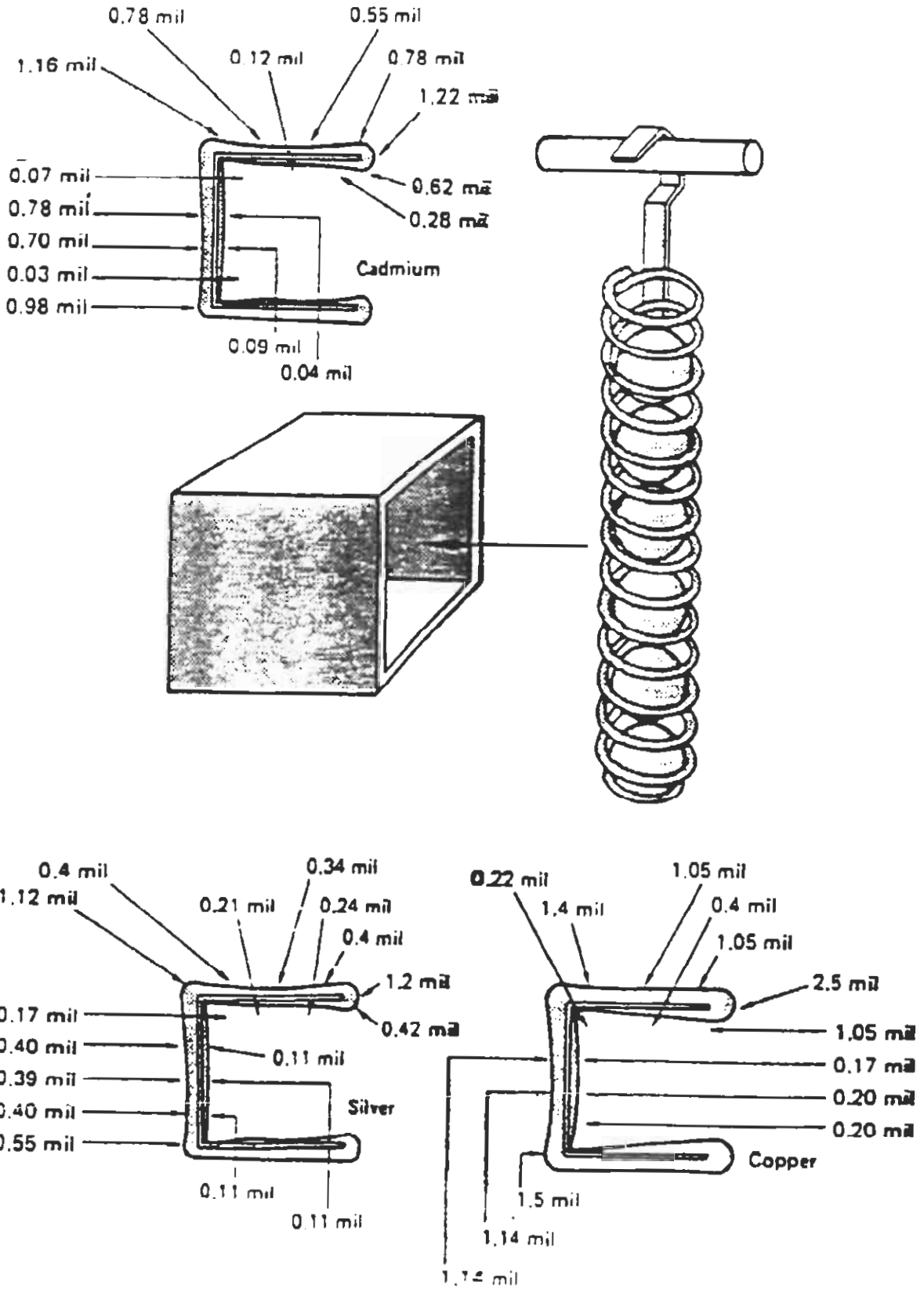
Μετά την επιχάλκωση ακολουθεί ελαφρή λείανση με τροχούς από ύφασμα και κατάλληλες αλοιφές γιατί ο χαλκός όταν έρθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα, οξειδώνεται. Στη συνέχεια ακολουθεί κατεργασία με διαλυτικά μέσα για την απομάκρυνση των λιπαρών ουσιών των αλοιφών. Αυτά αποφεύγονται αν τα αντικείμενα που επιχάλκωθηκαν τοποθετηθούν απευθείας από το λουτρό επιχάλκωσης στο λουτρό επινικέλωσης μετά από πλύσιμο σε νερό. Η απόδοση του ρεύματος είναι 30 – 70 % , ανάλογα με την πυκνότητα ρεύματος.

2. ΕΠΙΚΑΔΜΙΩΣΗ

2.1 Γενικές Αρχές

Η επικαδμίωση αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο επικάλυψης μεταλλικών επιφανειών. Η εναπόθεση του καδμίου πραγματοποιείται ηλεκτρολυτικά, η ευρεία της δε χρήση στηρίζεται στην ιδιότητα του καδμίου να προστατεύει ικανοποιητικά από τη διάβρωση τις σιδηρούχες επιφάνειες.

Η επικαδμίωση επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κυανιούχων διαλυμάτων. Τα διαλύματα αυτά παρασκευάζονται με διάλυση κυανιούχων αλάτων (κυανιούχου νατρίου) σε απιονισμένο νερό, στο οποίο έχουν προστεθεί οξείδιο του καδμίου, καυστικό νάτριο και ανθρακικό νάτριο. Το κυανιούχο νάτριο είναι ουσία που ουσιαστικά δημιουργεί την αγωγιμότητα στο διάλυμα και κάνει δυνατή τη χημική προσβολή των ανόδων του καδμίου. Το προς επιμετάλλωση εξάρτημα τοποθετείται στην κάθοδο ενώ ως άνοδος χρησιμοποιούνται μεταλλικές σφαίρες καδμίου καθαρότητας 99,9%. Οι σφαίρες αυτές του καδμίου τοποθετούνται συνήθως μέσα σε χαλύβδινους κλωβούς σπειροειδούς μορφής (σχήμα 1). Οι συμβατικές δεξαμενές επικαδμίωσης κατασκευάζονται από χάλυβα οι οποίες καλύπτονται εσωτερικά από πλαστική επένδυση. Το ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται από μια εξωτερική πηγή μέσω ενός ανορθωτή. Μια συμβατική δεξαμενή επικαδμίωσης είναι απαραίτητα εφοδιασμένη με διάταξη ανάδευσης με εμφύσηση αέρα καθώς επίσης και με διάταξη εξαερισμού και απαγωγής των παραγομένων αναθυμιάσεων.



Σχήμα 1

Σε περιπτώσεις που απαιτείται να γίνει επιλεκτική επιμετάλλωση σε τμήματα ή περιοχές εξαρτήματος, πρέπει να γίνει χρήση υλικών κάλυψης ή υλικών “μασκαρίσματος” των αποκλειομένων από την επιμετάλλωση περιοχών. Τέτοια υλικά είναι πλαστικά πάματα, βιομηχανικά κεριά, πλαστικές ταινίες κ.ά. Αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για τη σωστή και επιτυχή εκτέλεση μιας επικαδμίωσης θεωρούνται οι εξής:

- Πριν από την έναρξη της επιμετάλλωσης είναι απαραίτητο να έχουν ολοκληρωθεί: η διαμόρφωση με μηχανικά μέσα, η θερμική κατεργασία και οι παντός είδους συγκολλήσεις.
- Πριν από την επικαδμίωση οι διαστάσεις των τεμαχίων πρέπει να έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε με την προσθήκη του στρώματος του καδμίου να έχουμε τις τελικές επιθυμητές και προδιαγραφόμενες διαστάσεις.
- Οι ηλεκτρικές επαφές μεταξύ τεμαχίων και ηλεκτρικής πηγής πρέπει να εξασφαλίζουν την μη εμφάνιση ηλεκτρικού τόξου ή την πρόκληση υπερθέρμανσης και
- Το κάδμιο πρέπει να εναποτίθεται απευθείας πάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου, χωρίς δηλαδή να παρεμβληθεί άλλο ενδιάμεσο στρώμα.

Εξαιρέση του κανόνα αυτού έχουμε στις περιπτώσεις που το βασικό μέταλλο είναι κράμα ανθεκτικό σε οξείδωση, οπότε χρειάζεται να προηγηθεί επινικέλωση ή επαλάκωση, καθώς επίσης και όταν το βασικό μέταλλο είναι αλουμίνιο, οπότε χρειάζεται να προηγηθεί επιψευδαργύρωση. Διακρίνουμε τέσσερις μεθόδους εφαρμογής:

- Θερμό – Βαθύ γαλβάνισμα (επιψευδαργύρωση)
- Θερμό γαλβάνισμα
- Ηλεκτρολυτική απόθεση
- Μεταλλικό ψεκασμό

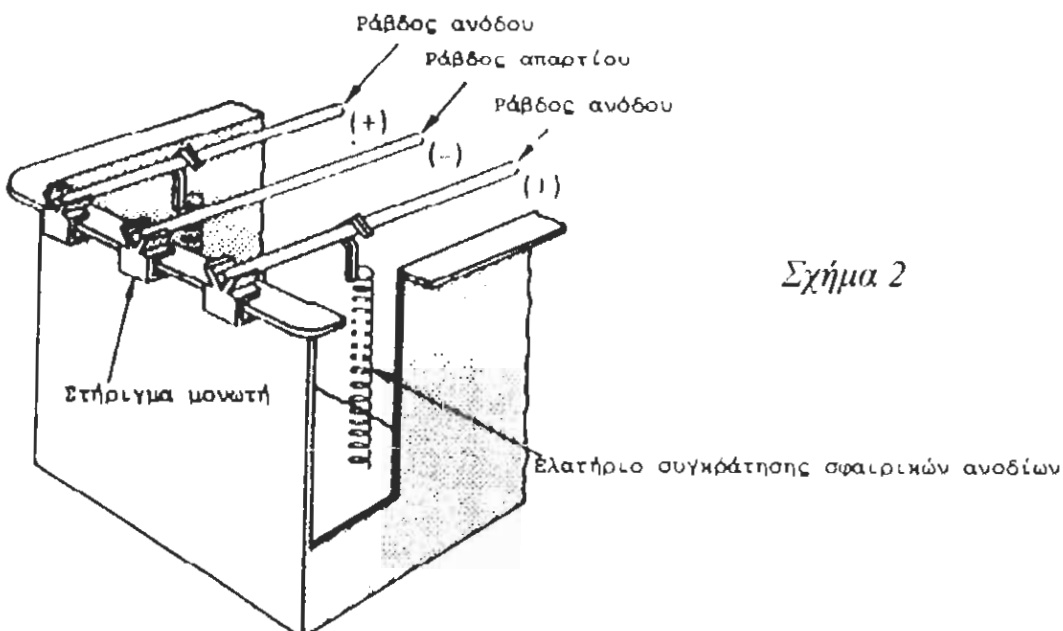
2.2 Εγκαταστάσεις

Μια συμβατική μονάδα επικαδμίωσης περιλαμβάνει συνοπτικά τα εξής (σχήμα 2):

- i. Διάταξη (λουτρό) απολίπανσης των προς επικαδμίωση εξαρτημάτων. Για την απολίπανση χρησιμοποιούνται ατμοί της οργανικής ένωσης 1,1,1 τριχλωροαιθάνιο.
- ii. Διάταξη μηχανικού καθαρισμού, δηλαδή διάταξη αμμοβολής, με χρήση κορούνδιου (Al_2O_3). Ανάλογα δε με τις προδιαγραφόμενες ιδιότητες του εξαρτήματος είναι πιθανό να γίνεται χρήση σφαιριδιοβολής (shot-reeing) με σκοπό τον μηχανικό καθαρισμό της προς επιμετάλλωση επιφάνειας.
- iii. Λουτρό καθαρισμού αλκαλικής σύστασης (δε θεωρείται πάντα απαραίτητο).

- iv. Λουτρό επιμετάλλωσης κατασκευασμένο από χάλυβα με εσωτερική πλαστική επένδυση. Στο λουτρό αυτό περιέχονται το κυανιούχο διάλυμα, το διαλυμένο καυστικό νάτριο, το οξείδιο του καδμίου και το ανθρακικό νάτριο, τα οποία απαρτίζουν το “μπάνιο” επικαδμίωσης.
- v. Λουτρό αποιονισμένου νερού για έκπλυση των εξαρτημάτων μετά την ολοκλήρωση της επιμετάλλωσης.
- vi. Κλιβάνος για την κατεργασία των επικαδμιωμένων απαρτίων αμέσως μετά το πέρας της επιμετάλλωσης, με σκοπό την εξάλειψη του φαινομένου της ψαθυρότητας του υδρογόνου. Ο πλέον συνήθης τύπος κλιβάνου είναι αυτός με κυκλοφορία αέρα.
- vii. Λουτρό κατεργασίας μετά την επικαδμίωση. Ως τέτοια αναφέρονται τα χρωμικής ή φωσφορικής σύστασης “μπάνια”.
- viii. Τραπεζί προετοιμασίας του προς επικαδμίωση τεμαχίου. Η προετοιμασία συνίσταται στην επικάλυψη με ειδικά υλικά (μασκάρισμα) περιοχών του εξαρτήματος στις περιπτώσεις όπου προβλέπεται τοπική επιμετάλλωση.

ΤΥΠΙΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΕΠΙΚΑΔΜΙΩΣΗΣ



Σχήμα 2

2.3 Έλεγχος Ποιότητας

Ο ποιοτικός έλεγχος μιας γραμμής επικαδμίσωσης εστιάζεται σε τρία στοιχεία. Στον ποιοτικό έλεγχο που σχετίζεται με το εμπλεκόμενο προσωπικό και ειδικά με τους επιμεταλλωτές, στον ποιοτικό έλεγχο των εγκαταστάσεων και στον ποιοτικό έλεγχο αυτής κάθε αυτής της διαδικασίας.

Για τον έλεγχο ποιότητας των εγκαταστάσεων αναφέρουμε την ανάγκη για προληπτική συντήρηση, σε συνδυασμό με τη σωστή διακρίβωση (calibration) των χρησιμοποιημένων οργάνων και συσκευών. Λεπτομέρειες με το είδος και την συχνότητα των απαιτούμενων ελέγχων, ρυθμίσεων και άλλων διαφόρων επεμβάσεων αντλούνται από τις σχετικές προδιαγραφές και τα τεχνικά εγχειρίδια των εγκαταστάσεων και συσκευών.

Ο ποιοτικός έλεγχος της διεργασίας της επικαδμίσωσης γίνεται σύμφωνα με την αμερικάνικη προδιαγραφή QQ-P-416 και αναλύεται σε τρία επίπεδα:

A. Ποιοτική επιθεώρηση της διεργασίας

Η ποιοτική επιθεώρηση της διεργασίας συνίσταται στην διαμόρφωση και διατήρηση ενός ιστορικού αρχείου για κάθε λουτρό επιμετάλλωσης. Το αρχείο αυτό θα περιλαμβάνει την καταγραφή των χημικών ουσιών οι οποίες προστίθενται, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα όλων των σχετικών χημικών αναλύσεων, που έχουν πραγματοποιηθεί. Το χρονικό διάστημα, για το οποίο θα διατηρείται αυτό το αρχείο, αποτελεί αντικείμενο συμφωνίας ανάμεσα στον πελάτη και τον κατασκευαστή.

B. Δειγματοληπτικός έλεγχος

Κατά το δειγματοληπτικό έλεγχο από κάθε παρτίδα παραγόμενων προϊόντων επικαδμίσωσης επιλέγεται ένα δείγμα για εξέταση. Ο τρόπος επιλογής του προς εξέταση δείγματος είναι τυχαίος. Το πλήθος των δειγμάτων είναι σύμφωνο με τις γενικά εφαρμοσμένες στατιστικές πρακτικές, σε συνδυασμό με τυχόν συγκεκριμένες απαιτήσεις του πελάτη. Το δείγμα που επιλέγεται υποβάλλεται σε οπτικό έλεγχο και σε έλεγχο του πάχους του στρώματος επιμετάλλωσης.

Οπτικός έλεγχος: το στρώμα του καδμίου πρέπει να εμφανίζεται ομοιόμορφο, ομαλό και να έχει προσκολληθεί ικανοποιητικά στο βασικό μέταλλο. Επιπλέον δεν πρέπει να παρουσιάζει εξογκώματα, κενά, καψίματα, εκτεταμένες περιοχές με θαμπό χρώμα, περιοχές που είναι εμφανής η δημιουργία “πούδρας” μετάλλου.

Έλεγχος πάχους: τα εξαρτήματα που υποβλήθηκαν σε οπτικό έλεγχο, υποβάλλονται στη συνέχεια σε έλεγχο πάχους με μη καταστρεπτικές μεθόδους και διαδικασίες. Λιτρία απόρριψης της παρτίδας αποτελεί οποιαδήποτε υπέρβαση των ορίων που έχουν προδιαγραφεί.

Γ. Εκτέλεση δοκιμών

Οι δοκιμές αυτές εκτελούνται είτε σε πραγματικά εξαρτήματα είτε συνήθως σε ειδικά διαμορφωμένα δοκίμια που έχουν επικαδμιωθεί ταυτόχρονα. Οι εκτελούμενες δοκιμές αποσκοπούν στη διαπίστωση των ιδιοτήτων: πρόσφυση, αντίσταση σε διαβρωτικό περιβάλλον και εμφάνιση ή μη του φαινομένου ψαθυρότητας υδρογόνου. Τόσο το πλήθος των απαιτούμενων δειγμάτων όσο και η απαιτούμενη συχνότητα εκτέλεσης των δοκιμών, περιγράφονται στην προδιαγραφή QQ-P-416. Το κάδμιο που αποτίθεται με κυανιούχα διαλύματα δημιουργεί ψαθυρότητα υδρογόνου περισσότερο από κάθε άλλο σύνθετος ηλεκτροαποτιθέμενο μέταλλο (εκτός του ψευδαργύρου). Αν και το πάχος του αποθέματος φαίνεται να μην έχει άμεση σχέση με την ψαθυρότητα υδρογόνου, είναι πάντα πιο δύσκολο να απομακρυνθεί το υδρογόνο από μεγάλα αποθέματα καδμίου. Οι παρακάτω τρόποι μειώνουν ή εξαφανίζουν την ψαθυρότητα υδρογόνου:

- i. Χρήση μηχανικών τρόπων καθαρισμού
- ii. Όπου είναι δυνατόν αποφυγή χρήσης ισχυρών διαλυμάτων οξέων καθαρισμού από οξείδια (pickling).
- iii. Αν αυτό απαιτείται, γίνεται θέρμανση στους 350-400 °F πριν την επικαδμίωση σε χάλυβες, μέσης και υψηλής αντοχής.
- iv. Χρήση υψηλών πυκνοτήτων ρεύματος για δημιουργία πορώδους αποθέματος.
- v. Μετά την επικαδμίωση γίνεται θέρμανση των τεμαχίων στους 350-400 °F για 3-24 ώρες (χάλυβες με χαμηλή τάση ελαστικότητας απαιτούν τις λιγότερες ώρες).

3. ΕΠΙΧΡΩΜΙΩΣΗ

3.1 Εισαγωγή

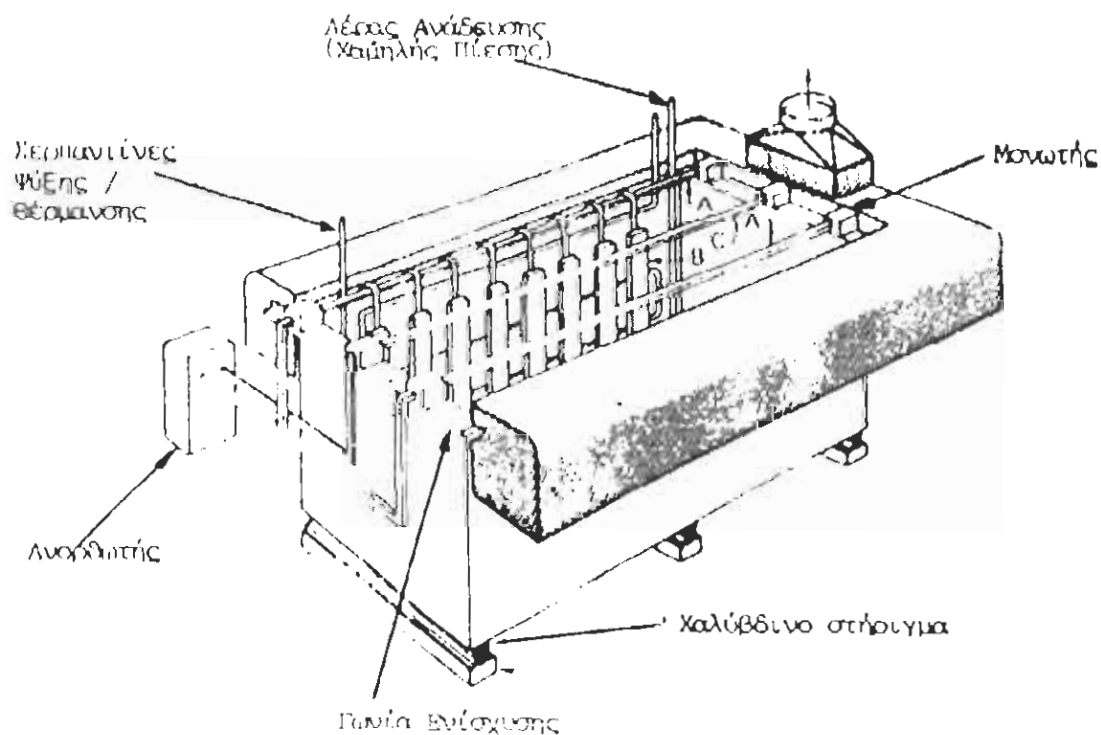
Η επιχρωμίωση (chromium plating) ως μέθοδος επικάλυψης μεταλλικών επιφανειών με χρώμιο διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- 1) Στην επιχρωμίωση που πραγματοποιείται για διακοσμητικούς σκοπούς. Η διακοσμητική επιχρωμίωση χαρακτηρίζεται από μικρά πάχη επικάλυψης τα οποία δεν υπερβαίνουν σε καμία περίπτωση τα 1,25 μΜ. Κατά την εφαρμογή της είναι απαραίτητη η παρουσία ενδιάμεσου μεταλλικού στρώματος μεταξύ της επιφάνειας του εξαρτήματος και της επιφάνειας του χρωμίου.

- 2) Στην σκληρή επιχρωμίωση, η οποία γίνεται κυρίως για την αποκατάσταση των διαστάσεων φθαρμένων μηχανικών εξαρτημάτων και την ενίσχυση της αντοχής αυτών σε διάβρωση και φθορά εξαιτίας μηχανικής καταπόνησης όπως τριβής, απόξεσης κ.α. Το είδος αυτό της επιχρωμίωσης είναι γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως INDUSTRIAL-FUNCTIONAL-ENGINEERING CHROMIUM PLATING. Εφαρμόζεται δε σε σιδηρούχα εξαρτήματα κυρίως αλλά επίσης και σε απάρτια από κράματα αλουμινίου ή νικελίου. Τα πάχη της σκληρής επιχρωμίωσης κυμαίνονται από 2,5 μέχρι 500 μM ενώ σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να υπερβούν τα παραπάνω όρια.

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΛΟΥΤΡΟΥ ΣΚΛΗΡΗΣ ΕΠΙΧΡΩΜΙΩΣΗΣ

- A: Ράβδοι στήριξης ανοδίων
 B: Ανόδια μολύβδου
 C: Ράβδοι στήριξης καθόδων (απαρτίων)



3.2 Γενικές Αρχές

Η κοινή διακοσμική επιχρωμίωση είναι μέθοδος ηλεκτρολυτικής εναπόθεσης χρωμίου σε μεταλλικές επιφάνειες. Το χρώμιο αποτίθεται σε υπόστρωμα νικελίου και σπανιότατα απευθείας στην υπό επιμετάλλωση επιφάνεια. Στην πλειοψηφία δε των εφαρμογών γίνεται χρήση ηλεκτρολυτικών λουτρών, τα οποία

περιέχουν ιόντα εξασθενούς χρωμίου. Ως συμβατικό διάλυμα διακοσμητικής επιχρωμίωσης αναφέρεται το υδατικό διάλυμα του χρωμικού ανυδρίτη, το οποίο περιέχει επίσης μια μικρή ποσότητα διαλυμένων θειϊκών ανιόντων. Η ποσότητα αυτή προστίθεται είτε ως θειϊκό οξύ είτε ως κάποιο θειϊκό άλας. Ως ανόδια κατά την ηλεκτρόλυση χρησιμοποιούνται κράματα μολύβδου (αδιάλυτες άνοδοι). Το μεταλλικό χρώμιο προσφέρεται από το χρωμικό οξύ που περιέχεται στον ηλεκτρολύτη και δε χρησιμοποιείται ως άνοδος γιατί αυτό ως παθητικό δε διαλύεται ανοδικά, κατά ισοδύναμο ποσό προς εκείνο που αποτίθεται. Ως κάθοδοι χρησιμεύουν τα προς επιχρωμίωση εξαρτήματα.

Η διακοσμητική επιχρωμίωση πραγματοποιείται με επιτυχία, όταν η θερμοκρασία του ηλεκτρολυτικού λουτρού κυμαίνεται μεταξύ 38° και 60° C, ενώ η θερμοκρασιακή περιοχή 40° – 55° C χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των εφαρμογών. Εξάλλου η επιλογή της τιμής της πυκνότητας ρεύματος είναι συνδεδεμένη με την πολυπλοκότητα της γεωμετρίας του υπό επιχρωμίωση εξαρτήματος και με το λόγο χρωμικού οξέος προς τα θειϊκά ιόντα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για ένα τυπικό θειϊκό λουτρό η πυκνότητα ρεύματος κυμαίνεται από 10 έως 25 A/dm².

Κατά τη μέθοδο της σκληρής επιχρωμίωσης το χρωμικό οξύ που απαρτίζει τον ηλεκτρολύτη αποτελεί την πηγή από την οποία προέρχεται το μεταλλικό χρώμιο της εναπόθεσης. Για την επιτυχή διεξαγωγή της επιχρωμίωσης θεωρείται απαραίτητη η παρουσία στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα ανιόντων οξέων (π.χ. θειϊκών) που διαδραματίζουν το ρόλο του καταλύτη της διεργασίας. Τα ανόδια που χρησιμοποιούνται είναι κράματα μολύβδου και χαρακτηρίζονται αδιάλυτα, αφού δε συνεισφέρουν μέταλλο για εναπόθεση στην κάθοδο, όπου τοποθετείται το προς επιμετάλλωση εξάρτημα. Για το λόγο αυτό η συνεχής παρακολούθηση και ο ενδεδειγμένος έλεγχος της περιεκτικότητας του διαλύματος σε χρωμικό οξύ αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την επιτυχή διεξαγωγή της διεργασίας. Η αγωγιμότητα του διαλύματος εξαρτάται από τη συγκέντρωση του χρωμικού οξέος. Η θερμοκρασία του ηλεκτρολυτικού λουτρού επηρεάζει την απόδοση της διεργασίας, αφού επιδρά τόσο στο απαιτούμενο ρεύμα όσο και στην αγωγιμότητα του διαλύματος, ενώ η σύνθεσή του είναι συνήθως η ακόλουθη:

Ουσίες	g/l	g/l
CrO ₃	250	400
H ₂ SO ₄ (ή Na ₂ SO ₄)	2,55 (ή 3,7)	4,1 (ή 5,9)
Θερμοκρασία	40° – 55° C	40° – 55° C
Πυκνότητα ρεύματος	10 – 25 A/dm ²	10 – 25 A/dm ²

Πίνακας 2

4. ΕΠΙΧΡΥΣΩΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Εξαιτίας του μεγάλου κόστους του χρυσού, για την παρασκευή ειδών πολυτελείας, χρησιμοποιείται η μέθοδος της επιχρύσωσης πάνω σε φθηνότερα βασικά μέταλλα. Το πάχος της επιχρύσωσης συνήθως είναι πολύ μικρό, καθώς ένα επίστρωμα 0,0001 της ίντσας παρουσιάζει καλή αντοχή στην τριβή και στη φθορά. Η επιχρύσωση μπορεί να γίνει και σε χρυσά αντικείμενα μικρού αριθμού καρατίων για να τους δώσει την εμφάνιση των πλουσιότερων σε χρυσό ειδών ή απλώς για να τονώσει το χρώμα τους. Εφαρμόζεται επίσης σε χρυσοποίκιλα μεταλλικά αντικείμενα για να καλυφθούν με χρυσό οι προεξοχές του άλλου μετάλλου. Τα ασημένια είδη επιστρώνονται με χρυσό, ώστε να γίνουν απρόσβλητα από την οξείδωση, καθώς ο καθαρός χρυσός είναι απρόσβλητος από το οξυγόνο και νερό, ενώ τα χρυσοκράματα οξειδώνονται πολύ δύσκολα στον αέρα και την υγρασία. Για την αποφυγή της στίλβωσης μετά την επιμετάλλωση, που θα είχε σαν αποτέλεσμα τη μερική αφαίρεση του επιστρώματος χρυσού, το αντικείμενο πρέπει να στίλβώνεται σε υψηλό βαθμό πριν την επιχρύσωση. Ο ορείχαλκος, ο χαλκός, το νικέλιο και ο άργυρος επιχρυσώνονται εύκολα. Ως άνοδος χρησιμοποιείται είτε αδιάλυτο κράμα χρωμονικελίνης ή ανθρακούχου χάλυβα είτε φθειρόμενος καθαρός χρυσός.

4.2 Μέθοδοι Επιχρύσωσης

Η επιχρύσωση πραγματοποιείται με τους τρεις παρακάτω τρόπους:

- i. Με ηλεκτρόλυση χρησιμοποιώντας λουτρά, των οποίων η σύνθεση φαίνεται στον πίνακα 3, και άνοδο από χρωμονικέλιο, γραφίτη ή λευκόχρυσο. Αν χρησιμοποιηθεί η σύσταση του λουτρού της τελευταίας στήλης και άνοδος από λευκόχρυσο ή χρυσό-άργυρο, το επίθεμα θα είναι ο λεγόμενος “πράσινος χρυσός”.

Ουσίες	g/l	g/l	g/l	g/l
Μεταλλικός Au	5	4,2	-	-
[ως NaAu(CN) ₂] ή	-	-	5,6	-
Au(NH ₃) ₂ (OH) ₃	-	-	-	-
KCN	15	15	-	-
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	4	-	-	-
NaCN	-	-	45	30
AuCl ₃	-	-	-	2,1
AgCl	-	-	-	0,1
Θερμοκρασία	60° -82° C	60° -82° C	60° -82° C	60° -82° C
Πυκνότητα ρεύματος	0,1 - 1 A/dm ²	0,1 - 1 A/dm ²	0,1 - 1 A/dm ²	0,1 - 1 A/dm ²

Πίνακας 3

- ii. Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επιχρύσωση μικρών αντικειμένων, είναι η μέθοδος του “υδατικού διαλύματος αλάτων χρυσού”. Σύμφωνα με αυτήν χρησιμοποιείται ένα γαλβανικό στοιχείο με διάφραγμα, που ο ανοδικός του χώρος αποτελείται από ψευδάργυρο βυθισμένο σε πυκνό διάλυμα NaCl και ο καθοδικός του από διάλυμα: χρυσός [ως Au(NH₃)₂(OH)₃]

1,2 g/lit + Na₄Fe(CN)₆ 10H₂O 15 g/lit + Na₂HPO₄ 12H₂O 7,5 g/lit + Na₂CO₃ 4g/lit + Na₂SO₃ 0,15 g/lit

και κάθοδο τα προς επιχρύσωση αντικείμενα. Η επιχρύσωση αρχίζει με την βραχυκύκλωση του στοιχείου.

- iii. Μια τρίτη μέθοδος επιχρύσωσης είναι η μέθοδος “εμβάπτισης”. Χρησιμοποιείται λουτρό από: χρυσό [ως Au(NH₃)₂(OH)₃] 2,1 g/lit, Na₂CO₃ 45g/lit, NaCN 30 g/lit, θερμοκρασίας 80° C. Προφανώς η μέθοδος κάνει για οποιοδήποτε μέταλλο της ηλεκτροχημικής σειράς πάνω από το χρυσό, αλλά μόνο στο χαλκό και στον ορείχαλκο δίνει καλά αποτελέσματα με πάχος επιστρώματος μέχρι 0,025 μm. Εφαρμόζεται για μικρής αξίας αντικείμενα.

5. ΕΠΙΨΕΥΔΑΡΓΥΡΩΣΗ

5.1 Εισαγωγή

Ο ψευδάργυρος είναι ένα στιλπνό ασπρογάλαζο μέταλλο το οποίο κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα. Το σημείο τήξης του φτάνει τους 420° C και το θεωρητικό δυναμικό διάβρωσης του τα - 0,75 V. Πρόκειται για ένα φθηνό μέταλλο το οποίο παρέχει καλή αντιδιαβρωτική προστασία κυρίως σε χάλυβα σε αστικό και σε βιομηχανικό περιβάλλον. Ο ρυθμός διάβρωσης των γαλβανισμένων επιφανειών διαφόρων χάλυβων κυμαίνεται από 5,6 μm το χρόνο, σε βιομηχανικές περιοχές, μέχρι 0,8 μm το χρόνο, σε αγροτικές. Το πάχος τους μεταβάλλεται ανάλογα με τη χρήση και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθενται. Η αντοχή στη διάβρωση αυξάνει όταν οι επιψευδαργυρωμένες επιφάνειες εμβαπτιστούν σε χρωμικά ή φωσφορικά διαλύματα.

5.2 Θερμός Γαλβανισμός

5.2.1 Γενικά

Για πρώτη φορά το 1742 αναφέρεται η δυνατότητα επικάλυψης του σιδήρου από ψευδάργυρο (γαλβανισμός) ύστερα από εμβάπτιση του πρώτου σε τήγμα του δεύτερου. Έκτοτε, ο γαλβανισμός εξελίχθηκε στην ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδο επικάλυψης σιδήρου ή χάλυβα από ψευδάργυρο. Η μισή περίπου από την παγκόσμια παραγωγή ψευδαργύρου καταναλώνεται από τη βιομηχανία γαλβανισμού. Η βασική υπηρεσία που προσφέρει σήμερα ο γαλβανισμός είναι η καθοδική προστασία του χάλυβα. Η εμβάπτισή του σε τήγμα ψευδαργύρου έχει ως αποτέλεσμα την επικάλυψή του με ένα στρώμα αποτελούμενο από διάφορες μεσομεταλλικές φάσεις σιδήρου-ψευδαργύρου και καθαρό ψευδάργυρο. Η επιστημονικές μελέτες γύρω από το γαλβανισμό επικεντρώνονται κυρίως στην κινητική της αντίδρασης σιδήρου-ψευδαργύρου και στους παράγοντες που την επηρεάζουν. Το ενδιαφέρον όμως των ερευνητών προσοδευτικά στρέφεται προς τη μηχανική συμπεριφορά των σχηματιζόμενων ζωνών κραμάτωσης και την αντοχή της επικάλυψης σε διάβρωση, σε συνάρτηση με τη μηχανική καταπόνησή της.

Η μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν το γαλβανισμό έχει οδηγήσει σε αποδοχή και χρήση πολλών τεχνικών παραλλαγών της μεθόδου, ακόμα και σε βιομηχανική κλίμακα. Η θερμοκρασία γαλβανισμού, ο χρόνος εμφάνισης, η ύπαρξη στο λουτρό κραματικών προσθηκών, η ποιότητα και η επιφανειακή τραχύτητα του χάλυβα είναι οι βασικοί παράγοντες, η κατάλληλη ρύθμιση των οποίων, προσδιορίζει τη σωστή τεχνική και αποδίδει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

5.2.2 Γενική Περιγραφή της Μεθόδου

Ο γαλβανισμός στη βιομηχανία χωρίζεται σε:

- ◆ Γαλβανισμό εν σειρά
- ◆ Συνεχή γαλβανισμό

Ο πρώτος χρησιμοποιείται για τεμάχια και αντικείμενα με διαφορετικές διαστάσεις, ενώ ο δεύτερος για μεγάλες ποσότητες σύρματος ή ελάσματος σε αυτοματοποιημένες γραμμές συνεχούς διαδικασίας. Πάντως σε οποιαδήποτε τεχνική απαιτείται αρχικά μία προετοιμασία της επιφάνειας του υλικού προς γαλβανισμό η οποία συνίσταται στα παρακάτω στάδια:

1) Απολίπανση

Σ' αυτό το στάδιο απομακρύνονται όλες οι λιπαντικές ουσίες που επικάθισαν στην επιφάνεια από προηγούμενα παραγωγικά στάδια. Χρησιμοποιούνται αλκαλικά διαλύματα εν θερμώ.

2) Αποσκωρίωση

Επόμενο βήμα είναι η απομάκρυνση των οξειδίων που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια του χάλυβα. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση θειϊκού ή υδροχλωρικού οξέως. Η επιλογή στηρίζεται σε οικονομικά κριτήρια. Το κόστος του θειϊκού οξέως είναι μικρότερο μεν, αλλά απαιτείται θέρμανση ($60^{\circ} - 80^{\circ} \text{C}$), ενώ το υδροχλωρικό χρησιμοποιείται στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι συγκεντρώσεις του υδροχλωρικού οξέως είναι της τάξης του 14% κ.β. , ενώ του θειϊκού οξέως κυμαίνεται μεταξύ 10 – 14% κ.β. Το υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιείται, σε γενικές γραμμές, πιο εύκολα, αλλά το θειϊκό οξύ μπορεί να ανακυκλωθεί με ψύξη, ύστερα από απομάκρυνση των αλάτων του σιδήρου σε κρυσταλλική μορφή.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση στο οξύ προστίθενται οργανική επιβραδυντές της δράσης του, ώστε να αποφεύγεται η καταστροφή του μετάλλου όταν απομακρυνθούν τα οξείδια. Επίσης, γίνονται κατά διαστήματα προσθήκες οξέως ώστε να μην περιορίζεται η ισχύς του από τη συνεχή χρήση. Πάντως μετά από μια ορισμένη ποσότητα αντικειμένων που καθαρίζονται, απαιτείται αντικατάσταση του διαλύματος. Η διάθεση του άχρηστου διαλύματος πρέπει να ακολουθεί τις ισχύουσες διατάξεις περί προστασίας του περιβάλλοντος.

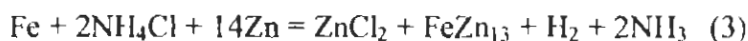
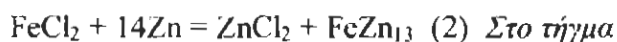
Η αμμιοβολή που σαν μέσο καθαρισμού επιβάλλεται σε ορισμένες περιπτώσεις χυτών και κατεργασμένων, αυξάνει τη δραστικότητα της αντίδρασης σιδήρου-

ψευδαργύρου. Μετά την αμμοβολή όμως χρειάζεται μια γρήγορη εμβάπτιση σε αραιό οξύ για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών.

3) Fluxing

Μετά τον κυρίως καθαρισμό των δύο πρώτων σταδίων το μεταλλικό υπόστρωμα ξεπλένεται με τρεχούμενο νερό. Στη συνέχεια τυχόντα μικρά ποσά ακαθαρσιών, με μορφή οξειδίων, χλωριδίων, σουλφιδίων, που παραμένουν στην επιφάνεια, πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να μην επιδράσουν αρνητικά στην αντίδραση σιδήρου-ψευδαργύρου κατά την εμβάπτιση του υλικού στο τήγμα ψευδαργύρου. Έτσι χρησιμοποιείται κάποιο συλλίπασμα που απομακρύνει τέτοιου είδους ακαθαρσίες και διατηρεί ελεύθερη από οξείδια την επιφάνεια του λουτρού. Επίσης απαιτείται χημική σταθερότητα για να είναι δυνατή και η γρήγορη καθοριστική δράση του στις υψηλές θερμοκρασίες του γαλβανισμού.

Ο διαχωρισμός σε “υγρό” και “ξηρό” γαλβανισμό έχει να κάνει με τον τρόπο χρήσης του συλλιπάσματος. Η χημική σύσταση του τελευταίου εξαρτάται από το ποια μέθοδος επιλέγεται. Στον “υγρό” γαλβανισμό, το συλλίπασμα τοποθετείται στην επιφάνεια του λουτρού και ο χάλυβας “μουςκεύεται” με αυτό κατά την εμβάπτιση του. Στον “ξηρό”, το συλλίπασμα απλώνεται στην επιφάνεια του χάλυβα ύστερα από εμβάπτιση του τελευταίου στο διάλυμα και στη συνέχεια ακολουθεί ξήρανση πριν την εμβάπτιση στο τήγμα. Η ξήρανση αυτή λαμβάνει χώρα σε κλιβάνους και συχνά πραγματοποιείται με τα θερμά αέρια του λουτρού. Σε αυτήν την περίπτωση του fluxing, η θερμοκρασία ξήρανσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 150° C ώστε να μην αποσυντεθούν τα άλατα που σχηματίστηκαν στην επιφάνεια. Στη περίπτωση του “ξηρού” γαλβανισμού χρησιμοποιείται διάλυμα $ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$ σε θερμοκρασία 80° C περίπου. Η καταλυτική, κατά κάποιον τρόπο, δράση του συγκεκριμένου συλλιπάσματος κατά την αντίδραση σιδήρου-ψευδαργύρου και στο σχηματισμό της επικάλυψης, φαίνεται στις αντιδράσεις (1) και (2), οι οποίες συνολικά εκφράζονται με την (3).



Στην πράξη χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός “υγρού” και “ξηρού” γαλβανισμού που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διεργασίας, του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας.

5.2.3 Τεχνικές Λεπτομέρειες, Μέθοδοι και Βελτιώσεις

Τα λουτρά γαλβανισμού κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται μέσα σε ειδικούς λέβητες μαλακού χάλυβα με ιχνοστοιχεία ή από κεραμικό, έτσι ώστε να μην προσβάλλονται γρήγορα από τον ψευδάργυρο. Η θέρμανση του λουτρού γίνεται είτε από την κορυφή, είτε από καταβυθιζόμενες αντιστάσεις. Ο σχεδιασμός είναι τέτοιος,

ώστε να αποφεύγονται ρεύματα διαβίβασης θερμότητας, που αναταράζουν τις ακαθαρσίες και έτσι μολύνεται το υπόστρωμα. Μεγάλη σημασία για το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζουν η μέτρηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Αυτός γίνεται με θερμοστοιχεία μέσα στη μάζα του λουτρού. Τα λουτρά που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον πίνακα 4.

Πολλές φορές, μετά το γαλβανισμό, ακολουθεί ψύξη με νερό (που μπορεί να περιέχει χρωμικό οξύ ή χρωμικά άλατα). Έτσι απομακρύνονται τυχόν ακαθαρσίες και σταματά η αντίδραση σιδήρου-ψευδαργύρου και η παραπέρα ανάπτυξη του επιστρώματος, η οποία συνεχίζεται και μετά την έξοδο από το λουτρό.

Ουσίες	g/l	g/l
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	360	-
NH ₄ Cl	30	-
CH ₃ COONa·3H ₂ O	15	-
Γλυκόζη	120	-
Zn(CN) ₂	-	60
NaCN	-	52,5
NaOH	-	15
Na ₂ CO ₃	-	30
NaF	-	7,5
Ζάχαρη	-	7,5
Αραβικό κόμι	-	1,1
Θερμοκρασία	20° – 30° C	40° – 50° C
Πυκνότητα ρεύματος	1,5 – 3 A/dm ²	4 A/dm ²

Πίνακας 4

Όσον αφορά το θερμό γαλβανισμό φύλλων και συρμάτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και συγκεκριμένα:

Ο γαλβανισμός φύλλων γίνεται με συνεχή διαδικασία. Η διαφοροποίηση που γίνεται σε αυτόν τον τομέα έγκειται στον τρόπο ανόπτησης και καθαρισμού του φύλλου πριν τον γαλβανισμό. Όταν σχηματίζεται ταινία από συγκολλημένα φύλλα, η οποία υποβάλλεται σε καθαρισμό, fluxing, ξήρανση και καταβύθιση σε επαγωγικά θερμασμένο λουτρό, πρόκειται για τη μέθοδο Cook – Norteman.

Στη δεύτερη μέθοδο τα συγκολλημένα φύλλα καθαρίζονται, υπόκεινται σε ανόπτηση και εισέρχονται μέσω ενός ρύγχους, βυθισμένου κάτω από την επιφάνεια, στο λουτρό. Έτσι, υπάρχει προστασία από τυχούσα επανοξείδωση, οπότε το fluxing δεν είναι απαραίτητο. Η θερμοκρασία των φύλλων από την ανόπτηση (470° - 480° C) προσφέρει μεγάλο ποσοστό από την απαιτούμενη θερμότητα για το λουτρό. Ενεργειακά, λοιπόν, αυτή η μέθοδος είναι η πλεονεκτικότερη, ενώ στην πρώτη υπάρχει ο κίνδυνος διάσπασης λόγω υψηλής θερμοκρασίας του στρώματος αλάτων. Παρ' όλα αυτά, η πρώτη μέθοδος υπερέχει στην υψηλή ταχύτητα της γραμμής γαλβανισμού.

Όσον αφορά το γαλβανισμό σύρματος, ακολουθείται και εδώ συνεχής διαδικασία. Η ιδιαιτερότητα είναι ότι τα νήματα του σκληρυμένου σύρματος περνούν από λουτρό τηγμένου μολύβδου όπου μειώνεται η σκληρότητα ως ένα βαθμό και καθαρίζονται.

Στις περιπτώσεις συνεχούς γαλβανισμού φύλλων και σύρματος πρέπει να αναφερθεί η “διεργασία του Sendzimir”, η οποία περιλαμβάνει θεμελιώδεις τροποποιήσεις στις μεθόδους επιφανειακής κατεργασίας του χάλυβα:

- i. Προετοιμασία επιφάνειας
- ii. Προθέρμανση σε ελαφρά οξειδωτική ατμόσφαιρα
- iii. Ανόπτηση σε αναγωγική ατμόσφαιρα
- iv. Ελεγχόμενη ψύξη σε θερμοκρασία υψηλότερη από αυτή του λουτρού ψευδαργύρου.

Τα πλεονεκτήματα είναι η αποφυγή του σταδίου αποξείδωσης και χρήσης συλλυπασμάτων. Ακόμα επιτυγχάνεται καλύτερη διαμορφωσιμότητα λόγω της μείωσης του πάχους των ψαθυρών ζωνών κραμάτωσης της επικάλυψης. Τέλος η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα δεν επηρεάζει την κατεργασία.

Το μειονέκτημα του γαλβανισμένου χάλυβα είναι ότι δεν έχει την ομοιομορφία και το φινίρισμα του χάλυβα ψυχρής έλασης. Επίσης το γεγονός της μετακίνησης της επικάλυψης σε περιπτώσεις επισκευής καταστροφών ή επιφανειακών ελαττωμάτων, που οδηγεί σε ανομοιομορφίες και έκθεση του μεταλλικού υποστρώματος, οδήγησαν στην ανάπτυξη της μεθόδου του “μηνίσκου” με σκοπό την παρασκευή επικαλύψεων μόνο από τη μία πλευρά της λαμαρίνας (σχήμα 1). Το αποτέλεσμα ήταν ένα υλικό που συνδύαζε τις αντιδιαβρωτικές ικανότητες του γαλβανισμένου χάλυβα εσωτερικά και την ομοιομορφία χάλυβα ψυχρής έλασης.

Επίσης αναπτύχθηκαν επικαλύψεις με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες, με προσθήκες κραματικών στοιχείων στο λουτρό (συνήθως αλουμινίου). Έτσι:

- i. Μειώθηκε το πάχος των ψαθυρών ζωνών κραμάτωσης
- ii. Μειώθηκε το πάχος του κόκκου ψευδαργύρου στην εξωτερική πλευρά της επικάλυψης και έτσι βελτιώθηκε η εμφάνιση και η ικανότητα βαφής.

Έτσι εκτός από τον καθαρό ψευδάργυρο στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται και άλλα τήγματα με βάση τον ψευδάργυρο και το αλουμίνιο. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Galfan: 95% Zn - 5%Al
- Lavegal: 30%Al - 0,2%Mg - 0,2%Si-Zn
- Galvalume: 55%Zn - 1,5%Si - 43,5%Al

5.2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους επικάλυψης είναι:

Το κόστος του θερμού γαλβανισμού είναι χαμηλότερο απ' ό τι άλλων μεθόδων ενώ όσον άφορα το βάψιμο αυτό οφείλεται στην αυτοματοποίηση που επιδέχεται ο γαλβανισμός. Αντίθετα, το βάψιμο και άλλες εναλλακτικές μέθοδοι προϋποθέτουν εντατική χειρωνακτική εργασία.

Η μεγάλη διάρκεια ζωής των επικαλύψεων από γαλβανισμό συμβάλλει επιπλέον στο χαμηλό κόστος και κάνει τη μέθοδο ακόμα πιο συμφέρουσα στον τομέα της προστασίας του χάλυβα. Δεν υφίσταται θέμα συντήρησης, κάτι πολύ σημαντικό για περιπτώσεις που είναι από δύσκολο ως αδύνατο να σταματήσει η παραγωγική διαδικασία (πετροχημικά εργοστάσια, μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές). Πιο συγκεκριμένα η διάρκεια ζωής υπολογίζεται σε 10 – 20 χρόνια για παραθαλάσσιες και βιομηχανικές περιοχές, ενώ για αγροτικές περιοχές αυτή αυξάνεται στα 25 χρόνια. Όμως, ακόμα και όταν η συντήρηση είναι αναγκαία, είναι σχετικά εύκολη. Όπως γίνεται αντιληπτό και από τον παραπάνω διαχωρισμό, η αντοχή της επικάλυψης εξαρτάται και υπολογίζεται με βάση τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες, που επικρατούν στην περιοχή της κατασκευής (κανονικές, παράκτιες περιοχές, μολυσμένη ατμόσφαιρα), αλλά και από το πάχος της.

Η κατεργασία είναι απλή, εύκολα ελεγχόμενη και με μεγάλες δυνατότητες αυτοματοποίησης. Σε μια κατάλληλα εξοπλισμένη βιομηχανία, μερικά μόνο λεπτά είναι αρκετά για το γαλβανισμό ενός αντικειμένου. Τα πάχη των παραγόμενων επικαλύψεων γαλβανισμού είναι ομοιόμορφα και γενικά η όλη μέθοδος είναι από τις λίγες του είδους που είναι πλήρως καθορισμένη με επίσημες προδιαγραφές (π.χ. British Standards 729). Το πάχος και η ομοιομορφία της επικάλυψης ελέγχονται εύκολα με μαγνητικό ή ηλεκτρομαγνητικό αναλυτή ή με άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους.

Η επικάλυψη που παράγεται είναι μεταλλουργικά συνδεδεμένη με τον χάλυβα, κάτι που δε συναντάται αλλού. Συνεπώς, υπάρχει μεγαλύτερη αντοχή κατά τη χρήση, τη μεταφορά και την αποθήκευση. Οι σκληρές μεσομεταλλικές φάσεις που εμφανίζονται μπορούν να δώσουν λύση και στο πρόβλημα της τριβής, όπου υπάρχει. Όλα τα μέρη της εξωτερικής επιφάνειας του χάλυβα καλύπτονται και ειδικά στα σημεία ζωτικής σημασίας (άκρα και γωνίες λαμαρίνας), για την αντιδιαβρωτική προστασία, το πάχος της επικάλυψης είναι μεγαλύτερο.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ο τριπλός τρόπος προστασίας του χάλυβα. Κατ' αρχήν η επικάλυψη διαβρώνεται με αργό ρυθμό, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της. Εξάλλου, ο χάλυβας προστατεύεται καθοδικά σε περιοχές όπου μικρή επιφάνειά του έχει εκτεθεί σε διάβρωση λόγω επιφανειακών κακώσεων. Άλλες επικαλύψεις με βάση τον ψευδάργυρο δεν προσφέρουν αυτό το πλεονέκτημα. Σε μεγαλύτερες κατεστραμμένες περιοχές, η καθοδική προστασία που προσφέρει ο ψευδάργυρος, εμποδίζει την πλευρική ανάπτυξη της σκουριάς που μπορεί να υποσκάψει την επικάλυψη.

Τέλος ο γαλβανισμένος χάλυβας, είναι άμεσα μετά την παραγωγή του, έτοιμος για χρήση χωρίς περαιτέρω επιφανειακή κατεργασία ή έλεγχο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση των κατασκευαστικών προγραμμάτων, αφού η συναρμολόγηση γίνεται άμεσα.

Τα μειονεκτήματα αντιμετωπίζονται και λύνονται στην πράξη, σε ικανοποιητικό βαθμό, με εναλλακτικές επεμβάσεις στην κλασική μέθοδο γαλβανισμού. Πιο συγκεκριμένα τα προβλήματα με τις αντίστοιχες λύσεις τους είναι:

- Μειωμένη ολκιμότητα επικάλυψης. Αντιμετωπίζεται με προσθήκη αλουμινίου.
- Δυσκολία επικάλυψης της μίας μόνο πλευράς. Λύνεται με τη μέθοδο του “μηνίσκου”.
- Ελαττωμένη δυνατότητα βαψίματος (paintability). Βελτίωση αυτής της ιδιότητας επιτυγχάνεται με φωσφάτωση ή ανόπτηση, μετά το γαλβανισμό του αντικειμένου. Επίσης θετική επίδραση έχει η μείωση του κόκκου ψευδαργύρου, στην εξωτερική επιφάνεια, με μικρές προσθήκες αλουμινίου ή μολύβδου.
- Μειωμένη ικανότητα συγκόλλησης. Επιτυγχάνεται βελτίωση με ανόπτηση μετά το γαλβανισμό (galvannealing).

5.3 Ηλεκτρολυτικός Γαλβανισμός

5.3.1 Γενικά

Ο ηλεκτρολυτικός γαλβανισμός λαμβάνει χώρα σε μία διάταξη, η οποία αποτελείται από ένα κελί που περιέχει το κατάλληλο ηλεκτρολυτικό λουτρό. Το λουτρό είναι ένα υδατικό διάλυμα άλατος του ψευδαργύρου. Το άλας δίσταται στο νερό και βρίσκεται πλέον υπό τη μορφή κατιόντων ψευδαργύρου και ανιόντων άλατος:

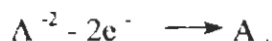


Μέσα στο λουτρό βρίσκονται βυθισμένα τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της κάθόδου. Η άνοδος, η οποία είναι το ηλεκτρόδιο του ψευδαργύρου, είναι συνδεδεμένη με το θετικό πόλο, ενώ η κάθοδος, η οποία είναι το προς επιμετάλλωση μέταλλο, είναι συνδεδεμένη με τον αρνητικό πόλο πηγής συνεχούς ρεύματος. Το όλο κύκλωμα “κλείνει” με ιόντα του διαλύματος.

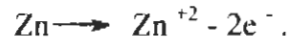
Εφαρμόζοντας κατάλληλη τάση στους πόλους της πηγής, τα ιόντα του ψευδαργύρου μετακινούνται προς την κάθοδο διαμέσου του λουτρού. Εκεί πραγματοποιείται η αντίδραση της αναγωγής, όπου τα ιόντα του ψευδαργύρου προσλαμβάνουν δύο ηλεκτρόνια, μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα και επικαλύπτουν την κάθοδο:



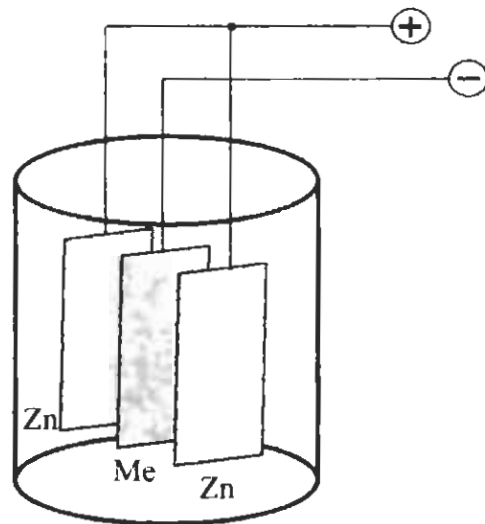
Τα ανιόντα του άλατος κινούνται λόγω του πεδίου προς την άνοδο, όπου αποδίδουν το φορτίο τους και εκφορτίζονται:



Όταν η άνοδος αποτελείται από ψευδάργυρο εκτός από την οξείδωση των ανιόντων, οξειδώνεται και ο ψευδάργυρος της ανόδου, δηλαδή το μέταλλο διαλυτοποιείται:



Επομένως, για ορισμένο αριθμό ιόντων ψευδαργύρου που αποτίθενται στην κάθοδο, αντιστοιχεί ίσος αριθμός ατόμων του ίδιου μετάλλου που διαλυτοποιείται στην άνοδο. Αποτέλεσμα, η συγκέντρωση των ιόντων του μετάλλου στο λουτρό να παραμένει σταθερή στην επιθυμητή τιμή.



Σχήμα

5.3.2 Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Ηλεκτρογαλβανισμό

Ο ηλεκτρολυτικός γαλβανισμός επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Οι σημαντικότεροι των οποίων είναι το pH του ηλεκτρολύτη τα χρησιμοποιημένα ηλεκτρόδια, η εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση και τα πρόσθετα:

i. pH του λουτρού

Το pH των λουτρών ηλεκτρογαλβανισμού ρυθμίζεται με προσθήκη ειδικών διαλυμάτων τα οποία ονομάζονται ρυθμιστικά διαλύματα. Πρόκειται για εκείνα τα διαλύματα, τα οποία δεν επιτρέπουν σημαντικές μεταβολές του pH του λουτρού μέσω της προσθήκης μικρών ποσοτήτων οξέων ή βάσεων.

Για παράδειγμα, το θειικό οξύ που χρησιμοποιείται στα όξινα διαλύματα ηλεκτρολυτικής επιψευδαργύρωσης διατηρεί το pH σταθερό μεταξύ 3,5 - 4,5. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η αύξηση του εν λόγω παράγοντα, λόγω της αναγωγής των ιόντων υδρογόνου και του σχηματισμού ιζημάτων.

ii. Ηλεκτρόδια

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται άνοδοι από ψευδάργυρο. Έτσι με τη διάλυσή τους διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση του μετάλλου στο λουτρό. Σπανιότερα, γίνεται χρήση αδρανών ανόδων, οι οποίες δε διαλύονται. Στις περιπτώσεις αυτές, η συγκέντρωση των ιόντων ψευδαργύρου στο διάλυμα παραμένει σταθερή με προσθήκη διαλυτών ενώσεων του μετάλλου, όπως ο ένυδρος θειικός ψευδάργυρος.

Τέλος, ως κάθοδοι χρησιμοποιούνται τα προς επιμετάλλωση μεταλλικά αντικείμενα, μετά από κατάλληλη επιφανειακή κατεργασία για απομάκρυνση ουσιών, οι οποίες παίζουν ανασταλτικό παράγοντα της ποιότητας των αποθέσεων.

iii. Εφαρμοζόμενη Τάση

Για την πραγματοποίηση της ηλεκτρόλυσης πρέπει στους πόλους της διάταξης να εφαρμοστεί μια ηλεκτρική τάση. Η τάση αυτή θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από μια ορισμένη τιμή, η οποία καλείται τάση απόθεσης, διαφορετικά ο ψευδάργυρος δε μπορεί να αποτεθεί.

Όταν εκδηλωθεί το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης παρατηρείται μια πτώση τάσης στους πόλους της διάταξης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

- Στην αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων στις περιοχές γύρω από τα ηλεκτρόδια και
- Στη δημιουργία αγώγιμων στρωμάτων στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων

Κατά συνέπεια, η τάση που θα πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ ανόδου και καθόδου, προκειμένου να γίνει η επιμετάλλωση, θα πρέπει να υπερβαίνει την τάση απόθεσης και την πτώση τάσης.

iv. Πρόσθετα

Πρόσθετα καλούνται, εκείνες οι ουσίες οι οποίες επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των επικαλύψεων. Πρόκειται για οργανικές ή ανόργανες ενώσεις, οι οποίες διακρίνονται σε:

- Λειαντικά, όταν βοηθούν ώστε η επικάλυψη να γίνει ομοιόμορφη και λεία.
- Στιλβωτικά, όταν προστίθενται για να γίνει η επιφάνεια στιλπνή και
- Διαβρέκτες, οι οποίοι εμποδίζουν το σχηματισμό βελονισμών στις επικαλύψεις.

Έχει αποδειχθεί ότι τα πρόσθετα επηρεάζουν τις φυσικές και τις μηχανικές ιδιότητες των επιμεταλλώσεων, χωρίς όμως να είναι γνωστός ο τρόπος με τον οποίο δρουν. Θεωρείται ότι μάλλον προσροφώνται ή εσωκλείονται στην επικάλυψη.

Στην περίπτωση του ηλεκτρογαλβανισμού, οι δεξτρίνες και η γλυκόζη παίζουν το ρόλο των προσθέτων, βελτιώνοντας την ποιότητα των αποθέσεων.

1. Η ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΙΟΙ Κ.Β ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε

1.1 Γενικά

Η εταιρεία <<ΥΙΟΙ Κ.Β. ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε.>>, βιομηχανία παραγωγής σωλήνων-προϊόντων σιδήρου και χάλυβα-γαλβανιστήρια, ιδρύθηκε το 1996 και είναι εγκατεστημένη στο Αιτωλικό σε ιδιόκτητο χώρο 5000 m² και υπαίθριο χώρο 15000m². Κύριο χαρακτηριστικό της εταιρείας είναι η παραγωγή ποιοτικών προϊόντων στα μέτρα του πελάτη σε σύντομο χρονικό διάστημα και με το καλύτερο δυνατό κόστος. Η εταιρεία διαθέτει όχι μόνο τον απαιτούμενο μηχανολογικό εξοπλισμό και τις τεχνικές γνώσεις αλλά και τη φιλοδοξία ότι μπορεί να δώσει λύσεις στις σημερινές απαιτήσεις της αγοράς. Πιστοί λοιπόν, στις αρχές της καλής συνεργασίας με τους πελάτες, έχουν ως κύριο στόχο μια αξιόπιστη λύση πάντα στα δικά τους μέτρα.



Εικόνα 1

Η βιομηχανία χωρίζεται σε τρία τμήματα:

1. Τμήμα μεταλλικών κατασκευών
2. Τμήμα διαμόρφωσης σιδηροδοκών
3. Γαλβανιστήριο (Μέθοδος εν θερμώ)

2. ΤΜΗΜΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

2.1 Γενικά

Η εταιρεία δημιούργησε στις εγκαταστάσεις της στο Αιτωλικό ένα τμήμα μεταλλικών κατασκευών με στόχο να προσφέρει στις μεγάλες τεχνικές εταιρίες ένα πακέτο προϊόντων που θα δίνουν συνολική λύση σε ένα μεγάλο κομμάτι των αναγκών τους. Στα προϊόντα αυτά εντάσσονται :

- Πλήρως διαμορφωμένοι πλατύπελμοι σιδηροδοκοί ΗΕΒ διατομών 100 έως 240 mm
- Στηθαίο ασφαλείας οδών
- Πάσσαλοι περιφραξης

ΣΤΗΘΑΙΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΟΔΩΝ

Τεχνικές προδιαγραφές

Το στηθαίο ασφαλείας οδών έτσι όπως ορίζεται στο ΦΕΚ β189/88 αποτελείται από :

◇ Οριζόντια χαλύβδινη λεπίδα

Το φύλλο χάλυβος που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωσή της έχει πάχος 3mm (πριν το γαλβανισμό). Σ' αυτήν ανοίγονται οπές για κοχλίες όπου το μέγεθος και η θέση των οποίων φαίνεται στο σχήμα.

◇ Κατακόρυφο στύλο ή ορθοστάτη

Κατασκευάζεται από χάλυβα πάχους 5mm(πριν το γαλβανισμό) και έχει μήκος 1500mm. Το σχήμα, οι διαστάσεις και οι θέσεις των οπών για τους κοχλίες φαίνονται στο σχήμα.

◇ Παρέμβλημα που τοποθετείται μεταξύ στύλου και οριζόντιας λεπίδας

Κατασκευάζεται από χάλυβα πάχους 3mm(πριν το γαλβανισμό)και έχει μήκος 320mm. Τοποθετείται μεταξύ στύλου και οριζόντιας λεπίδας. Οι διαστάσεις του η θέση και οι διαστάσεις των οπών για τους κοχλίες φαίνονται στο σχήμα.

◇ Ανακλαστικό στοιχείο στηθαίο

Πάνω σε μεταλλικό έλασμα πάχους 1mm επικολλούνται κόκκινη και άσπρη ανακλαστική μεμβράνη υψηλής ανακλαστικότητας. Η θέση φαίνεται στο σχήμα.

◇ Υλικά σύνδεσης

Κοχλίες κεντρικές και συνδετήριες ημισφαιρικής κεφαλής, μήκους 30mm και 40mm καθώς και περικόχλια.

Το υλικό κατασκευής των παραπάνω τμημάτων είναι χάλυβας ST37-2 που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του DIN 17100 και ASTM A-153, γαλβανισμένος εν θερμώ με ποσότητα γαλβανίσματος που ορίζεται στο ΦΕΚ β189/88.

Η εταιρεία έχει διαθέσει 500τ.μ από τις κτηριακές της εγκαταστάσεις και σημαντική μηχανολογική υποστήριξη που συνεπικουρούμενα από τα άλλα της τμήματα (σωληνουργία, γαλβανιστήριο) της επιτρέπουν να προσφέρει ένα ελκυστικό ολοκληρωμένο πακέτο ποιότητας, αμεσότητας παραγωγής και τιμών που την καθιστούν άκρως ανταγωνιστική στο χώρο του στηθαίου ασφάλειας οδών.

3. ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ

3.1 Πρώτες ύλες

Σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιείται χάλυβας σε μορφή ρολών. Με την κατάλληλη επεξεργασία δημιουργούνται τα επιθυμητά προϊόντα. (Εικόνα 2)

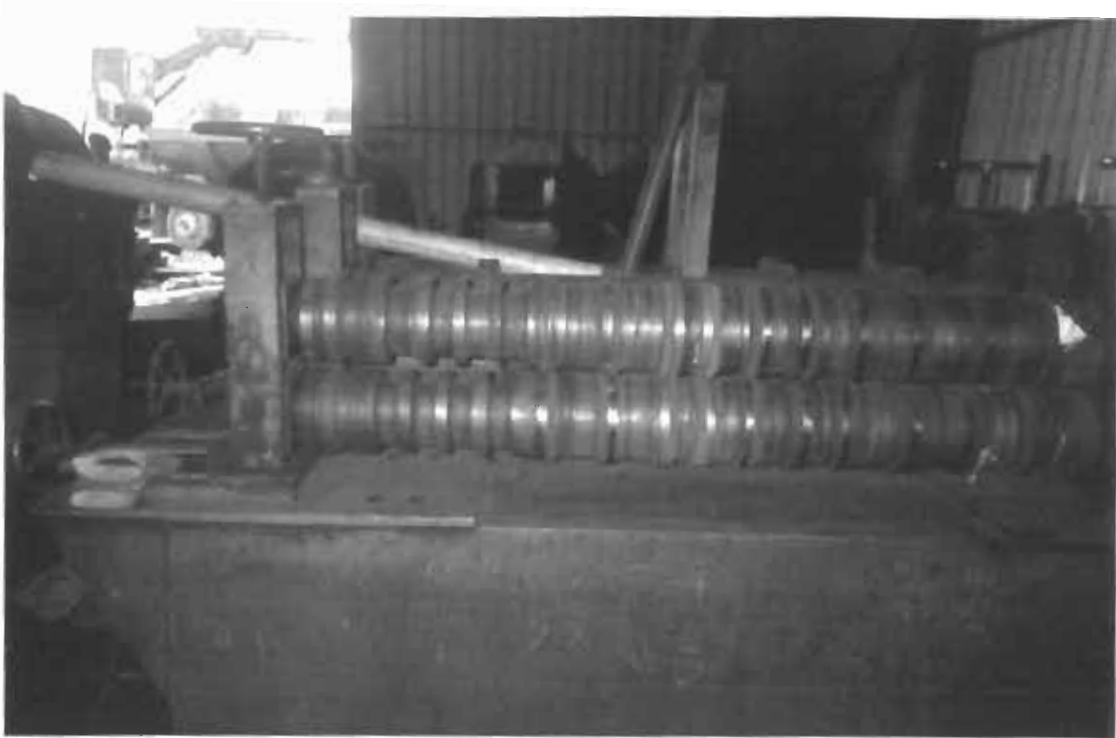


Εικόνα 2

3.2 Μηχανολογικός εξοπλισμός

Ταινιόδρομος, πριονοκορδέλα αυτόματης προώθησης, κουρμπαδόρος

διαμόρφωσης, συγκόλληση φλαντζών σύνδεσης, αποθηκευτικός χώρος. Ένα τμήμα του μηχανολογικού εξοπλισμού φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. (Εικόνες 3,4,5).



Εικόνα 3



Εικόνα 4



Εικόνα 5

5.3 Παραγόμενα προϊόντα

Πλήρως διαμορφωμένοι πλατύπελμοι σιδηροδοκοί ΗΕΒ διατομών 100 εως 240.(κοπή και κουρμπάρισμα σιδηροδοκών, κοπή φλαντζών και τρύπημα φλαντζών, συγκόλληση φλαντζών – όλα βάσει υποδειχθέντος σχεδίου του εργολήπτη).

Η εταιρεία <<ΥΙΟΙ Κ.Β.ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε.>> διαθέτει τα διαμορφωμένα προϊόντα είτε με απευθείας πώληση διαμορφωμένου προϊόντος στο χώρο του έργου, είτε με την ανάληψη των εργασιών διαμόρφωσης για λογαριασμό άλλων κατασκευαστών (façon).

4. ΓΑΛΒΑΝΙΣΤΗΡΙΟ

4.1 Γενικά

Η εταιρεία <<ΥΙΟΙ Κ.Β.ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε.>> από ιδρύσεώς της αποφάσισε να συμμετέχει στην όλο και πιο αναπτυσσόμενη ανά την Ευρώπη αγορά γαλβανισμένων προϊόντων, δεν είναι τυχαίο ότι όλες οι σύγχρονες προδιαγραφές στις κατασκευές και στα δημόσια έργα, σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε., προβλέπουν το γαλβανισμό ως μέσο προστασίας της πάσης φύσης επιφάνειας σιδήρου. Θεωρώντας ότι ο γαλβανισμός αποτελεί μια από της πιο αποτελεσματικές επεξεργασίες για την προστασία του σιδήρου από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις επιρροές έντονα χημικού περιβάλλοντος, εγκατέστησε στο Αιτωλικό μονάδα γαλβανίσματος εν θερμώ υψηλών προδιαγραφών ποιότητας γαλβανίσματος και ποσότητας παραγωγής. Η συγκεκριμένη μέθοδος συνδυάζει την προσιτή τιμή με την αποτελεσματικότητα και την ευχρηστία και μπορεί να εφαρμοστεί σε είδη που διαφέρουν σε μέγεθος. Στόχος της επιχείρησης είναι η εξυπηρέτηση σε γαλβανισμό των προϊόντων των άλλων μονάδων μας, καθώς και το γαλβανισμό προϊόντων χάλυβα και σιδήρου για λογαριασμό τρίτων.

ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: 1998

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΠΑΝΙΟΥ: κάθετο διαμέτρου 1Μ και ύψους 7Μ ισχύος 300KW

ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ: 2500KG/H

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΣ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ: 99,995%(τύπος PRIME WESTERN)

ΚΑΥΣΙΜΟ ΓΑΛΒΑΝΙΣΤΗΡΙΟΥ: ηλεκτρικό ρεύμα

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΑΤΟΣ : DIN EN ISO 1461 :1999, ASTM A 123\A123M-97, ASTM A-153\M-98 (προδιαγραφές ελληνικών οργανισμών).

4.2 Διαδικασία γαλβανίσματος

- Μετά την σωληνοποίηση της λαμαρίνας αρχίζει η διαδικασία γαλβανίσματος. Το αντικείμενο εισέρχεται σε μια δεξαμενή που περιέχει αλκαλικά άλατα για την απολλάδωσή του, δηλαδή τον καθαρισμό του από τις λιπαντικές ουσίες που επικάθισαν στην επιφάνεια από τα προηγούμενα παραγωγικά στάδια. Κατόπιν εισέρχεται σε μια δεύτερη δεξαμενή η οποία περιέχει υδροχλωρικό οξύ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος προκειμένου να διεξαχθεί η αποξειδωση του αντικειμένου. Η αποξειδωση του αντικειμένου καθιστά απαραίτητη την έκπλυση αυτού σε νερό. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε δυο φάσεις. Το αντικείμενο περνά από δύο δεξαμενές με νερό για τον πλήρη καθαρισμό του από το οξύ. (Εικόνα 6)



Εικόνα 6

- Σε μια πέμπτη δεξαμενή που περιέχει διάλυμα χλωριούχου εναμμώνιου ψευδαργύρου ($ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$) FLOX, στους 25-33 °C, πραγματοποιείται η αντιοξειδωτική κατεργασία. Η κατεργασία αυτή θεωρείται απαραίτητη έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόντα μικρά ποσά ακαθαρσιών, σε μορφή οξειδίων, χλωριδίων, σουλφιδίων, που παραμένουν στην επιφάνεια του αντικείμενου, ώστε να μην αντιδράσουν αρνητικά στην επιθυμητή αντίδραση ψευδαργύρου-σιδήρου κατά την εμβάπτιση του υλικού στο τήγμα ψευδαργύρου. Ακόμα, χωρίς αυτή την κατεργασία δεν θα ήταν δυνατή η προσκόλληση του ψευδαργύρου πάνω στο αντικείμενο. (Εικόνα 7)



Εικόνα 7

- Ακολουθεί η ξήρανση του αντικειμένου σε φούρνο στους 120-200 °C. Η θερμοκρασία είναι τέτοια ώστε τα άλατα που έχουν προσκολληθεί στην επιφάνεια του μετάλλου κατά την εμβάπτιση του αντικειμένου στην δεξαμενή διαλύματος χλωριούχου εναμμώνιου ψευδαργύρου, να μην αποσυντεθούν. (Εικόνα 8)



Εικόνα 8

- Στη συνέχεια γίνεται η εμφάνιση του αντικείμενου στο μάνιο ψευδαργύρου, του οποίου οι διαστάσεις αναγράφονται παραπάνω. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται αντίδραση και ο ψευδάργυρος προσκολλάει πάνω στο αντικείμενο. Ο ψευδάργυρος που χρησιμοποιείται αρχικά είναι στερεό και στη συνέχεια τήκεται μέσα στο μάνιο ώστε να προσκολληθεί πάνω στο αντικείμενο. Αν με τη μείωση της θερμοκρασίας, ο ρευστός ψευδάργυρος μέσα στο μάνιο στερεοποιηθεί, τότε μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί χωρίς να χάσει καμιά από τις ιδιότητές του. (Εικόνα 9)



Εικόνα 9

- Μετά την εξαγωγή του αντικειμένου από το μπάνιο ψευδαργύρου, ψύχεται σε κατάλληλη δεξαμενή με νερό. (Εικόνα 10)



Εικόνα 10

- Με την ολοκλήρωση της ψύξης του αντικειμένου στη δεξαμενή νερού, ολοκληρώνεται η διαδικασία του γαλβανίσματος και το αντικείμενο παίρνει την τελική του μορφή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Εν συνεχεία αποθηκεύεται και είναι έτοιμο προς χρήση. (Εικόνα 11). Ακολουθεί ο ποιοτικός έλεγχος.



Εικόνα 11

5. ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο, από κάθε παρτίδα παραγόμενων προϊόντων επιψευδαργύρωσης επιλέγεται ένα δείγμα για εξέταση. Ο τρόπος επιλογής του προς εξέταση δείγματος είναι τυχαίος. Ο ποιοτικός έλεγχος συνίσταται στα εξής :

Οπτικός έλεγχος: Το στρώμα του ψευδαργύρου πρέπει να εμφανίζεται ομοιόμορφο, ομαλό και να έχει προσκολληθεί ικανοποιητικά στο βασικό μέταλλο. Επιπλέον δεν πρέπει να παρουσιάζει εξογκώματα, κενά, καψίματα και εκτεταμένες περιοχές με θαμπό χρώμα.

Έλεγχος πάχους: Τα προϊόντα που υποβλήθηκαν σε οπτικό έλεγχο, υποβάλλονται στη συνέχεια σε έλεγχο πάχους ψευδάργυρου με διαδοχικές και τυχαίες μετρήσεις, ώστε ο μέσος όρος να καλύπτει τις προδιαγραφές.

Χημική ανάλυση: Το μπάνιο ψευδαργύρου υποβάλλεται σε προληπτική ανάλυση της σύστασής του.

Τέλος είναι δυνατόν να εκδοθεί για κάθε ενδιαφερόμενο πιστοποιητικό για την ποιότητα του γαλβανίσματος. Η εταιρεία <<ΥΙΟΙ Κ.Β.ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗ Α.Ε.>> βρίσκεται στη φάση υλοποίησης της απόκτησης πιστοποιητικού διασφάλισης ποιότητας κατά ISO 9001\2000.

6. ΤΟ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑ

Το επίστρωμα ψευδαργύρου παρέχει προστασία από τη διάβρωση ,οξειδώνεται και αυτοκαταστρέφεται για να προστατέψει τον υποκείμενο σίδηρο. Τα προϊόντα της οξείδωσης του ψευδαργύρου επικάθονται στο τμήμα του γυμνού σιδήρου, καλύπτοντας τη φθορά και σταματώντας την ατμοσφαιρική διάβρωση. Το επίστρωμα:

- έχει δυνατότητα κάλυψης και των κοίλων μερών των προϊόντων
- εφαρμόζεται γρήγορα
- αυτοεπισκευάζεται όταν καταστραφεί
- έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στα χτυπήματα και στη διάβρωση και
- κοστίζει λιγότερο από ένα καλό σύστημα βαφής.

Το εξωτερικό στρώμα της επικάλυψης ψευδαργύρου είναι μαλακό και απορροφά μεγάλο μέρος των κραδασμών κατά την πρόσκρουση με άλλα αντικείμενα. Τα υποστρώματα όμως της επικάλυψης είναι πολύ σκληρότερα, συχνά πιο σκληρά και από την ίδια τη βάση του χάλυβα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μελέτη Επικαλύψεων Γαλβανισμού Ελασμάτων Καθισυχασμένου Πυριτιούχου Χάλυβα σε Λουτρό Ψευδαργύρου με Αλουμίνιο ως Κραματική Πρόσμιξη.
ΓΟΜΠΟΣ ΗΛΙΑΣ Αθήνα, Ιούλιος 1994
Διπλωματική Εργασία
2. Ηλεκτροαπόθεση του Ψευδαργύρου σε Μεταλλικά Υλικά
ΣΤΑΘΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ Αθήνα, Οκτώβριος 1990
Διπλωματική Εργασία
3. Μηχανικές Ιδιότητες Ηλεκτρογαλβανισμένου Χαλκού
ΚΡΙΠΤΙΚΟΥ ΜΑΡΙΑ Αθήνα, 1994
Διπλωματική Εργασία
4. Ειδικές Διεργασίες
ΠΑΛΛΗΣ Κ.
ΠΑΝΤΕΛΗΣ Δ.
ΤΣΑΒΔΑΡΗΣ Α.
ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΙΟΣ Η.
ΚΩΣΤΗΣ Γ.
ΒΕΚΙΟΣ Α. Αθήνα, Ιούλιος 1993
Μελέτη
5. Επιμεταλώσεις
ΚΑΠΠΑΝΟΓΛΑΟΥ Κ. Πάτρα, 1991
Μελέτη
6. Διάβρωση και Προστασία Υλικών
ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ Θ.
ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Π. Αθήνα, 1994

7. Parytus - Larous - Britannica
Εγκυκλοπαίδεια Τόμος 24
8. Electroplating and Related Processes
MOHLER J.B. New York, 1969
Chemical Publishing CO., INC.
9. Ελληνικά Γαλβανιστήρια

www.galvanistiriaellados.gr
Από Ίντερνετ
10. Τεχνική Μηχανική
Δρ. ΒΟΥΘΟΥΝΗΣ Π.Α. Γ' έκδοση, 1996

