



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

Τεχνολογίες Προστασίας Υλικών ΜΕΡΟΣ Β

Επιβλέπων: Γ. Αγγελόπουλος, καθηγητής

Επιμέλεια: Πήττας Κωνσταντίνος, διπλ. Μηχ. Μηχ.

Τμήμα Χημικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα

- ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ ΘΕΡΜΗΣ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗΣ
- Γαλβανισμός
- Υπέρ και κατά της ηλεκτρολυτικής Zn
- Θερμός γαλβανισμός
- Μέθοδοι Γαλβανισμού
- Ενδομεταλλικές φάσεις Fe-Zn
- Η διεργασία του γαλβανισμού
- Προσθήκες, κραματοποίηση, του λουτρού Zn
- Τα sprangles
- Ανοπτημένα επιστρώματα
- Επιθυμητά επιστρώματα
- Μηχανισμός διάβρωσης

Εισαγωγή

- **Γιατί προστατευτικά επιστρώματα;**
- Οι επιφάνειες καταπονούνται καθόσον είναι αυτές που έρχονται σε επαφή με το περιβάλλον.
- Τα επιστρώματα :
 - I. Βελτιώνουν την αντίσταση στην φθορά, στην διάβρωση και στην οξείδωση
 - II. Ελέγχεται η τριβή μεταξύ δύο επιφανειών
 - III. Βελτιώνουν την επιφανειακή τραχύτητα
 - IV. Επισκευάζουν φθαρμένες επιφάνειες
 - V. Βελτιώνουν την αντίσταση στην κόπωση
 - VI. Χρησιμοποιούνται για διακοσμητικούς λόγους

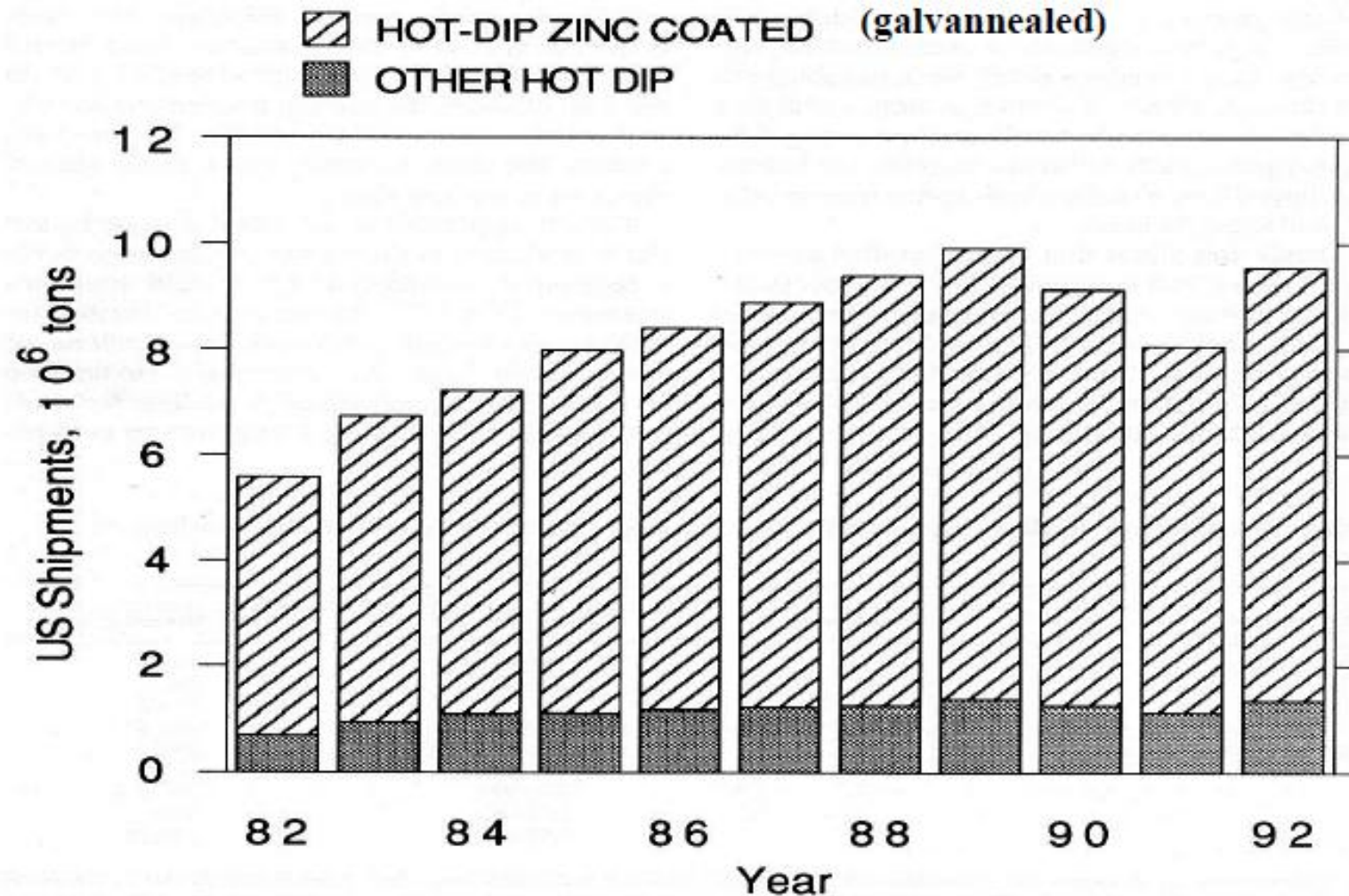
ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ ΘΕΡΜΗΣ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗΣ

- Η εφαρμογή μεταλλικών επιστρωμάτων με θερμή εμβάπτιση είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος προστασίας χαλύβων. **Συνεχής διεργασία:** Λαμαρίνες, σύρματα σωλήνες κλπ. διέρχονται σε συνεχή γραμμή από λουτρό τηγμένου μετάλλου που δημιουργεί το επίστρωμα. **Διακοπτόμενη διεργασία :** Κατεργασμένα αντικείμενα, βίδες, συνδετήρες, άξονες κλπ. εμβαπτίζονται σε φουρνιές (batch) σε τήγμα του μετάλλου ή κράματος προς επίστρωση.

Βασικοί τύποι επιστρωμάτων θερμής εμφάνισης

- Zn επιστρώματα, γαλβανισμός (galvanized)
- Zn-Fe επιστρώματα (galvannealed)
- Al επιστρώματα
- Al-Si επιστρώματα
- Zn-5Al επιστρώματα
- Zn-55Al επιστρώματα
- Pb-Sn επιστρώματα

Παραγωγή χάλυβα με επιστρώματα θερμής εμβάπτισης στις Η.Π.Α.



Γαλβανισμός (επιψευδαργύρωση,galvanizing)

- Επικάλυψη σιδηρούχου κράματος (χάλυβα) με στρώμα Zn(Zn ηλεκτροθετικότερος του Fe) Προστασία από διάβρωση και μηχανική φθορά
- Ψυχρός (ηλεκτρολυτικός) γαλβανισμός
- Θερμός γαλβανισμός

Ψυχρός (ηλεκτρολυτικός) γαλβανισμός

Άνοδος Zn συνήθως υψηλής καθαρότητας
Κάθοδος το προς επικάλυψη αντικείμενο

Τύποι λουτρών

- Κυανιούχα λουτρά
Μέχρι το 1970 σχεδόν το σύνολο της παραγωγής. Σήμερα έχουν εγκαταλειφθεί λόγω περιβαλλοντικών λόγων.
- Αλκαλικά λουτρά
- Όξινα χλωριούχα λουτρά (ZnCl_2 , NH_4Cl , KCl , NaCl βορικό οξύ, πρόσθετα λαμπρυντικά, $\text{PH}:4.8-5.3$)

Η πιο εξελισσόμενη σήμερα μέθοδος ψυχρού γαλβανισμού παραγωγής. Σήμερα σχεδόν το 50% της παραγωγής στις ανεπτυγμένες χώρες πραγματοποιείται με τη μέθοδο αυτή.

Υπέρ και κατά της ηλεκτρολυτικής Zn

- Υψηλού κόστους διεργασία
- Ακριβής έλεγχος πάχους επιστρώματος
- Υψηλής καθαρότητας επίστρωμα
- Μη θερμική καταπόνηση αντικειμένου

Θερμός γαλβανισμός (Hot dip galvanizing)

Εμβάπτιση σε λουτρό τηγμένου Zn (440-480°C)

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

- ***Απολίπανση***
Απομάκρυνση λιπαντικών από την επιφάνεια
 - ψυχρή με διαλύτες
 - θερμή με καυστικά αλκάλια
- ***Καθαρισμός-αποξείδωση (pickling)***
Καθαρισμός επιφάνειας με αραιά διαλύματα HCl (14%) ή H₂SO₄ (10-14%, θέρμανση 60-80°C). Το HCl έχει το πλεονέκτημα της εύκολης χρήσης, το θειικό μπορεί να ανακυκλωθεί. Μικρό ποσοστά ακαθαρσιών στη μορφή οξειδίων, σουλφιδίων, χλωριδίων, παραμένουν στην επιφάνεια και επιδρούν στην αντίδραση Fe-Zn.
- ***Ξέπλυμα εν θερμώ*** (χρήση νερού)
- ***Αντιοξειδωτική κατεργασία (fluxing)***
Χρήση συλλιπάσματος η φύση των οποίων εξαρτάται από την μέθοδο γαλβανισμού «υγρή» ή «ξηρή»

Μέθοδοι Γαλβανισμού

Για την αποφυγή της επανοξειδωσης της επιφάνειας, ανάλογα της μεθόδου αντιοξειδωτικής κατεργασίας διακρίνονται δύο τρόποι γαλβανισμού

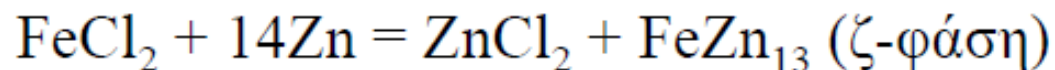
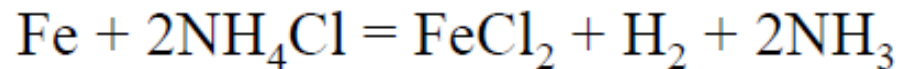
- **Ξηρή οδός**

Επικάλυψη της επιφάνειας με συλλιπάσματα όπως $ZnCl_2$ και ξήρανση

- **Υγρή οδός**

Πραγματοποιείται εμβάπτιση σε ρευστό διάλυμα (flux) $ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$ θερμοκρασίας $80^\circ C$. Το συλλίπασμα μπορεί να επιπλέει του λουτρού γαλβανισμού

Αντιδράσεις



Επιστρώματα Zn (galvanized)

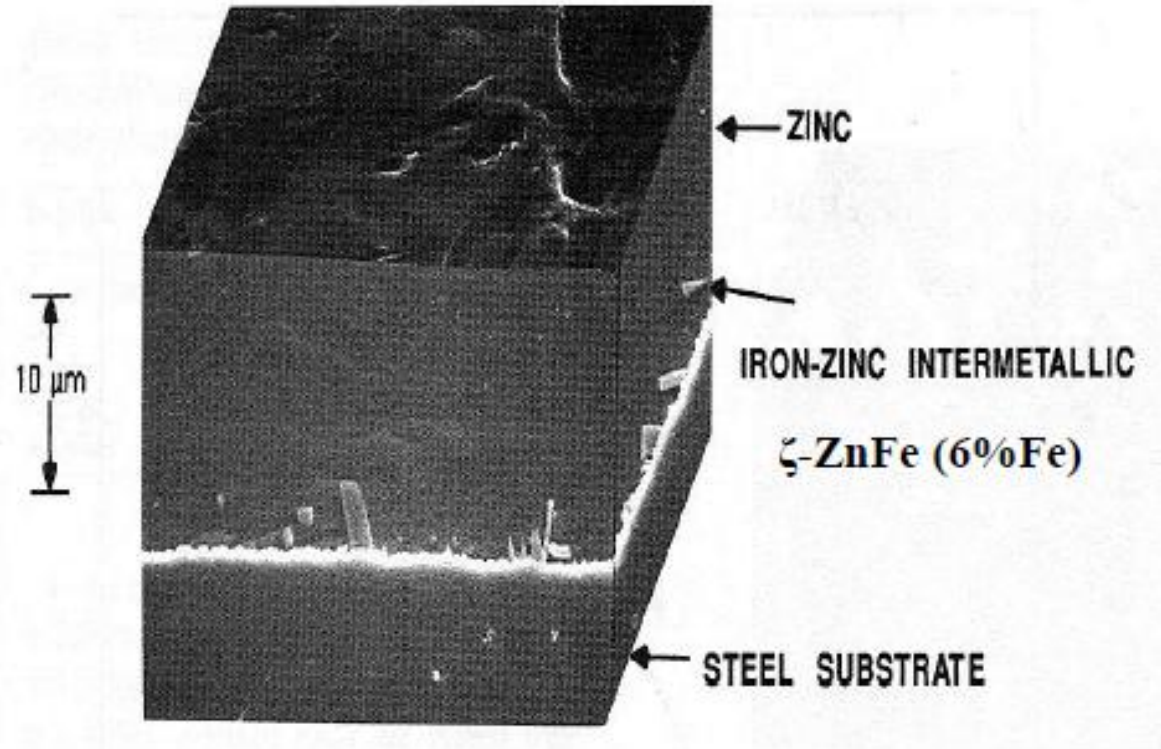
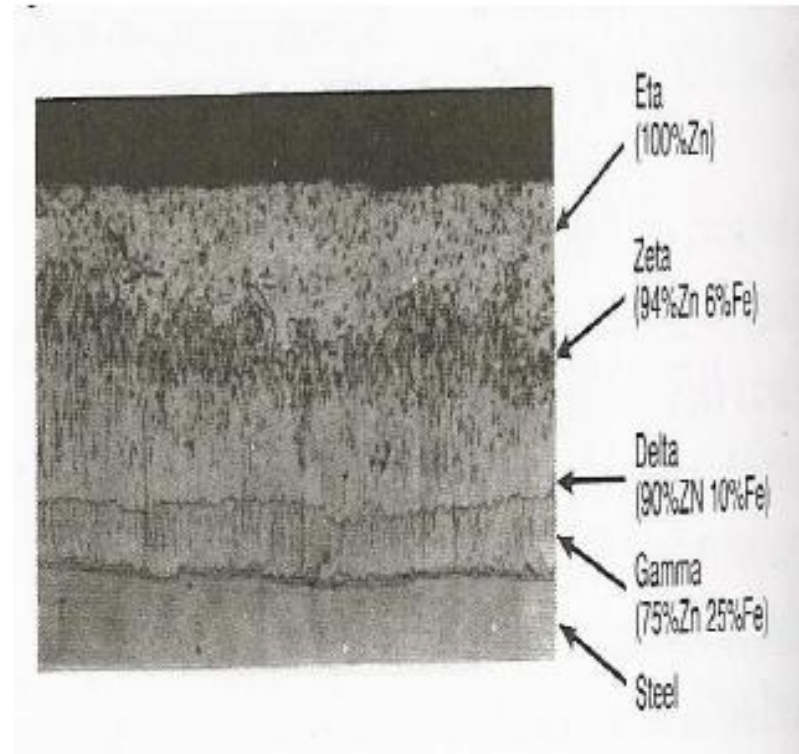
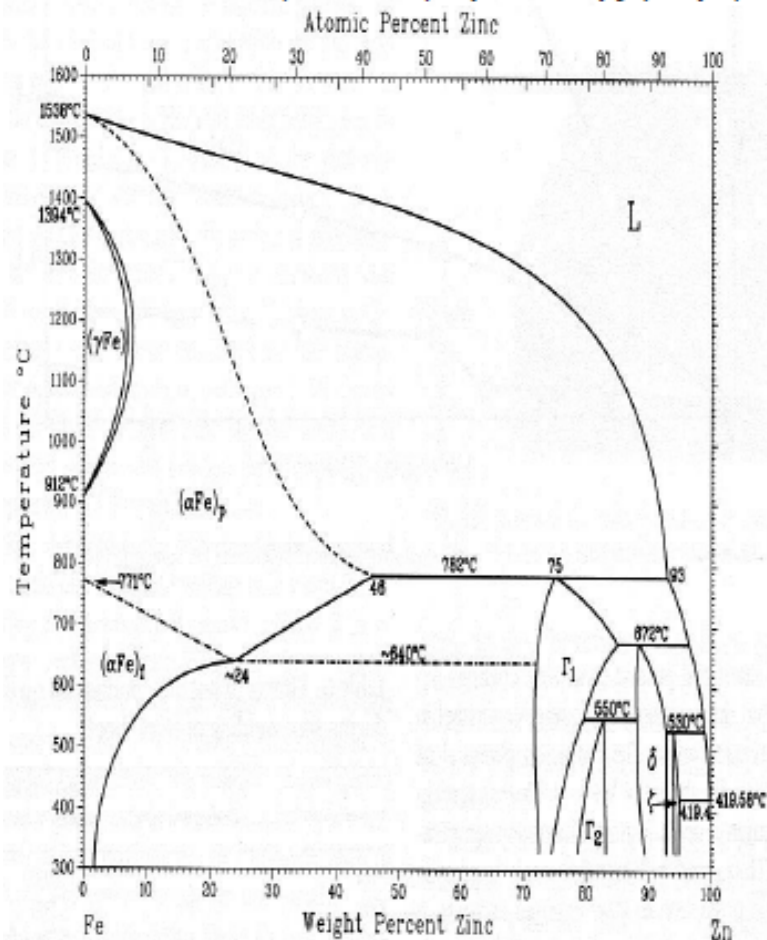


Fig.6 Galvanized coating microstructure. Scanning electron microscope cross section

Ενδομεταλλικές φάσεις Fe-Zn

Στους 500°C που πραγματοποιείται η διεργασία γαλβανισμού σύμφωνα με το διάγραμμα ισορροπίας δημιουργούνται 4 ενδομεταλλικές φάσεις. Γ1, Γ2, δ, ζ. Η δ λόγω διαφορετικής μορφολογίας χωρίζεται σε δύο υποφάσεις δ_{1κ}, δ_{1ρ}



Γ1: 25-32% Fe (κυβικό,
 $a_{\Gamma1}=0.3944Zn(at\%)+8.7096\text{\AA}$)

Γ2: 20-22% Fe ($a_{\Gamma2}=2a_{\Gamma1}$)

δ: δύο διαφορετικές μορφολογίες

δ1: 12-13%Fe (συμπαγής, εξαγωνικό,
 $a=12.80\text{\AA}$, $c=57.6\text{\AA}$)

δ2: 8-10%Fe (κολωνοειδής, $a=12.815\text{\AA}$,
 $c=57.35\text{\AA}$)

ζ: 6.7-7.2%Fe (μονοκλινές $a=10.862\text{\AA}$, 90° ,
 $b=7.608\text{\AA}$: 100° , $c=5.061\text{\AA}$, 90°)

Κινητική της Αντίδρασης Fe-Zn

Παράγοντες που επηρεάζουν:

- Χρόνος εμφάνισης (ταχύτητα εμφάνισης)
- Θερμοκρασία λουτρού
- Ποιότητα (δομή, τραχύτητα επιφάνειας) χάλυβα
- Περιεκτικότητα λουτρού Zn σε προσμίξεις
- Προετοιμασία επιφάνειας χάλυβα

Ρυθμός ανάπτυξης: $d_{(\text{πάχος})} = c \cdot t^n$ ($D_{\text{Zn}} > D_{\text{Fe}}$)

n: μέτρο μεταβολής ρυθμού (<1)

Για την συνολική ζώνη n=0.5 (καθαρή διάχυση)

Για την Γ φάση n=0.099-0.5

Για την δ φάση n=0.5-0.6

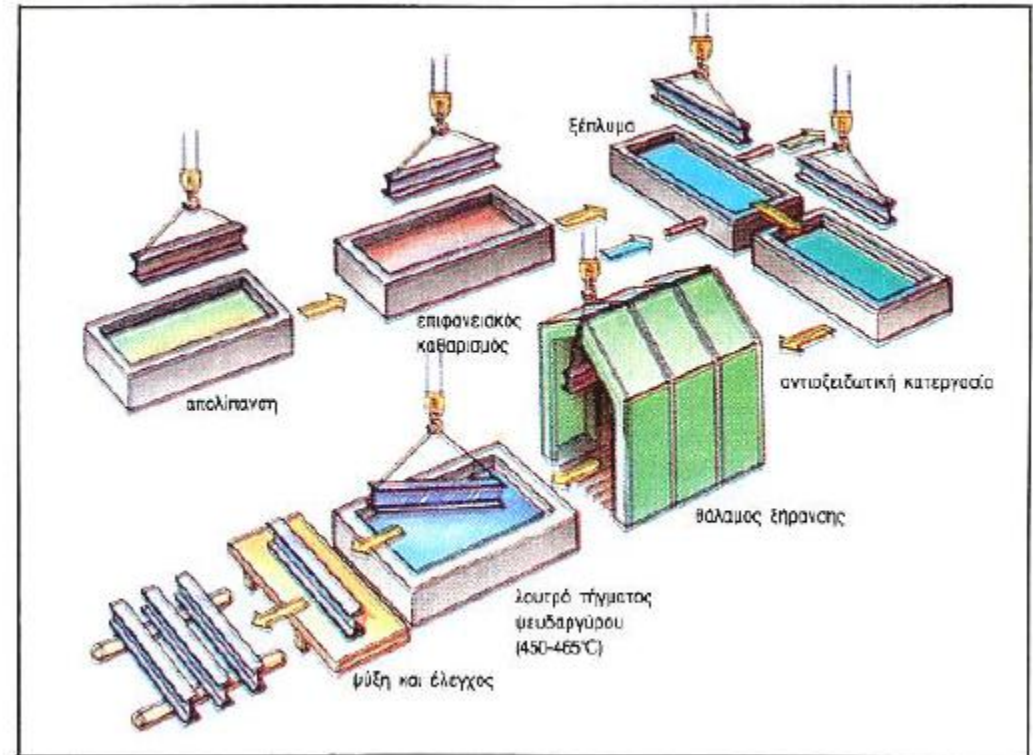
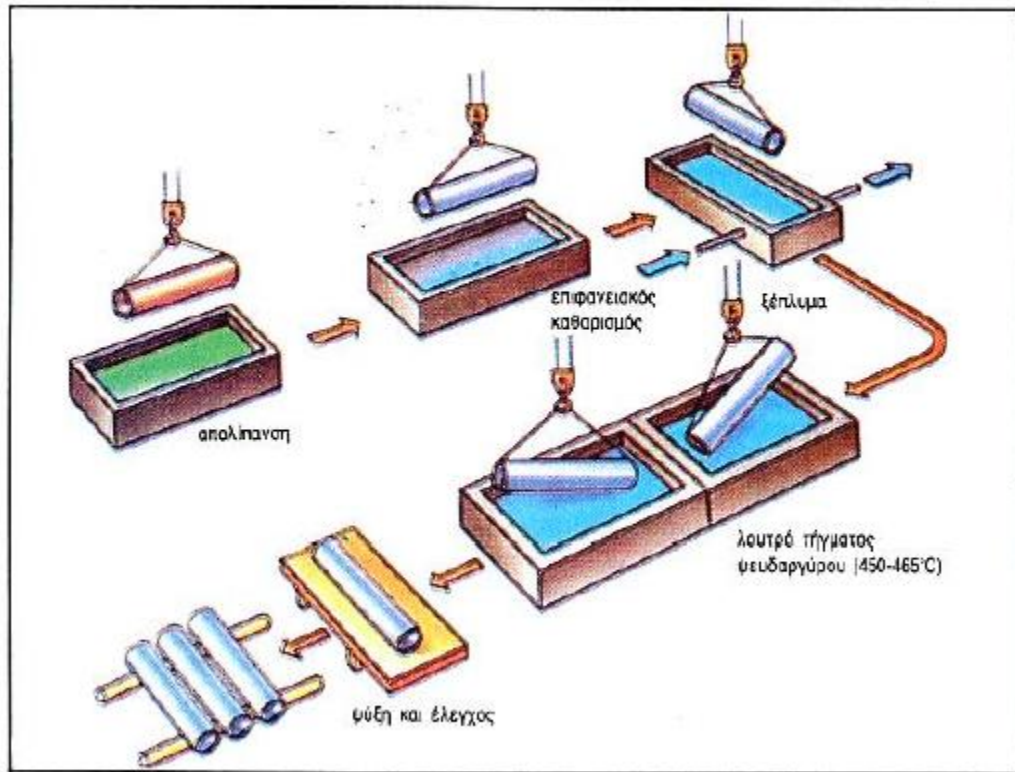
Για την ζ φάση n=0.156-0.31

Η ανάπτυξη της η φάσης (καθαρού Zn), εξαρτάται από την ταχύτητα απόσυρσης από το λουτρό

Στους μικρούς χρόνους η ανάπτυξη της ζ είναι το ρυθμο-ρυθμιστικό βήμα και στους μεγάλους η ανάπτυξη της δ με διάχυσης του Zn μέσω της ζ

Η διεργασία του γαλβανισμού

Γαλβανισμός με τη μέθοδο της «υγρής οδού».



Γαλβανισμός με τη μέθοδο της «ξηράς οδού».

Βασικά στάδια γαλβανισμού

Καθαρισμός-αποξείδωση
(pickling)



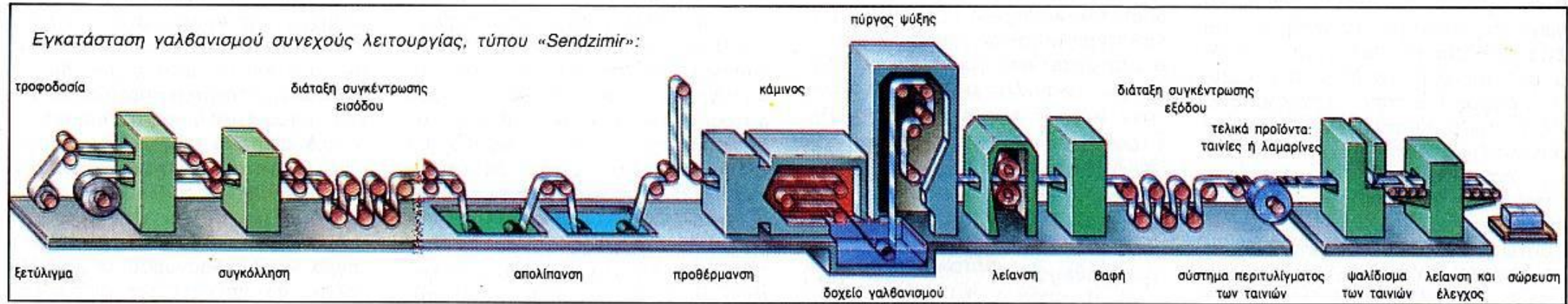
galvanizing



Αντιοξειδωτική κατεργασία
(fluxing)



Βιομηχανική εγκατάσταση γραμμής γαλβανισμού



Διαδικασία ανόπτησης-ανακρυστάλλωσης

Το συνεχές φύλλο χάλυβα, steel strip, προθερμαίνεται στους 700°C σε κλίβανο ακτινοβολίας σε αναγωγική ατμόσφαιρα μίγματος H₂, N₂. Ανάγονται τα επιφανειακά οξείδια προς σίδηρο και δημιουργείται μια ιδιαίτερα καθαρή επιφάνεια που προσφέρεται για γαλβανισμό. Πριν την εισαγωγή στο χωνευτήριο Zn, η λαμαρίνα ψύχεται για αποφυγή υπερθέρμανσης του λουτρού.

Σχηματική παράσταση του χωνευτηρίου τήγματος Zn

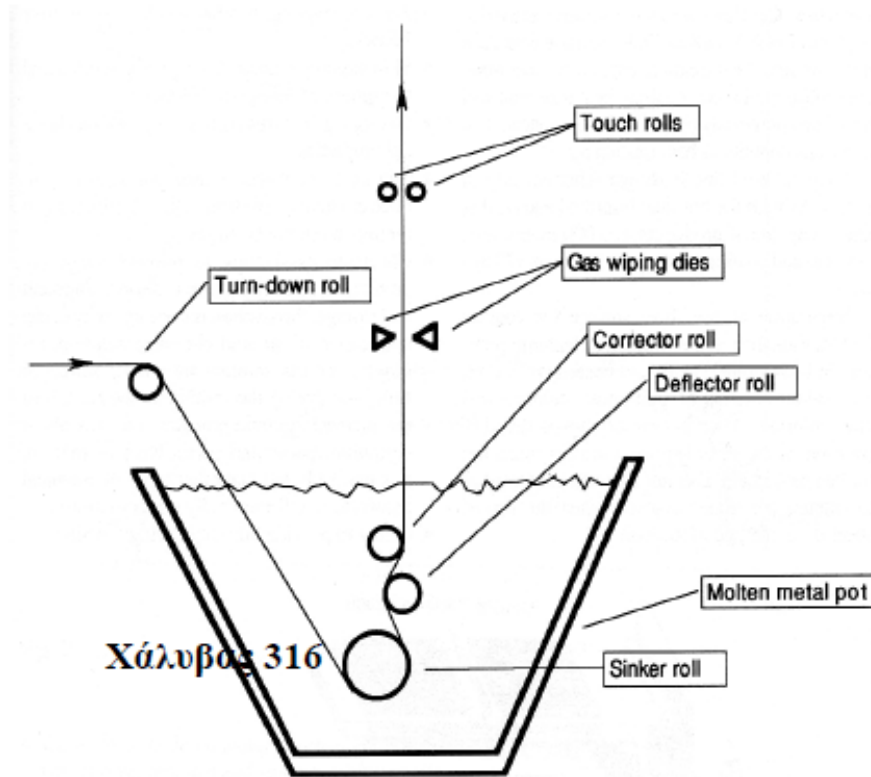


Fig. 3 Schematic of pot region in a typical continuous hot dip coating line

Το πάχος επιστρώματος ρυθμίζεται από τους καθαριστήρες, φιλιέρες, αερίου και το πάχος που ελέγχεται με X-Rays ή άλλες μεθόδους

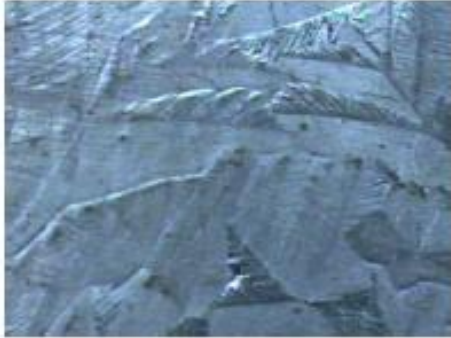
Προσθήκες, κραματοποίηση, του λουτρού Zn

Αλουμίνιο: 0.1-0.2%. Δημιουργεί με τον χάλυβα λεπτό στρώμα FeAl το οποίο παρεμποδίζει την ανάπτυξη FeZn που οδηγεί σε φτωχή συνάφεια και αποκόλληση του επιστρώματος κατά την μορφοποίηση.

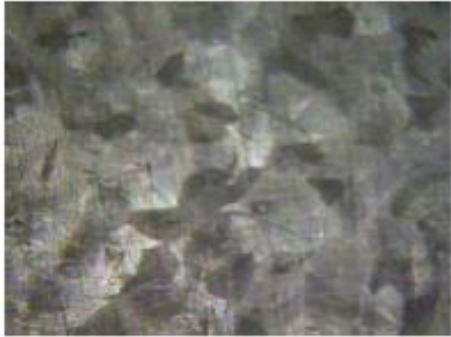
Μόλυβδος: Αρχικά υπήρχε το λουτρό γαλβανισμού σαν ακαθαρσία. Ευνοεί την δημιουργία των χαρακτηριστικών φολίδων, spangles, δενδριτικών κρυστάλλων. Ιστορικά η ύπαρξή τους διαφοροποιούσε τα επιστρώματα από τα ηλεκτρολυτικά που έχουν μικρότερη αντίσταση διάβρωσης από οξείδωση. Έτσι χρησιμοποιείται μέχρι 0.1% για την δημιουργία των spangles για λόγους marketing.

Αντιμόνιο: Αντικαθιστά τον μόλυβδο στην δημιουργία των spangles. Σήμερα για περιβαλλοντικούς λόγους υπάρχουν αυστηροί κανόνες στη χρήση του Pb.

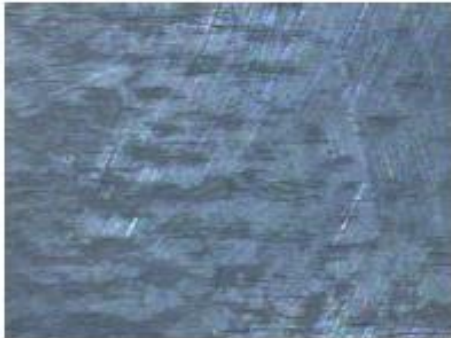
Τα spangles



κανονικό



ultra



zero

Από τα spangles μπορεί να ξεκινήσουν ρωγματώσεις κατά την διάρκεια της μορφοποίησης. Επίσης σε εφαρμογές που απαιτούν βαφή μετά τον γαλβανισμό όπως π.χ. στην αυτοκινητοβιομηχανία ή στις κατασκευές δεν είναι επιθυμητή η ύπαρξή τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση των κέντρων πυρηνοποίησής τους μέσω ψεκασμού ατμού, νερού ή λεπτής σκόνης Zn στην επιφάνεια. Επιπλέον η επιφάνεια είναι πιο λεία.

Ανοπτημένα επιστρώματα (galvanneal)

Προέρχονται από θερμική διάχυση του γαλβανικού επιστρώματος.

- Ευρεία χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων τους κατά τον χρωματισμό (καλύτερη πρόσφυση χρώματος) και της σημειακής συγκόλλησης (spot welding).

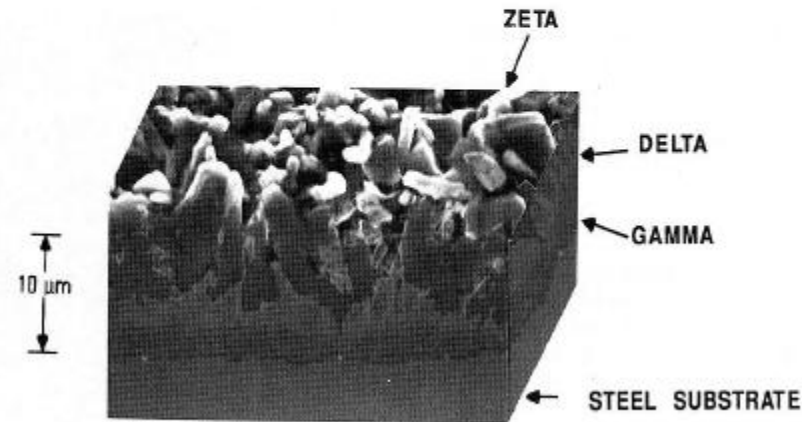
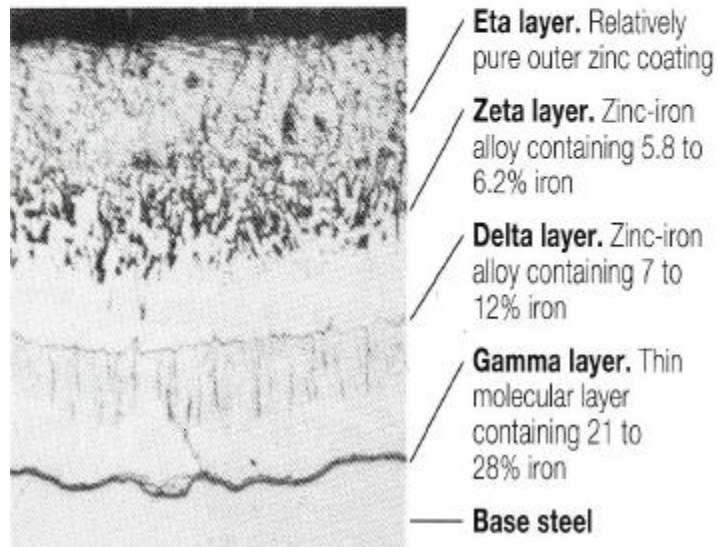


Fig. 9 Galvanneal coating microstructure composed of zeta, delta, and gamma phases. Scanning electron microscope cross section

Επιθυμητά επιστρώματα

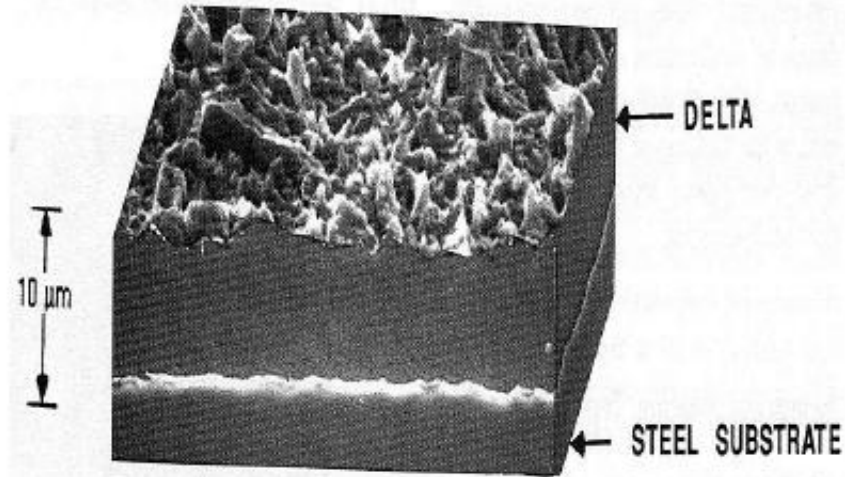


Fig. 10 Galvanneal coating microstructure composed of mostly delta phase. Scanning electron microscope cross section

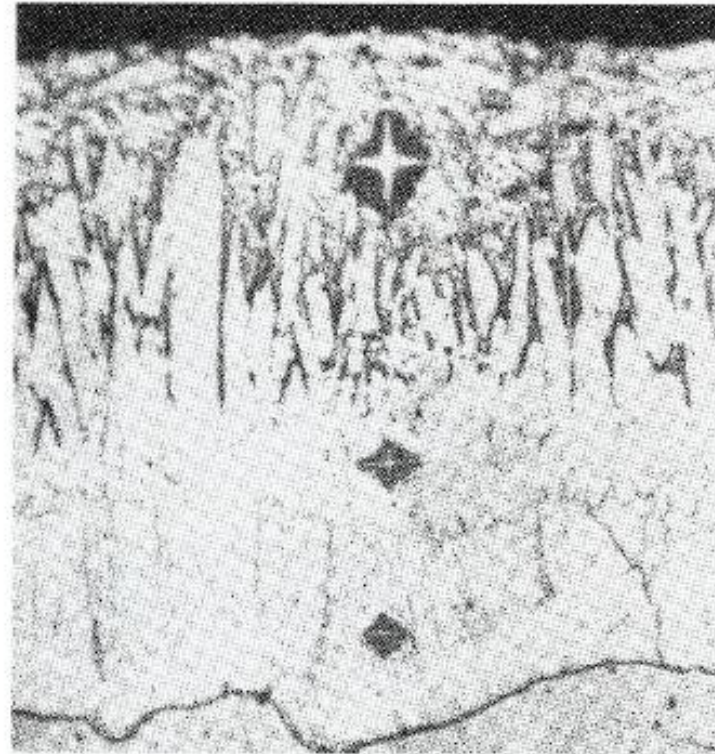
Η ζ φάση είναι μονοκλινης. Θεωρείται ότι έχει υψηλό συντελεστή τριβής και έτσι δεν είναι επιθυμητή στις κατεργασίες μορφοποίησης.

Η γ φάση είναι εξαγωνική μεγίστης πυκνότητας και επομένως έχει περιορισμένη ολκιμότητα. Οδηγεί στην κονιοποίηση του επιστρώματος κατά την μορφοποίηση.

Σε στρώματα άνω των 9-10 μm, είναι δύσκολη η αποφυγή δημιουργίας γ φάσης.

Αντίσταση κατά της τριβής

Η δ και η ζ φάσεις του επιστρώματος είναι σκληρότερες από το χάλυβα. Η η φάση μπορεί να απομακρυνθεί εάν υποστεί καταπόνηση ή τριβή.



Eta layer

70 DPN
hardness

Zeta layer

179 DPN
hardness

Delta layer

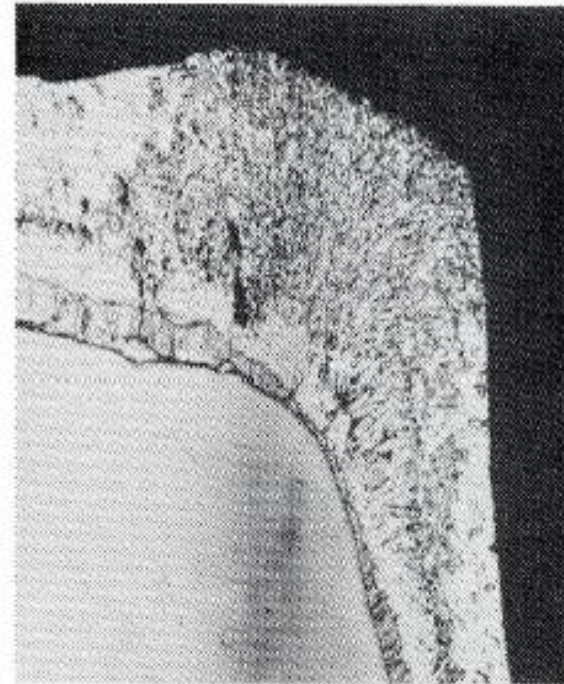
244 DPN
hardness

Base steel

159 DPN
hardness

Πάχος επιστρωμάτων κατά AS 1650

	Minimum average coating mass on any individual test area g/m ²	Equivalent thickness μm
Steel over 5mm thick	600	84
Steel between 2mm and 5mm thickness	450	63
Steel less than 2mm thick	350	49
Castings (iron & steel)	600	84
Hollow sections (pipe)	300	42



Galvanized coatings are slightly thicker at corners and edges as shown, an important advantage over most organic coatings which thin out in these critical areas.

Διάβρωση επιστρωμάτων θερμού γαλβανισμού

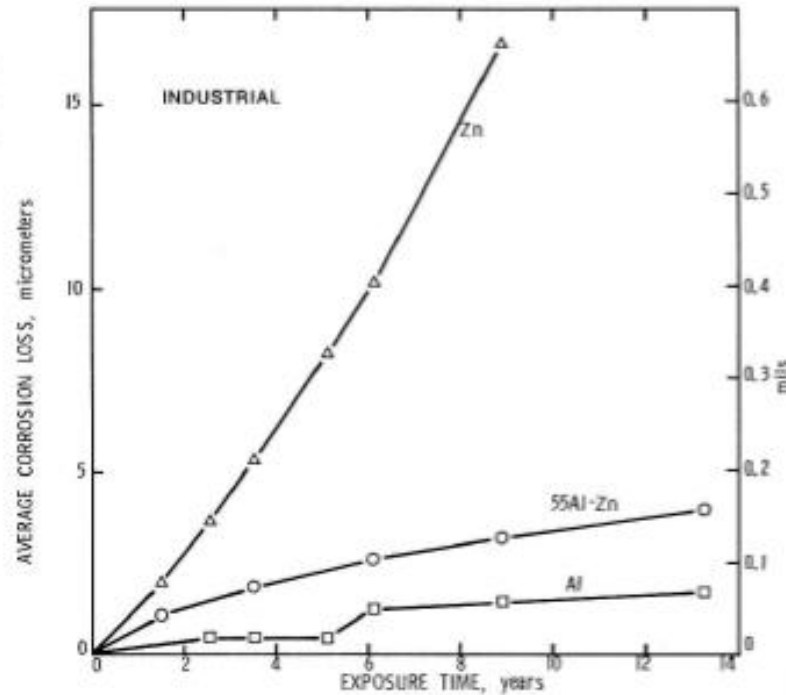
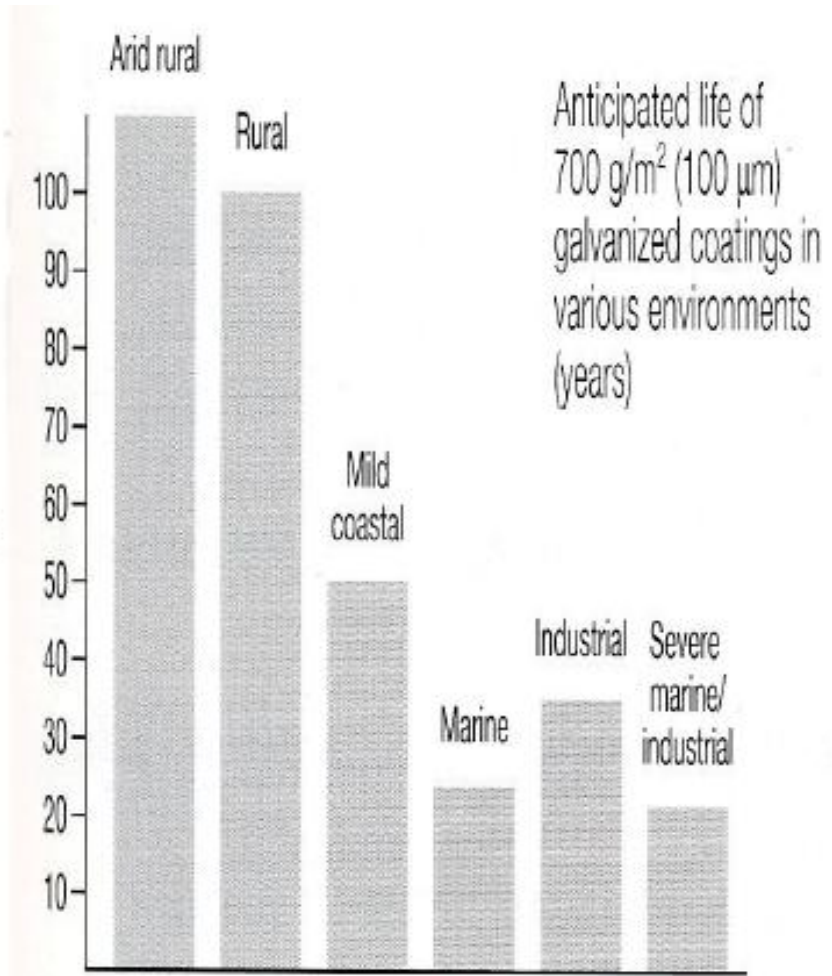


Fig. 8 Corrosion losses of hot dip coatings in the industrial environment of Bethlehem, PA. Source: Ref 18

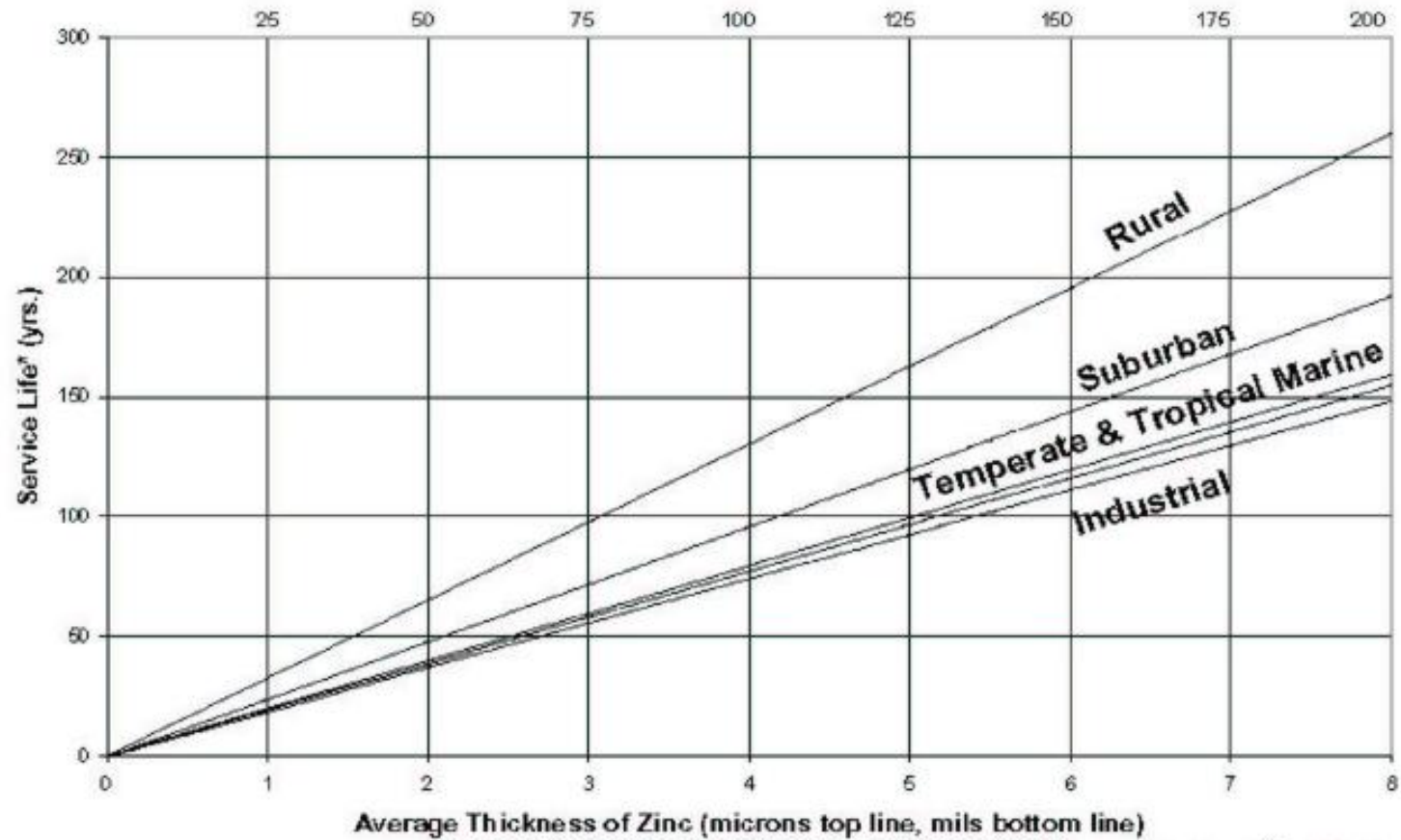


Anticipated life of 700 g/m² (100 µm) galvanized coatings in various environments (years)

Εκτίμηση διάρκειας ζωής

Service Life Chart for Hot-Dip Galvanized Coatings

Derived from The Zinc Coating Life Predictor



*Service Life is defined as the time to 5% rusting of the steel surface

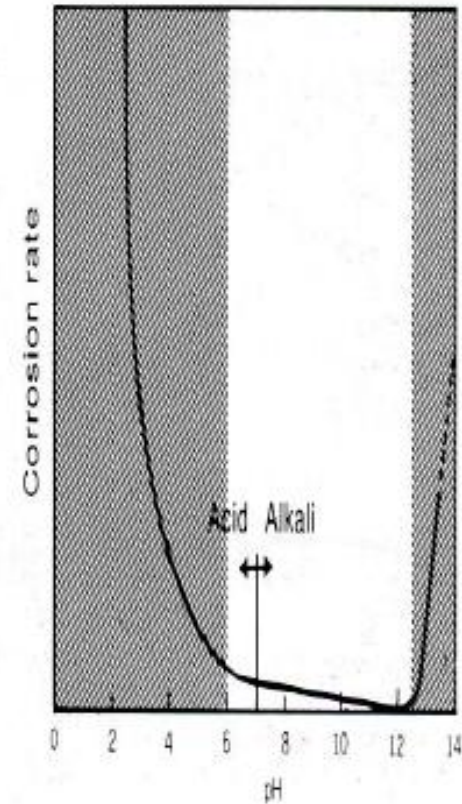
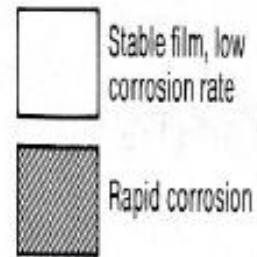
Note: 1 oz./ft² ~ 1.8 mils

Διάβρωση σε επαφή με υγρά

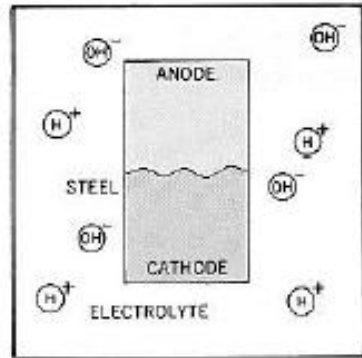
Γαλβανισμός ιδανική λύση για δοχεία αποθήκευσης υγρών.

Τα περισσότερα οργανικά υγρά δεν προσβάλλουν τον Zn.

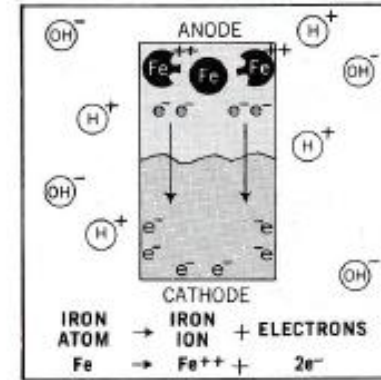
Effect of pH on corrosion rate of zinc. In the range pH 6 to pH 12.5 the zinc coating forms a stable protective film and corrosion rate is low.



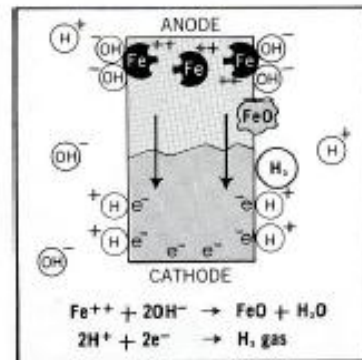
Μηχανισμός διάβρωσης



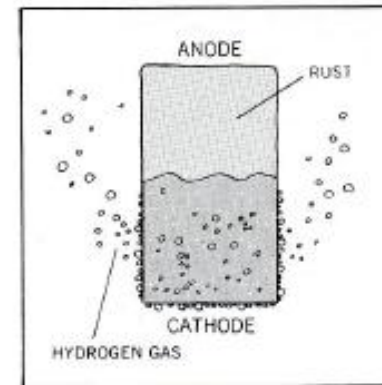
Δημιουργία κελιού



Δημιουργία ιόντων Fe

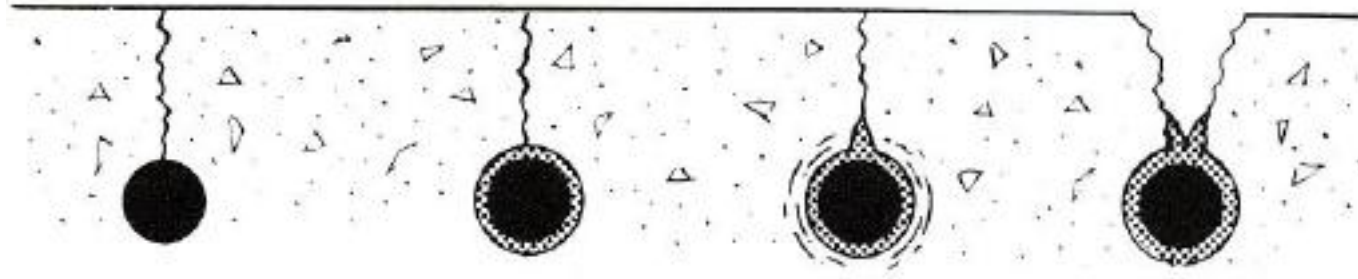


Δημιουργία σκουριάς



Διάβρωση

Στάδια διάβρωσης



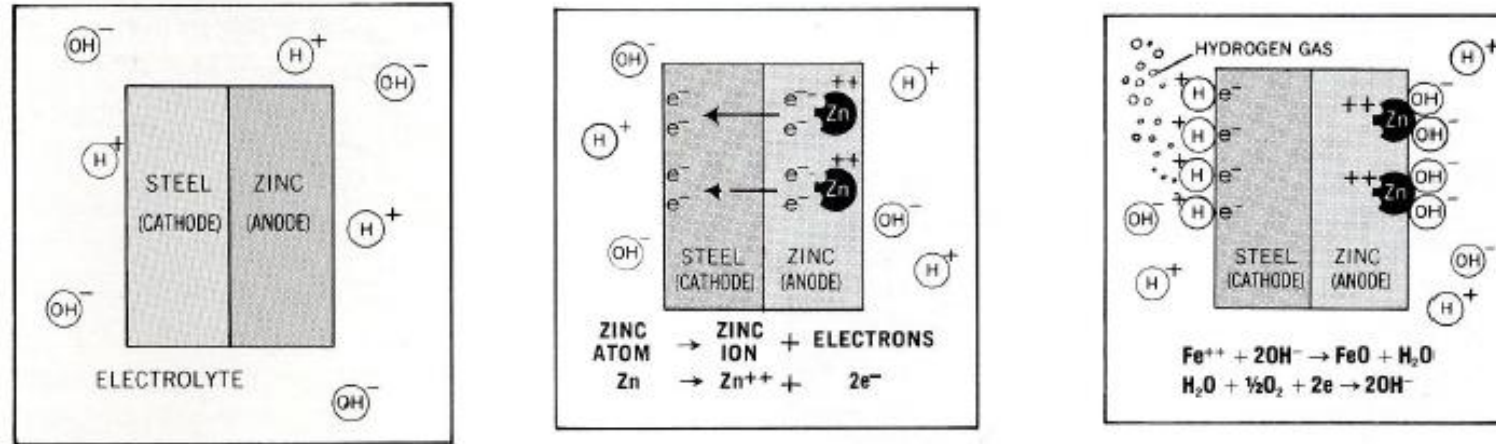
Moisture enters
hairline cracks
and porous
areas

Rust
begins
to form

Build up of bulky
corrosion
products causes
disruptive tensile
stresses

Finally
pressure causes
spalling of
concrete and
exposure of
steel bars.

Καθοδική προστασία με Zn



Η διάβρωση γίνεται στο ανοδικό μέρος.

Ο Zn θυσιάζεται προστατεύοντας το σίδηρο.

Αλουμινούχα επιστρώματα

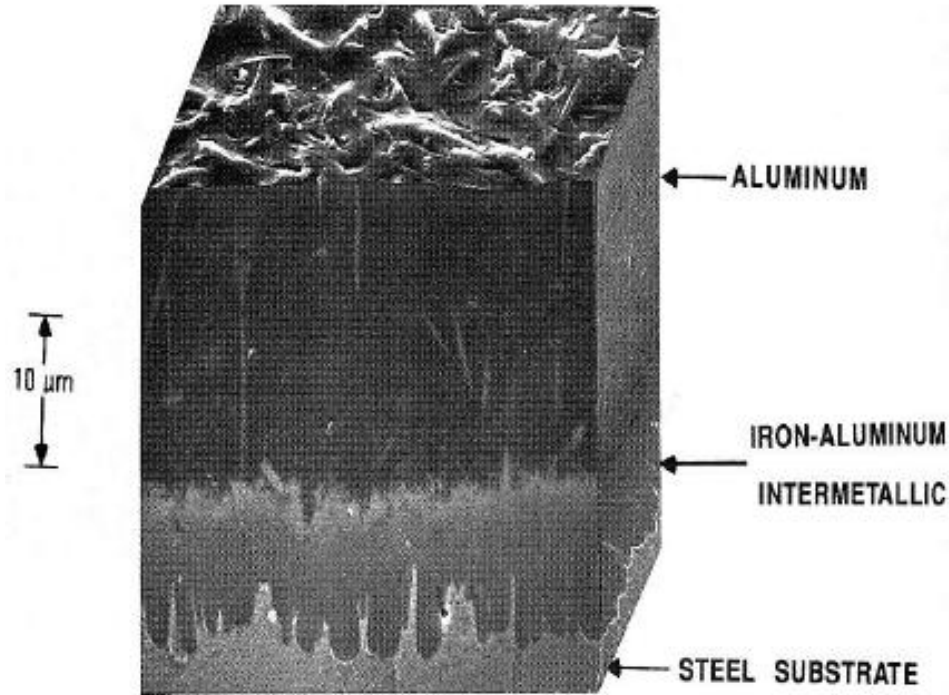


Fig. 11 Type 2 aluminum coating microstructure. Scanning electron microscope cross section

- Αλουμινούχο επίστρωμα τύπου 2.
- Τυπικά πάχη 30-50 μm .
- Εξαιρετική αντοχή στα περισσότερα περιβάλλοντα.
- Περιορισμένη σε περιβάλλον υψηλής συγκέντρωσης αλάτων.
- Δεν προσφέρει καθοδική προστασία.

Al-Si επιστρώματα

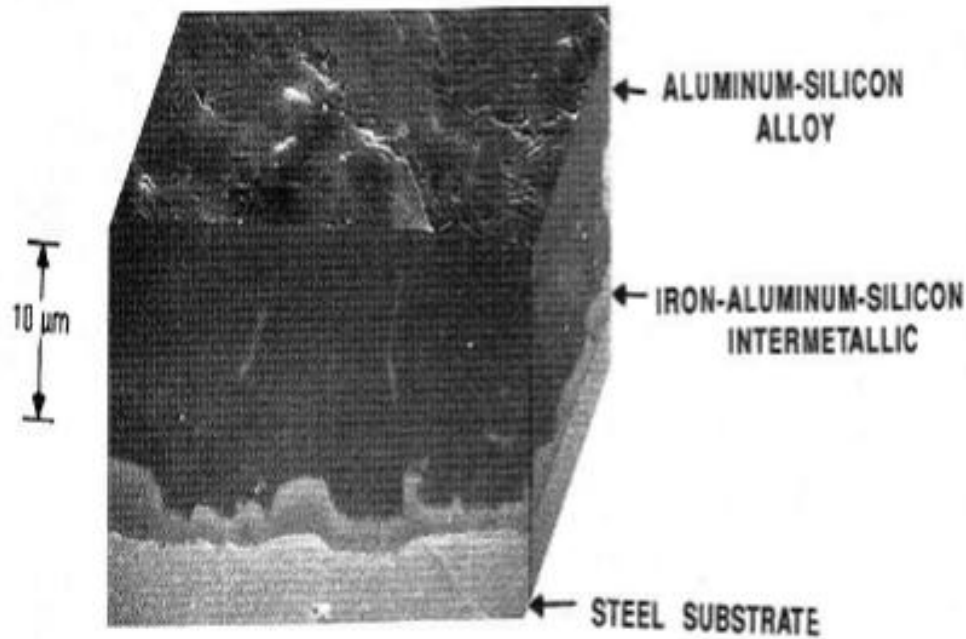


Fig. 12 Type 1 aluminum coating microstructure. Scanning electron microscope cross section

- Αλουμινούχα επιστρώματα τύπου 1.
- Τυπικά πάχη 20-25 μm.
- Για μέγιστη ικανότητα μορφοποίησης πάχος 12 μm.
- Si από 5-11%.
- Σχηματισμός ενοδμεταλλικής Fe-Al-Si που προσδίδει καλλίτερη συμπεριφορά στην μορφοποίηση.

Ανοδίωση

- Μέθοδος επιφανειακής προστασίας μετάλλων. Επίστρωμα μετασχηματισμού (conversion) με δημιουργία επιφανειακού οξειδίου. Εφαρμόζεται κυρίως για Al, αλλά και για Mg, Ti, Zn, Fe και τα κράματά τους.

Διεργασία ανοδίωσης:

- Ηλεκτροχημική διεργασία όπου το προς κατεργασία μέταλλο παίρνει την θέση της ανόδου σε αντίθεση με την ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, όπου είναι η κάθοδος. Εξ' ου και η ονομασία.

Ανοδίωση Αλουμινίου

- Αύξηση της αντίστασης στην διάβρωση
- Βελτίωση της εμφάνισης (λούστρο, χρωματισμός)
- Αύξηση της αποξεστικής αντίστασης της επιφάνειας
- Αύξηση της πρόσφυσης του χρώματος
- Προσφέρει ηλεκτρική μόνωση
- Είναι δυνατό να επιμεταλλωθεί

Διεργασίες ανοδίωσης

- Τρεις είναι οι βασικές διεργασίες ανοδίωσης.
 1. Διεργασία χρωμικού (ηλεκτρολύτης χρωμικό οξύ)
 2. Διεργασία θεικού (ηλεκτρολύτης θειικό οξύ)
 3. Διεργασία σκληρής ανοδίωσης (ηλεκτρολύτης θειικό οξύ με ή χωρίς πρόσθετα. Παχύτερα επιστρώματα)
- Άλλες διεργασίες έχουν αναπτυχθεί για ειδικούς σκοπούς και χρησιμοποιούν θειικό, οξαλικό, βορικό, θειοσαλικυλικό ή ταρταρικό οξύ.
- Το πάχος των επιστρωμάτων κυμαίνεται από 5 έως 18 μm , εκτός των σκληρών που έχουν μεγαλύτερα πάχη.

Προετοιμασία επιφάνειας

- **Καθαρισμός.** Απομάκρυνση λίπους και επιφανειακού οξειδίου. Το τελευταίο βρίσκεται και στην πλέον καθαρή (φαινομενικά) επιφάνεια. Χρήση αλκαλικών ή ατμών διαλυτών όπως τριχλωροεθυλενίου (τελευταία δεν επιτρέπεται η χρήση του λόγω καταστροφής όζοντος).
- **Πλύσιμο.** Χρήση νερού ή απιονισμένου νερού.
- **Χημική προσβολή (Etching).** Χρήση αντιδραστηρίων όπως καυστικής σόδας (NaOH). Αφαίρεση επιφανειακού, λεπτού στρώματος αλουμινίου.
- **Απομάκρυνση επιφανειακών επικαθίσεων (demutting)** όπως άλλων μετάλλων ή καπνιάς που προέρχονται από τις προηγούμενες κατεργασίες και έχουν παραμείνει. Χρήση HNO₃, 10-25 vol%.
- **Πλύσιμο.** Χρήση νερού ή απιονισμένου νερού.
- **Ανοδίωση.**

Διεργασία χρωμικού

- Η διεργασία αυτή προτιμάται σε αντικείμενα πολύπλοκου σχήματος λόγω της δυσκολίας απομάκρυνσης από κοιλότητες κλπ και της διαβρωτικής φύσης του θειικού οξέος.
- Δίνει επιφάνειες χρώματος κίτρινου ή σκούρου λαδί.
- Διαλύματα ηλεκτρολύτη και συνθήκες ηλεκτρόλυσης
 - 3-10 κβ% CrO₃ σε νερό
 - PH 0.5-1.0
 - συγκέντρωση χλωριόντων (πχ NaCl) < 0.02%
 - τάση 40V (ρυθμιζόμενο 0-40 V)
 - πυκνότητα ρεύματος > 0.1A/dm²
 - διάρκεια διεργασίας 30-40 min

Διεργασία θειικού

Διαλύματα ηλεκτρολύτη και συνθήκες ηλεκτρόλυσης

- 12-20 κβ% H₂SO₄
- συγκέντρωση χλωριόντων (πχ NaCl) < 0.02%

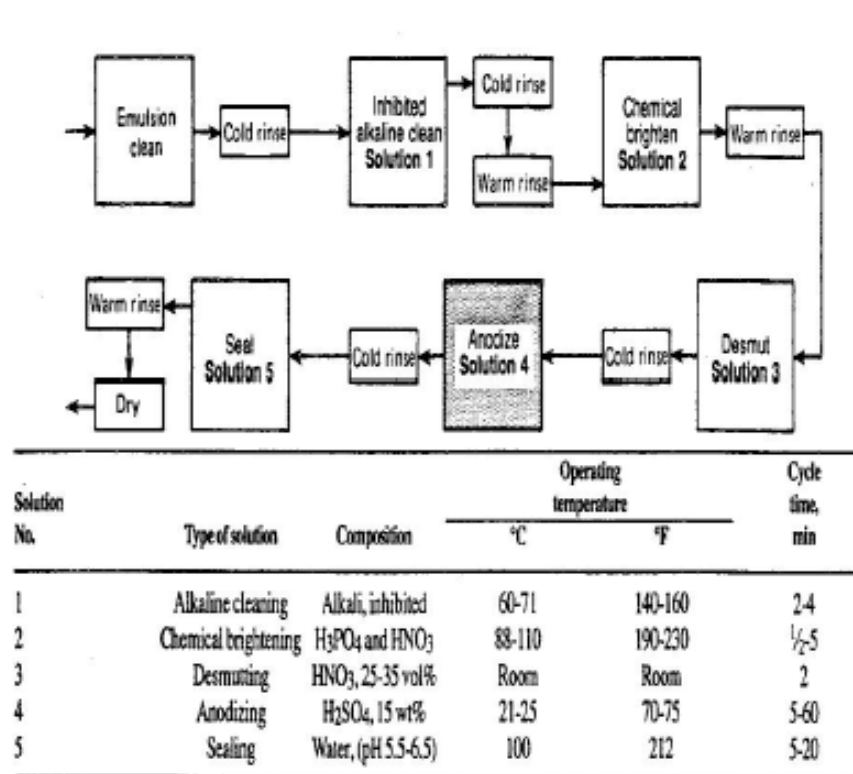


Fig. 6 Operations sequence in sulfuric acid anodizing of automotive bright trim

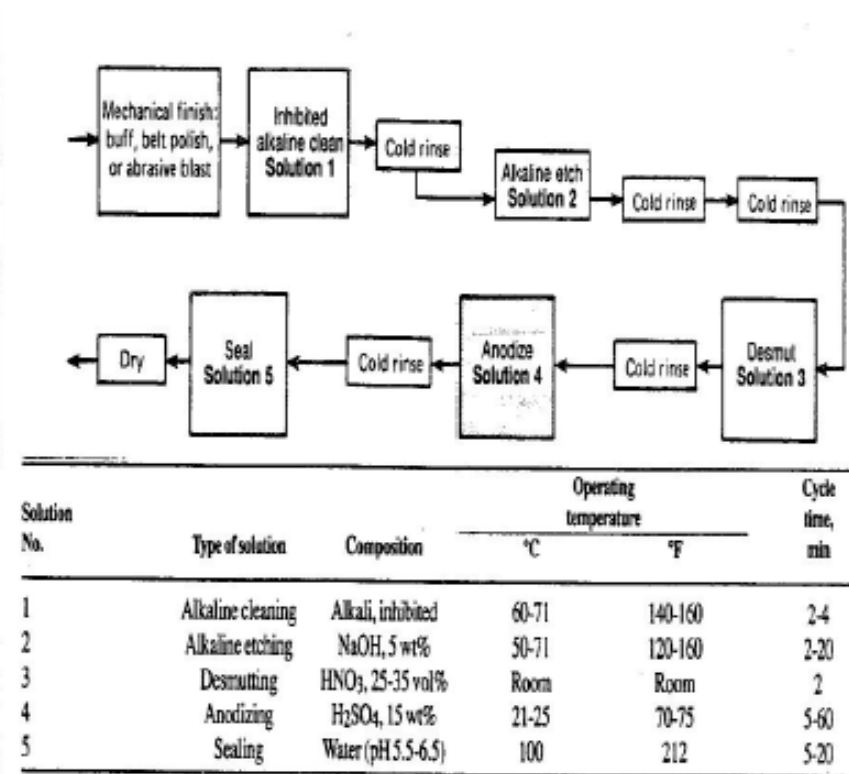


Fig. 5 Operations sequence in sulfuric acid anodizing of architectural parts

Διεργασία σκληρής ανοδίωσης

Table 4 Process and conditions for hard anodizing

Process	Bath	Temperature		Duration, min	Voltage, V	Current density		Film thickness		Appearance	Remarks
		°C	°F			A/dm ²	A/ft ²	μm	mils		
Martin Hard Coat (MHC)	15 wt% sulfuric acid, 85 wt% water	-4 to 0	25-32	45(b)	20-75	2.7	29	50	2	Light to dark gray or bronze	Very hard, wear resistant
Alumilite 225 and 226	12 wt% sulfuric acid, 1 wt% oxalic acid, water	10	50	20, 40	10-75	2.8(b)	30(b)	25, 50	1, 2	Light to dark gray or bronze	Very hard, wear resistant, allows a higher operating temperature over MHC
Alcanodox	Oxalic acid in water	2-20	36-68	(a)	(a)	(a)	(a)	20-35	0.8-1.4	Golden to bronze	...
Hardas	6 wt% oxalic water, 94 wt% water	4	39	(a)	60 dc plus ac override	2.0	22	...	...	Light yellow to brown	...
Sarford	Sulfuric acid with organic additive	0-15	32-58	(a)	15-150 dc	1.2-1.5	13-16	...	...	Light to dark gray or bronze	...
Kalcolor	7-15 wt% sulfosalicylic acid, 0.3-4 wt% sulfuric acid, water	18-24	64-75	...	...	1.5-4	16-43	15-35	0.6-1.4	Light yellow to brown to black	A self-coloring process, colors are dependent on alloy chosen, the colors produced are light fast
Lasser	0.75 wt% oxalic acid, 99.25 wt% water	1-7	35-44	to 20	From 50-500 rising ramp	Voltage controlled	Voltage controlled	700	28	Colorless	Hard, thick coatings produced with special cooling processes

(a) Proprietary information available to licensees only. Also, the entire Toro process is proprietary information available to licensees only. (b) Changes from 9th edition, *Metals Handbook*

Σφράγιση (sealing) ανοδικών επιστρωμάτων

Οι πόροι το πορώδους ανοδικού επιστρώματος κλείνονται με την μετατροπή του οξειδίου του αλουμινίου σε υδροξύλιο του αλουμινίου (μόνο-) γνωστού σαν **Boehmite**. Η αντίσταση στην διάβρωση εξαρτάται κυρίως από την διεργασία αυτή.

Διεργασία χρωμικού-θειικού

- Σφράγιση σε ελαφρά όξινο νερό
- 1gr χρωμικού οξέος σε 100 λίτρα νερό (PH 4-6) ή σε H₂O+H₂SO₄ (PH 5.5-6.5)
- θερμοκρασία διεργασίας 79±1 °C ή 93-100 °C

Table 6 Sealing processes for anodic coatings

Process	Bath	Temperature		Duration, min	Appearance, properties	Remarks
		°C	°F			
Nickel-cobalt	0.5 kg (1.1 lb) nickel acetate, 0.1 kg (0.2 lb) cobalt acetate, 0.8 kg (1.8 lb) boric acid, 100 L (380 gal) water	98-100	208-212	15-30	Colorless	Provides good corrosion resistance for a colorless seal after anodizing bath buffered to pH of 5.5 to 6.5 with small amounts of acetic acid sodium acetate
Dichromate	5 wt% sodium dichromate, 95 wt% water	98-100	208-212	30	Yellow color	Cannot be used for decorative and colored coatings where the yellow color is objectionable
Glauber salt	20 wt% sodium sulfate, 80 wt% water	98-100	208-212	30	Colorless	...
Lacquer seal	Lacquer and varnishes for interior and exterior exposure	...	...	...	Colorless to yellow or brown	Can provide good corrosion resistance provided that the correct formulation is selected. Formulations for exterior exposure use acrylic, epoxy, silicone-alkyds resins and for interior exposure the previously mentioned resins plus urethanes, vinyls and alkyds.

Σημείωμα χρήσης έργων τρίτων

- Σε όσες εικόνες δεν αναφέρεται η προέλευσή τους προέρχονται από τα βιβλία:

1. STEEL MANUAL, VEREIN DEUTSCHER EISENHUTTENLEUTE
2. ASM HANDBOOK, VOLUME 5, THE MATERIALS INTERNATIONAL SOCIETY

Οι συγκεκριμένες εικόνες υπόκεινται σε δικαιώματα



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ