

ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Γιατί μελετούμε τη διάβρωση;
Είναι σημαντικό για τον Μηχανικό ;

Επιπτώσεις της διάβρωσης

➤ Οικονομικές επιπτώσεις: ~4.2%GNP (USA)

Άμεσο και έμμεσο κόστος

➤ Προστασία του περιβάλλοντος:

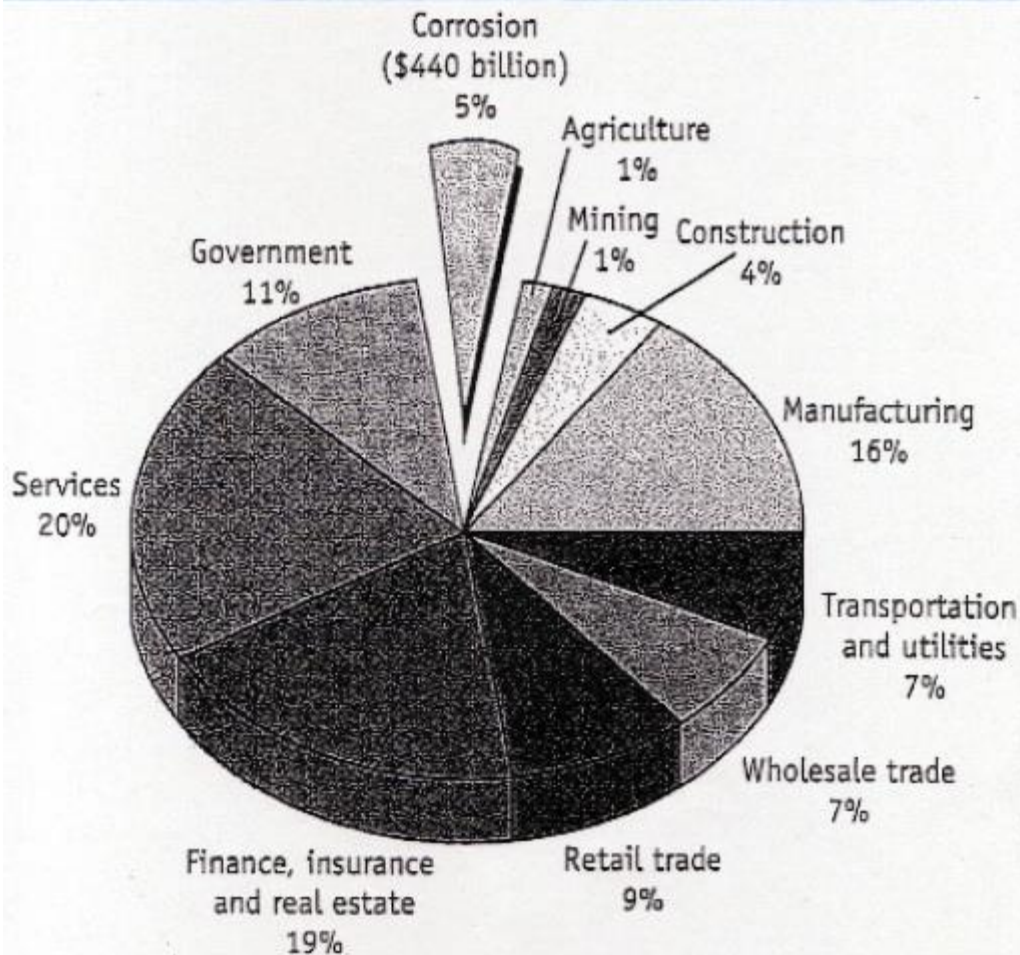
Καταστροφικές επιπτώσεις

➤ Πολιτικές επιπτώσεις:

Επιπτώσεις στην κοινωνία

➤ Απώλειες φυσικών πόρων:

Τα υλικά που χάνονται δεν μπορεί να ανακτηθούν



Εκτιμώμενο
οικονομικό κόστος

4.2% GNP

Εμесо και άμесо
κόστος διαβρωσης στις
USA - US\$440 billion
(2000)

Εκτιμάται οι το ~1/3
μπορεί να αποφευχθεί

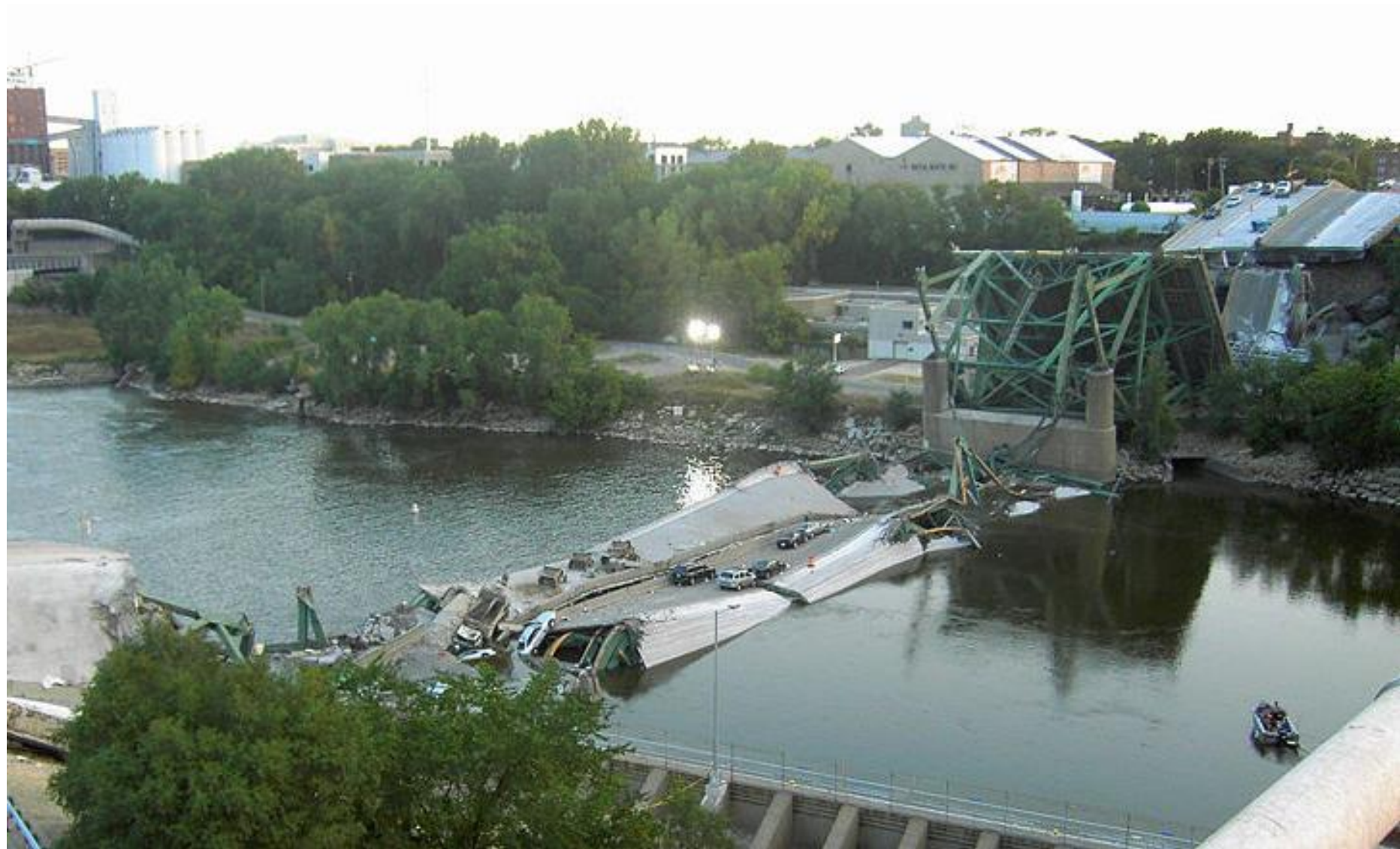
Cost of Corrosion(2004) in billion US\$⁵

Country	Direct Cost	Indirect Cost
USA	303.76	200 (approximately)
Japan	59.02	
Former USSR	55.01	
Germany	49.26	
UK	8.51	
Australia	7.32	
Belgium	6.75	
India	3.78	
Poland	3.53	
Canada	3.38	
—		
—		
—		
Global	\$10.14	\$40 (approximately)

⁵Shankaran, R., N. Palaniandy, and N.S. Ranganany, Global Cost of Corrosion—A Historical Review, in Corrosion: Materials, Vol 12B, ASM handbook, 2002, ASM International.

Significance of Corrosion on Infrastructure





Engineer finds corrosion in collapsed bridge at North Carolina speedway (2000)





A Concrete bridge failure



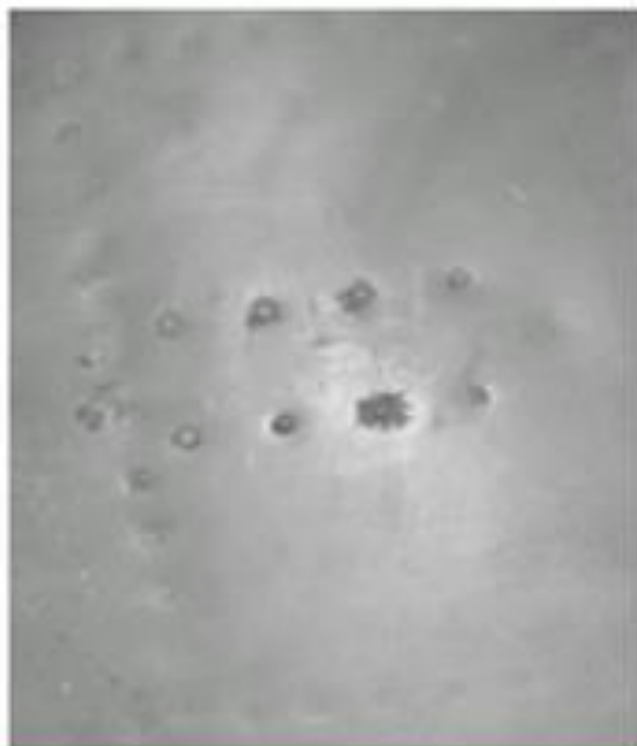
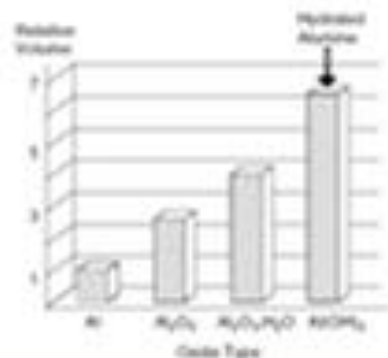
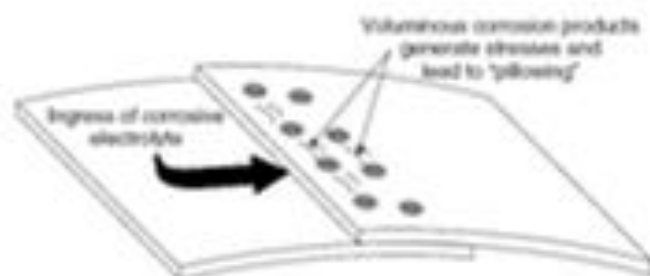
Aloha Incident



1988

19-year old Boeing 737 operated by Aloha Airlines lost a major portion of the upper fuselage in full flight at 24000 ft

Aloha Incident (Contd..)



The "pillowing" process in which the faying surfaces are forced apart is schematically illustrated in Fig.

Carlsbad Pipeline Explosion



At 5:26 a.m. on August 19, 2000, a 75-cm diameter natural gas transmission pipeline operated by El Paso Natural Gas Company (EPNG) ruptured adjacent to the Pecos River near Carlsbad, New Mexico.

Flow Accelerated Corrosion



22

Piping rupture caused by flow accelerated corrosion occurred at Mihama-3 at 3:28 pm on August 9, 2004, killing four and injuring seven. One of the injured

Στοιχεία Ηλεκτροχημείας

Ημιστοιχείο: Μέταλλο εμβαπτισμένο σε

διάλυμα ιόντων του

Απόλυτο δυναμικό:

Διαφορά δυναμικού: Μετάλλου –Ηλεκτρολύτη

(δεν μετρείται απευθείας)

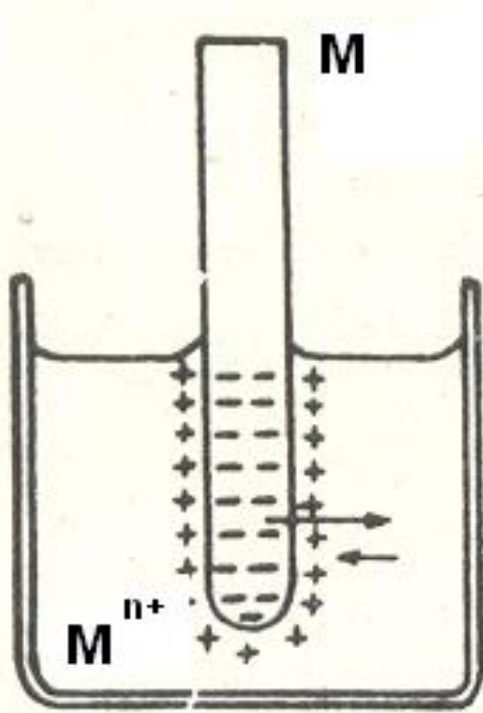
Κανονικό δυναμικό:

**Διαφορά δυναμικού : Ημιστοιχείου –πρότυπου
ηλεκτροδίου**

Γαλβανικό στοιχείο:Σύνδεση δύο ημιστοιχείων

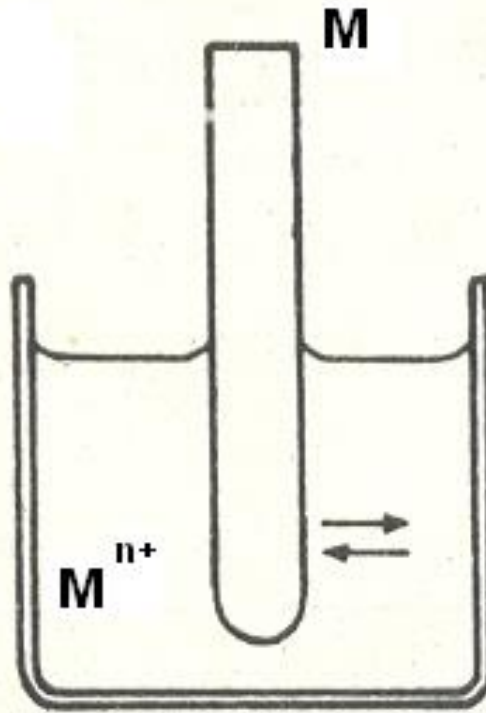
Ηλεκτροχημική σειρά –Γαλβανικές σειρές

Ηλεκτροχημικές Δράσεις Ημιστοιχείου

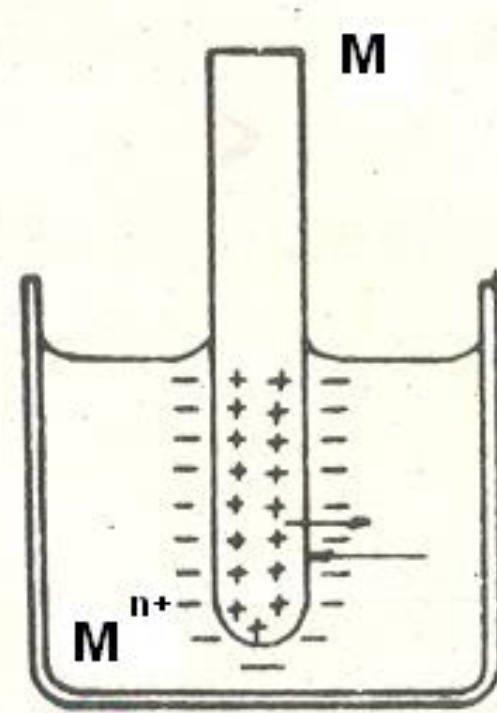


Αυθόρμητη
Ηλεκτροδιάλυση

$$C < C_0$$



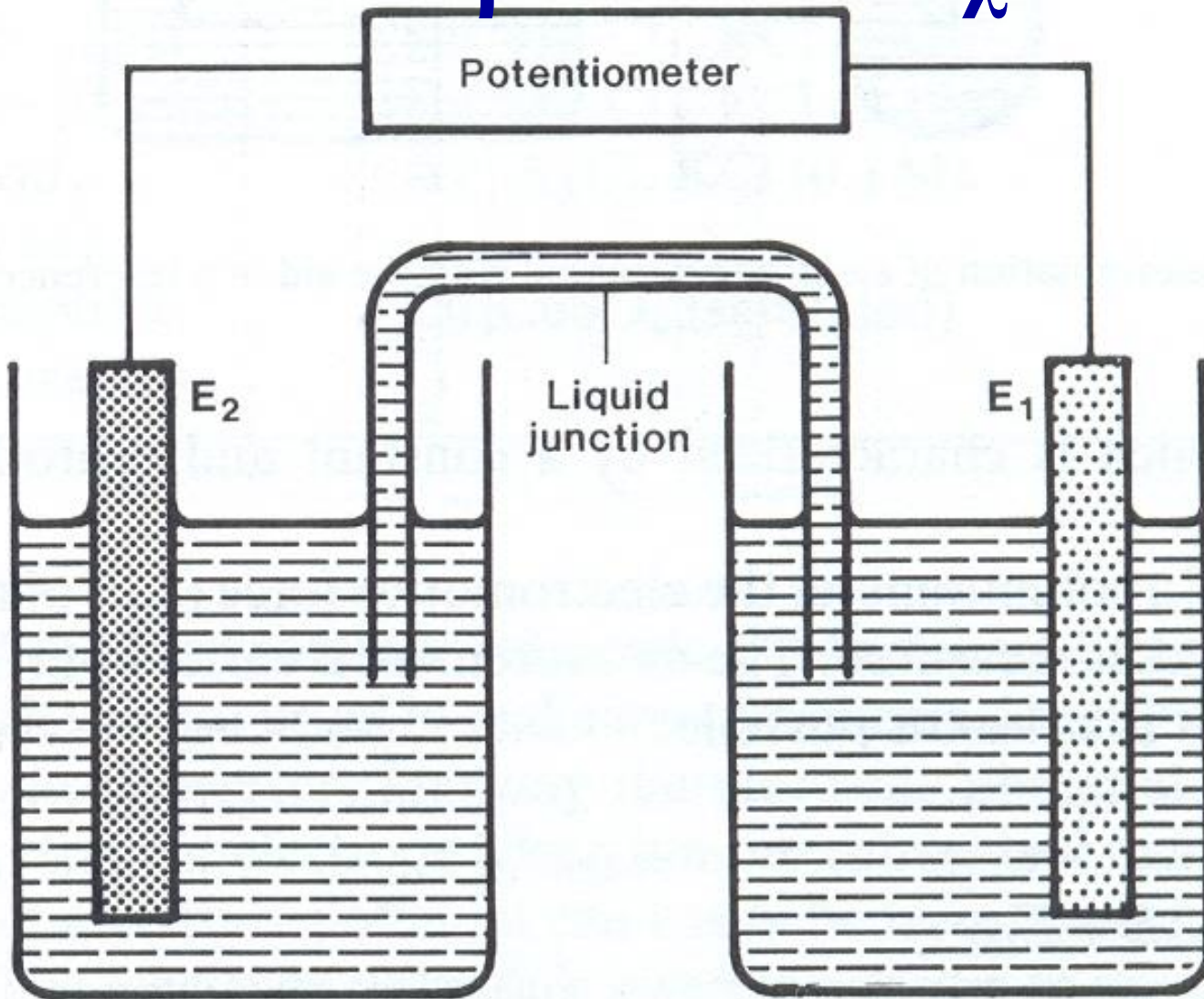
$$C = C_0$$



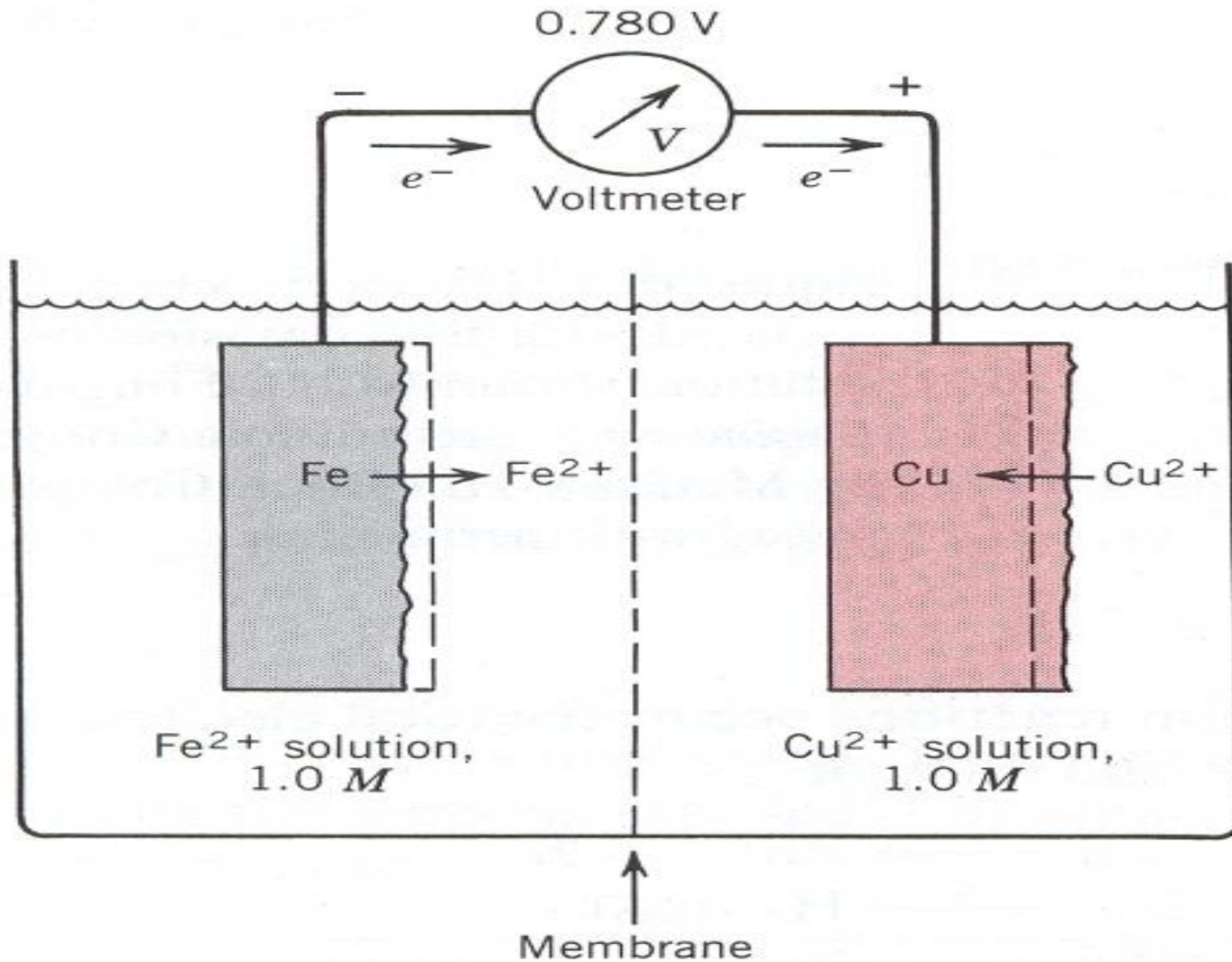
Αυθόρμητη
Ηλεκτροαπόθεση

$$C > C_0$$

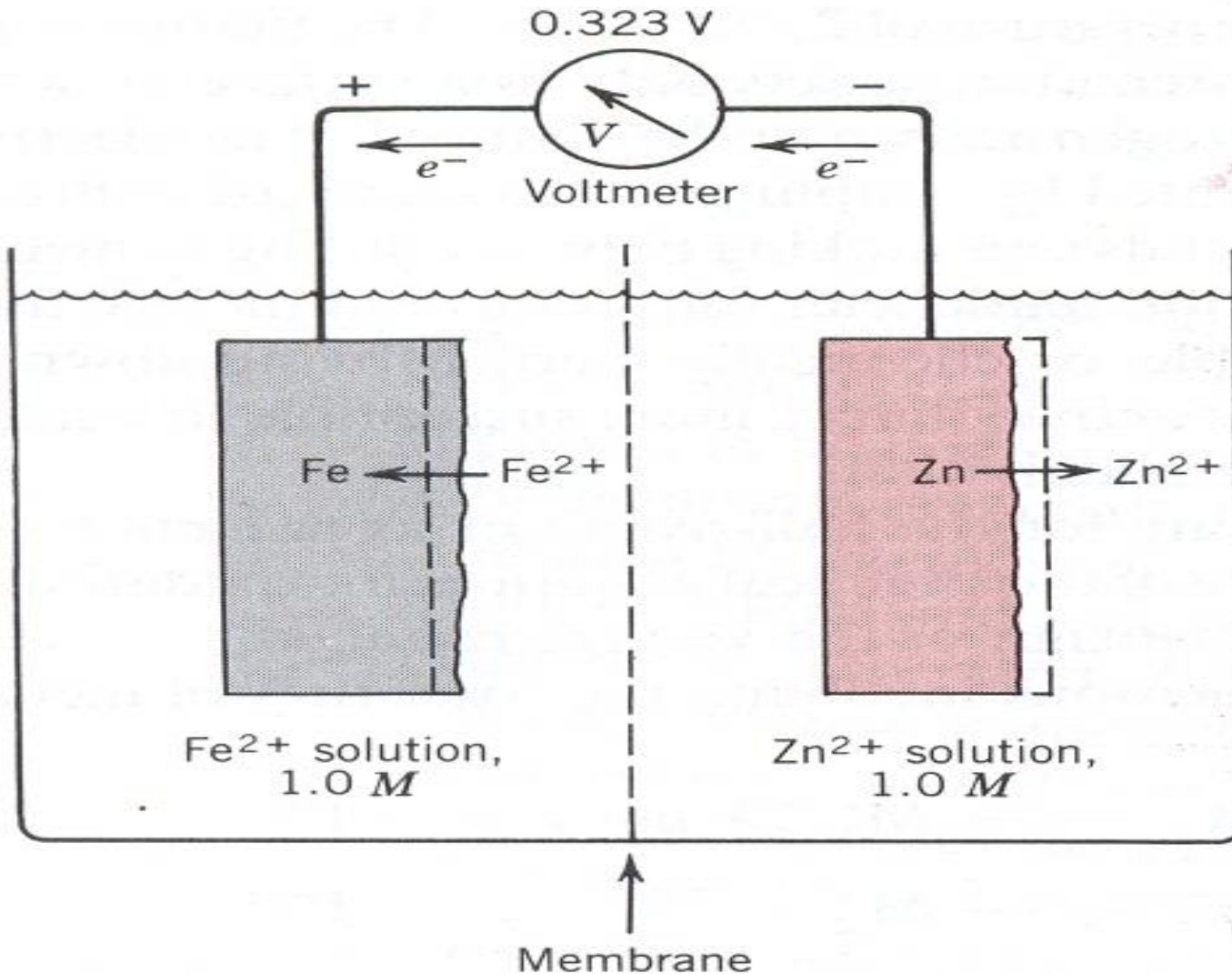
Γαλβανικό Στοιχείο



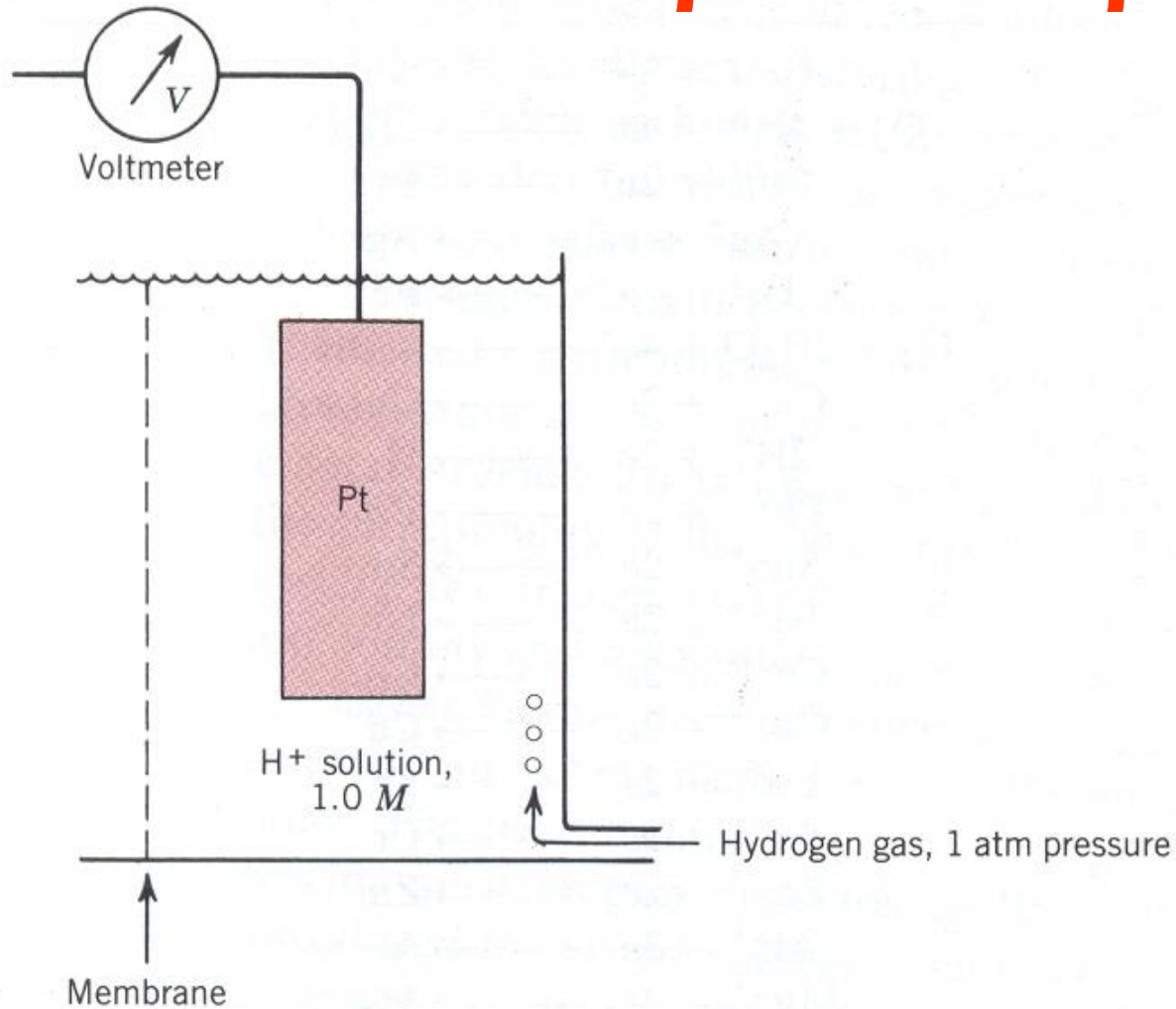
Γαλβανικό Στοιχείο Fe-Cu



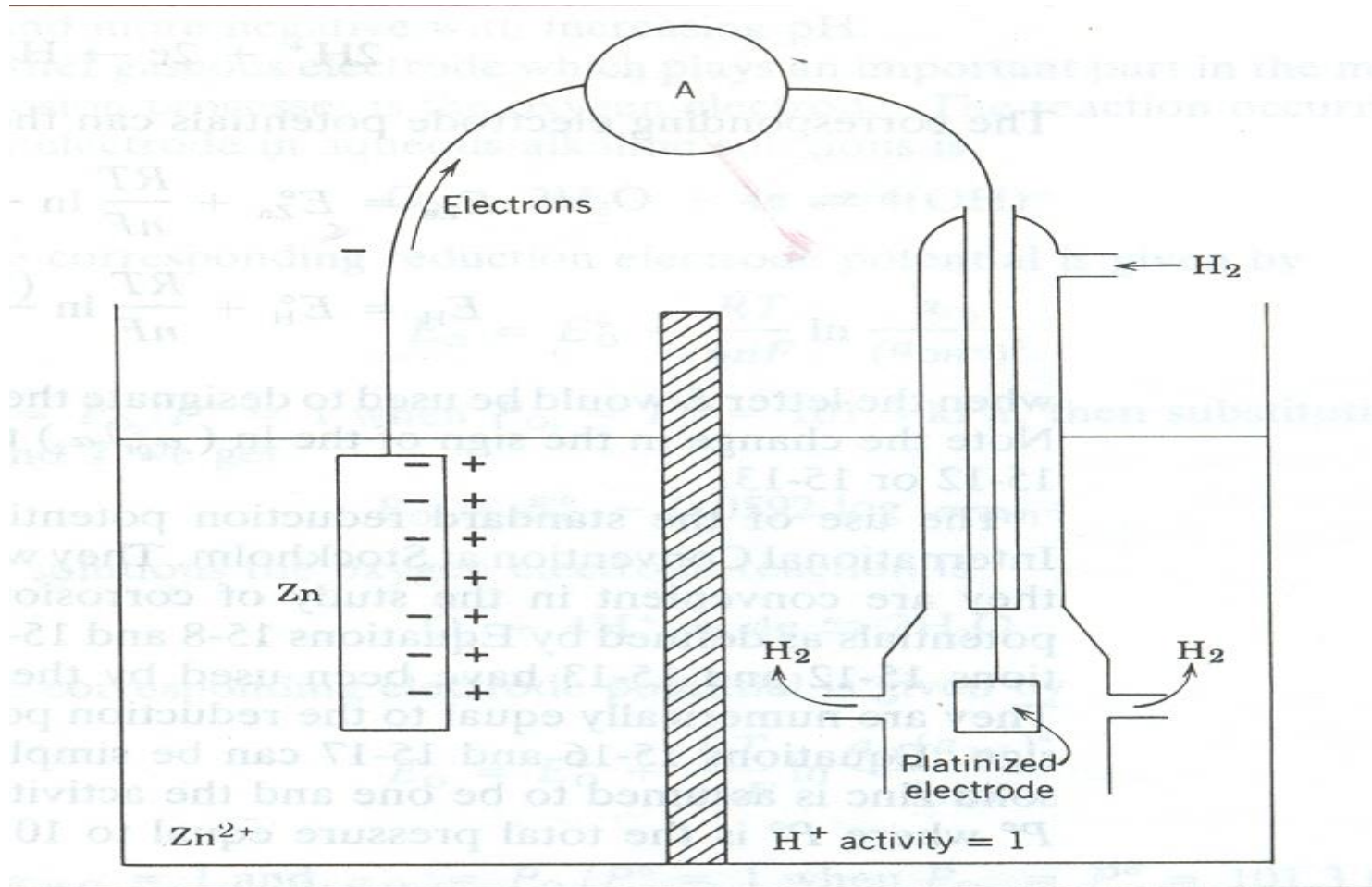
Γαλβανικό Στοιχείο Fe-Zn



Πρότυπο Ηλεκτρόδιο Υδρογόνου



Γαλβανικό Στοιχείο Zn-Ηλεκτρόδιο Υδρογόνου



Πρότυπα Ηλεκτρόδια

	Designation	E_H (V)
Standard hydrogen electrode	H_2 (1 atm) H^+ ($a = 1$)	0
Calomel electrode (saturated)	Hg Hg_2Cl_2 , KCl (saturated)	+ 0.244
Calomel electrode (1 M)	Hg Hg_2Cl_2 , KCl (1 M)	+ 0.283
Calomel electrode (0.1 M)	Hg Hg_2Cl_2 , KCl (0.1 M)	+ 0.336
Silver/silver chloride electrode (0.1 M)	Ag AgCl, KCl (0.1 M)	+ 0.288
Copper/copper sulphate electrode (saturated)	Cu $CuSO_4$ (saturated)	+ 0.318

Ηλεκτραρνητικότητα

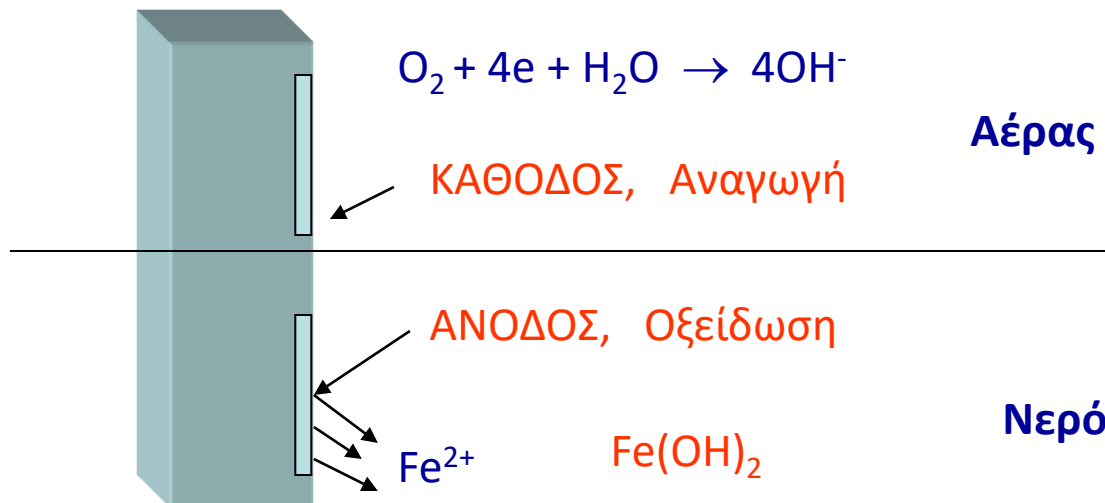
Ηλεκτροθετικότητα

Electrode reaction	Standard electrode potential, E_H (V)
$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+ 1.42
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+ 1.36
$\text{HCl}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+ 1.36
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1.23
$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+ 0.80
$\text{Cu}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+ 0.52
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+ 0.34
$\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{H}_2$	0
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	- 0.13
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	- 0.14
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	- 0.23
$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}$	- 0.28
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	- 0.40
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	- 0.41
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	- 0.74
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	- 0.76
$\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	- 1.03
$\text{Ti}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ti}$	- 1.63
$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}$	- 1.71
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	- 2.38
$\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}$	- 2.71
$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	- 2.76
$\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}$	- 2.92
$\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}$	- 3.05

ΔΙΑΒΡΩΣΗ - CORROSION

Αυθόρμητη ή εξαναγκασμένη ηλεκτροχημική ή Χημική ή οποιαδήποτε φύσης δράση η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του υλικού

Μηχανισμός ηλεκτροχημικής διάβρωσης



Σειρά ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ μετάλλων

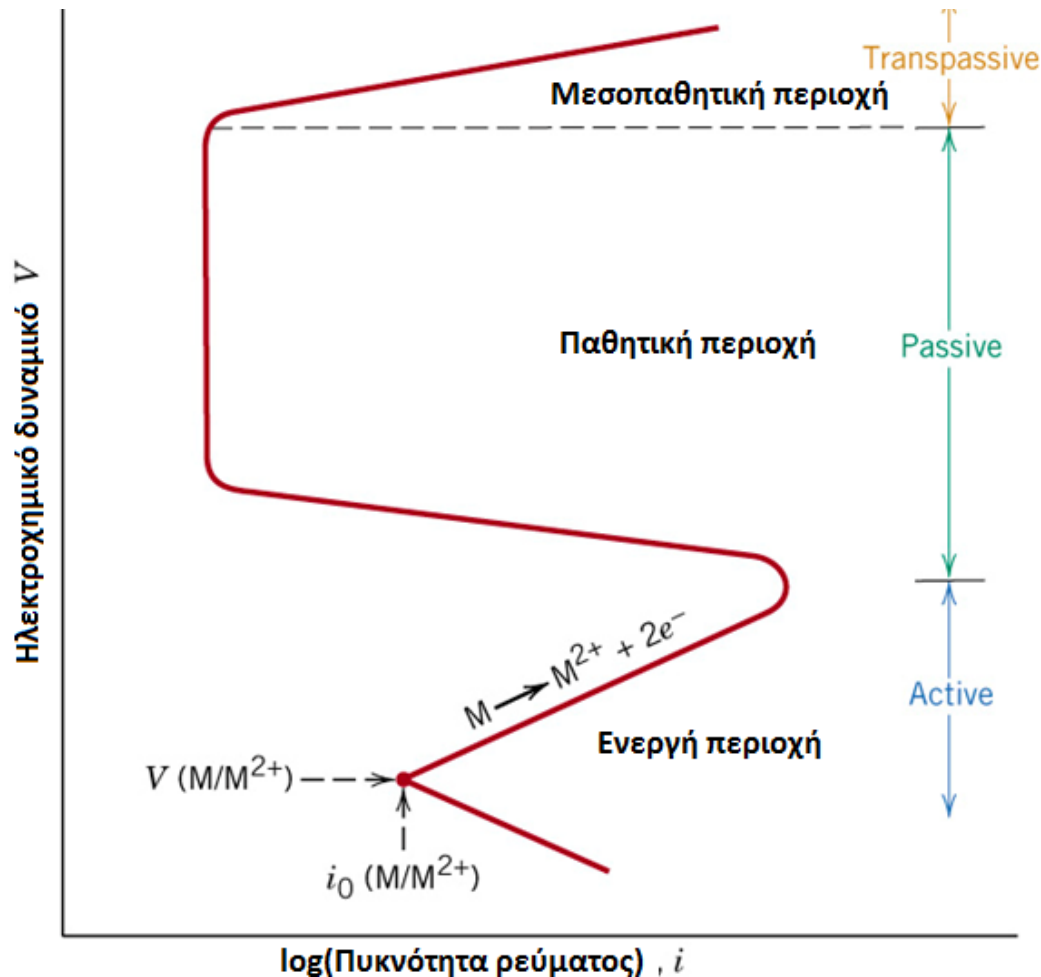
Διάβρωση

Ημι-αντίδραση Αναγωγής				E^0 (V)	
Li^{+1}	+	e^-	\longrightarrow	$\text{Li}_{(s)}$	-3.045
K^{+1}	+	e^-	\longrightarrow	$\text{K}_{(s)}$	-2.925
Ca^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Ca}_{(s)}$	-2.866
Na^{+1}	+	e^-	\longrightarrow	$\text{Na}_{(s)}$	-2.714
Mg^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Mg}_{(s)}$	-2.363
Al^{+3}	+	$3e^-$	\longrightarrow	$\text{Al}_{(s)}$	-1.662
Ti^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Ti}_{(s)}$	-1.628
Mn^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Mn}_{(s)}$	-1.185
Cr^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Cr}_{(s)}$	-0.913
Zn^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Zn}_{(s)}$	-0.7628
Fe^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Fe}_{(s)}$	-0.4402
Cd^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Cd}_{(s)}$	-0.4029
Co^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Co}_{(s)}$	-0.277
Ni^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Ni}_{(s)}$	-0.250
Pb^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Pb}_{(s)}$	-0.126
2H^{+1}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{H}_{2(g)}$	0.000
Cu^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Cu}_{(s)}$	+0.337
$\text{I}_{2(s)}$	+	$2e^-$	\longrightarrow	2I^{-1}	+0.5355
Ag^{+1}	+	e^-	\longrightarrow	$\text{Ag}_{(s)}$	+0.7991
Pt^{+2}	+	$2e^-$	\longrightarrow	$\text{Pt}_{(s)}$	+1.2
$\text{Cl}_{2(g)}$	+	$2e^-$	\longrightarrow	2Cl^{-2}	+1.3597
Au^{+1}	+	e^-	\longrightarrow	$\text{Au}_{(s)}$	+1.691

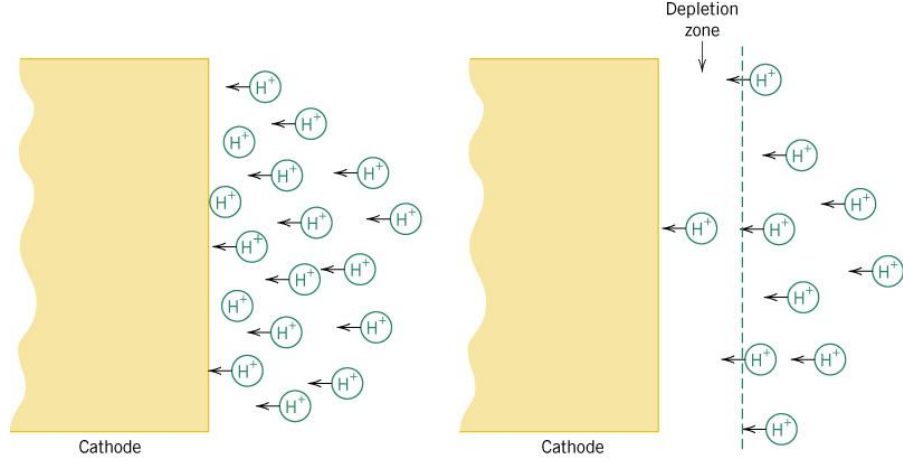
Πόλωση ταχύτητα διάβρωσης-Παθητικότητα

- Ενώ είναι απαραίτητο για τον προσδιορισμό της διαβρωτικότητας ενός υλικού **η μέτρηση το δυναμικού διάβρωσης δεν θα είναι αρκετό** για να μπορούμε να προσδιορίσουμε αν ένα μεταλλικό υλικό θα υποστεί διάβρωση κάτω υπό ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Ακόμη και η διαβρωτικότητα να είναι μεγάλη η **ταχύτητα διάβρωσης** μπορεί να είναι πολύ χαμηλή έτσι ώστε η διάβρωση να μη αποτελεί πρόβλημα.
- **Η ταχύτητα διάβρωσης προσδιορίζεται από την πυκνότητα του ρεύματος που διαρρέει το σύστημα.** Για το λόγο αυτό με εφαρμογή διαφόρων τιμών ρεύματος σε ένα σύστημα διάβρωσης μετρείται το δυναμικό που αναπτύσσεται και η καμπύλη που παράγεται ονομάζεται καμπύλη πόλωσης(polarization curve) της επιφάνειας του μετάλλου της οποίας την ταχύτητα διάβρωσης μελετούμε.
- Η μεταβολή του δυναμικού ως συνάρτηση του ρεύματος(καμπύλη πόλωσης) είναι αποτέλεσμα των μηχανισμών πόλωσης ,συγκέντρωσης και ενεργοποίησης που αναπτύσσονται στη άνοδο και κάθοδο και καθορίζουν τις αντιδράσεις και την μεταφορά ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο.)
- **Οι μηχανισμοί πόλωσης καθορίζουν την ταχύτητα των αντιδράσεων αναγωγής και οξείδωσης και η ταχύτητα των αντιδράσεων καθορίζει την ταχύτητα διάβρωσης.**

Καμπύλη πόλωσης Ανόδου για μέταλλο που εμφανίζει παθητικότητα



- Ο βαθμός πόλωσης είναι ένα μέτρο του πόσο οι ανοδικές και οι καθοδικές αντιδράσεις παρεμποδίζονται(επιβραδύνονται)από διάφορους επιφανειακούς παράγοντες όπως **συγκέντρωση ιόντων μέταλλου, διαλυμένο οξυγόνο, περιορισμένη διάχυση αναφερόμενη ως πόλωση συγκέντρωσης (concentration polarization)** και επιπλέον σε επιφανειακές διεργασίες αναφερόμενη ως πόλωση ενεργοποίησης.(**activation polarization**).
- Όλες οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε βήματα σε σειρά στη διεπιφάνεια μεταξύ μέταλλου και διαβρωτικού περιβάλλοντος.
- Η πόλωση ενεργοποίησης καθορίζεται από την προσρόφηση H^+ , στο επιφανειακό φιλμ . (**activation polarization**).



ΠΑΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Μερικά μεταλλικά υλικά κάτω από ορισμένες συνθήκες χάνουν την χημική τους δραστηριότητα και γίνονται **τελείως αδρανή**.

(Χημική Παθητικότητα)

❖ Που αποδίδεται η παθητικότητα ;

Παραδείγματα : Al, Ti, Cr, Ανοξείδωτος χάλυβας κλπ

❖ Μηχανική παθητικότητα

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

❖ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ: O_2 + ΥΓΡΑΣΙΑ + ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

❖ ΓΛΥΚΟ ΝΕΡΟ

(Υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθούν)

Χυτοσίδηρος, χάλυβες, κράματα αλουμινίου, κράματα Cu, ανοξείδωτοι χάλυβες

❖ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

(Υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθούν)

Κράματα Ti, Cu-Ni, Ni-Cr-Mo, ανοξείδωτοι χάλυβες ορείχαλκοι Μπρούτζοι

❖ ΕΔΑΦΟΣ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

- ❖ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ
- ❖ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟΥ
- ❖ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ
- ❖ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
- ❖ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ
- ❖ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
- ❖ ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ
- ❖ ΤΡΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
- ❖ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
- ❖ pH

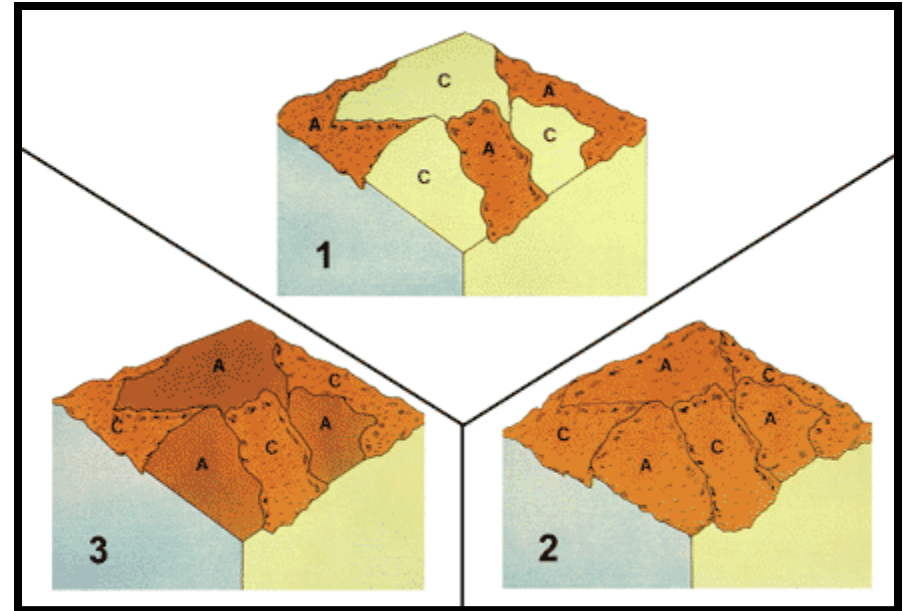
ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

A: Ομοιόμορφη διάβρωση

✓ Όταν ο χάλυβας εκτίθεται στο περιβάλλον χωρίς επιφανειακή προστασία μικροσκοπικές ανοδικές και καθοδικές περιοχές αναπτύσσονται στην επιφάνεια

✓ Καθώς οι ανοδικές περιοχές διαβρώνονται νέες περιοχές του υλικού λειτουργούν ως άνοδοι και διαβρώνονται

✓ Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ομοιόμορφη διάβρωση του χάλυβα

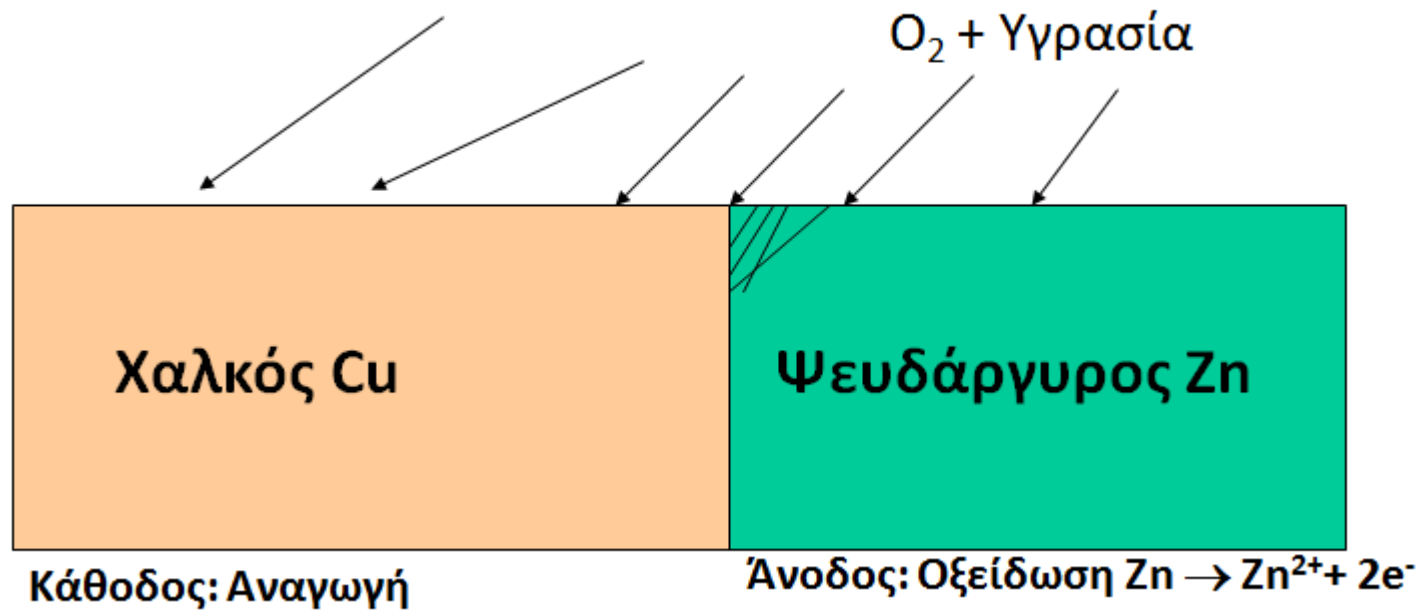


Α: Ομοιόμορφη διάβρωση

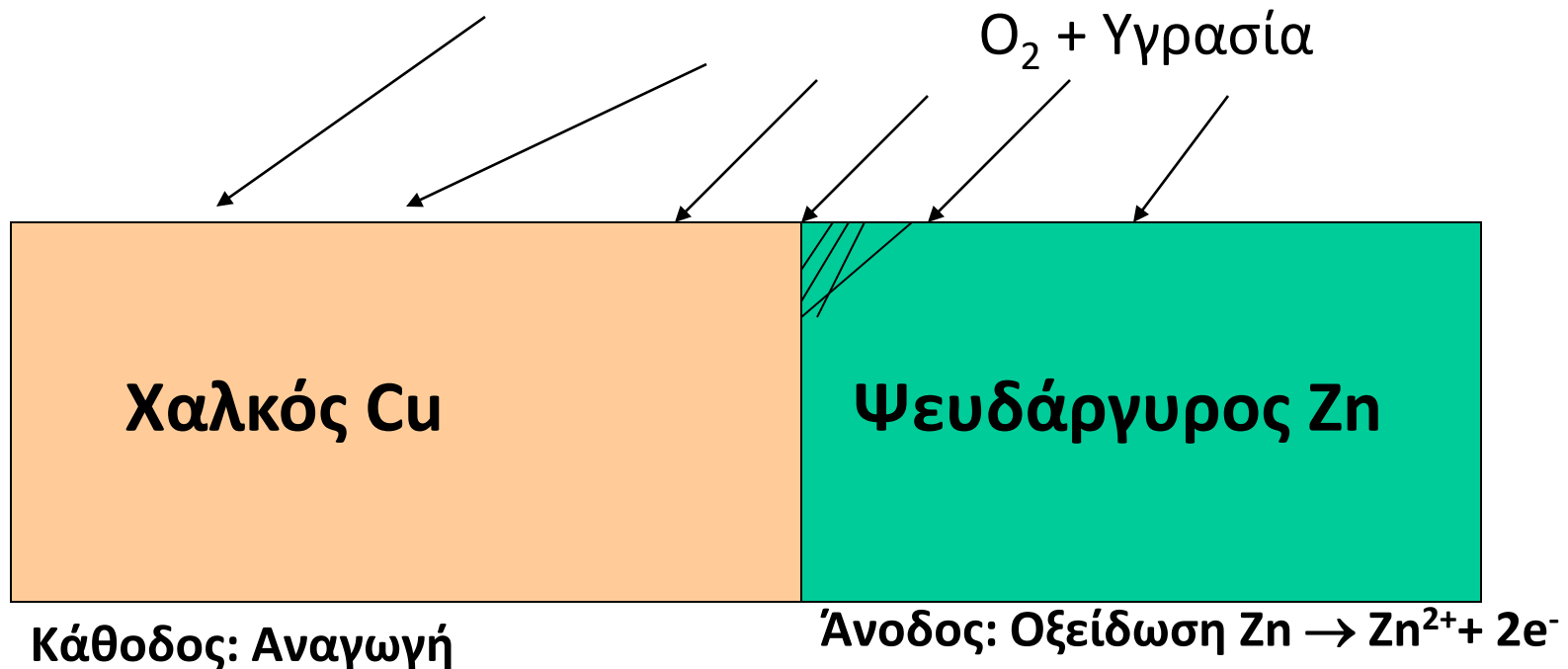




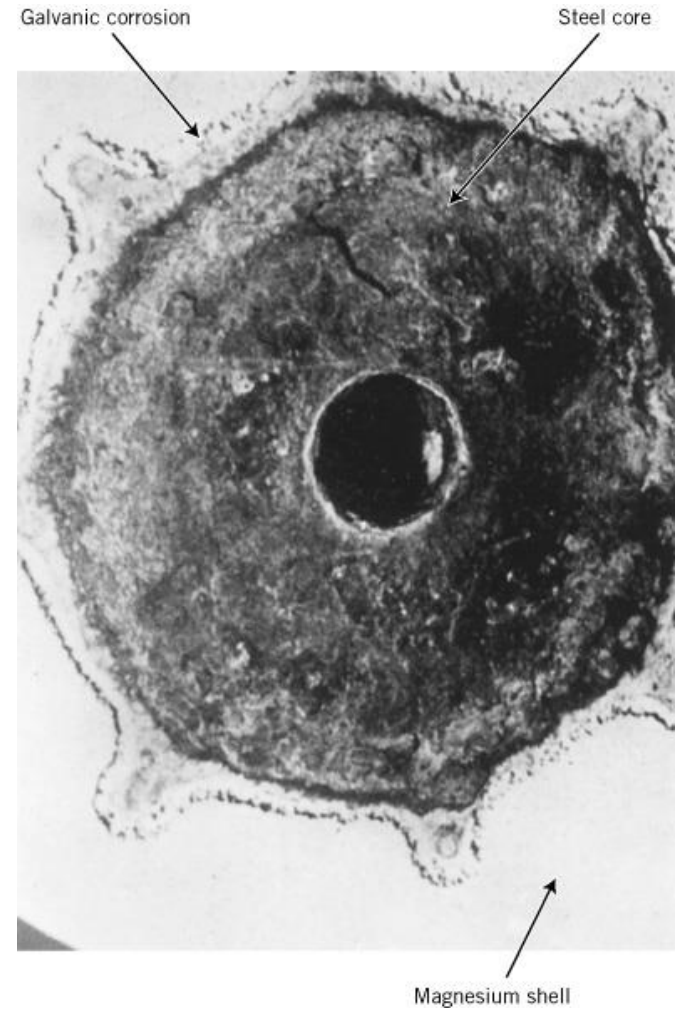
Β: Γαλβανική διάβρωση (Διαφορετικά μέταλλα σε επαφή)



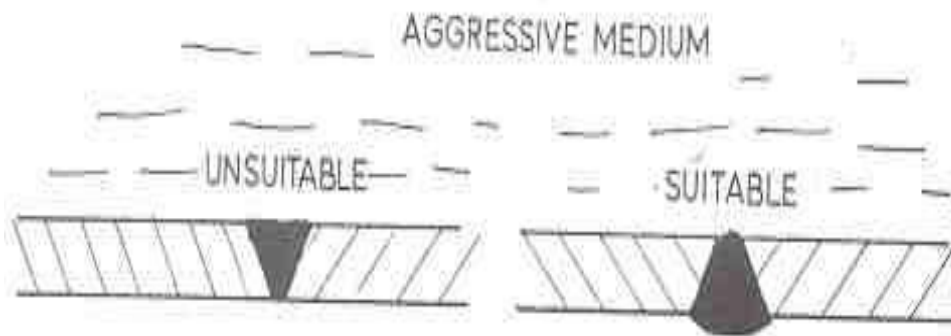
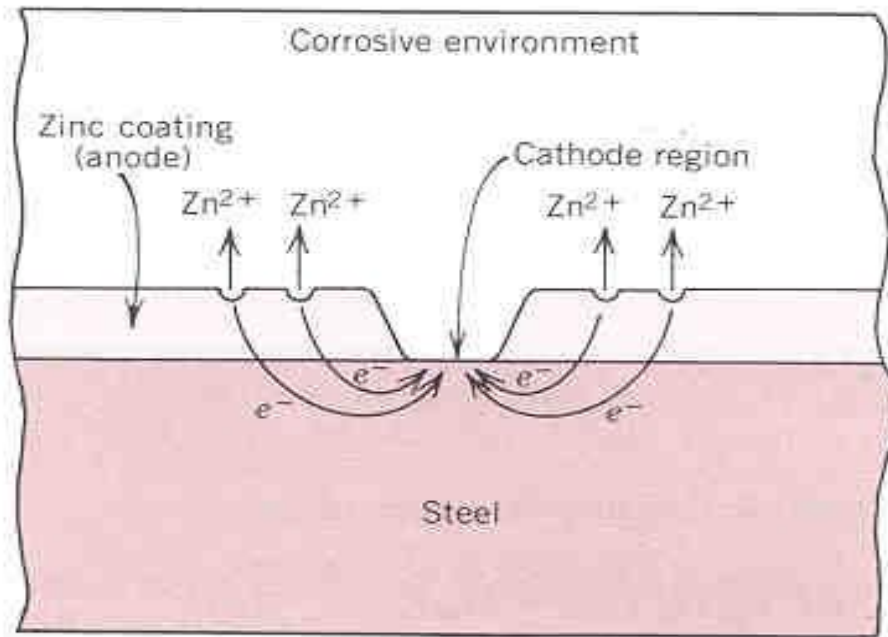
B: Γαλβανική διάβρωση
(Διαφορετικά μέταλλα σε επαφή)



Galvanic



Bilge pump -
Magnesium shell cast
around a steel core.



Ταχύτητα διάβρωσης

Η ταχύτητα γαλβανικής διάβρωσης εξαρτάται από το λόγο

$R = \frac{\text{επιφάνεια καθόδου}}{\text{επιφάνεια ανόδου}}$

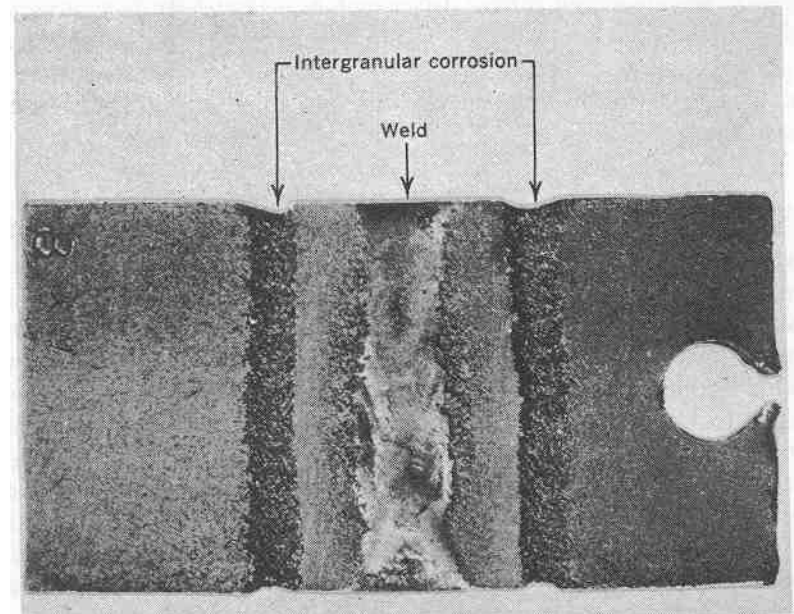
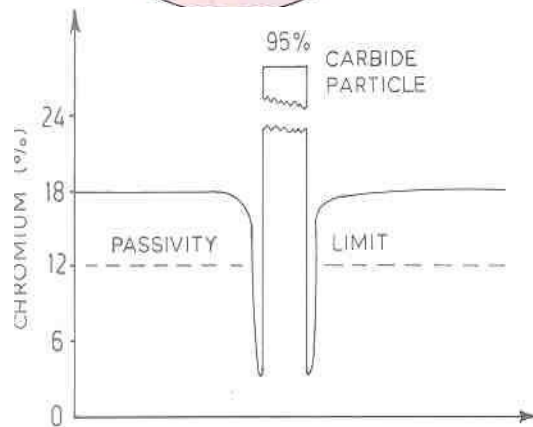
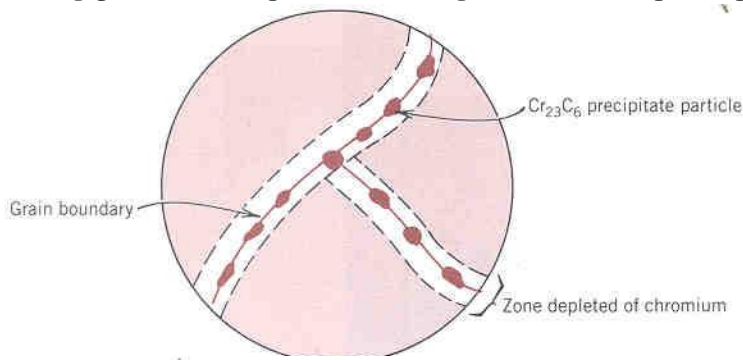
Παραδείγματα:

- ❖ Επιμεταλλώσεις
- ❖ Συγκολλήσεις
- ❖ Διφασικά κράματα
- ❖ Υδραυλικές Εγκαταστάσεις

Γ: ΠΕΡΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

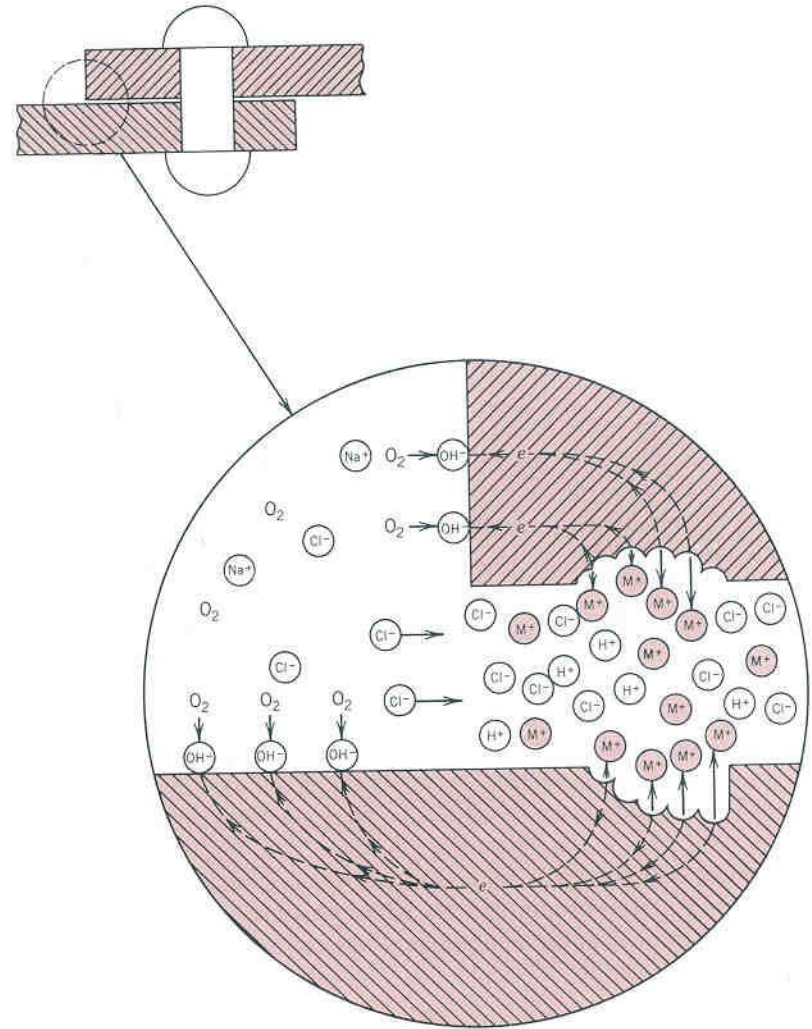
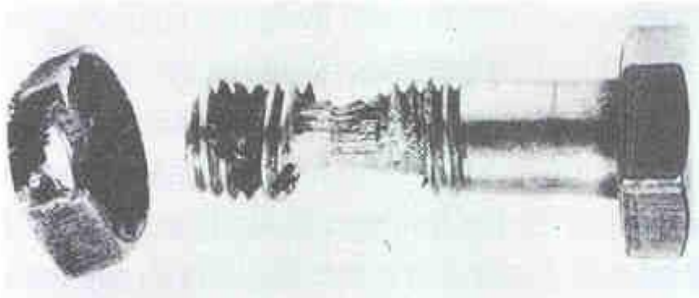
Η διάβρωση ευνοείται στα όρια γύρω από τους κρυσταλλικούς κόκκους.

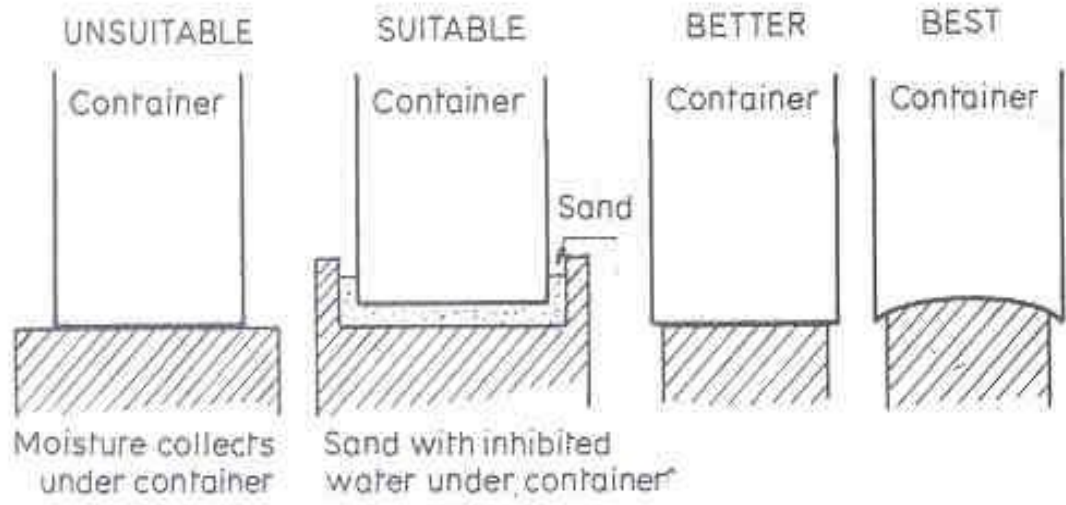
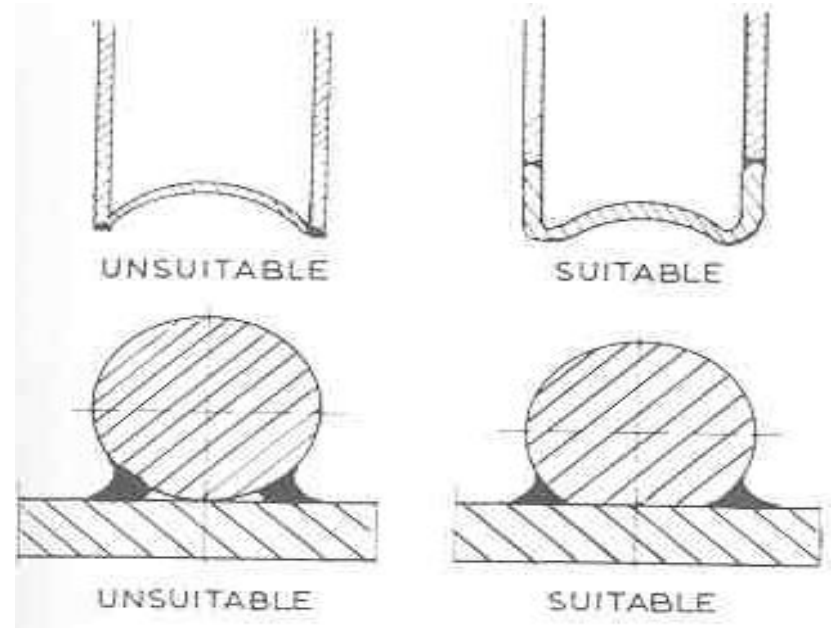
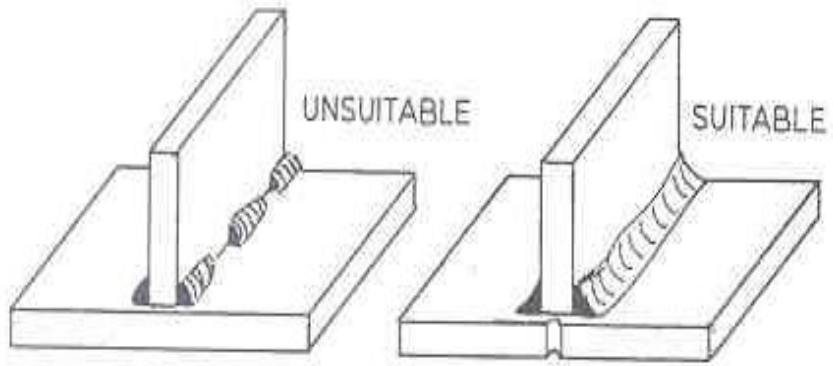
π.χ Φθορά συγκόλλησης ανοξείδωτων χαλύβων



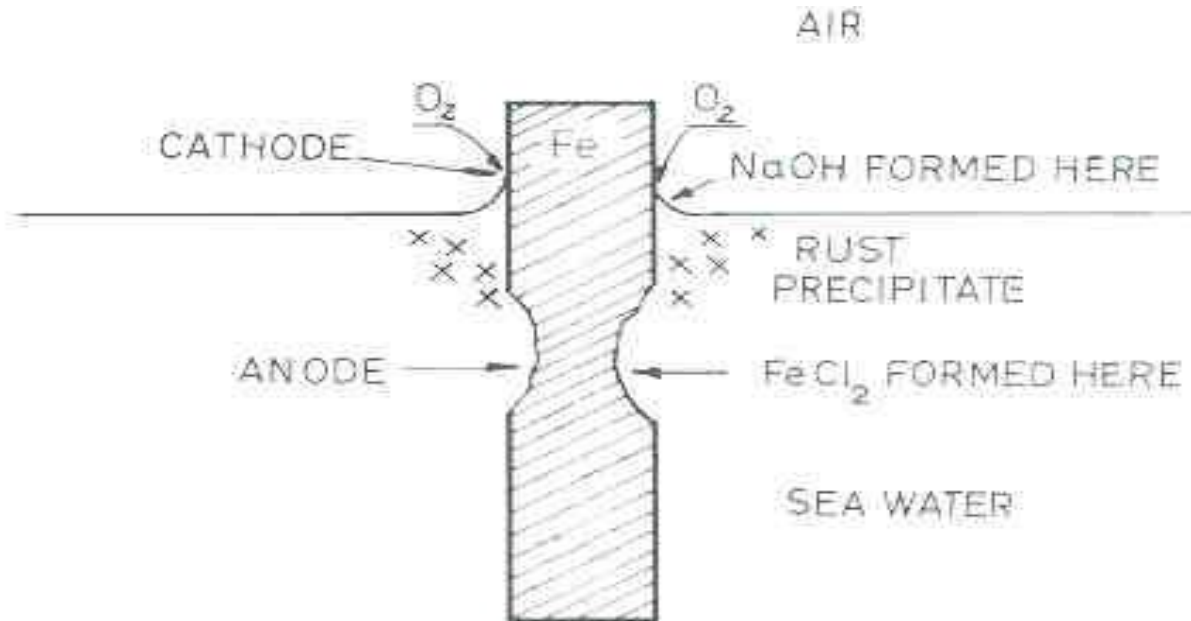
Δ: Διάβρωση γαλβανικού στοιχείου συγκέντρωσης

❖ Διάβρωση διάκενων ή ρωγμών

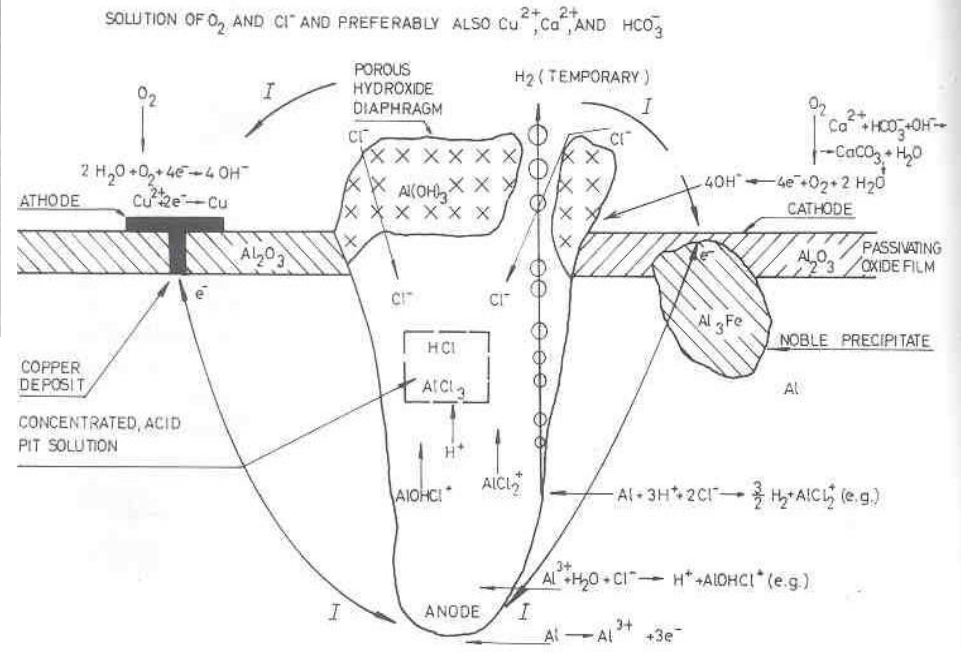
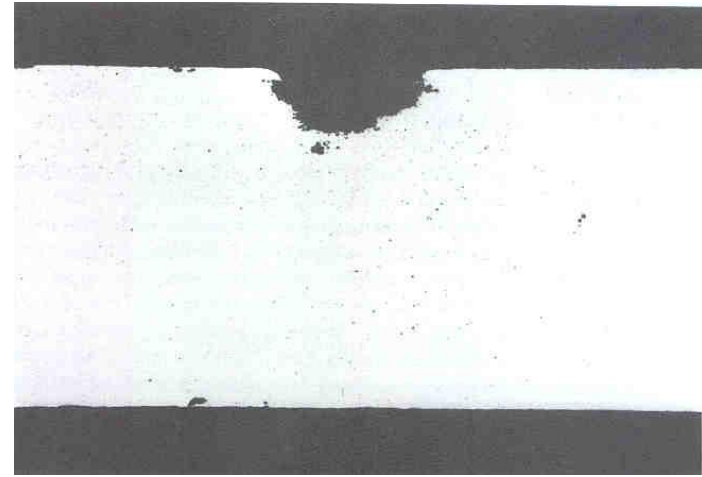
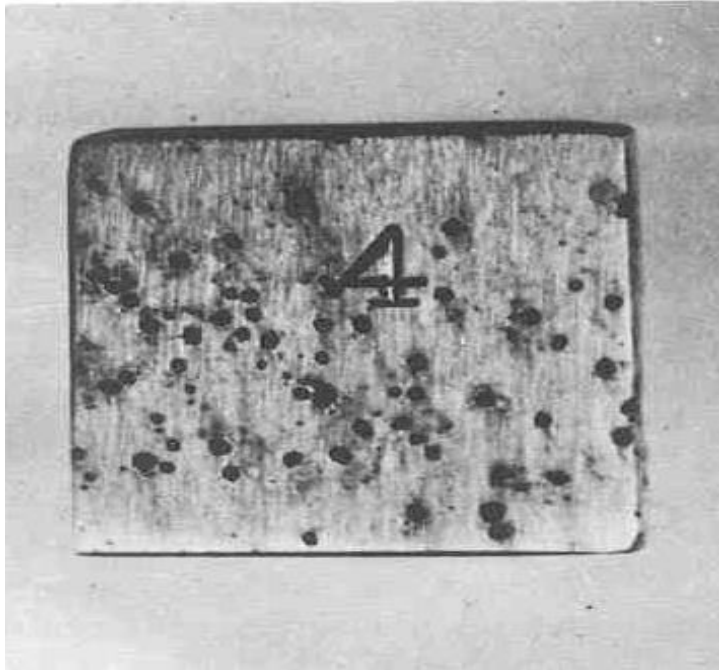




Ε: Διάβρωση σε τριεπιφάνειες

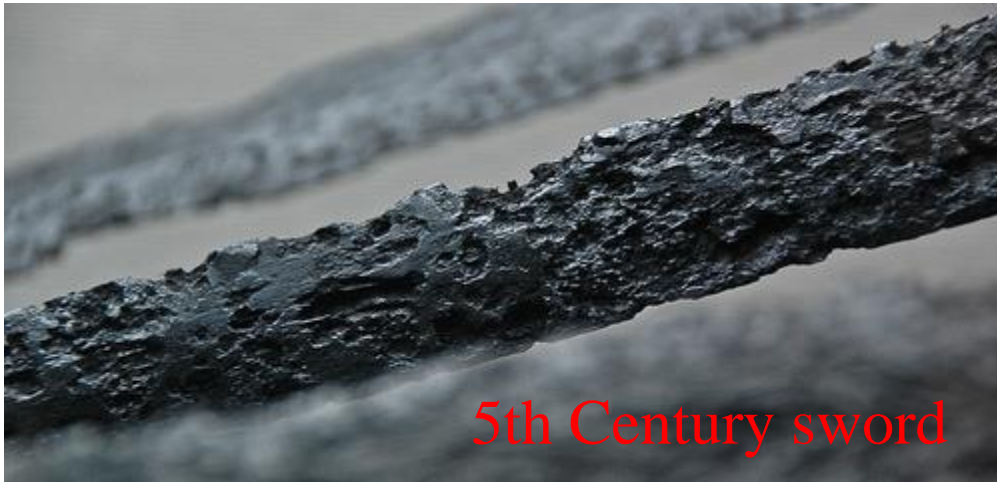


ΣΤ: Διάβρωση με βελονισμούς





Pitting CORROSION



5th Century sword



Φθορά Διάβρωση(Erosion corrosion)

- ✓ Η αφαίρεση λεπτών στοιβάδων από τη επιφάνεια εξαρτημάτων με μηχανική φθορά επιταχύνει τη διάβρωση και η διάβρωση αυτή αποκαλείται φθορά διάβρωση .
- ✓ Η φθορά επιταχύνεται σε απότομες γωνίες, τουρμπίνες, αντλίες, συστολές σωλήνων, και άλλα δομικά χαρακτηριστικά που μεταβάλλουν την κατεύθυνση ροής ή προκαλούν αύξηση της διαταραχής στη ροή του ρευστού (αναδευτήρες, φυσητήρες, προπέλες, πτερύγια, κλπ.)
- ✓ Διαβρωτικά μέσα: αέρια, υδατικά διαλύματα, οργανικά συστήματα, και τα υγρά μέταλλα.
- ✓ Εμφανίζεται ως αυλακώσεις, απότομες αλλαγές στην επιπεδότητα της επιφάνειας, κυματοειδείς παραμορφώσεις της επιφάνειας λόγω διάβρωσης , στρογγύλεμα των οπών, βαθουλώματα κλπ.

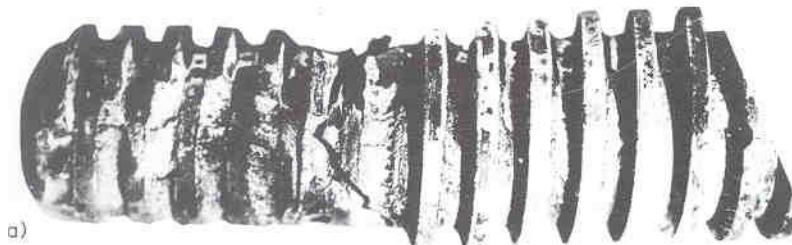
Z: Φθορά / Μηχανική- διάβρωση

EROSION_CORROSION

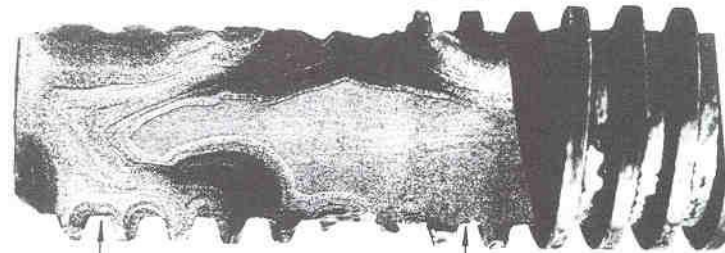


H: Μικροβιολογική διάβρωση

Θ: Επιλεκτική διάβρωση



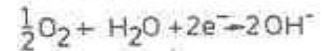
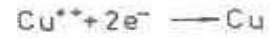
a)



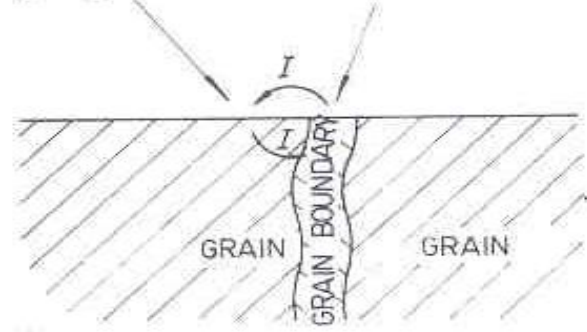
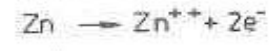
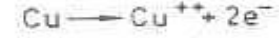
b) DEZINCIFIED BRASS

UNAFFECTED BRASS

CATHODE REACTIONS:

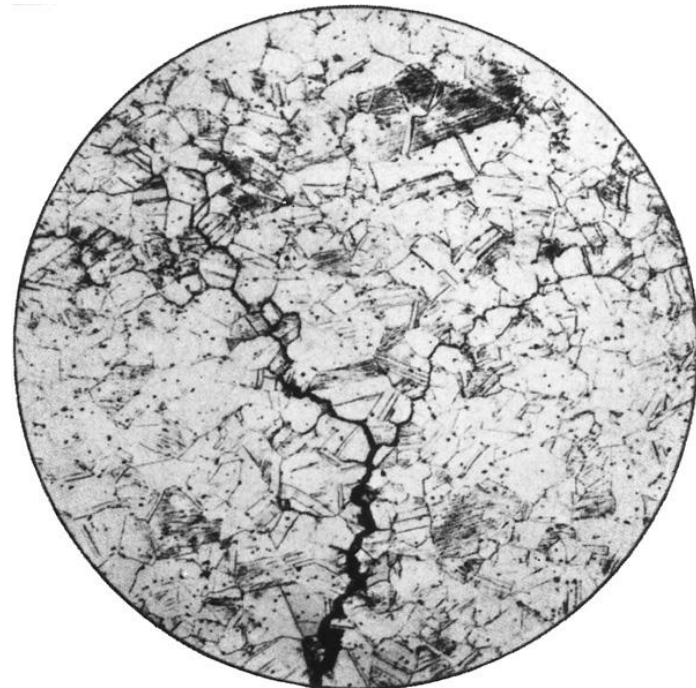
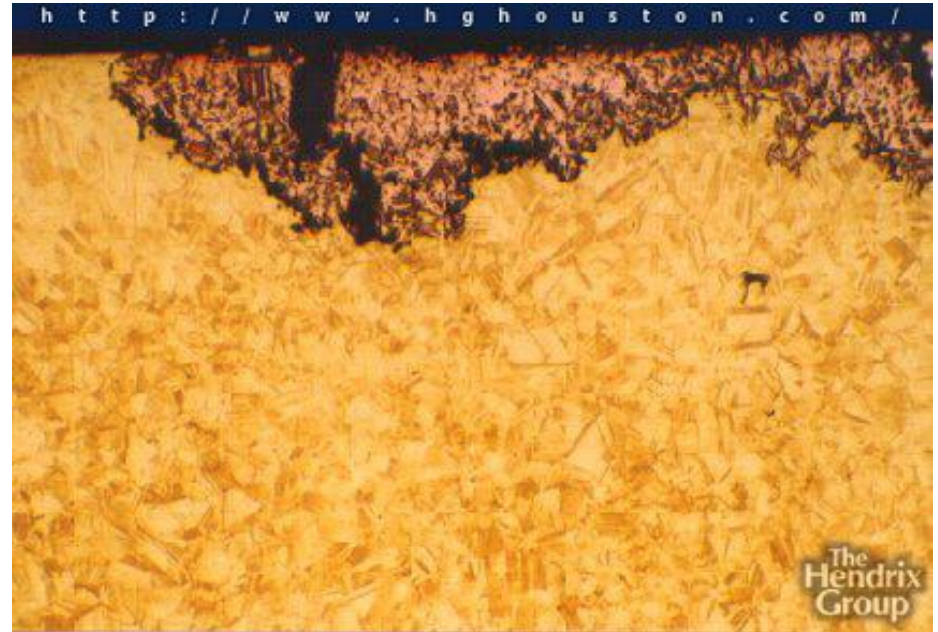


ANODE REACTIONS:

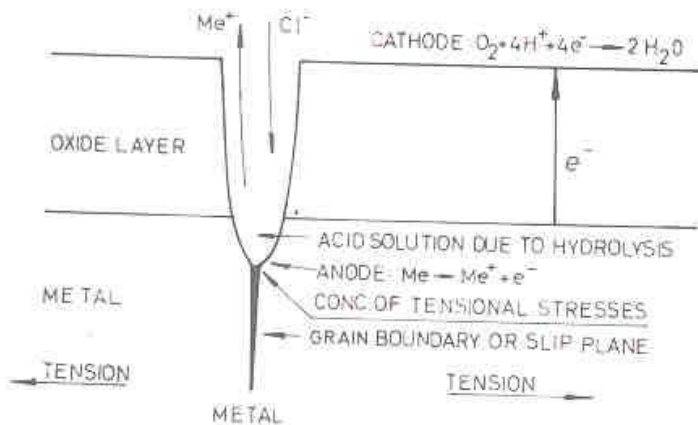
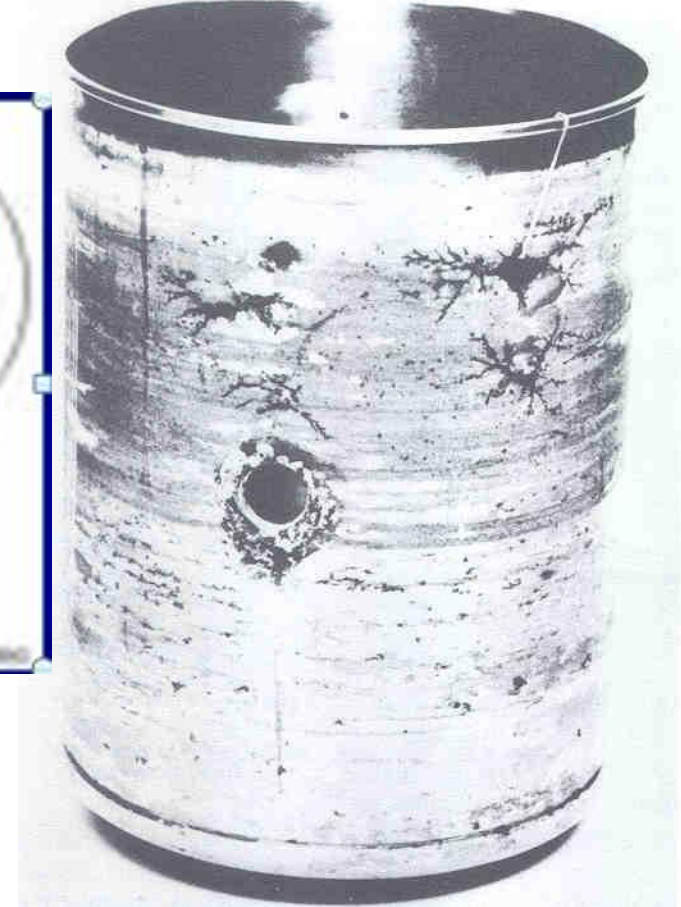
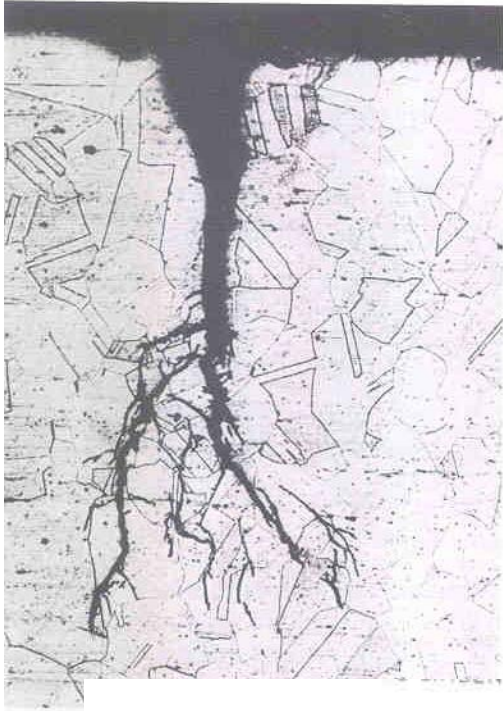


Επιλεκτική διάβρωση ενός μεταλλικού συστατικού

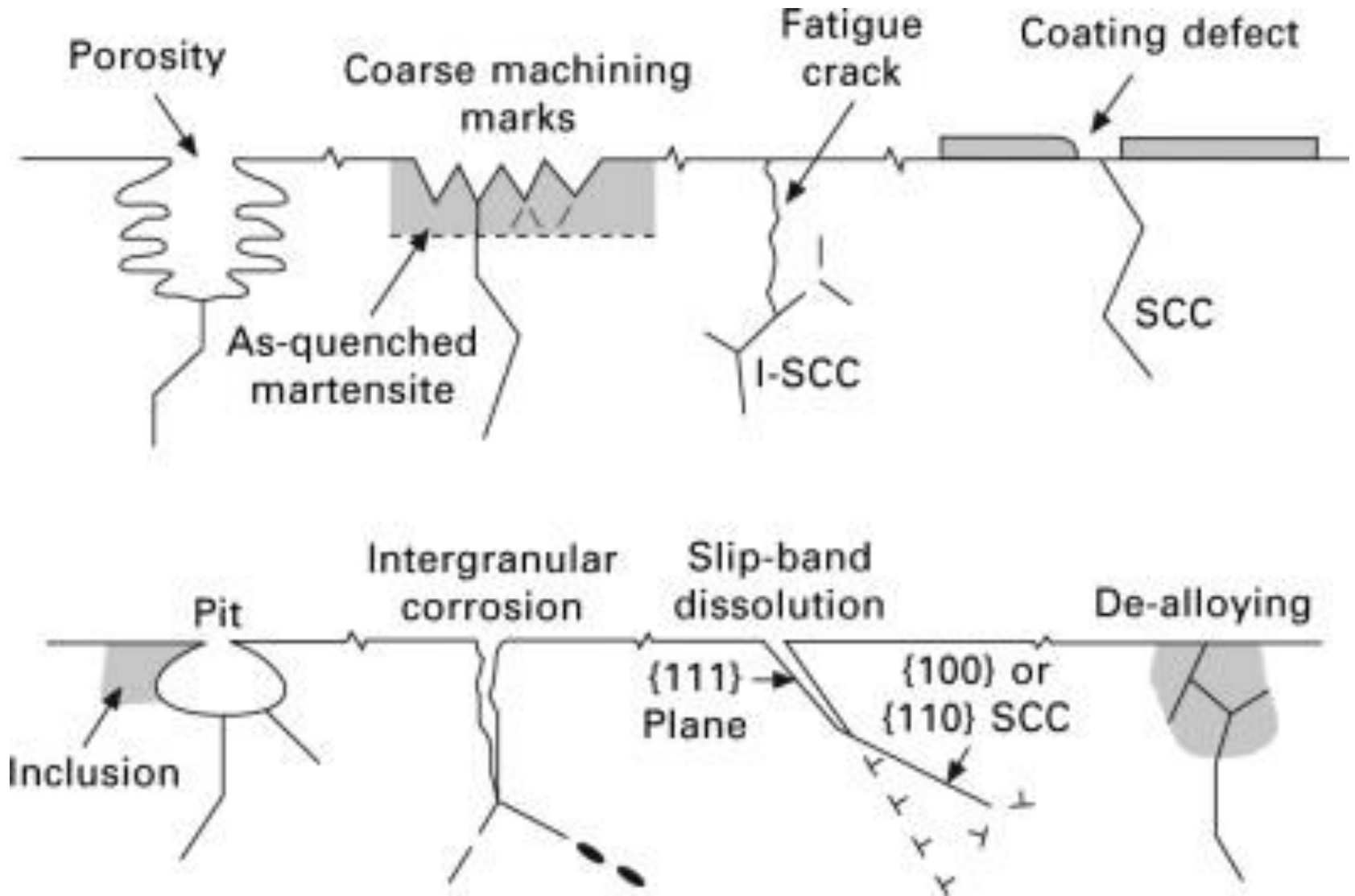
Zn σε κράμα ορειχαλκου
(Cu-Zn)].
Αποψευδαργύρωση
Dezincification.



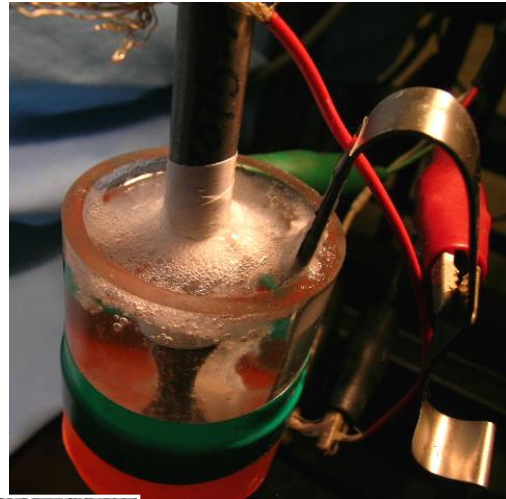
I: Τάση- διάβρωση Stress Corrosion Cracking, SCC



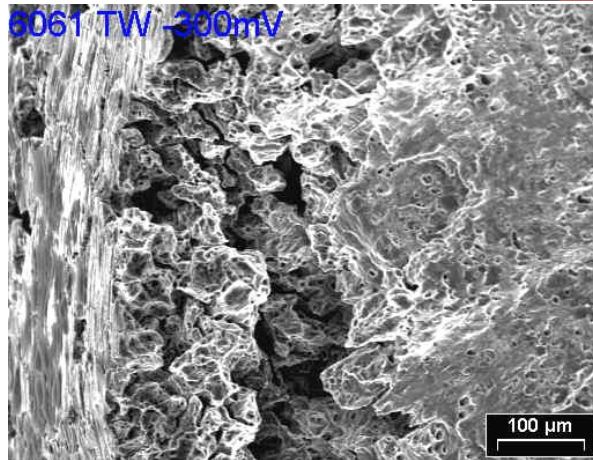
Αιτίες Έναρξης ΤΑΣΗΣ_ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ



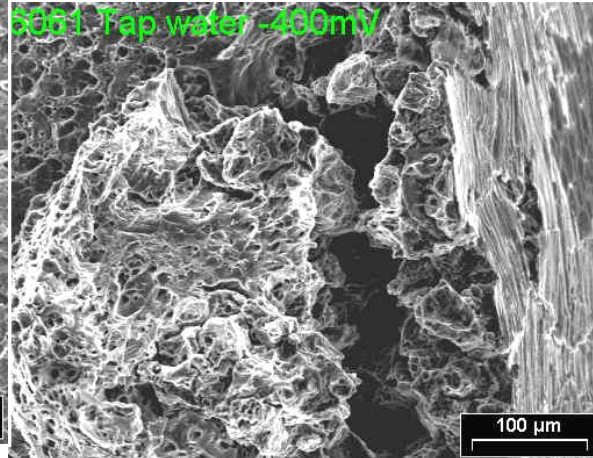
Stress Corrosion Cracking, SCC



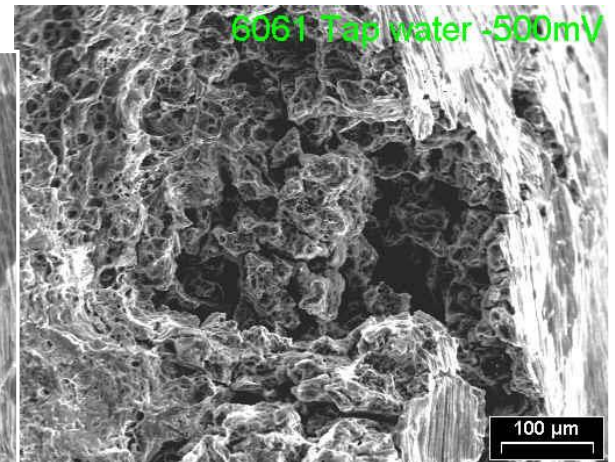
6061 TW -300mV



6061 Tap water -450mV



6061 Tap water -500mV



ΠΡΟΛΗΨΗ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

1. Απομόνωση του υλικού

- ❖ Αντιδιαβρωτικά χρώματα
- ❖ Κεραμικές επικαλύψεις
- ❖ Επιμετάλλωση

➤ Προστασία κραμάτων αλουμινίου με ανοδείωση

➤ Προστασία των χαλύβων με Γαλβανισμό



Τήξη σκόνης Zn σε κατάλληλο καυστήρα και εκτόξευση στην επιφάνεια

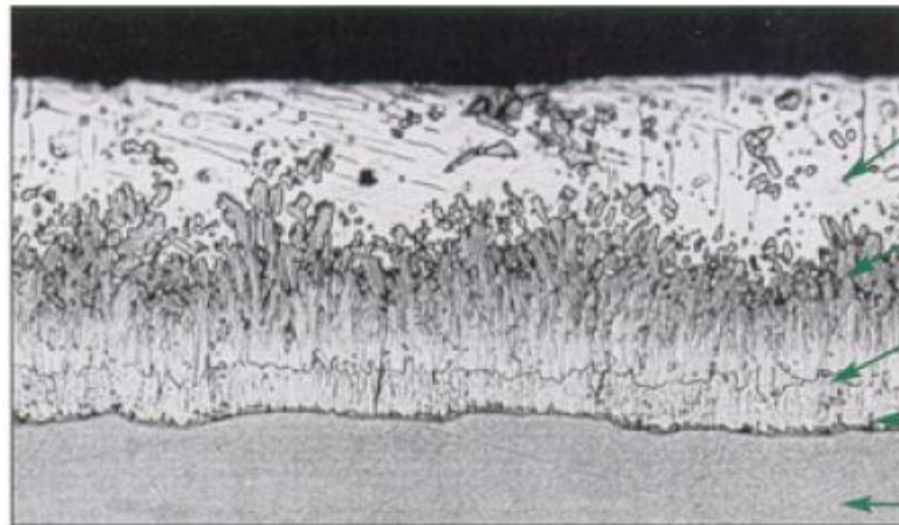


Βαφή με χρώματα πλούσια σε Zn

➤ Προστασία των χαλύβων με Γαλβανισμό

- Προετοιμασία της επιφάνειας
- Γαλβάνισμα
- Έλεγχος

Ζώνη κραμάτωσης



Eta
(100% Zn)
70 DPN Hardness

Zeta
(94% Zn 6% Fe)
179 DPN Hardness

Delta
(90% Zn 10% Fe)
244 DPN Hardness

Gamma
(75% Zn 25% Fe)
250 DPN Hardness

Base Steel
159 DPN Hardness

University Tool Kit

έλεγχος



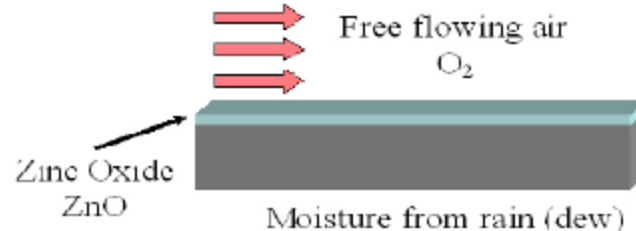
Κύκλος δημιουργίας επιφανειακής παθητικότητας (Patina)

Passivation Cycle

Time

0 – 48 hrs.

1



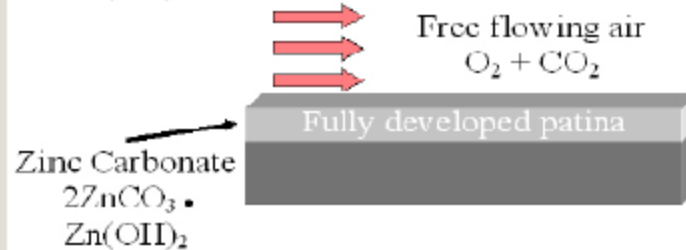
48 hrs. – 6 mo.

2



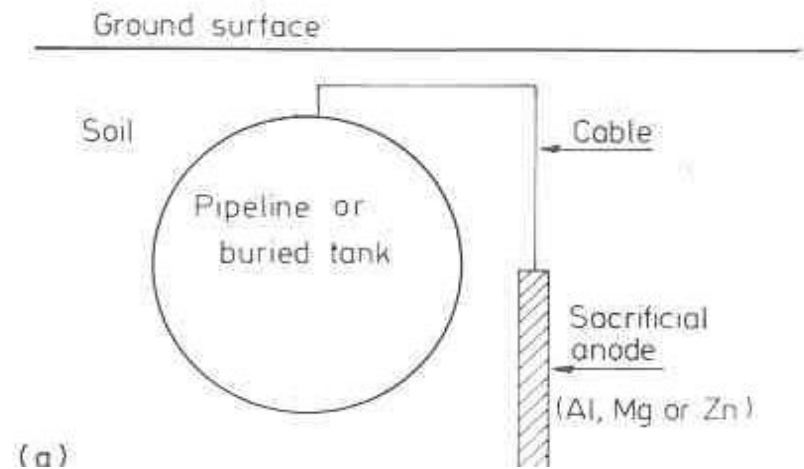
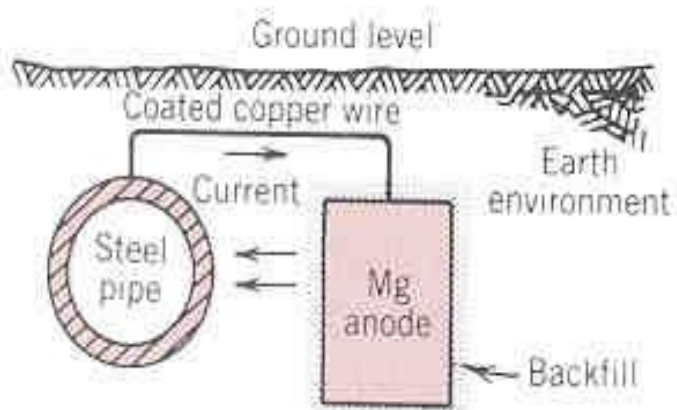
6 mo. – 2 yrs.

3



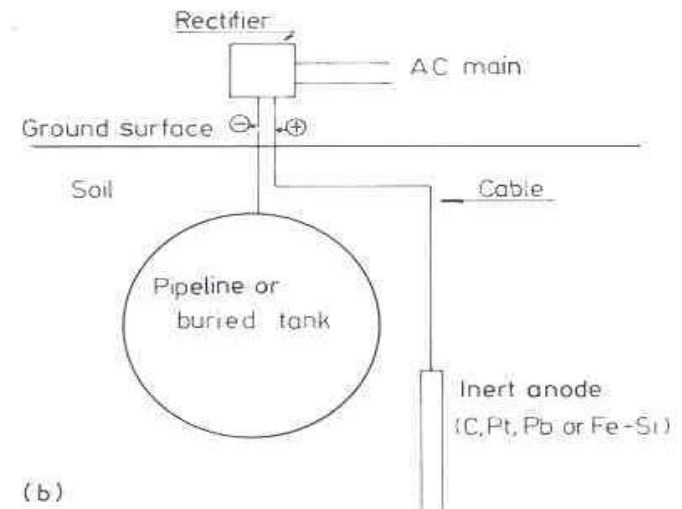
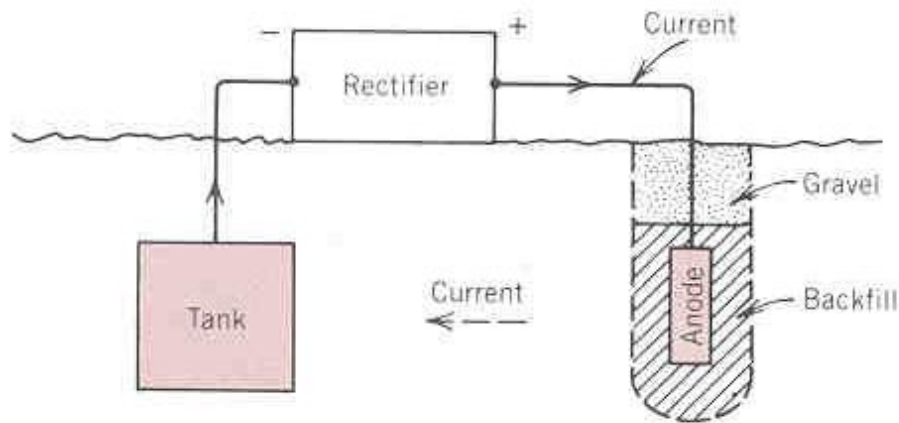
Αντιστάθμιση του φαινομένου της διάβρωσης

2. Καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο



Αντιστάθμιση του φαινομένου της διάβρωσης

3. Εφαρμογή τάσης



ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

➤ Η καθοδική προστασία (CP) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διάβρωσης μιας μεταλλικής επιφάνειας κάνοντας την κάθοδο ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου. Μια απλή μέθοδος προστασίας είναι η σύνδεση του μετάλλου προστατεύεται με **ένα ηλεκροθετικότερο μέταλλο** το οποίο διαβρώνεται ευκολότερα και λειτουργεί ως **«θυζιαζόμενη άνοδος»**. Η θυσιαζόμενη άνοδος διαβρώνεται **αντί του προστατευμένου μετάλλου**.

Η καθοδική προστασία μπορεί κατ 'αρχήν να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μεταλλική δομή σε επαφή με ένα αγώγιμο μέσο (Νερό ,έδαφος). Στην πράξη, η κύρια χρήση του είναι η προστασία των χαλύβδινων δομών που είναι θαμμένες στο έδαφος ή βυθισμένες στο νερό. **Η μέθοδος αυτή αναφέρεται και ως «γαλβανική καθοδική προστασία»**.

Σε πολλές εφαρμογές, **η διαφορά δυναμικού μεταξύ της θυσιαζόμενης ανόδου** και της δομής χάλυβα δεν είναι αρκετή για να παράγει επαρκές ρεύμα για την λειτουργία της καθοδικής προστασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιείται **ηλεκτρική πηγή** για τη δημιουργία μεγαλύτερης διαφοράς δυναμικού, επιτρέποντας έτσι τη ροή περισσότερου ρεύματος (ηλεκτρονίων) στην προστατευόμενη δομή. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται αναφέρεται ως **«καθοδική προστασία με εφαρμογή τάσης»**. Με τη μέθοδο αυτή **η προστατευόμενη δομή λειτουργεί ως κάθοδος** και προστατεύεται ενώ χρησιμοποιείται ως **άνοδος** ένα **αδρανές ηλεκτρόδιο που έχει τοποθετηθεί στο έδαφος**

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΗ ΑΝΟΔΟ

- **Η σχετικά εύκολη και απλή η εγκατάσταση και εφαρμογή της**
- **Είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε πηγή ηλεκτρικής ενέργειας**
- **Κατάλληλη για τοπική προστασία**
- **Παρουσιάζει μικρή πιθανότητα να προκαλέσει αλληλεπίδραση στη γειτονική δομή**

Μερικές από τις κατασκευές που προστατεύονται με καθοδική προστασία είναι:

- **Εξωτερικές επιφάνειες αγωγών**
- **Κελύφη πλοίων**
- **Μόνιμες εγκαταστάσεις σε παράκτιες περιοχές**
- **Χαλύβδινα φύλλα**
- **Εσωτερικές επιφάνειες δεξαμενών αποθήκευσης ύδατος και συστημάτων κυκλοφορίας νερού**
- **Ηλιακοί θερμοσίφωνες**
- **Οπλισμός σκυροδέματος κλπ**

Οι κυριότερες θυσιαζόμενες άνοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

❓ Μαγνήσιο (Mg)

Το μαγνήσιο έχει το πιο αρνητικό δυναμικό από τα των τρία μέταλλα που συνήθως χρησιμοποιούνται ως θυσιαζόμενες άνοδοι και είναι πιο κατάλληλο για περιοχές όπου η αγωγιμότητα, του εδάφους ή του νερού είναι υψηλές. Χρησιμοποιείται συνήθως σε αγωγούς ανοικτής θάλασσας και σε άλλες θαμμένες κατασκευές, Σε ορισμένες περιπτώσεις, το αρνητικό δυναμικό του μαγνησίου μπορεί να είναι ένα πρόβλημα: **ιόντα υδρογόνου μπορούν να δημιουργηθούν στην επιφάνεια της καθόδου οδηγώντας σε ψαθυροποίηση υδρογόνου (Hydrogen embrittlement) η οποία μπορεί να καταστρέψει συγκολλήσεις αλλά και τη επικάλυψη του αγωγού εφόσον υπάρχει.**

❓ Αλουμίνιο (Al)

Η άνοδος αλουμινίου έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως μικρότερο βάρος και πολύ μεγαλύτερη αγωγιμότητα από τον ψευδάργυρο. Δεν θεωρείται αξιόπιστη ως ψευδάργυρος. **(Γιατί;)**

❓ Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος θεωρείται αξιόπιστο υλικό, αλλά δεν είναι κατάλληλο για χρήση σε υψηλότερες θερμοκρασίες, καθώς τείνει να παθητικοποιηθεί (γίνεται λιγότερο αρνητικό), αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα μπορεί να σταματήσει να ρέει και η άνοδος σταματά να λειτουργεί.

Εκτός από τρία μέταλλα χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά ως θυσιαζόμενοι άνοδοι.

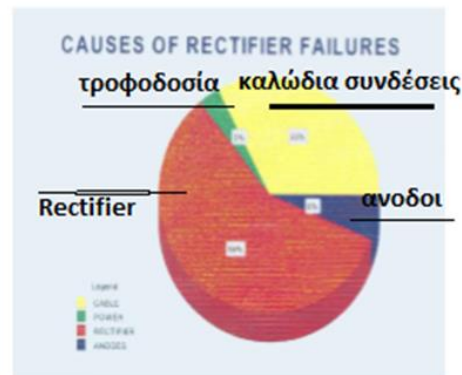
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΑΣΗΣ

Τα προβλήματα που εμφανίζει η μέθοδος καθοδικής προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο αντιμετωπίζονται με την μέθοδο προστασίας με εφαρμογή τάσης.

- **Η ρυθμιζόμενη εξωτερική τάση** μπορεί να προστατεύσει μια μεγάλη ακόμη και χωρίς επικάλυψη δομή , σε περιβάλλον υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης , που σημαίνει ότι χρειάζονται λιγότερα σημεία προστασίας.
- **Οι άνοδοι έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής** επειδή η επιλογή των ανόδων δεν εξαρτάται από το ηλεκτρικό δυναμικό της ανόδου. Ως άνοδοι χρησιμοποιούνται αδρανή υλικά και δεν απαιτείται η αντικατάστασης τους.
- **Μεγαλύτερος έλεγχος του συστήματος.** Σε ένα σύστημα θυσιαζόμενης ανόδου, υπάρχει ένας πολύ περιορισμένος αριθμός τρόπων για τον έλεγχο της ηλεκτρικής εξόδου του συστήματος. Τα περισσότερα συστήματα θυσιαζόμενης ανόδου, εγκαθίστανται και αφήνονται να λειτουργούν χωρίς να τοποθετηθούν συστήματα αυτομάτου ελέγχου.
Στα συστήματα προστασία με εφαρμογή τάσης , η παροχή ρεύματος ρυθμίζεται και παρακολουθείται με συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

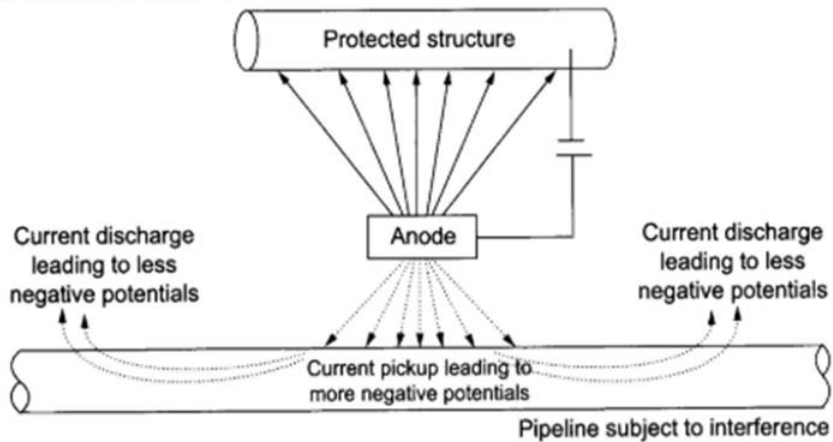
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΑΣΗΣ

- Σημαντικές απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης
- Σχετικά μεγάλες πιθανότητες πρόωρης αστοχίας ή βλάβης



- Δυνατότητα ανάπτυξης περιπατητικών ρευμάτων (stray currents) τα οποία προκαλούν βλάβη παρεμβολών σε άλλες παρακείμενες μεταλλικές κατασκευές

Anodic interference



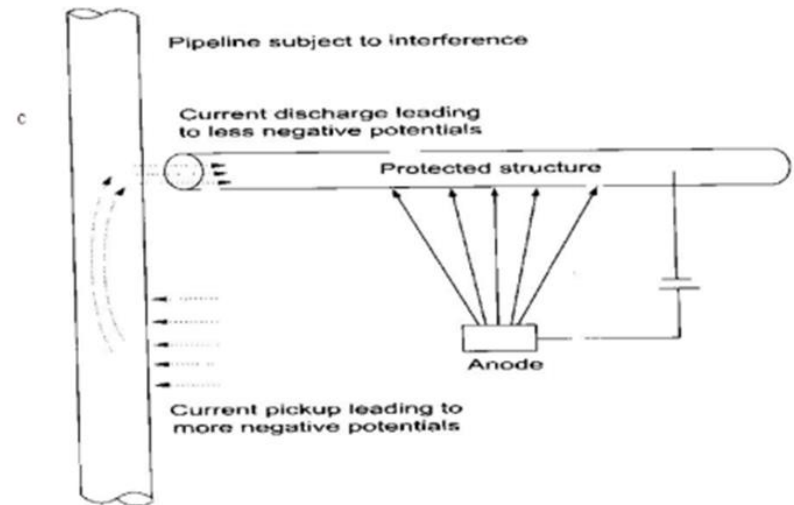
Ανοδική αλληλεπίδραση

Διάβρωση

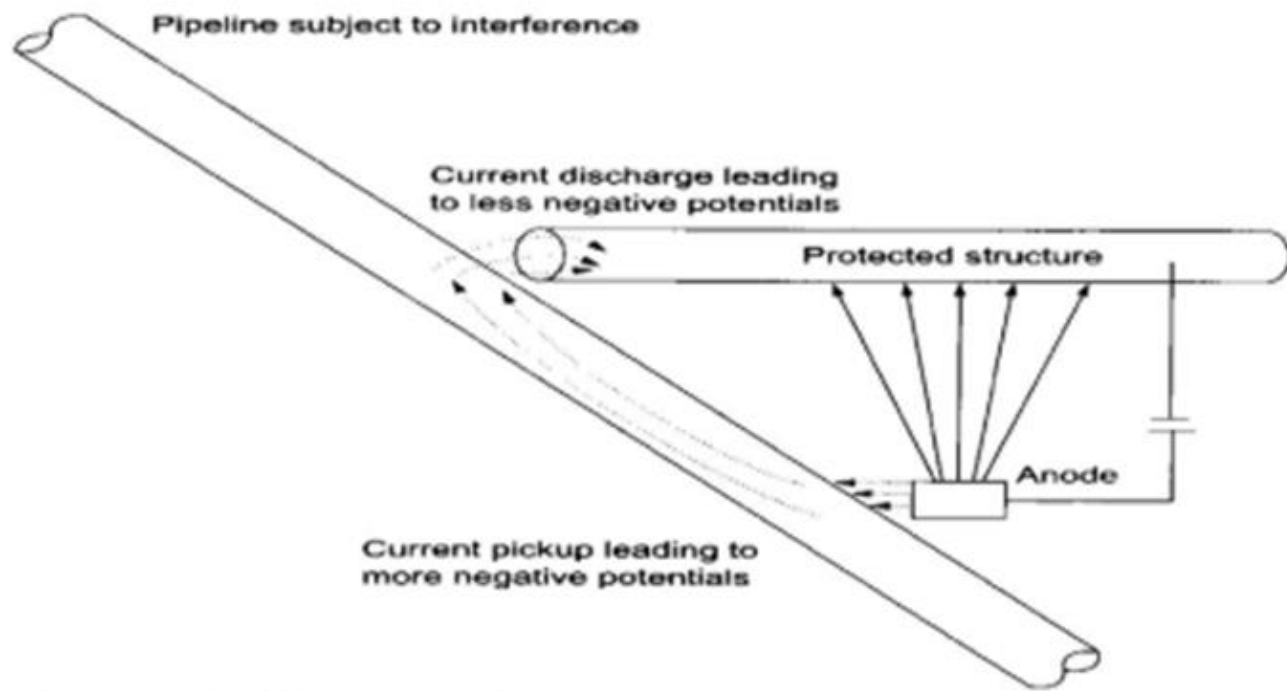
Καθοδική αλληλεπίδραση

προστασία

Cathodic interference



Anodic and cathodic interference occurring together

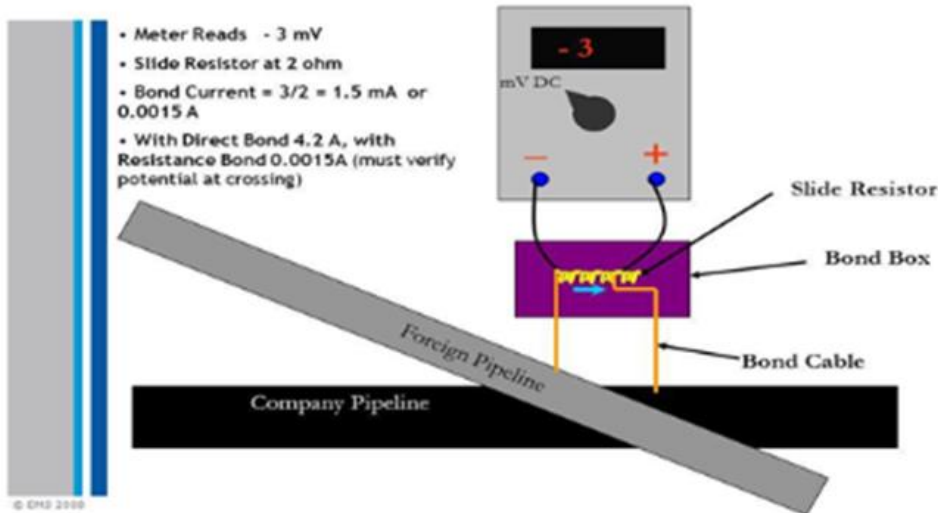


Το πρόβλημα των περιπατιτικών ρευμάτων αυτό αντιμετωπίζεται με τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Απομάκρυνση της πηγής ή ελάττωση της τάσης

Συνήθως η λύση αυτή δεν προκρίνεται γιατί έχει κόστος και τεχνικές δυσκολίες

Mitigation of DC Stray Current - Resistance Bond



2. Τοποθέτηση ηλεκτρικού συνδέσμου μεταξύ των δυο αγωγών.

Cathodic shielding

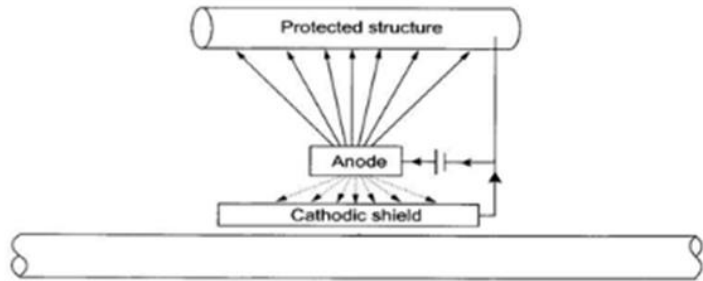


Figure 11.16 Principle of a cathodic shield to minimize anodic interference (schematic).

3. Τοποθέτηση μεταλλικού θώρακα

4. Τοποθέτηση θυσιαζόμενης ανόδου

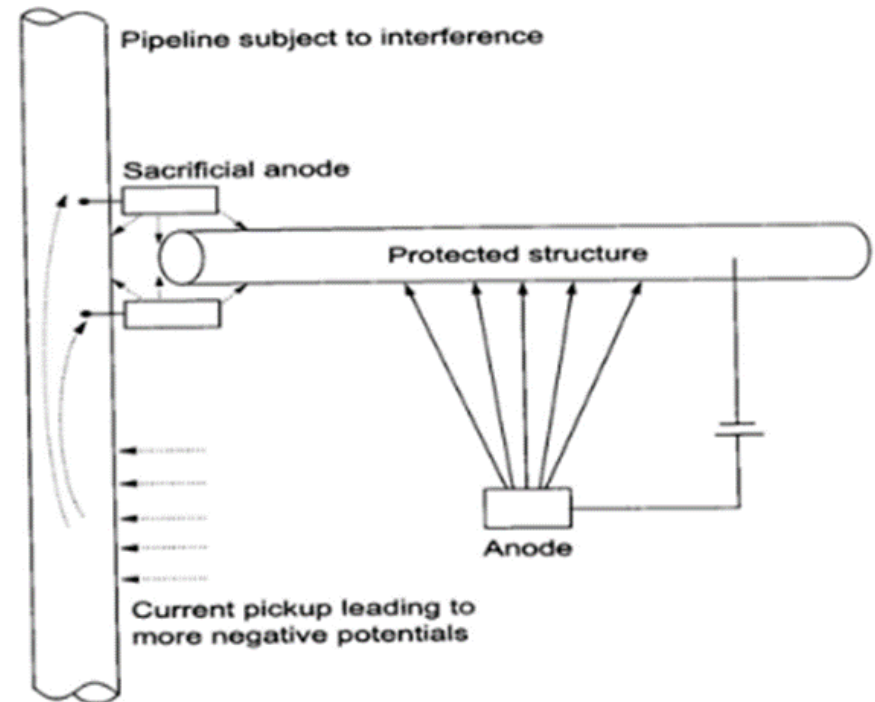
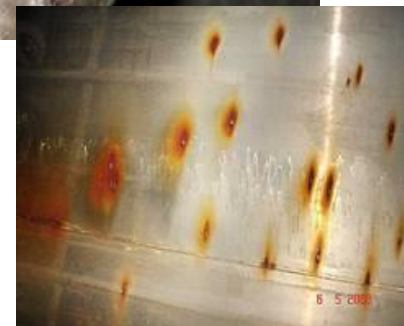


Figure 11.17 Use of sacrificial anodes to mitigate cathodic interfer-

ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ



High Temperature Corrosion



ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΛΟΙΩΝ ΑΠ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ



Corrosion Management Using Organic Coatings



Metallic coatings

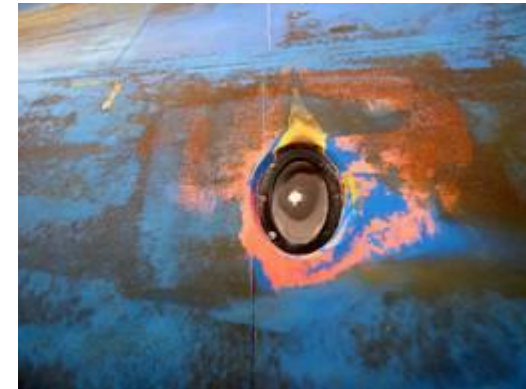
Hot Galvanising plant.



Cathodic Protection. Sacrificial Anode

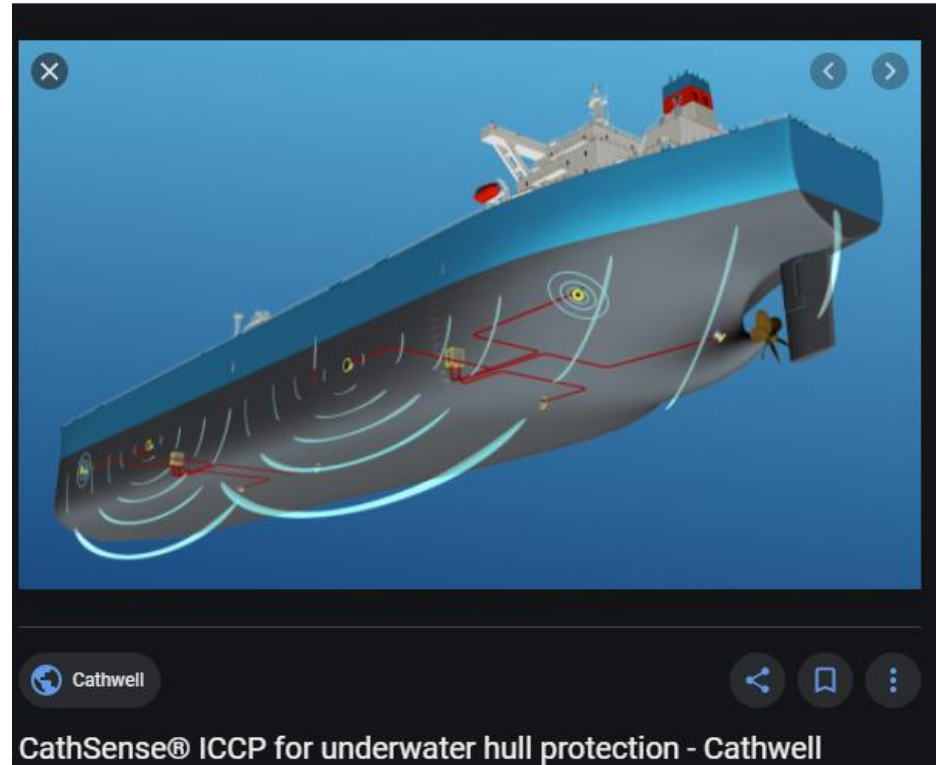
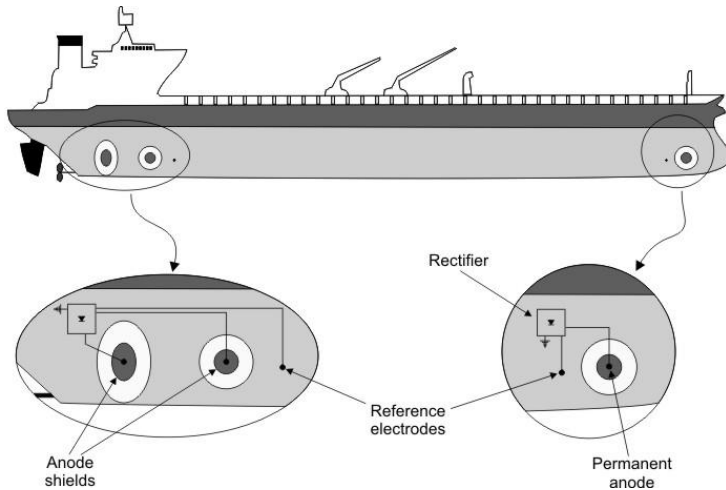


Iccp reference cell.



ICCP Anode

Impressed Current Cathodic Protection



ΠΡΟΛΗΨΗ

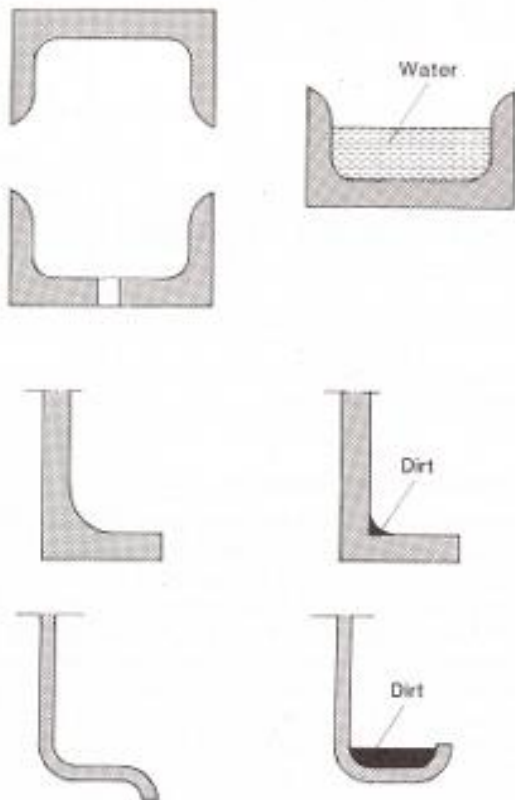
- ❑ Αποφυγή συνδυασμού μετάλλων ή επιλογή των μετάλλων που θα συνδυαστούν να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ηλεκτροχημική σειρά.
- ❑ Αποφυγή συνδυασμού μεγάλης επιφάνειας καθόδου με μικρή επιφάνεια ανόδου.
- ❑ Μόνωση διαφορετικών μετάλλων.
- ❑ Εφαρμογή επικαλύψεων.
- ❑ Χρήση παρεμποδιστών.
- ❑ Εφαρμογή θυσιαζόμενης ανόδου ή προστασία με εφαρμογή τάσης
- ❑ Σχεδιασμός που να επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση του ανοδικού τμήματος και σχεδιασμός αυτού ώστε να είναι μεγαλύτερων διαστάσεων για μεγαλύτερη διάρκεια

ΠΡΟΛΗΨΗ ΜΕ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Σχεδιαστικά σκαριφήματα

Recommended

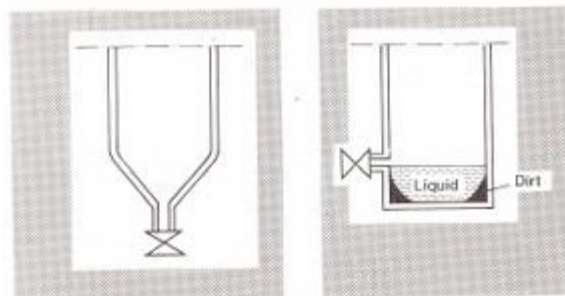
Not recommended



• Avoid such design that 'pockets' collecting water or dirt arise.

Recommended

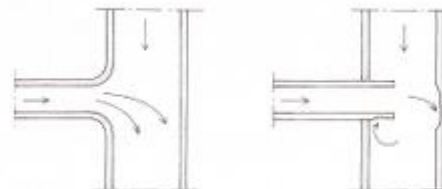
Not recommended



— Liquid containers should be designed such that they can, without unreasonable effort, be completely emptied. Dirt-collecting corners should be avoided.

Recommended

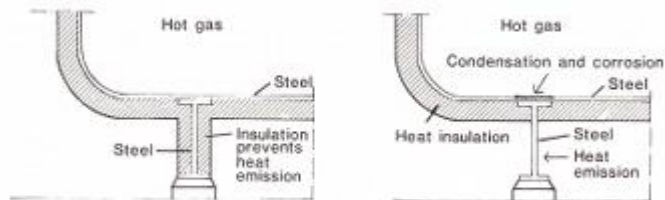
Not recommended



At branch joints to pipes the edges ought not protrude into the stream and disturb the flow, since the resulting turbulence can cause erosion corrosion.

Recommended

Not recommended



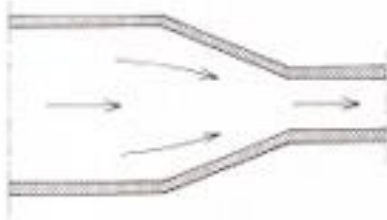
Heat-conducting supports can cause condensation and corrosion in tanks containing hot gas.

ΠΡΟΛΗΨΗ ΜΕ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

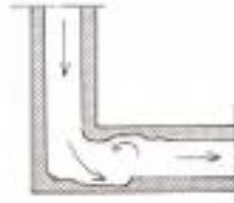
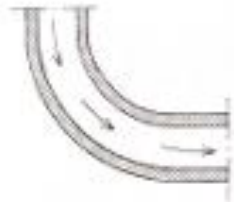
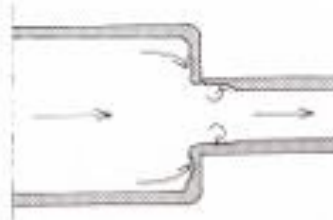
Σχεδιαστικά σκαριφήματα

Design for surface treatment

Recommended



Not recommended

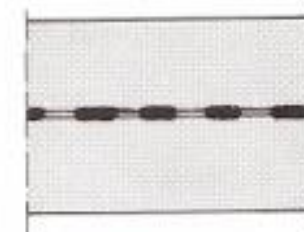
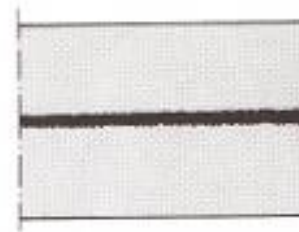


- 'Streamlining' favours the avoidance of erosion corrosion.

Recommended

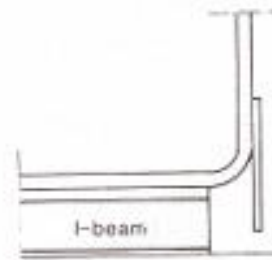


Not recommended

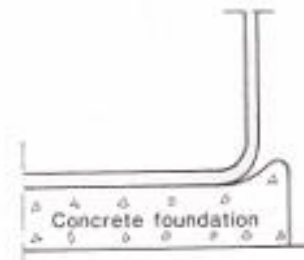


- Crevices should be avoided at welds, where moisture can accumulate and give rise to crevice corrosion.

Recommended

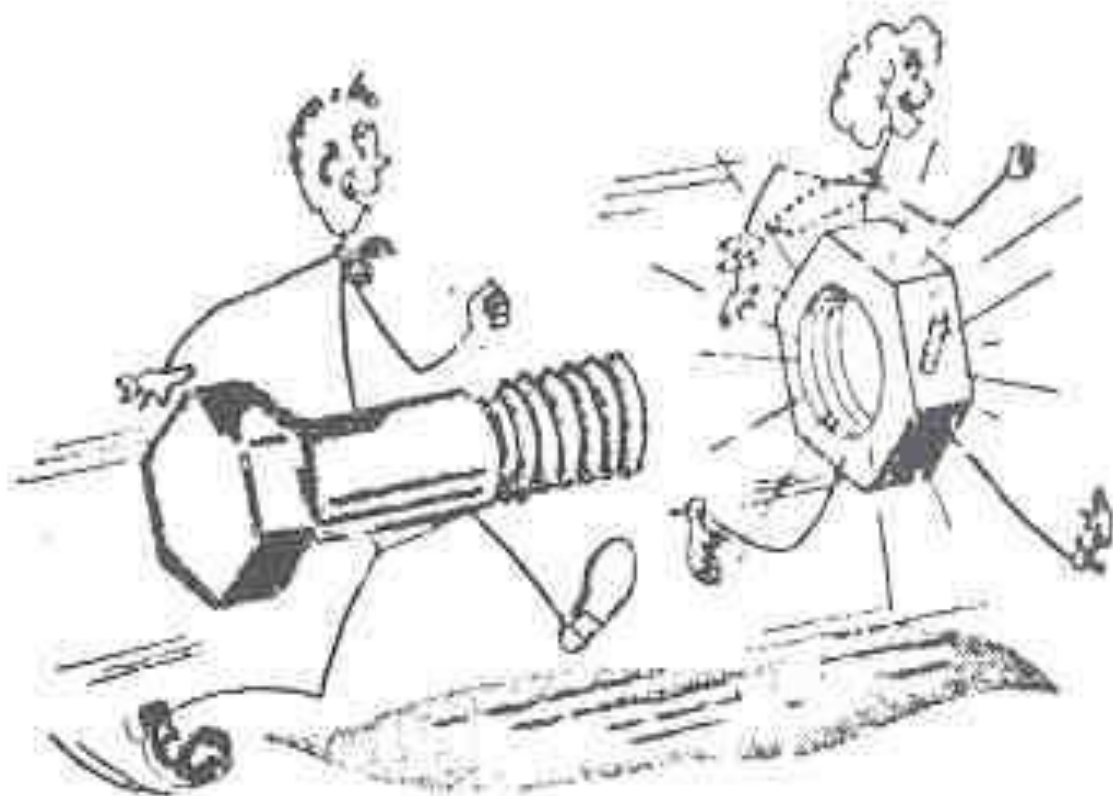


Not recommended



- Foundations for tanks should be designed so that the risk of crevice corrosion is avoided.

ПРОЛІЦН -



**NO! NO! NOT WITHOUT...
GALVANIZING**