

خوردگی و اکسیداسیون:

Corrosion & Oxidation:

1. Corrosion Engineering , Fontana : مراجع :
2. Corrosion and corrosion control , Uhliy
3. An introduction to metallic corrosion , U Evans
4. Corrosion handbook , Uhliy
5. Corrosion control , Shewier
6. Corrosion and oxidation of metals , Evans

سرفصل مطالب :

1- تعاریف خوردگی

2- اصول خوردگی (اصول الکتروشیمیائی)

3- انواع خوردگی (یکنواخت، حفزهای، تساری و...)

4- روش های کنترل خوردگی (حفاظت کاتدی، ممانعت کننده ها، پوشش ها و...)

5- ترمودینامیک خوردگی (اصول، دیاگرام های پورب)

6- سینتیک خوردگی (پلاریزاسیون و مکانیزم های خوردگی)

7- تئوری های مدرن خوردگی (تئوری پتانسیل یا دانسیته ی جریان مختلط)

8- پدیده های مختلف خوردگی (توجیه توسط پلاریزاسیون)

تعاریف خوردگی:

1- انهدام یا تخریب فلزات یا آلیاژها توسط فعل و انفعالات یا واکنش با محیط

2- از بین رفتن خواص مواد در اثر عوامل غیر مکانیکی مثل عوامل شیمیائی: سختی و استحکام

فلز کاهش می یابد. براق بودن سطح از بین می رود و کلاً خواص اذیت پیدا می کند.

3- فرایند عکس فرایند های استخراج فلزات

* قانون کلی: هیچ فلزی در طبیعت تمایل ندارد بصورت فلز باقی بماند و تمایل به واکنش

دادن دارد اما سرعت این واکنش برای فلزات مختلف فرق دارد بجزایری تمامی فلزات با سرعت

های مختلفی بازگشت می یابند.

تقسیم بندی خوردگی بر اساس رطوبت محیط:

1- خوردگی خشک: اتمسفری
2- خوردگی تر: در محلول ها، آب ها، بازها، اسیدها

خوردگی خشک :

عوامل موجود در اتمسفر : CO - CO_2 - SO_2 - SO_3 - O_2 - گرد و غبار (رسوب)

تشکیل میدهند) - Cl_2 (عامل خورنده قوی، در محیط‌های دریایی) - NO_2 و NH_3 (در

محیط‌های انرژیک)

این عوامل با فلزها واکنش می‌دهند در نتیجه خوردن ایجاد شده و فلزات را اکسید می‌کنند.

خوردگی تر :

بیشترین محیط خورنده، آب‌ها هستند و به خاطر بسیاری از پارامترهای دیگر از جمله نزدیکی به آب‌های

آزاد، بسیاری از تجهیزات کنار دریاها هستند از جمله پالایشگاه‌ها.

عوارض ناشی از خوردگی فلزات در سازه‌های صنعتی :

1- کاهش راندمان تولید : از کار افتادن یک خط تولید

2- بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری

3- آلودگی محصولات صنعتی : اگر قوطی کسرو خورده شود، ماده غذایی درون آن ناسد

می‌شود. گاهی اوقات کیفیت خود قطعه نیز کاهش می‌یابد.

4- خطرات فاجعه آمیز : خوردگی لوله های انتقال سوخت در نیروگاه های اتمی

سازه های فولادی عمری بین 50 تا 60 سال دارند و اکثر قطعات نیز فولادی هستند. سعی

ما بر این است که مواد مهندسی به جای فولاد بکار بریم تا خوردگی کمتر اتفاق افتد. مثل بتون

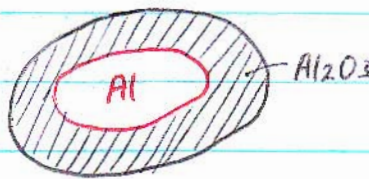
5- آلودگی محیط زیست : هر تخریبی نهایتاً به آلودگی محیط زیست می انجامد.

بهره گیری از واکنش های خوردگی (واکنش های اکسیداسیون - احیاء) :

1- آجکاری یا پوشش دهی

2- آندایزینگ Al : برای اینکه سطح آن پایدار شود : سطح آن را اکسید می کنند

(Al_2O_3) که سرامیک پایداری است. در واقع یک پوشش سرامیکی ایجاد کرده ایم.



3- الکتروایج ، الکترو پولیش

4- ماشین کاری الکتروشیمیایی : خالی کردن استوانه توپ در بتون سازه لوله های تانک

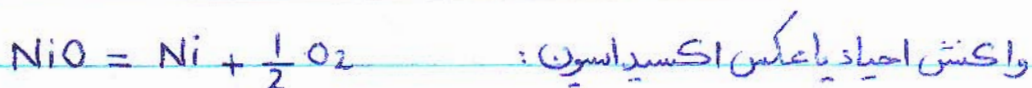
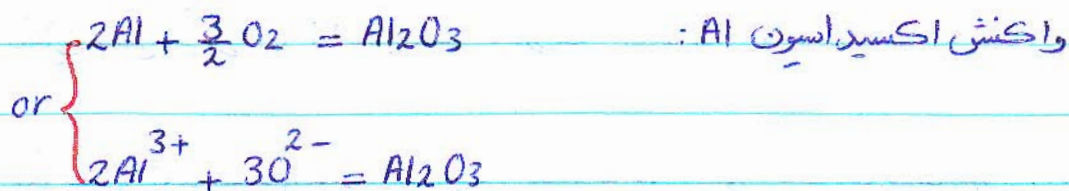
چون جنس لوله تری العاده سخت و محکم است ، توسط محلول های شیمیایی

6- الکترولیز مس

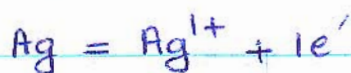
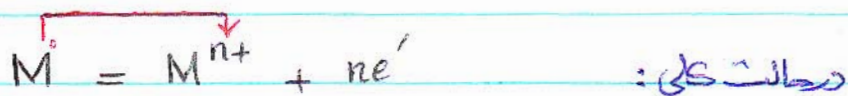
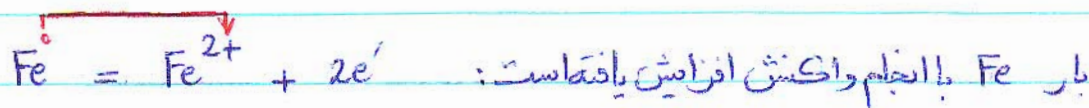
5- باتری ها، پیل ها

مس در معدن را از طریق الکترولیز خالص سازی می کنیم

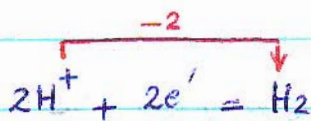
واکنش های اکسیداسیون و احیاء:



* تعریف دیگر واکنش اکسیداسیون:



Cu و Ni دو ظرفیتی هستند اما Ag تک ظرفیتی است



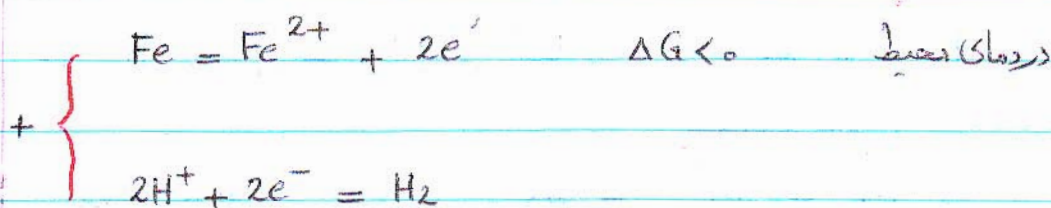
* واکنش های احیاء: (کاهش بار)

واکنش‌های احیاء الکترون مصرف می‌کنند اما واکنش‌های اکسیداسیون الکترون یا جریان تولید می‌کنند.

اصل. واکنش‌های خوردگی همواره حاوی واکنش‌های احیاء و اکسیداسیون هستند و بار نهایی خنثی می‌گردد. (اصل خنثی سازی بار الکترونی)

اما بعضی اوقات خوردمان کاری می‌کنیم که بارها خنثی نشود تا جریان تولید شود: باطری‌ها اما در واکنش‌های طبیعی، خوردگی، بار نهایی خنثی می‌شود.

مثال. خوردگی آهن در محیط آبی:



پس Fe^{2+} تولید شده و گاز H_2 بصورت حباب از آب خارج می‌شود.

واکنش اول اکسیداسیون و واکنش دوم، احیاء است.

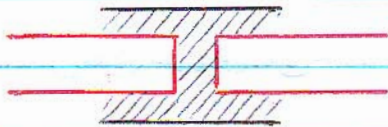
در واکنش خوردگی (نهائی) نباید بار e^- وجود داشته باشد.

انتخاب یک ماده مهندسی:

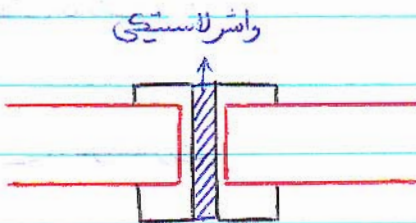
1. خواص مکانیکی: استحکام سختی، انعطاف پذیری و...

2. قابلیت جوشکاری: ساده ترین روش اتصال فلزات

راه های زیادی برای اتصال وجود دارد مثلاً برای اتصال دولوله:

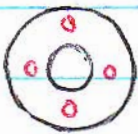


پیچ کردن دولوله:



فلنج کردن:

خورد فلنج ها یا به لوله جوش می خورند یا پیچ و مهره



می شوند، اما فلنج ها با پیچ و مهره به هم وصل میشوند.

4* ارزش یا هزینه های اقتصادی

3. میزان در دسترس بودن

6. سازگاری با محیط زیست یا بازآورد شدن

5. ایمنی محصول

8. مقاومت به خوردگی (بعث این درس)

7. کیفیت سطح

* آلیاژهای Mg خیلی سبک هستند (سبکترین سازه) اما مقاومت به خوردگی ندارند

مبانی خوردگی:

1- الکتروشیمی 2- ترمودینامیک خوردگی 3- سینتیک خوردگی (مهم)

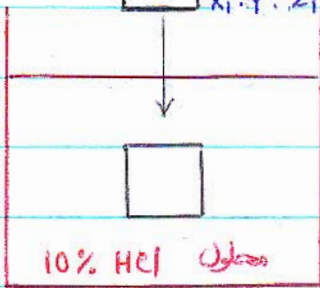
4- متالورژی آلیاژها و محصولات خوردگی 5- بررسی‌های سطح

سرعت خوردگی:

ΔG واکنش‌های خوردگی منفی است بنابراین انجام می‌شود. اما برای مواد مختلف با

سرعت‌های مختلف.

وزن اولیه: W_1 سطح جانبی: A
 W_1 ابعاد: X_1, Y_1, Z_1



آزمایش غوطه‌وری:

در مدت زمان t داخل محلول است.

مثال: آهن را در محلول 10% HCl به مدت 72 ساعت قرار می‌دهیم. سرعت خوردگی را بدست آوریم.

ابعاد: $1 \times 2 \times 3 \text{ cm}^3$

$$A = (1 \times 2) \times 2 + (1 \times 3) \times 2 + (2 \times 3) \times 2 = 22 \text{ cm}^2$$

وزن نهایی: W_2

$$C.R. (mpy) = \frac{534 \Delta W}{D.A.T}$$

86.7.8 (9)

$$\frac{m}{V} = (\text{gr/cm}^3) \text{ دانسیته } : D$$

ΔW : کاهش وزن (mgr)

T : زمان (hr)

A : سطح (in^2)

$$\text{mpy} = \frac{\text{mils}}{\text{year}} = \frac{\text{mili Inch}}{\text{year}}$$

$$1 \text{ mils} = 25 \mu\text{m}$$

عدد ضرب تبدیل واحد است.

$$D_{Fe} = 7.8 = \frac{W_1}{1 \times 2 \times 3} \Rightarrow W_1 = 46.8 \text{ gr} = 46.8 \times 10^3 \text{ mgr}$$

$W_2 = 45 \text{ gr}$ (W_2 وزن نهایی) بر وسیله ترازو اندازه گیری می شود.

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 1.8 \text{ gr}$$

$$C.R = \frac{534 \times 1.8 \times 10^3 (\text{mgr})}{7.8 \times 22 \times 72 (\text{hr})} = 77.8 \text{ mpy} = 77.8 \frac{\text{mili inch}}{\text{year}}$$

$$= 77.8 \times 25 \frac{\mu\text{m}}{\text{year}} \approx 1.945 \frac{\text{mm}}{\text{year}}$$



یعنی اینکه ضخامت قطعه پس از یک سال 1.945 mm خورده میشود.

$$IP_y \left(\frac{\text{Inch}}{\text{year}} \right)$$

$$IP_y = 10^{-3} \text{ mpy}$$

$$\frac{\mu\text{m}}{\text{year}} = \text{mpy} \times 25$$

$$\frac{\text{mm}}{\text{year}} = 10^{-3} \times 25 \times \text{mpy}$$

وارد بالا برای ضخامت برد یعنی چقدر از ضخامت خورده می شود.

گاهی اوقات خوردگی را بر حسب وزن بیان می کنند :

$$mdd \text{ (mg / dm}^2 \cdot \text{day)} = 696 \times D \times IPy = 696 \times 10^3 D \text{ mpy}$$

در مورد ضخامت خوردگی گاهی "سرعت نفوذ خوردگی" بجای آن استفاده می شود و گاهی

در مورد وزن از "سرعت خوردگی استفاده می شود. به ترتیب: C.P.R - C.R

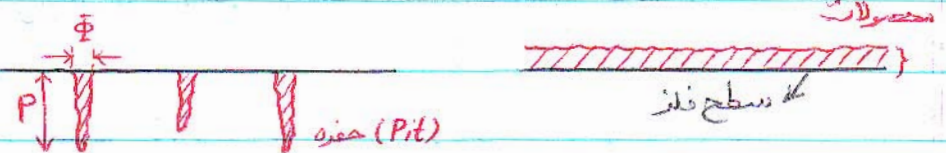
$$\text{corrosion rate (C.R or C.P.R)} \left(\frac{\mu\text{m}}{\text{year}} \right) = \frac{(87600) \Delta W}{D \cdot A \cdot T}$$

\uparrow mgr
 \downarrow gr/cm³ \downarrow cm² \downarrow hr

موارد بالا مربوط به خوردگی تر بود. خوردگی از نظر مورفولوژی دو گونه است:

2- موضعی

1- یکنواخت



نکته. در رابطه $\frac{\Delta W}{D \cdot A \cdot T}$ ، A تغییر می کند اما می توان متوسطی از A را در نظر گرفت.

رابطه فوق برای خوردگی یکنواخت است نه موضعی.

* برای بیان خوردگی موضعی چند روش وجود دارد:

1- تعداد حفزات در سطح (دانشیه حفزات) } برای وقتی که حفزات نزدیک بهم هستند یعنی یکنواخت باشند

2- عمیق ترین حفرات که موجب سوراخ شدن قطعه ای شود.

3- فاکتور حفره دار شدن: (pitting factor)

نسبت عمق حفره به دهانه حفره : $P.F = \frac{P}{\Phi}$ بدون ریبانشیون

هرچه P.F بزرگ تر باشد، حفره پر خطر است. زیرا سرعت رشد بالادری دارد یا نفوذش

به داخل فلز خطرناکتر است. P.F در واقع نسبت رشد در عمق به رشد در سطح است.

معیار خوردگی فلزات در محیط های متداول (معمولی):

محیط متداول مثل دریاها، اتمسفر، سردخانه ها و ...

1. $C.R (mpy) < 5 (mpy)$ ← خوردگی کم یا قابل قبول

2. $5 (mpy) < C.R (mpy) < 50 (mpy)$ ← خوردگی متوسط * (حدهایی)

3. $C.R (mpy) > 50 (mpy)$ ← خوردگی زیاد (غیر قابل قبول)

* بسته به نوع کاربرد: برای تانک ذخیره آب مناسب است اما برای سرباره نه.

استانداردهای خوردگی:

BS - DIM - ASM - ASTM - NACE

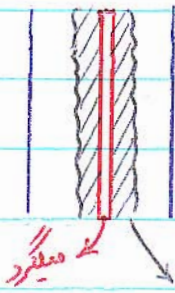
NACE : انجمن مهندسی خوردگی آمریکا

ASTM : انجمن کیمیا مواد

DIM : استاندارد آلمانی

BS : استاندارد بریتانیایی

مثال 1. خوردگی آرومانوردیون بتن $C.R (mpy) < 1 (mpy)$



محصولات خوردگی موجب افزایش حجم 7 تا 12 برابری

بتن شده \Rightarrow در راستای 45° ترک در بتن بوجود می آید.

(T_{max}) زیرا بتن تنش برشی را نمی تواند تحمل کند.

2. خوردگی مخزن بزرگ آب یافنت $C.R (mpy) < 5 (mpy)$

مخزن های فوق را از فولادهای معمولی می سازند و داخل آن را پوشش PVC میدهند.

3. خوردگی سیم ارتدشنی در دهان $C.R (mpy) < 0.1 (mpy)$

معمولاً از $NiTi$ (نایتانول یا Nitinol) یا $Stainless\ steel$ می سازند.

4. خوردگی ایپلنت داخل بدن $C.R (mpy) < 0.01 (mpy)$

در مورد چهارم حساسیت نسبت به خوردگی بیشتر است زیرا در غیر این صورت کاتد های

فلزی وارد بزن شده و صدمه وارد می کنند.

همه استانداردهای فوق سرعت خوردگی مجاز را تعیین می کنند.

هبانی الکتروشیمیایی خوردگی:

الکتروشیمیایی واکنشی است که اولاً شیمیایی بوده ، تماماً تبادل الکترون در آن صورت

می گیرد.

اگر واکنش دهنده ی الکترون باشد : اکسیداسیون - آند

اگر واکنش گیرنده ی الکترون باشد : احیاء - کاتد

این واکنش ها در سطحی انجام می شود که قابلیت تبادل الکترون دارند . سطحی که در آن

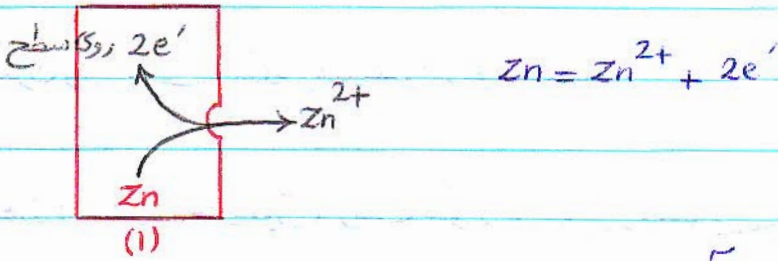
اکسیداسیون انجام می شود یعنی الکترون به سطح داده می شود ، آند می گویند .

سطحی که در آن احیاء انجام می شود یعنی الکترون از سطح می گیرد ، کاتد نام دارد .

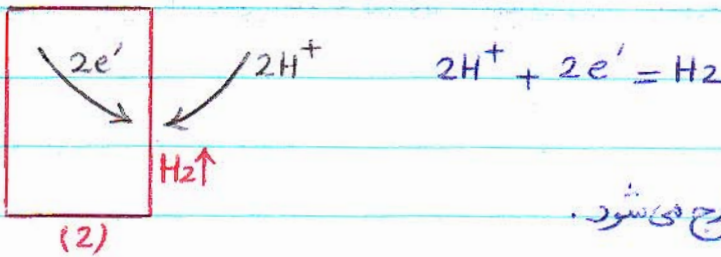
عناقی ها واکنش اکسیداسیون و احیاء ندارند چون تبادل الکترون انجام نمی دهند

در نتیجه مانع خوبی برای خوردگی هستند .

ظرفیت غالب روی (Zn) +2 است ظرفیت های +1 و +4 آن کمتریه بیشتر.

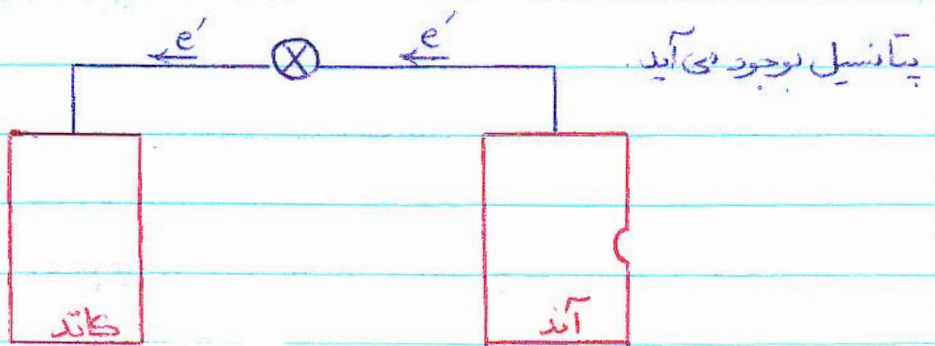


کاتيون ها و آنيون هاي زير در آب وجود دارند:

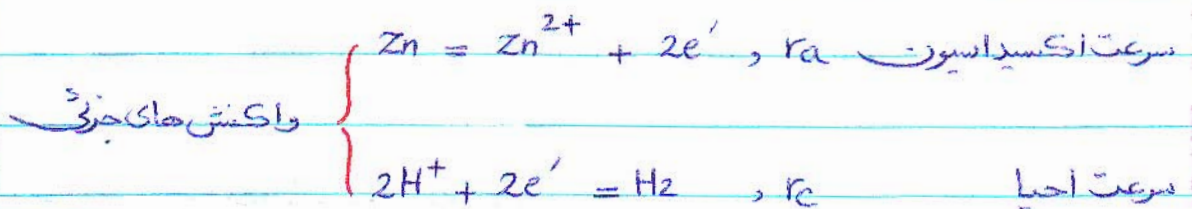


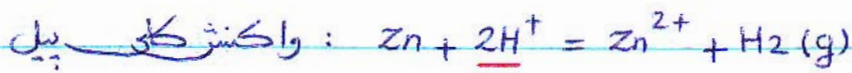
H_2 بصورت حباب از آب خارج می شود.

اگر (1) و (2) را به هم وصل کنیم ، یک پیل الکتروشیمیایی بوجود می آید چون یک



به هر مجموعه ای از آند و کاتد که بالانس میشوند ، پیل الکتروشیمیایی می گویند





محیط اسیدی

در نتیجه : واکنش آندی : اکسیداسیون

واکنش کاتی : احیا (Reduction) - کاهش

اصل سینتیک : $r_a = r_c$ { تعادل سینتیکی } یعنی :

با همان سرعتی که الکترون تولید می شود ، با همان سرعت هم الکترون مصرف می شود

در واقع اگر پیل به تعادل برسد : باطری تمام می شود . در باطری ها نمی خواهیم ، همدیگر

را خنثی کنند برای همین بین این دو مقاومت قرار می دهیم . اگر بین این دو

سیم بدون مقاومت قرار دهیم دو واکنش به تعادل می رسند .

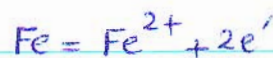
واکنش کلی : $M = M^{n+} + ne'$ فلز اکسیداسیون

احیاء $X^{x+} + xe' = X$

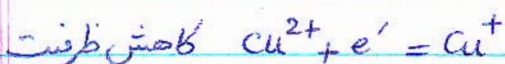
واکنش کاتی (احیاء)



واکنش آندی (اکسیداسیون)



مثال : یونیزاسیون فلز



گازی شدن آنیون $2Cl^- = Cl_2 + 2e'$ | $Cl_2 + 2e' = 2Cl^-$ تبدیل گاز به آنیون



(واکنش‌های حلال آب)

سه واکنش مشخص شده: این‌ها مربوط به آب هستند. در هر محیط آبی این واکنش‌ها دیده می‌شوند.

واکنش‌های (1) و (2) در محیط‌های اسیدی انجام می‌شوند (H^+) اما واکنش (3)

در محیط خنثی یاقلیائی (OH^-) انجام می‌شود.

* هر یک از این واکنش‌های کاتدی را با واکنش‌های آندی جمع کنیم به معادله

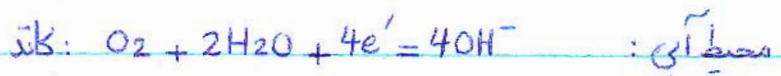
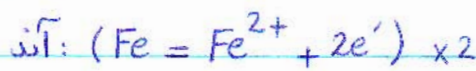
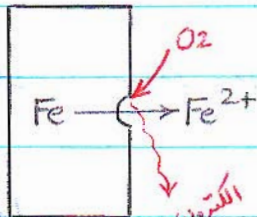
کلی پیل می‌رسیم {واکنش خوردگی}

اصل بنیاد: همه فلزات تمایل به خوردگی دارند {بازریافت نمی‌شوند}

حتی پلیرها هم بازریافت نمی‌شوند اما با سرعت فوق العاده کم.

Pt (پلاتین) هم خورده می‌شود اما در مقایسه با آهن با سرعت خیلی کم.

خوردگی آهن در محیط آبی:



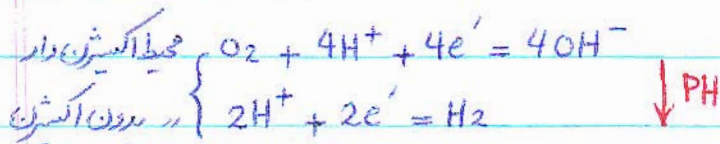
اجزای آب: O_2 , H^+ , OH^- : عامل اکسیدکننده است خوردش احیاء

شده و Fe را اکسید می کند. چون محیط آبی است پس O_2 زیاد است. اگر اسیدی بود، H^+ زیاد داشتیم.

محیط های آبی خنثی: آب دریاها - آب رودخانه ها - رطوبت کندها شده (سطح را تری کند)

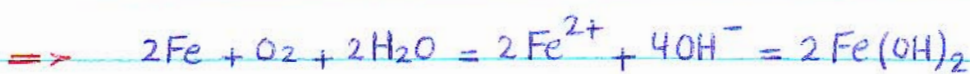
اگر محیط آبی اسیدی بود ($PH < 7$) در چنین محیطی اگر O_2 خواهد احیاء شود یکی از

واکنش های زیر را داریم:



هرچه PH کمتر باشد واکنش پائینی محتمل تر است چون پتانسیل آن منفی است و عامل H^+

فعال تر بوده و عامل اکسید کننده ندارد.



$Fe(OH)_2$: هیدروکسید فرو

آهن با ظرفیت دو: فرو آهن با ظرفیت سه: فریک

$Fe(OH)_2$ در محیط اکسیدان در پایدار نبوده و در محیط آبی چون اکسیدان زیاد است پس:



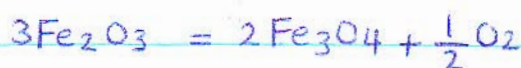
$Fe(OH)_3$: هیدروکسید فریک - رنگ آهن (رنگ: قرمز مایل به قهوه‌ای) در

ضمن اکسید کامل نیست و هیدروکسید است. اگر آن را حرارت دهیم

آب خود را از دست می‌دهد.



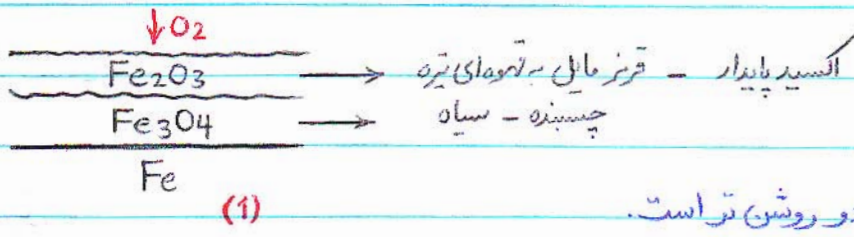
Fe_2O_3 : اکسید آهن (هماتیت) ← قرمز مایل به قهوه‌ای تیره



Fe_3O_4 : مگنتیت (مغناطیسی). اکسیدان در هماتیت بیشتر است. $(\frac{4}{7} < \frac{3}{5})$

مگنتیت سیاه رنگ است.

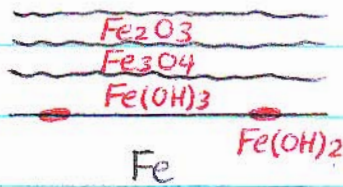
چون میزان O_2 در هماتیت بیشتر است پس باید در تماس با اکسیدان جویاشد:



هیدروکسید ← اکسید آب دار (اکسید پایدار)

اکسید ← هیدروکسید بدون آب (پایدارتر)

اولین ذراتی که روی سطح تشکیل می‌شوند به ترتیب زیر است:



محصولات آهن متخلخل است. به دو علت:

رشد زنگ آهن خود تخلخل ایجاد می‌کند چون

بصورت آب‌ناشته‌ای است. علت مهم‌تر: آهن مرتب دارد آب خود را از دست می‌دهد و

جای آن را تخلخل می‌گیرد. و 7 الی 12 برابر حجم محصولات را افزایش می‌دهد.

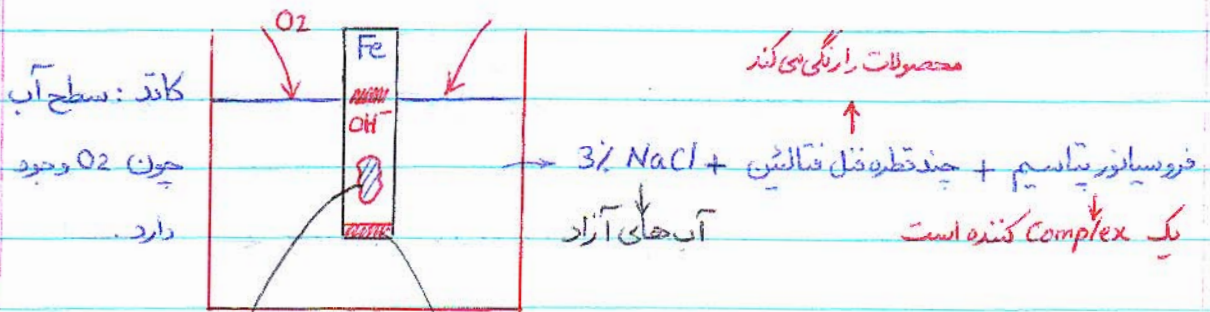
تخلخل یک عامل اصلی برای ادامه اکسیداسیون است زیرا عامل اسیدی مثل Cl^- و O_2 به

سطح Fe راه می‌یابد. بهترین پوشش برای جلوگیری از ادامه اکسید شدن پوشش شکل (1)

است. این پوشش در حد محیط‌های اتمسفری از ادامه اکسیداسیون جلوگیری می‌کند و خیلی

پایداری نیست

* آزمایش :

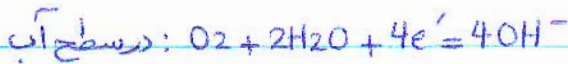


کم رنگ $Fe(OH)_2$

آبی Fe^{2+}

پر رنگ $Fe(OH)_3$

محلول را 3٪ انتخاب کرده ایم تا سرعت اکسیداسیون

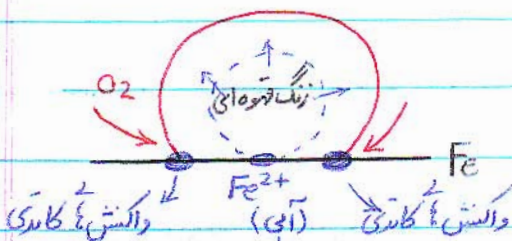


چون فل قاتلین زده ایم OH^- را قهوه‌ای بینیم. در غیر این صورت OH^- دیده نمی‌شود.

اکسیدها را در این جا نداریم ، چون حرارت ندادیم.

آزمایش قطره :

همین محلول را در نظر بگیرید ، بصورت یک قطره روی سطح آهن می‌گذاریم.

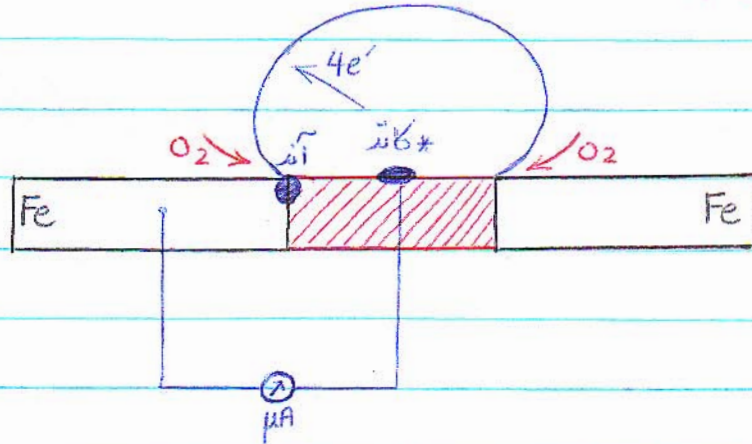


زنگ قهوه‌ای رنگ از محل Fe^{2+} شروع به

رشد کرده تا کل قطره را در نهایت دربرگیرد.

تست می کنیم که آیا این پیل الکتروشیمیایی است یا نه؟ یعنی آیا الکترون تبادل می شود یا نه؟

← آزمایش پیل Evans :



در محل کاتد (*) واکنش های احیای اکسیژن روی می دهد - اکسیژن ها از سطح حباب احیاء

می شوند و الکترون خود را از محل (*) می گیرند.

بین دو پیل آهنی ورق عایق گذاشته ایم تا جریان برقرار نشود.

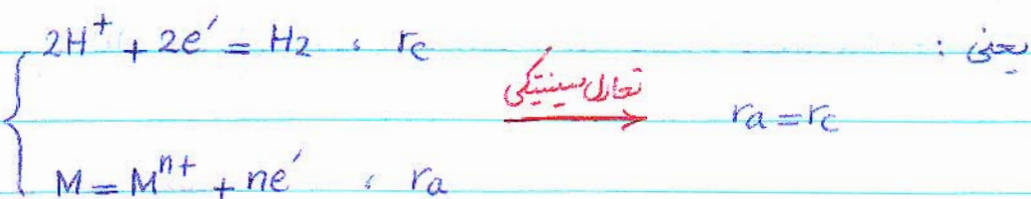
سرعت اکسیداسیون فلزات :

ظرفه فعل و انفعالات (واکنش ها و...) که سبب کاهش سرعت خوردگی فلزات می شود را

پلاریزاسیون (polarization) می نامند.

اگر واکنش آندی تسریع شود، خوردگی هم تسریع می شود. در مورد واکنش کاتدی هم به همین

ترتیب اگر تسریع شود واکنش آندی را مجبور به افزایش سرعت می کند زیرا تعادل سینتیکی داریم



در واقع یعنی اینباشنگی بار نداریم زیرا در غیر اینصورت خوردگی نداریم بلکه پیل داریم.

پلاریزاسیون سبب به تعویق افتادن یا متوقف شدن خوردگی می شود. گاهی اوقات نمی توان

جلوی واکنش آندی را گرفت در نتیجه جلوی واکنش کاتدی را می گیریم. با کاتالیزورها می توان

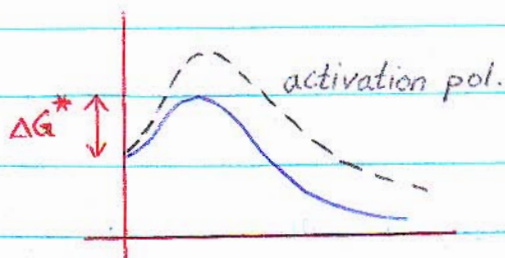
این واکنش ها را تسریع کرد.

- آندی : واکنش آندی را به تعویق می اندازد.
 - کاتدی : واکنش کاتدی را به تعویق می اندازد.
 - هر دو : هر دو را به تعویق می اندازد.
- پلاریزاسیون

انواع پلاریزاسیون :

۱- پلاریزاسیون اکتیواسیون (activation pol.)

برای انجام هر واکنشی به انرژی اکتیواسیون نیاز داریم. از جمله، خوردگی هم این انرژی (ΔG^*)



رأ دارد :

ΔG^* : انرژی بحرانی است که برای انجام یک واکنش مورد نیاز است. در واقع در این روش

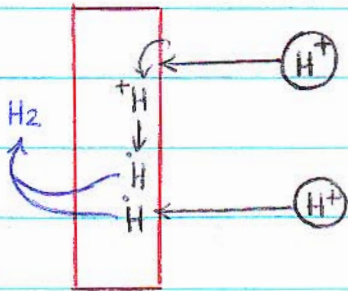
ΔG^* یا قله انرژی را افزایش می‌دهیم.

به فعل و انفعالاتی در فصل مشترک فلز، الکترولیت گفته میشود که سبب کاهش سرعت خوردگی

فلز می‌شود. محیط / فلز
الکترولیت / فلز

مثال: می‌خواهیم برای واکنش احیای هیدروژن پلاریزاسیون اکتیواسیون ایجاد کنیم:

مکانیم احیاء:



1- نفوذ H^+ به سطح

2- جذب H^+ بر روی سطح (جذب فیزیکی)

3- انتقال الکترون
4- تبدیل هیدروژن اتمی به مولکولی (تشکیل H_2 از دو اتم H)

5- تجمع مولکول های H_2 و تشکیل حباب و تصاعد هیدروژن - بزرگ شدن حباب تبدیل

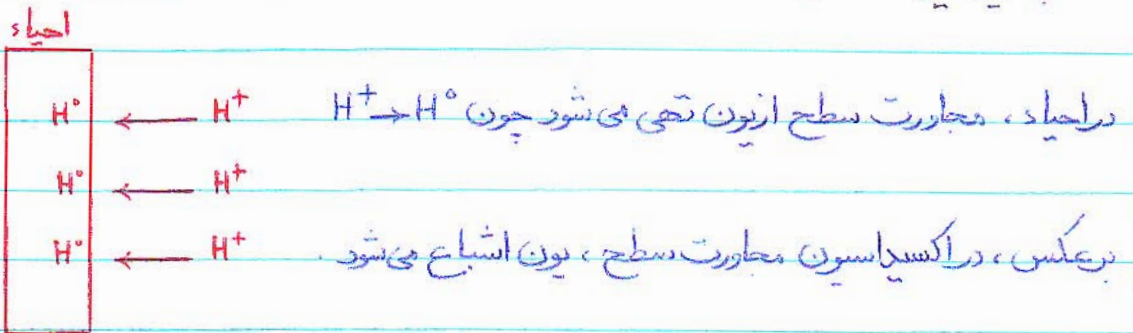
افزایش اختلاف فشار است.

هر کدام از این فرایندها را کند کنیم، پلاریزاسیون اکتیواسیون انجام داده ایم. سرعت واکنش

واکنشی تعیین می‌کند که کمترین سرعت را دارد. نتیجه کنترل کننده‌ی سرعت واکنش

کندترین مرحله است. پس باید بطریقی قله انرژی این واکنش را افزایش داد.

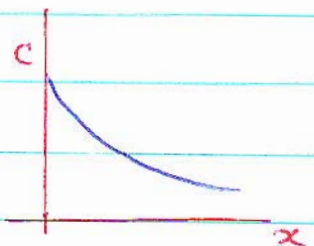
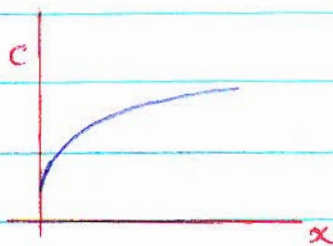
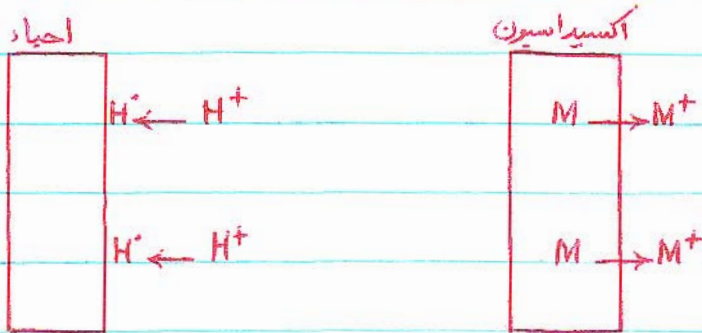
2- پلاریزاسیون غلطی (Concentration Pol.):



اگر بخواهیم احیاء ادامه بیابد باید از فواصل دورتری یون به سطح برسند یا دیفوزیون کند.

در اکسیداسیون باید یون‌ها از سطح دور شوند تا یون بیشتری در مهاجرت سطح حل شود. پس

در هر دو حالت دیفوزیون یون‌ها را داریم.



پلاریزاسیون غلطی در احیاء محتمل تر است. زیرا دیفوزیون در مایع ساده تر است نسبت به جامد.

در نتیجه پلاریزاسیون غلطی را در واکنش های احیاء داریم.

برعکس پلاریزاسیون اکتواسیون را در واکنش های اکسیداسیون بیشتر بکار می‌بریم.

← واکنش های احیاء در هر دو مورد پلاریزاسیون جواب می‌دهد. اما واکنش های اکسیداسیون

در پلاریزاسیون اکتواسیون جواب می‌دهد.

3- پلاریزاسیون مقاومتی :

اگر کاری کنیم که در سطح مقاومت الکتریکی بالاتر

ایجاد شود، الکترون راحت جابجا نمی‌شود پس

سرعت خوردگی کاهش می‌یابد. مثلاً این پیچ و

مهره از واشر استفاده می‌شود. اگر بجای پلاریزاسیون را کمی کنیم، کل مساحت سینتیک

خوردگی را برپرسی کردیم

پلاریزاسیون اکتواسیون η_{act} پلاریزاسیون غلطی η_{conc} پلاریزاسیون مقاومتی η_R

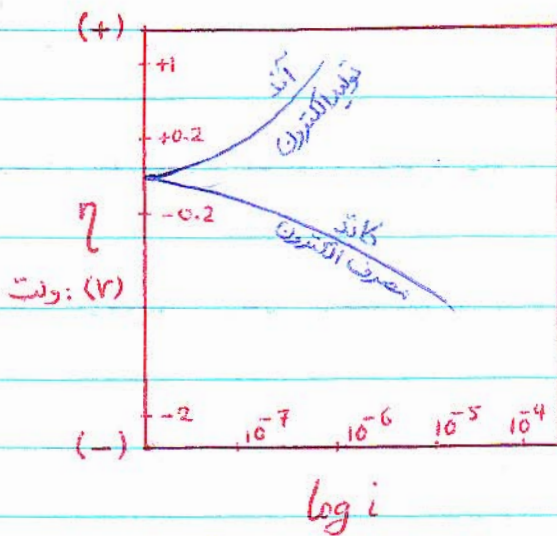
پلاریزاسیون آندی η_a پلاریزاسیون کاتدی η_c

$$\left\{ \begin{aligned} \eta_c &= \eta_{act.} + \eta_{conc.} + \eta_R \\ \eta_a &= \eta_{act} + \eta_R \end{aligned} \right.$$

η_R : مقاومت فصل مشترک + مقاومت اتصالات + مقاومت محلول (توتون و سرامیک)

* منحنی پلاریزاسیون:

سوآلی که ممکن است پیش آید این است که سطح چقدر پلاریزه می شود؟



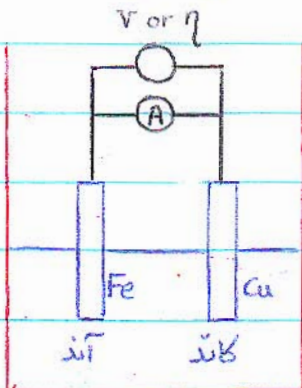
چون تخریب i وسیع است،

محور افقی لگاریتمی می باشد. مثلاً

اگر رنج i ، میلیونی باشد، $\log i$

رقمی برابر 6 دارد.

علامت (+) و (-) روی نمودار (محور عمودی) مفهوم تبادل الکترون دارد.

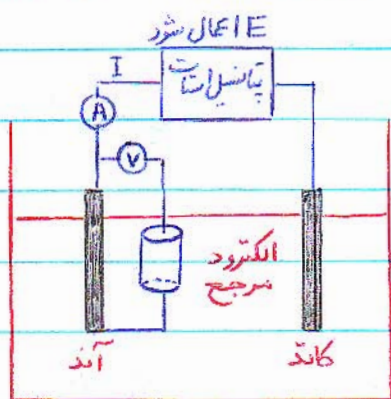


در خوردگی، i تبادل می شود پس جریان i داریم

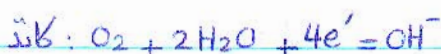
i : Amp/cm²

دانشیده جریان

هر 1 Amp/cm² : هر 1 cm² ، 1 Amp خورده میشود



Fe در محلول آبی :



از دو طریق می توان پتانسیل را اندازه گرفت :

2- الکتروود مرجع

1- بین کاتد و آند (E)

الکتروود مرجع خود نیم پیل است و پتانسیل خودش ثابت می باشد (پتانسیل ثابت ریادوار) در نتیجه

پتانسیل هر الکتروود دیگر را می توان اندازه گرفت

چندین الکتروود مرجع داریم :

$E_{ScE} = + 241 mV$

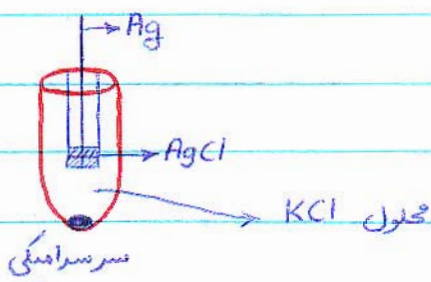
1- کالومل Hg / Hg_2Cl_2

Standard Calomel electron

(از نمک اشباع)

$E = 198 mV$

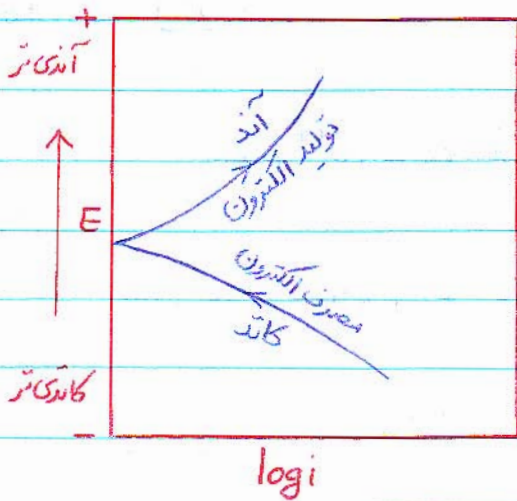
2- $Ag / AgCl$



شکل الکتروود مرجع :

چون KCl محلول رسانی قوی است : محلول KCl

منحنی پلاریزاسیون:



i : شار جریان

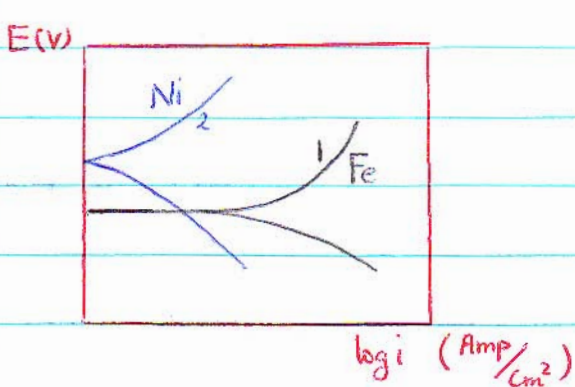
E : اینباشنگی الکترون - ظرفیت الکترونی
که داریم.

پلاریزاسیون : تغییرات سطح نسبت به محیط

دانشیته جریان $i = \frac{I(Amp)}{A(Cm^2)}$
 $I(A)$ مربادگررون و اصرها \rightarrow

از پتانسیل های منفی به سمت پتانسیل های مثبت می روم . یعنی اول کاتد را رسم می کنیم بعد آند را .
 زیرا در کاتد فلز خورده نمی شود . در نتیجه محصولی از خوردگی در کاتد نداریم . (سطح خورده نمی شود)

اما روی آند محصولات خوردگی داریم یعنی سطح خورده میشود . پس روی کاتد ، سطح ثابت است اما برای آند سطح تغییر می کند . و اگر نمودار آند را اول رسم کنیم ، برای کاتد نمی توان رسم کرد .



مقایسه Fe و Ni : (هر دو در محیط آبی)

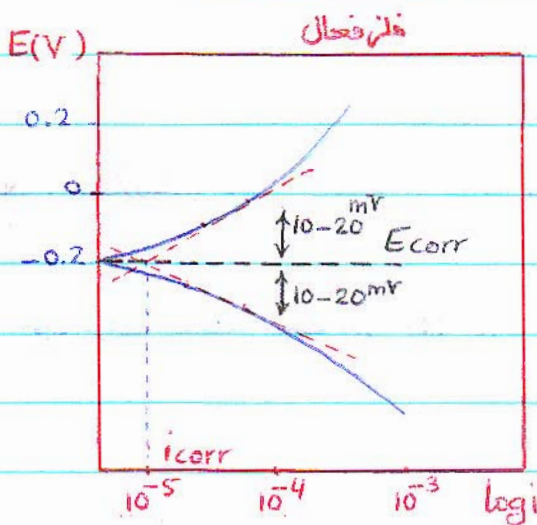
سرعت خوردگی کدام فلز بیشتر است ؟

اگر الکترون کم تر تولید شود ، جریان کمتر است

در نتیجه، منحنی 2 میزان الکترون کمتری دارد چون جریان کمتری دارد پس سرعت خوردگی

کمتر خواهد بود. با بر این نشان دهنده می میزان خوردگی است. پس $\frac{Amp}{cm^2}$ قابل تبدیل

به mpy خواهد بود. E نشان دهنده می تبدیل به خوردگی است.



E_{corr} را از روی محور عمودی می خوانیم. برای

i_{corr} ، از دو منحنی کاتد و آنده از اولین جایی

که نمودارشان خطی میشود، امتدادی رسم می کنیم

تا همدیگر قطع کنند. محل تلاقی i_{corr} را نشان

می دهد. معمولاً 10-20 میلی ولت بالا و پائین E_{corr} ، نمودارها خطی می شوند.

$i_{corr} = 10^{-5} \frac{Amp}{cm^2}$ (جریان خوردگی)

$E_{corr} = -0.2V$

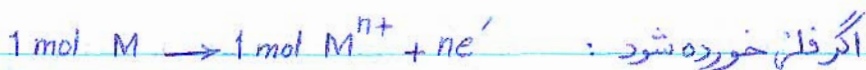
مختصات خوردگی. این مختصات نوعی حالت یکنواخت است. ممکن است در E_{corr}
 i_{corr}

ابتدا، سرعت خوردگی زیاد باشد اما بعد از مدتی، یکنواخت می شود (st. st). در این حالت

E_{corr} و i_{corr} داریم. این پتانسیل توسط الکتروود مرجع اندازه گیری می شود.

E_{corr} محل برخورد دو منحنی آنده و کاتده است. (تبادل سینتیکی)

قانون فارادی: (فاراده)



چقدر جریان یا الکترون تولید می شود؟ { 1 مول فلز ← 1 مول یون n بار مثبت }

تعداد الکترون برای انحلال 1 مول فلز = $n \times N_0$

بار الکتریکی تولید شده برای یک مول M^{n+} = $n \times e' \times N_0$ N: عدد آووگادرو

چون برای 1 mol است در N_0 ضرب می کنیم

$e' \times N_0 = F = 96500 \text{ Coloumb or Joul}$

اگر 1 mol فلز خورده شود $n \times e' \times N_0$ بار جابجایی شود

بار الکتریکی = $Q = \int I dt$ or $I = \frac{dQ}{dt} \left(\frac{Q}{t} \right)$

$\Rightarrow \text{Amp} = \frac{\text{Coloumb}}{\text{sec}}$

وزن فلز خورده شده = $AW = C \times I \times t \times R$ (مقداری از انرژی صرف نرماشده تلف شود و الکترون تولید نکند) $\Rightarrow R < 1$

↑ زمان (sec)
↓ جریان (Amp)
↓ زمان (%)

اکی والان الکتروشیمیایی = $C = \frac{e\eta}{F} = \frac{M}{nF} = \frac{M}{n \times 96500}$ M: جرم اتمی
n: ظرفیت

$$\rho = \frac{\Delta W}{V} = \frac{\Delta W}{A \cdot t'}$$

ضخامت خورد شده (Cm)

AW : وزن فلز خورده شده
V : حجم فلز خورده شده

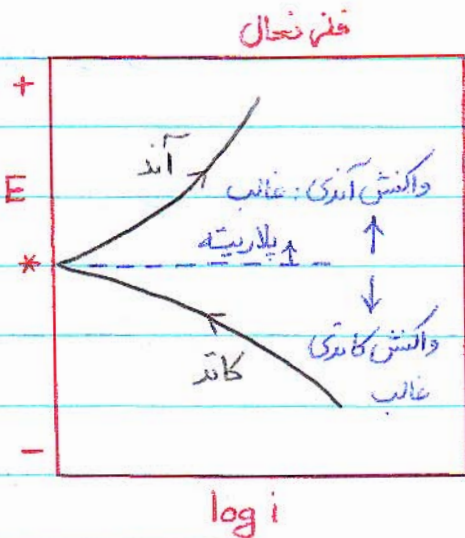
خوردگی : کاهش وزن یا ضخامت

$$\Rightarrow \rho \cdot A \cdot t' = c \cdot I \cdot t \cdot R$$

$$C.R (mpy) = 0.129 \times \frac{M \times I_{corr}}{n \times \rho}$$

↑ gr
↑ MA / Cm²
↓ mils / year
↓ gr / Cm³

پس I_{corr} بدست می آید.



هرچه از منحنی به سمت حرکت می کنیم یعنی در جهت

فلش ، ا کاهش می یابد. در این محدوده واکنش

کاتدی غالب است. (تصادف گاز می بینیم) به *

یا E_{corr} که می رسم واکنش کاتدی و آندی هم دیگر

راختنی می کنند یعنی حالت یکنواخت. با افزایش پتانسیل ، جریان آندی زیاد شده و واکنش آندی

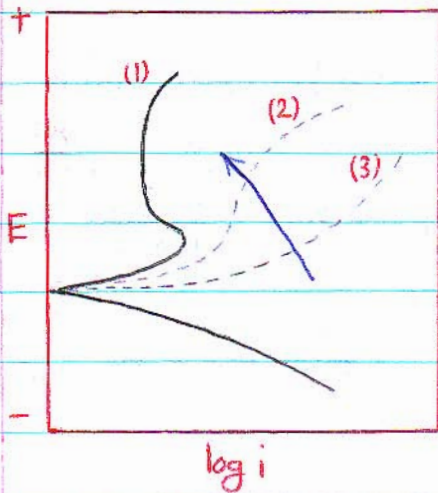
غالب می شود. با افزایش جریان ، پتانسیل به صورت exp زیاد می شود و سرعت خوردگی در آن زیاد

میشود. در شاخه های کاتدی و آندی ، تعادل سینتیکی نداریم (r_a ≠ r_c) اما در E_{corr} و I_{corr}

تعادل سینتیکی برقرار است. (r_a = r_c) هرچه پتانسیل زیاد شود ، فلز بیشتر خورده می شود [فلز

فعال یا active] پس افزایش پتانسیل در خوردگی مضر و در فرآیند انحلال یا باز یافت مفید است

رفتار passive (passivation) :



در این نمودار مشاهده میشود که نمودار آندی برگشته است

یا passive کرده. به عبارتی پلاریزاسیون آندی بسیار شدید

دایم، بطوریکه جریان برگشته است.

(1) پلاریزاسیون شدید

(3) فلز فعال

(2) پلاریزاسیون کم

در جهت تلاش، پلاریزاسیون افزایش می یابد.

مثال: خوردگی فولاد زنگ نزن $\{Fe + 18\%Cr + 8\%Ni + C\} 304$ در محلول H_2SO_4 20%

روی سطح فولاد معمولی، Fe_2O_3 و Fe_3O_4 تشکیل می شود. اما روی سطح فولاد زنگ

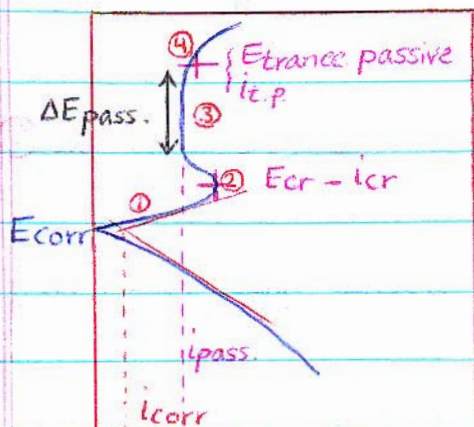
نزن یک لایه نازک و پیوسته از Cr_2O_3 یا اکسید کروم که بر آن است تشکیل می شود. وسایل

بر آن مثل قاشق فولاد 304 هستند. بنابراین محیطه جای سطح Fe با اکسید کروم ریتاس

است. چون این اکسید پایدار است، سطح خوبی محسوب شده و در مخفی پلاریزاسیون و در

شاخه آندی passive ایجاد می کند. یعنی جریان بر می گردد

① افزایش جریان در اثر تشکیل لایه اکسید کروم:



شروع اکسید شدن کروم

② منطقه بحرانی - چون max جریان را دارد یعنی

اکسید کروم به ضخامت کافی رسیده است.

③ شرایط passivation کامل فراهم شده است.

④ پتانسیل به قدری زیاد شده است که لایه passive می شکند (Trans passive). بجای

لایه Cr_2O_3 یا ترک بر می دارد و یا در محلول حل می شود.

شرایط لایه passive یا محافظ:

1 - به لایه زیرین چسبیده باشد. 2 - تراکم یا متخلخل بسیار کم باشد.

3 - ضخامت مناسب داشته باشد. در مورد Cr_2O_3 اگر به $50-100 \text{ nm}$ هم برسد کافی است.

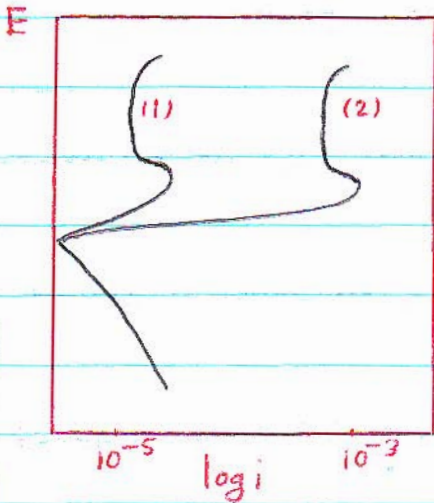
4 - پایداری شیمیایی بسیار بالایی داشته باشد. (با محلول ها واکنش ندهد) Cr_2O_3 در محلول های

حلی قلیایی ($PH > 9$) حل می شود.

passive غالباً در مواقعی شکل می گیرد که لایه اکسیدی پایدار تشکیل شود از جمله:

این لایه‌ها در سطح passive هستند. SiO_2 ، Cr_2O_3 ، Al_2O_3 ، TiO_2

کدام مورد مناسب تر است ؟



(1) چون i_{pass} کمتری دارد یعنی کمتر خوردگی بیشتر.

* شرایط آلیاژ خوب از لحاظ passive کردن :

1 - $i_{pass} \ll 1 \mu A/cm^2 \approx 1 mpy^{(*)}$

2 - ΔE_{pass} بزرگ بودن یا وسیع بودن

(*) مشخصات فلزات مختلف از جمله p برای فلزات

مختلف فرق می‌کند اما i_{pass} بجای که $1 \mu A/cm^2$

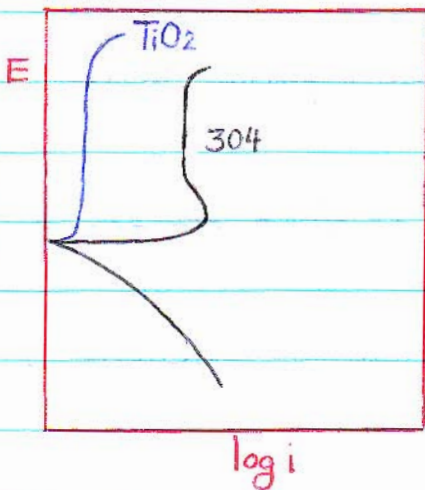
است تقریباً $1 mpy$ هم هست.

عنصر آلیاژی Ti بهتر از Cr است چون اکسید

Ti یا TiO_2 از لحاظ passive بودن بهتر است

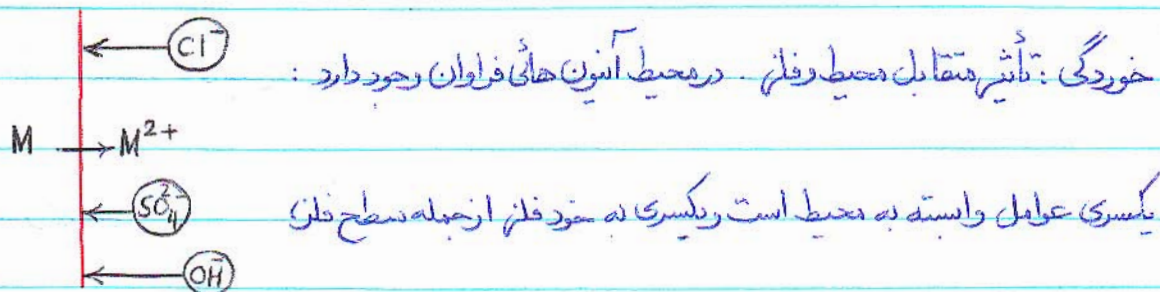
اکسید Cr یا Cr_2O_3 است

فلز اکتیو - پاسیو



در واقع TiO_2 پایدارتر از Cr_2O_3 است ← لایه دهیتری است.

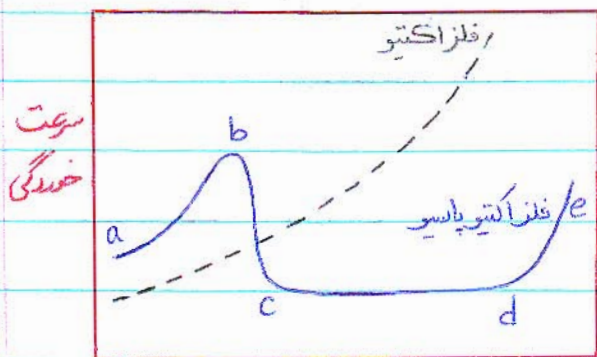
اثر عوامل مختلف بر روی خوردگی فلزات :



مقاله خوردگی فلز و ...

۱- اثر اکسیرین یا خرد اکسید کننده (حتمانی خواهد اکسیرین باشد ، هر چیزی که فلز را به یون فلز

تبدیل کند) :



برای فلز فعال ، هر چه میزان خرد اکسید کننده بیشتر باشد ، سرعت خوردگی هم بیشتر می شود .

برای فلزهای اکتیو پسیو چند مرحله داریم :

* طه : با افزایش خرد خوردنده یا اکسید کننده ، سرعت خوردگی هم زیاد می شود . برای فلز فعال فقط

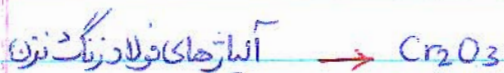
حسین مرحله را داریم .

* bc : تشکیل یک لایه passive . این لایه عمدتاً ترکیب اکسیدی دارد .

* cd: حفظ لایه‌ی passive. در این منطقه لایه‌ی فوق هنوز پایدار است.

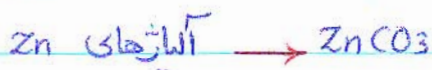
* de: شکست لایه‌ی passive. هرچه لایه‌ی فوق پایدارتر باشد، سرعت خوردگی در cd

کمتر می‌شود.



(بیشتر از حد پلاست)

(در محیط فلزور (F) دار)



نیگل در آلیاژها تشکیل اکسید می‌دهد اما passive نیست. اما با تشکیل آلیاژ با فلز

نهمینه، مقاومت در برابر خوردگی را افزایش می‌دهد. Fe_2O_3 روی Fe، مقاومت خوردگی

بصری نسبت به Fe دارد اما passive نیست.

برای لایه TiO_2 ، لازم نیست Ti خالص داشته باشد. اگر آلیاژ حاوی Ti به مقدار کافی باشد یعنی

نیش از حد حلالیت یا در حد آن، لایه‌ی پاسیو TiO_2 تشکیل می‌شود.

مثال. انواع لایه‌ی پاسیو:

* هس در محلول H_2SO_4 در حضور اکسیژن

* مونل (پایه نیکل) در محلول HCl در حضور اکسیژن

* فولاد زنگ نزن 304 ($Fe + 18\%Cr + 8\%Ni + C$) { میزان کربن: $0.02 - 0.08$ }

در محلول $10 - 30\% H_2SO_4$ در فولاد 304، میزان کربن را کم می‌کنند.

* فولاد معمولی را اسید سولفوریک (نیش از 98 درصد) نیز پاسیو است. 2 درصد نیکل آبی است

که در تهیه اسید وجود آمده است. اگر اسید 96 درصد باشد و در آن آب آزاد باشد، اسید کاملاً

خورنده می‌شود.

بیشترین میزان خلوص HNO_3 65٪ است. بیشتر از این مقدار جامد (کریستالی) می‌شود.

باید 35٪ آن آب باشد تا محلول باشد. برای HCl ، بیشترین میزان خلوص 35.5٪ است.

برای ذخیره سازی اسید خالص H_2SO_4 از فولاد معمولی استفاده می‌کنیم؛ بشرط آنکه در مجاورت

رطوبت و هوا نباشد. H_2SO_4 شدت جذب کننده رطوبت است و اگر رطوبت را جذب کند شدت

خورنده میشود. ← فولاد معمولی: تا ناک ذخیره یا حمل و نقل.

برای ذخیره‌ی 10-20% H_2SO_4 { ظرف اسید شویی } می‌توان از مس و فولاد 304

استفاده کرد. البته هزینه‌ی مس بالاست.

اسید شویی:

برای اینکه سطح فلز را از اکسید تمیز کنند از اسید شویی



Fe

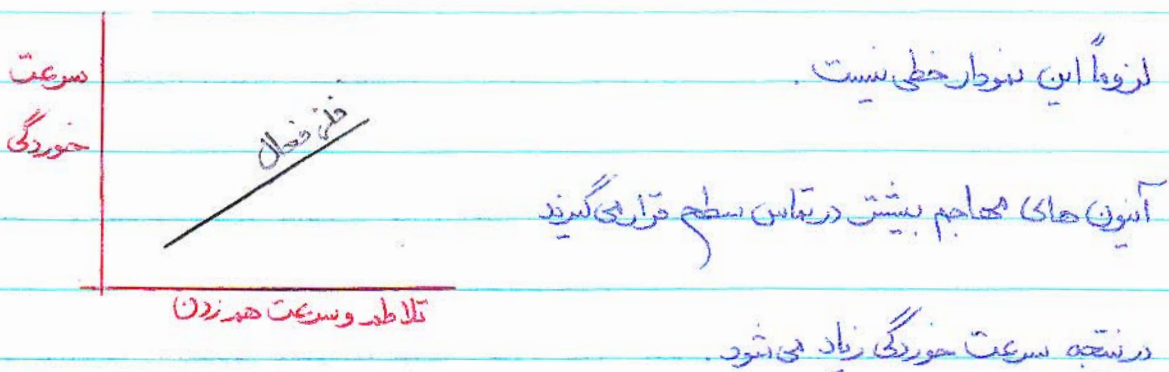
استفاده می‌کنند. این اسیدها، محلول‌های رقیق هستند.

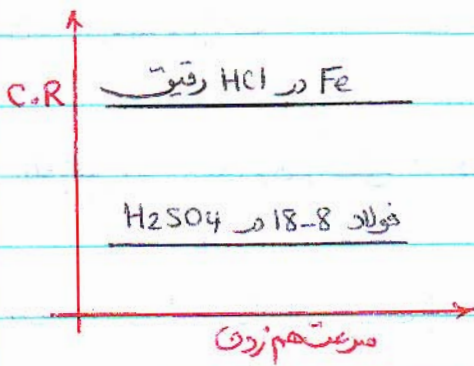
مثل Fe که روی آن اکسیدهای Fe قرار می‌گیرد. قبلاً گفته شد که این لایه‌ها passive

نیستند. لایه‌های passive را اسید شویی نمی‌کنیم.

2 - اثر سرعت یا تلاطم الکترولیت:

سرعت و تلاطم، گرا دیان غلظت در پلاریزاسیون غلظتی را از بین می‌برد.



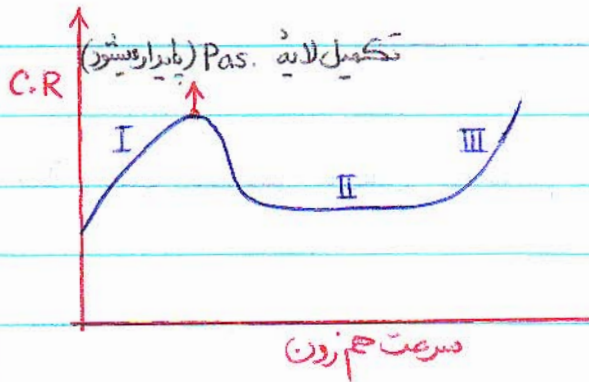


برای فلزاتی که تحت کنترل پلاریزاسیون اکتیواسیون

هستند، نمودار مقابل را داریم. در واقع پلاریزاسیون

غلظتی نداریم. { فولاد 18-8 \equiv 304 }

اگر در آن لایه‌ی passive وجود داشته باشد و کنترل کننده، پلاریزاسیون غلظتی باشد،



نمودار مقابل را خواهیم داشت :

مثال : Fe در { H₂O + O₂ }

اگر سرعت هم‌زون بیشتر شود، لایه‌ی pas.

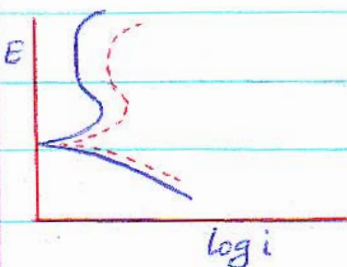
بیشتری تولید می‌شود.

II. منطقه‌ی پایداری لایه‌ی passive

I. تشکیل لایه‌ی passive

III. اگر در محیط املاح وجود داشته باشد، اگر سرعت سیال خیلی زیاد شود، املاح مرتباً به سطح

بمخورد می‌کنند، در نتیجه خوردگی سایشی خواهیم داشت : لایه‌ی passive را در اثر ضربات مکانیکی



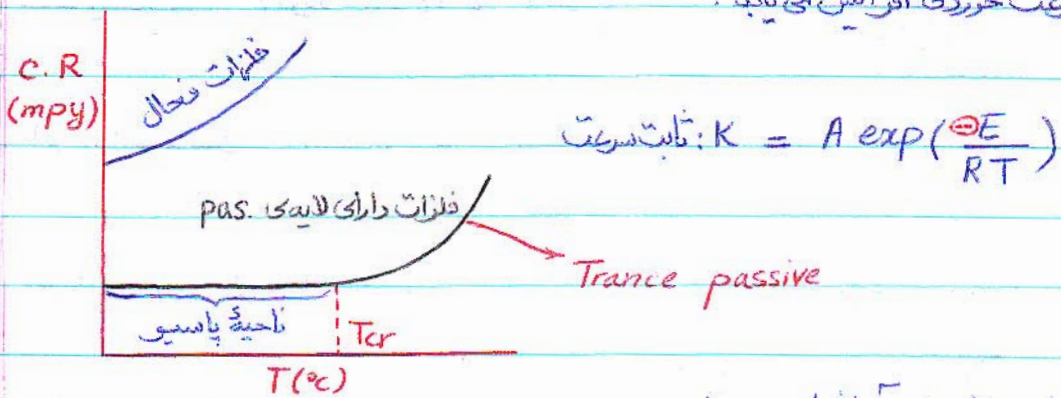
ذرات می‌شکند بنابراین سرعت خوردگی افزایش می‌یابد.

ممکن است در اثر هم‌زدن منحنی پلاریزاسیون تغییر کند :

3 - درجه حرارت :

با افزایش دما، انرژی برای واکنش اکسیداسیون افزایش می‌یابد { مطابق با رابطه آرنیوس }

در نتیجه سرعت خوردگی افزایش می‌یابد.



T_{cr} : دمای بحرانی برای آلیاژهای passive

همانطور که پتانسیل بحرانی داریم، دمای بحرانی نیز داریم. از T_{cr} بالاتر، لایه پسیو خواهد

شکست. (فولاد 304 در اسید نیتریک (HNO_3))

4 - اثر غلظت محیط خوردنده :

در اینجا منظور غلظتی نیست که به تشکیل لایه پسیو کمک کند. مثل غلظت یون کلر (Cl^-)

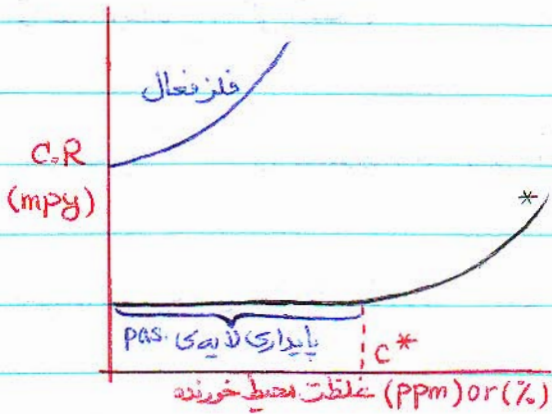
اگر مقدار یون کلر در محیط بیش از 100ppm یا 0.01% باشد، فعال خواهد شد. رطوبت هم

در سواحل دریا، کلر به میزان 0.1% است (یون کلر) ← فعال است.

دیگر عوامل خوردنده عبارتند از: Cl^- ، F^- ، Br^- ، NO_3^- ، SO_4^{2-}

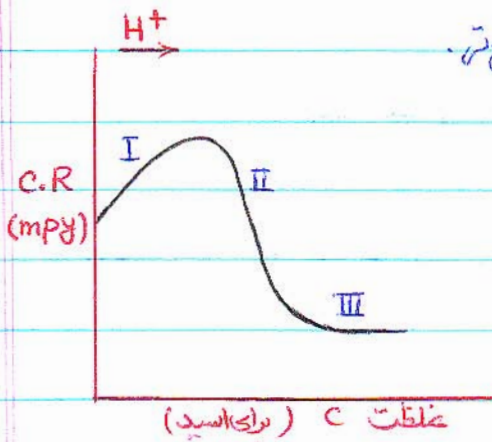
در این مورد نمودار زیر را داریم:

C^* : غلظت بحرانی از آنیون



* مانند نمودار مربوط به اسید، قسمت سهمی مانند ابتدای نمودار را ندارد زیرا عوامل خوردنده مثل Cl^- تمایلی به تشکیل اکسید بجنون لایه پاسیو ندارند.

برای اسیدها، نمودار زیر را داریم: { اسیدهای قابل حل: کرومیک }



H^+ زیاد \leftarrow واکنش کاتدی سریعتر \leftarrow آندی هم سریعتر $\rightarrow H^+$

I: لایه passive کامل شده است.

II: تشکیل لایه passive. (پوتنسیال فلز)

کمر شده است و خوردگی کم می شود

لایه passive چون مقاومت الکتریکی زیادی دارد، انتقال بار خوبی ندارد. نتیجه تبادل الکترون

برای واکنش کاتدی کم میشود \leftarrow یون هیدروژن کمتر احیاء میشود.

III: لایه passive به ضخامت بحرانی می رسد، سرعت خوردگی هم پایدار می شود. نتیجه

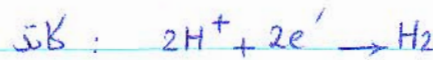
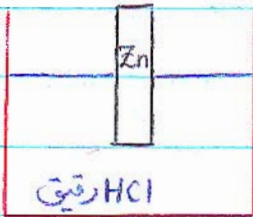
واکنش های آندی و کاتدی در لایه passive به تعادل می رسند.

5- اترکوپل گالوانیک :

هر دو فلزی که جنس متفاوتی از هم دارند، اگر به هم وصل شوند، تشکیل این کوپل را می دهند

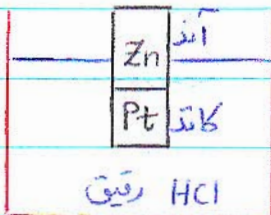
هر فلز در هر محیطی یک پتانسیل دارد ← به هم وصل شوند تشکیل یک اتصال می دهند به نام

کوپل گالوانیک. مثلاً فولاد معمولی و فولاد 304 تشکیل کوپل گالوانیک می دهند

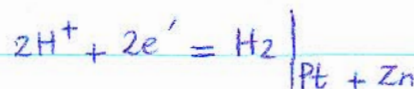
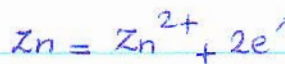


H_2 روی سطح Zn آزاد می شود. پس روی سطح Zn هم خوردگی داریم هم واکنش احیای H^+ .

اگر به Zn، پلاتین (Pt) وصل کنیم :



Zn فعال تر از Pt است (جدول) و Pt نجیب تر است



در واقع H_2 بر روی دو سطح متضاد می شود

اور ولتاژ احیاء هیدروژن بر روی Pt کمتر از سایر فلزات از جمله Zn است.

به همین دلیل مقدار زیادی هیدروژن روی Pt احیاء میشود. در واقع الکترون‌های

آزاد شده روی Zn به سطح Pt می‌آیند. Pt دواثر دارد: سطح اضافی و بزرگتری ایجاد

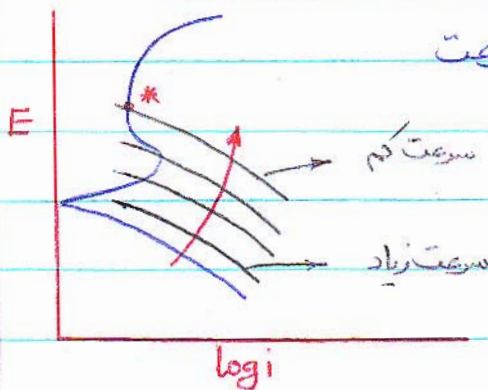
کرده است برای احیاء هیدروژن - سطح نجیب‌تر (مثل سطح Pt) سرعت احیاء هیدروژن

را زیاد می‌کند به همان دلیل که گفته شد. در اینجا یک سطح آرام داریم.

در کویل گالوانیک سطح آنژی و کاتدی را افزایش دادیم. در نتیجه سرعت خوردگی زیاد می‌شود.

پس در کویل گالوانیک، سرعت خوردگی همواره زیاد می‌شود.

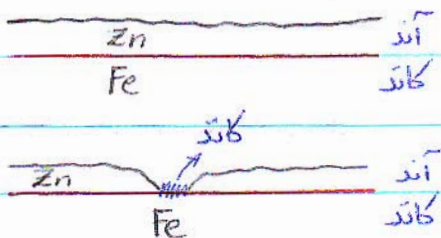
در مورد فلزات passive، اگر واکنش احیاء خیلی زیاد شود بطوریکه به ΔE_{pas} برسد،



سرعت خوردگی کم می‌شود، اما اگر به این حد نفوسد، سرعت

خوردگی زیاد میشود.

مثال: پوشش Fe بوسیله Zn:



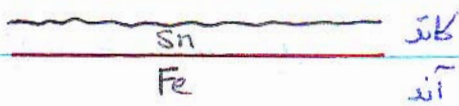
Zn فعال تر است پس اگر سطح زخمی شود

بارم Fe محافظت می‌شود.

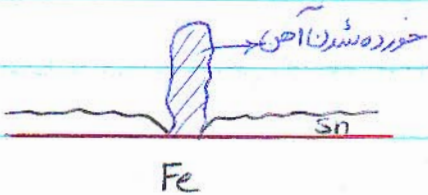
در این حالت پوشش (Zn) فعال و زمینه (Fe) غیرفعال است. این پوشش ورق گالوانیزه

یا پوشش آندی فراشونده نام دارد.

مثال - اگر پوشش فلز نجیب باشد مثل قلع:



زمینه یا Fe فعال تر است:



اگر پوشش زحیف شود:

در اینصورت زمینه خورده می شود.

Sn بهداشتی است چون با مواد غذایی تشکیل کمپلکس نمی دهد؛ کاربرد در صنایع غذایی

از جمله کنسرو و وسایل بهداشتی. در واقع بین قلع و محیط مواد مضر شکل نمی گیرد.

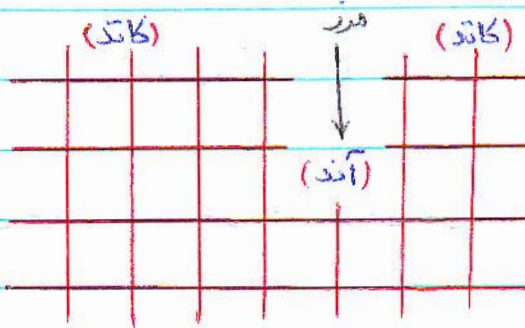
اما Zn با مواد غذایی تشکیل کمپلکس می دهد پس در صنایع غذایی کاربرد ندارد.

در پوشش آندی، اگر سطح زحیف شود مشکلی بوجود نمی آید.

اما در پوشش کاتدی، سطح نباید زحیف شود.

الف - مرز دانه ها: مرز دانه ها، نقاط فعال و پراثری هستند چون در شبکه نوری نقص اند.

در مرز دانه ها، اتم ها به هم پیوندی ندارند پس در مرز دانه، شبکه کریستالی نداریم. تعداد پیوندها در



مرز دانه کمتر و بی نظمی بیشتر است. نتیجه

فضای برای نفوذ آتون های مهاجم بیشتر است.

برای اچ کردن نیاز همین نکته استفاده می کنیم.

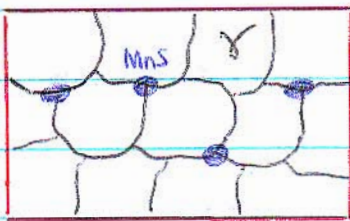
(ب) ناهمگنی های ساختاری: در صنعت با فلزات حالتی کاری نداریم. نتیجه آلیاژها را

ساخته ایم. آلیاژها: همگن - ناهمگن

ناهمگن یعنی دو یا چند فازی. ساختارها معمولاً چند فازی هستند. این ناهمگنی های می تواند

عامل خوردگی شود.

مثال: فولاد زنگ نزن 304 (18% Cr - 8% Ni):



در ساختار اگر درصد کمی هم Mn و S وجود داشته باشد

فاز MnS شکل می گیرد و چون فاز فعالی است شدت خوردگی

می شود. مولفید از الکترودهای کوره قوس وارد ساختار (دانه های لا هم می چسبند)

می شود. MnS: آنود آمستنی (γ): کاتد

MnS (سولفید منگنز) روی مزرده‌ها فرم می‌گیرد. وقتی MnS ها خورده می‌شوند، جای

آن‌ها، حفره شکل می‌گیرد. لا که نجیب تر است ساختار FCC (فشرده) دارد. شکل‌گیری

این حفرات منشا خوردگی حفره‌ای خواهد شد.

محصول خوردگی وارد محلول می‌شود (آند موضعی کوچک) اگر هم نشود باز در استحکام نقشی

ندارد.

مثال: فولاد 316 (18% Cr - 8% Ni - 2% Mo)

نقش مولیدین کاهش حساسیت زمینه و فلز نسبت به حفره‌ای شدن است. یعنی از

شکل‌گیری حفره جلوگیری می‌کند.

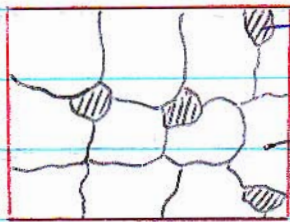
فولادهای زنگ نزن دو گروه هستند:

گروه چهارم (4XX): ساختار فریتی (α) Fe - Cr

گروه سیمد (3XX): ساختار آستنیتی (γ) Fe - Cr - Ni

هر دو این گروه‌ها، کاربرد دمای پائین دارند؛ حداکثر 550°C .

* حاصل بودن فولاد خیلی مهم است. خلوص و ساختار مهمی به خورد کیفیت می‌شود.



مثال. فولاد 316 : آستنیتی است.

علاوه بر لا، مقداری فریت (α) داریم. با

عملیات حرارتی می توان α را کم کرد. درصد α باید

از 5 درصد کمتر باشد. ساختار لا فشرده تر است، پس لا کاندو α، آند خواهد بود چون

b.c.c ساختار باری است. پس تشکیل کوپل گالوانیک می دهند. اما این کوپل نسبت به

کوپل MnS - لا خیلی ضعیف تر است. اما در این جام بهر حال پیل تشکیل می شود.

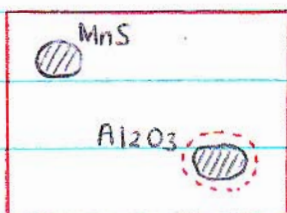
تذکر: ناخالصی ها از جمله : MnS - MnO - FeO - Al₂O₃ - پوسته های

اکسیدی - SiO₂ و ... در ساختار و ذرات ناخواسته اند. هرچه آلیاژ تنگ تری باشد بهتر

است. این ناخالصی ها خوردگی را تشدید می کند. در اثر ناخالصی ها، خوردگی موضعی داریم.

یعنی جاهایی که ناخالصی وجود دارد، خوردگی داریم.

در ساختار دو نوع ناخالصی داریم :



(a) خورد ناخالصی ها یا ذرات خورده می شوند : MnS

(b) اطراف ناخالصی یا زره خورده می شود : Al₂O₃

در مورد MnS : خورد زه آنداست و خورده می شود.

در مورد Al_2O_3 : خوردگی ترکیب اکسیدی است و زمینه فلز. در نتیجه زه کاتد بوده و زمینه

آند. پس زمینه اطراف ناخالصی خورده می شود. زمینه از سطح جدا شده و حفره شکلی

می گیرد. در واقع Al_2O_3 بیش از این اکسید نمی شود.

* شبکه های کریستالی خوردگی یکسانی ندارند. جهات کریستالی نیز همین جور است.

اما این میزان خوردگی شدت ناخالصی ها نیست.

* هر چه اختلاف بیشتر باشد کوپل گالوانیک قوی تری تشکیل می شود.

صفحات غیر فشرده از لحاظ خوردگی فعال تر هستند. در مورد جهات هم همینطور است. در

b.c.c جهت $\langle 111 \rangle$ فشرده تر از $\langle 100 \rangle$ است در نتیجه کمتر خورده می شود.

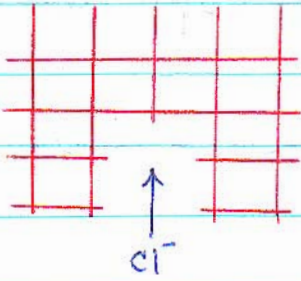
تعداد پیوندها کمتر ← استحکام کمتر ← جدایش راحت تر اتم ها ← خوردگی راحت تر

ج) نابجایی ها (dislocation):

نابجایی نقص در شبکه است. چه خطی چه بیچی. در این محل ها، تعداد اتم ها کمتر

است و از همین جا محلول خورنده می تواند با اتم ها تماس داشته و موجب خوردگی شود.

ناجایانی‌ها رفتار آندی تری دارند. یعنی پتانسیل مثبت تری



دارند. کاتد یعنی پتانسیل منفی تر.

در کار سختی، میزان خوردگی زیاد می‌شود چون ناجایانی‌ها

زیاد می‌شوند. اگر فولاد آئین شود، ناجایانی‌ها کم‌شده و خوردگی کمتر است. ناجایانی‌ها

یک نوع ناهمگنی ساختمانی محسوب می‌شوند.

* هرچه الکترون بیشتری تولید شود، پتانسیل بیشتری ایجاد می‌شود. در نتیجه آندی‌تر است.

خوردگی تنش:

هم محیط خوردنده داریم و هم تنش. یعنی خوردگی تحت تنش. حضور ناجایانی‌ها خوردگی

تنشی را حساس‌تر می‌کند. کار سرد تنش پس ماند را زیاد می‌کند.

یک نوع ناهمگنی دیگر، جدایش ساختمانی است. در نتیجه گری‌فازها در بریزیل قطعه در

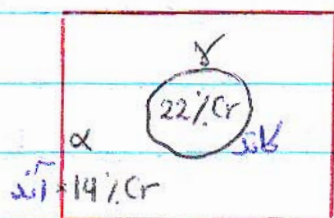
منظامت قطعه یکنواخت پراکنده نشده‌اند. در نتیجه کوپل گالوانیک شکل می‌گیرد.

جدایش: فاز یا ترکیب شیمیایی

اگر فولاد 304 را منجمد کنیم [در قالب] چرخه هسته دیرتر منجمد می‌شود بجای 18% Cr

مثلاً ^{22}Cr داریم و در سطح مثلاً ^{14}Cr . در اینجا جداش ترکیب شیمیایی داریم هم چنین مرکز

لا بوده و سطح α . پس جداش فازی هم



داریم .

سطح استحکام مغز را ندارد .

* خراش ها ، شیارها هم نوع دیگری از ناهمگنی های سطح محسوب می شوند . خراش ها



مثلاً خوردگی بخصوص خوردگی حفره ای هستند .

درشیر ، O_2 کمتر است : واکنش آندی انجام می شود [آهن حل می شود] :

یا عکس واکنش کاتدی انجام می شود . در سطح O_2 زیاد است

در محیط آبی واکنش کاتدی $\{ \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^- \}$ انجام می شود .

این پیل به دلیل اختلاف پتانسیل اکسیدان (اختلاف فشار O_2) تشکیل شده است .

در این جا اگر تنش داشته باشیم به باز شدن شیار کمک می کند . ← خوردگی زیاد میشود

finishing : آماده سازی سطح . اگر سطح نپای (مثلاً برای لوله) صیقلی نباشد و خط

داشته باشد عامل Pitting شده و خوردگی حفره ای ایجاد می شود . در نتیجه آنرا پولیش

می‌کند. هرچه شیار عمق بیشتری داشته باشد و دهانه‌ی کمتر، خطرناک‌تر است.



در این جا اگر چه شیار داریم اما اختلال

فشار اکسیژن وجود ندارد.

فازهای راسب شده:

در مورد فولادها اگر کاربید (سمنیت) رسوب کند، فریت راپریت خواهد کرد. هم چنین اگر

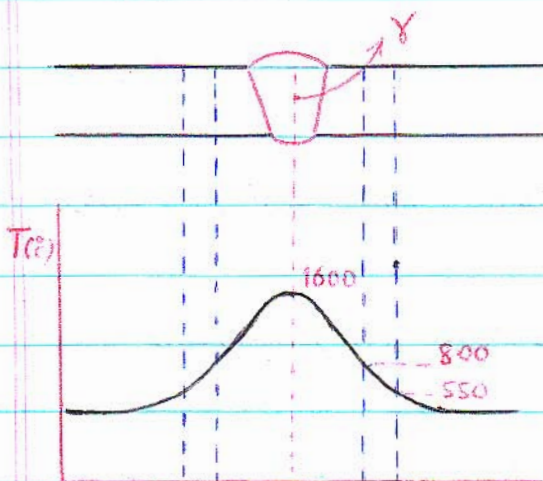
در فولاد سولفید موجود باشد، MnS تشکیل می‌شود. در غیاب آهنی‌ها خیلی شدیدتر است:

در آلیاژهای مس فاز ایجاد می‌کنند تا با ایجاد آن قفل شوند (قفل کاتد) و ساختار

سخت شود و استحکام بالا رود. با ایجاد کربن کاربوسایدی اضافه کردن عناصر از جمله Mo، استحکام

را بالا می‌بریم. اما با این کار حساسیت نسبت به خوردگی هم افزایش می‌یابد.

دو قطعه فولاد را به هم جوش می‌دهیم:



جنس ماده‌ی جوش و فولادها (304) باید یکی باشد

تا کوپل گالوانیک تشکیل نشود. در دو طرف منطقه

جوش در یک منطقه‌ی دما به 550-800°C می‌رسد.

انتظار داریم بجای جوش که فولاد ذوب شده و دریا به سردی شود، آستنیت داشته باشیم.

منطقه‌ی اطراف جوش : HAZ { ناحیه تحت حرارت } در جوشکاری حتماً این اتفاق

می افتد : اگر لا را آهسته سرد کنیم، فریت تشکیل می شود. اما ما آرام سرد نمی کنیم پس

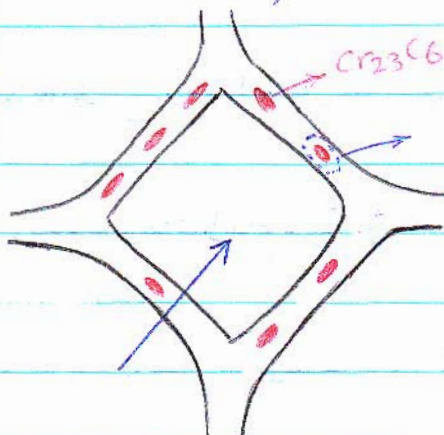
لا خواهیم داشت. در جوش، سرعت سرد کردن بیش از حد است زیرا در مجاورت این منطقه که فولاد

سرد است موجب می شود حرارت از طریق فولاد منتقل شود و ضریب هدایت فولاد خیلی از هوا

بیشتر است.

در محدوده‌ی دمایی فوق یعنی 550-800، کاربید کروم رسوب می کند ($Cr_{23}C_6$)

و همین مهم ترین عامل خوردگی در فولادهاست و در جوشکاری حتماً رخ می دهد. محل رسوب



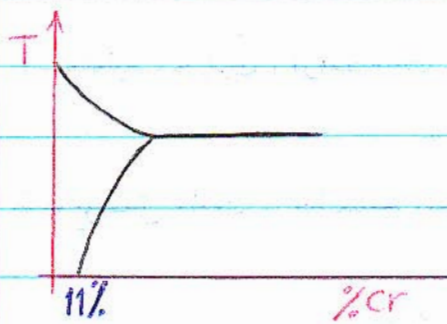
این طرز در مرز زانه هاست ...

$Cr_{23}C_6$: 26% کروم دارد

زمینه : 18% Cr - 8% Ni (فولاد 304)

← درصد زمینه از Cr ممکن است کمتر از 14% شود

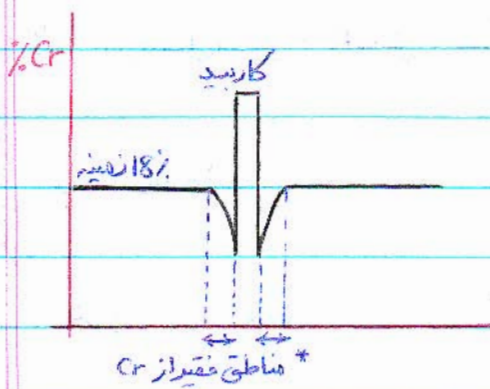
با مراجعه به ریا گرام فاز، جدولی است Cr در Fe، 11% در Fe است. نتیجه 3%



زیادری حل شده است؛ موجب می شود روی سطح

Cr_2O_3 لایه‌ای passive تشکیل شود. در

نتیجه مانع خوردگی می شود.



اگر رجعت نشان داده شده در شکل قبل مقطع

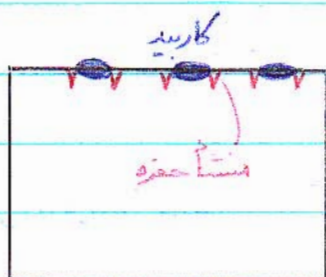
برسیم :

* این مناطق رخد می‌کرون است.

لایه‌ای پائین در مناطق فقیر شکل نمی‌گیرد در نتیجه آندهای کوچک و کاتدهای وسیع (زمین)

داریم. در نتیجه خوردگی در مناطق فقیراز Cr شدت زیاد می‌شود. در واقع خوردگی متمرکز یا

Focus می‌شود زیرا به ازای یک منطقه‌ای بزرگ برای کاتد، کل واکنش آند در یک منطقه‌ای



کوچک انجام می‌شود. و این خود نشأ خوردگی

حفزه‌ای می‌شود. در فولادهای زنگ‌زد (زنگ‌دترین)

نوع خوردگی تشکیل فاز کاربید کروم و ایجاد خوردگی حفزه‌ای است.

اگر بخواهم از این نوع خوردگی جلوگیری کنیم چندین راه داریم:

1- عملیات حرارتی: از منطقی 550-800 درجه سربزگرم تا این فاز تشکیل نشود.

2- پوشش دادن: اما مناسب نیست.

3- داخل حفره‌ها را با اسید شوئی passive کردن.

4- (راه حل اصلی) کاهش درصد کربن \leftarrow احتمال تشکیل کاربید کمتری شود.

برای فولادها:

304 3XX \leftarrow معمولی $\%C < 0.08\%$

304LC 3XX LC \leftarrow کم کربن (low car.) $\%C \leq 0.03\%$

304XLC 3XX XLC \leftarrow خیلی کم کربن (extra low car.) $\%C \leq 0.02\%$

حذف کربن از فولاد خیلی سخت است. دگروه‌های قوس، آلکترودها دارای کربن هستند پس

باید از گروه‌های آلمانی استفاده کرد \leftarrow فولاد فوق‌العاده گران

کم کردن کربن شرط لازم است اما کافی نیست بلکه باید ناخالصی نیز کم باشد.

* چون در کاربرد کربن وجود دارد با کم کردن کربن از تشکیل آن جلوگیری می‌کنیم

مثال: فولاد از جنس 304 L بعنوان پرو پیل:

(a) 304 L استاندارد (آمریکائی ASTM 304) به ترین در محیط آبی 35 سال عمر (حداقل باخالی)

(b) 304 L غیر استاندارد (باخالی ها کنترل نشده) کمتر از 1 سال عمر

== علاوه بر ترکیب باخالی ها نیز مهم است.

پس باید سطح فولاد را پولیش کرد - از تشکیل فازهای اضافی جلوگیری نمود و باخالی ها

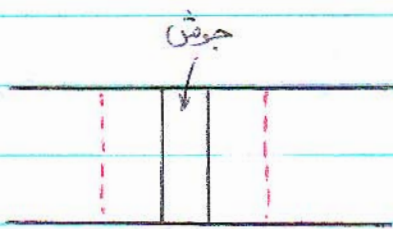
را نیز کم کرد.

بعضی نوع آلیاژ سازی که باخالی ندارد clean alloy می گویند. و مقاوم نسبت به

خوردگی است. و فواید دیگری نیز دارند. در واقع بعد از ذوب یک مرحله اضافی انجام می دهند

برای جذب باخالی. در آلیاژهای معمولی و کم آلیاژ (درصد عناصر آلیاژی کمتر از 5 درصد)

این مرحله وجود ندارد.



توضیح در مورد HAZ:

بعد از مدتی کنار خط جوش زرات قرمز رنگی مشاهده

می شود که رنگ آهن $Fe(OH)_3$ است. و علت آن تبدیل تشکیل Cr_2O_3 است.

بهترین حالت جوش این است که ماده جوش و زمینه یک نوع ترکیب داشته باشند. چون

در صورتی که نوع خوردگی دیگر (پیل گالوانیک) هم اضافه می شود.

زمینه (فولاد 304) 18٪ کروم دارد. اگر ماده‌ی جوش بیش از 18٪ کروم داشته باشد،

ماده جوش کاتد و زمینه آنند می شود و بالعکس.

اما با 2 درصد می توان ماده جوش را آلیاژی تر کرد تا ابراق تر شود.

86.7.29

انواع خوردگی از دیدگاه مکانیزم (رتبار) خوردگی:

1- خوردگی یکپارخت

2- خوردگی انتقالی

3- خوردگی موضعی که چندین مورد دارد:

خوردگی گالوانیکی - خوردگی حفره‌ای - خوردگی شیلی - خوردگی سایشی - خوردگی فرسایشی

خوردگی مرزدانه‌ای و میان دانه‌ای - خوردگی فیلامنتی - خوردگی بیولوژی - خوردگی انتخابی

خوردگی مقطع جوش - خوردگی تحت تنش - خوردگی حیدرورثی

خوردگی یکپارخت: (Uniform or General corrosion)

سطح مقطع به طور یکپارخت حورده می شود.



نظ

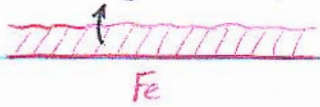
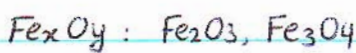
مثل مقاطع فولاده‌های چه در محیط خشک و چه مرطوب.

سرعت خوردگی را در این حالت محاسبه کردم :

$$C.R(mpy) = \frac{534 \cdot AW}{D.A.T}$$

$\begin{matrix} \nearrow mgr \\ \downarrow \frac{gr}{cm^3} \\ \downarrow in^2 \\ \searrow hr \end{matrix}$

این رابطه تغییرات ضخامت را اثر خوردگی بر حسب $\frac{mili\ inch}{year}$ نشان می دهد.

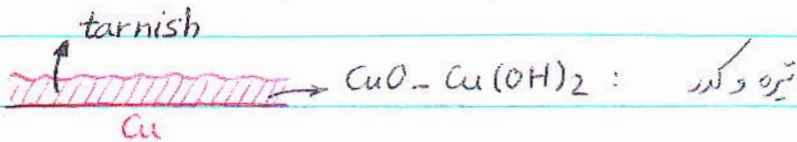


مثال 1. آهن یا فولاد معمولی را آتسفر :



در موارد خوردگی موضعی، ممکن است در هر کدام در محیط آتسفری، خوردگی بکینواخت داشته باشیم.

مثال 2. مس در محیط آبی؛ البته در آتسفر هم خورده شده و تیره می شود.



tarnish از خوردگی را آتسفر ایجاد می شود و موجب کدر شدن سطح میرونی می شود.

* راه های پیش گیری از خوردگی بکینواخت :

1- استفاده از ماده های مقاوم تر :

مثلاً در مورد Al که روی سطح آن اکسید پایدار ایجاد می شود در نتیجه در محیط آتسفری

مقاوم می شود. اگر از مقطع برش برزیم دو پاره اکسید می شود ولی به پایداری Al_2O_3



که خوردگان ایجاد کردیم نمی رسد.

2- استفاده از پوشش ها:

پوشش های فلزی

پوشش های آلی : رنگ

پوشش سطح فلز را از محیط جدا می کنیم.

3- استفاده از ممانعت کننده ها:

ممانعت کننده ها ترکیبات آلی و معدنی هستند که بر روی سطح تشکیل ترکیبات پایداری دهد.



ممانعت کننده - کمپلکسی از فلز

در نتیجه فلز را از محیط جدا کرده و جلوی خوردگی را می گیرد. فرق این مورد با پوشش این

است که پوشش انواع دیگری هم دارد مثل رنگ اما ممانعت کننده ترکیبی از فلز است.

4- حفاظت کاتدی:

فلز وقتی خورده می شود که آند باشد. در حفاظت کاتدی فلز را از حالت آند در آورده و به کاتد

تبدیل می کنیم.

$C.R(mpy) \leq 5 (mpy)$

قابل قبول برای مصارف عمومی

$C.R(mpy) \geq 20 (mpy)$

برای مصارف عمومی هم قابل قبول نیست

خوردگی گالوانیک :

پتانسیل احیائی

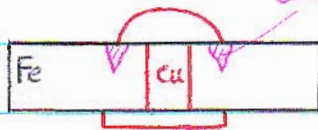
هم بصورت موضعی است و هم بصورت عمومی

+0.34	-0.437
Cu	Fe
کاتد	آنود

عمومی : دورق کنارم :

محصول خوردگی

موضعی : پیچ و مهره :



{ محل اتصال خورده می شود }

در خوردگی گالوانیک هرگاه دو فلز کنار هم قرار گیرند که پتانسیل متفاوتی از هم دارند ، فلزی

که پتانسیل احیائی اش منفی تر است ، آندهی شود و پتانسیل احیائی مثبت تر کاتد است . آندهی

خورده شده و روی سطح کاتد هیدروژن یا اکسیژن احیائی شود . در صنعت ، فلزات کنار

هم قرار دارند پس خوردگی گالوانیک داریم . در جوشکاری سعی می کنیم ماده جوش با زمینه یکی

باشد تا خوردگی گالوانیک ایجاد نشود . مادهی جوش را کمی کاندی تر (نجیب تر) در نظر می گیرند

رادیاتور ماشین از مس و Al است . بدنه موتور هم از چدن است . مسی آب که موتور

را خنک می کند ، سر راه انواع فلزات را می بیند . و این مفهوم خوردگی گالوانیک است .

معمولاً در اتصالات خوردگی گالوانیک را شدت داریم . اتصالات : جوشکاری - پیچ ها و

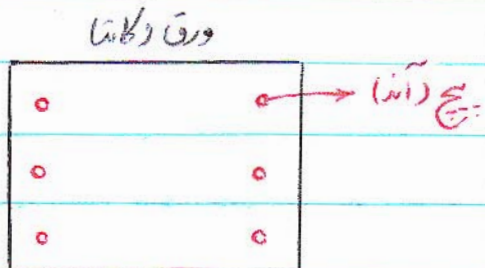
لحم کاری

در پیچ و مهره ها : پیچ فولاد معمولی بوره اما مهره فولاد + آب کروم یا آب نیکل است .

در نتیجه مهره مقاوم تر و برای تراست (کانت) و پیچ آند خواهد بود .

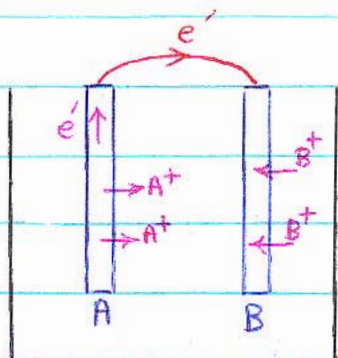
معمولاً اولین جایی که در اتصالات خورده می شود ، پیچ و مهره است .

ورق (کاتد) $i = \frac{I}{A}$ دانسیته جریان خوردگی



آند کوچک بوره ، یعنی A کم بوره و

زیاد می شود : شمار خوردگی هم زیاد می شود .



مکانیسم پیل گالوانیک :

دو فلز با جنس های مختلف :



آندی تر کاتدی تر

اگر B^+ در محلول باشد، e^- را گرفته و به سطح می آید: (کاتد) $B^+ + e^- \rightarrow B$

\Leftarrow در پیل گالوانیک یک پیل الکتروشیمیایی بوجود می آید؛ واکنش کلی:



پتانسیل پیل: $E_{cell} = E_{کاتد} - E_{آند} = E_B - E_A$

هرچه E_{cell} بزرگتر باشد یعنی کویل گالوانیک قوی تر و تمایل به خوردگی فلز A بیشتر است.

در نتیجه واکنش کاتدی با احیای B^+ هر شدیدتر است (اصل سینتیک)

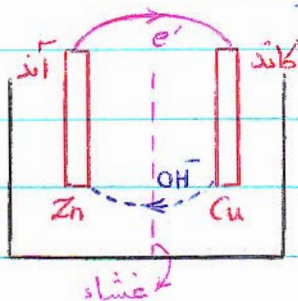
شرایط بوجود آمدن پیل گالوانیک:

1- دو فلز غیر هم جنس (دریاچند فلز)؛ بصورت آند و کاتد.

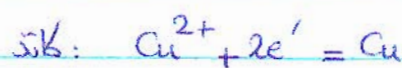
2- اتصال بین فلزات البته اتصال الکتریکی؛ اتصال بین آند و کاتد.

3- محیط در طرف ایمناسب؛ کاتیون ها و آنیون ها در محلول حرکت کنند.

* الکترولیت: محلولی که قابلیت جابجایی یون (آنیون و کاتیون) را داشته باشد.



مثال.

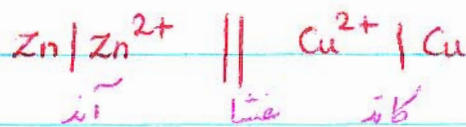


در اتصال خارجی انتقال الکترون و در اتصال داخلی انتقال یون با محلول داریم. مثل OH^- .

اگر غشاء نباشد واکنش با سرعت با هم به تداخل رسیده و پیل تمام می شود و دیگر الکترو شیمیائی نداریم بلکه واکنش شیمیائی داریم.

طوری دیگر نمایش پیل بصورت زیر است: کاتد سمت راست و آنود سمت چپ نوشته می شود.

جای غشاء هم دو خط موازی می کشند. (نمایش شماتیک)



در پیل پیل حاکی غشاء نداریم خیلی سریع روی سطح آن اکسید تولید شده و نقش غشاء را ایفا می کند.



اگر مسراه این سیم خارجی، ولت متر قرار دهیم، عبور الکترون موجب می شود یک اختلاف

ولتاژ بین کاتد و آنود وجود می آید.

$$E_{\text{cell}} = E_c - E_a = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}}$$

پتانسیل استاندارد نیروی محرکه استاندارد پیل: $E_{\text{cell}}^{\circ} = E_c^{\circ} - E_a^{\circ}$ در حالت استاندارد

{ ابتدا صفحه‌ی بعد مطالعه شود }

-0.437 -1.7

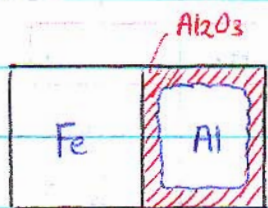
Fe	Al
----	----

کاتد آنود

کوپل Al-Fe :

انتظاری رود Al به شدت حوزره شود و در مرحله

اولیه همینگونه است. اما پس از مدتی سطح Al و Al_2O_3 می‌پوشاند و اکسید پاسیو



-0.437 +1.5

Al_2O_3 موجب تغییر رفتار Al می‌شود. در واقع پتانسیل

Al افزایش می‌یابد و Al از جدول سمت راست (آنزود) (آنزود)

به ابتدای جدول سمت چپ منتقل می‌شود. و به بالای جدول منتقل می‌شود و Fe حوزره می‌شود.

در این حالت پتانسیل Al عوض نمی‌شود بلکه از حالت خالص به آلیاژی تغییر می‌یابد.

سه عنصر دیگر که این خاصیت را دارند Al، Ti و Cr است. که تشکیل اکسید پاسیو

داده و به بالای جدول آلیاژها می‌آیند اما لزوم پایش تراز طلا قرار می‌گیرند.

از دیدگاه ترمودینامیکی سطح تغییر کننده است.

مثال: در پیل مقابل مس در محلول 0.1 مولار Cu^{2+} و روی در محلول 0.01 M Zn^{2+} قرار

$$\text{مول} = \frac{\text{مول}}{\text{لیتر}}$$

دارد. پتانسیل پیل را بدست آورید.

هر پیل دارای یک نیروی محرکه یا پتانسیل است (E_{cell})

E°_{cell} از جدول نیروی محرکه استاندارد عناصر بدست می آید.

پتانسیل کاتودیک نجات و آلیاژها		E (volt) : نیروی محرکه استاندارد عناصر (خالص)	
Au آلیاژهای		Pt	+ 2 (V)
Ti		Au	+ 1.98
در حالت آلیاژی } Cr		Cu	+ 0.34
	Al	H^+/H_2	0
H^+/H_2	0	Ni	- 0.22
آلیاژهای نیکل		Al	- 1.7
فولاد		Cr	...
		Ti	...

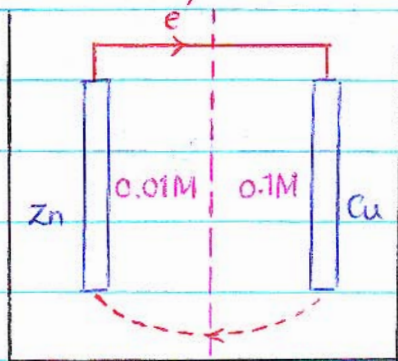
جدول سمت راست : در حالت استاندارد یعنی : $1 \text{ molar} =$ غلظت و $P = 1 \text{ atm}$ و

$T = 298^{\circ}K$ نسبت به احیای هیدروژن مشخصه می شود.

جدول سمت چپ : در شرایط استاندارد نیستیم چون خالص نیستند.

هر دو فلز از هر دو می این جدول را اگر به هم متصل کنیم ، پیل گالوانیک تشکیل می شود.

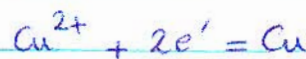
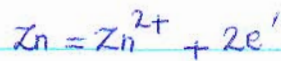
I قوی تر است	} \Rightarrow اختلاف =	$+2.05 (V)$	$+1.8 - 0.25$	Au - Co	دوکوپل I
		$+0.56 (V)$	$+0.34 - 0.22$	Cu - Ni	دوکوپل II



Zn: آند : ابتدای می کنیم

Cu: کاتد

آخرش مشخص می شود



$$E^{\circ}_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0.76$$

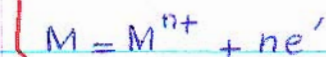
$$E^{\circ}_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = +0.34$$

چون در جدول پتانسیل احیای استاندارد است ، E آند را در منفی ضرب می کنیم

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{کاتد}} - E^{\circ}_{\text{آند}} = +0.34 - (-0.76) = 1.1 \text{ (V)}$$

$$E_c = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}$$

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{M}^{n+}}}{a_{\text{M}}}$$



رابطه نرنست (Nurst)

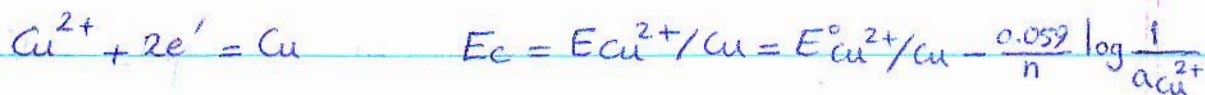
$$T = 298^{\circ}\text{K} \quad , \quad R = 8.314 \text{ J} \quad , \quad F = 96500 \text{ Coloumb or joule}$$

$$\Rightarrow E = E^{\circ} - \frac{0.0591}{n} \log \frac{a_{\text{M}^{n+}}}{a_{\text{M}}}$$

$$* \ln x = 2.3 \log x$$

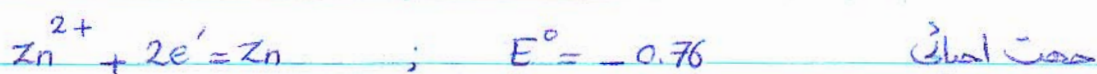
86.7.29

(66)



$$(a_{\text{Cu}} = 1 \text{ فلز خالص}) \Rightarrow E_c = 0.34 - \frac{0.059}{2} \log \frac{1}{0.1} = +0.31 \text{ (V)}$$

$$a_{\text{Cu}^{2+}} = X_{\text{Cu}^{2+}}$$



$$E_a = -0.76 - \frac{0.059}{2} \log \frac{1}{0.01} = -0.821 \text{ (V)}$$

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = 0.31 - (-0.821) = 1.13 \text{ (V)} > 0$$

* در جمع جبری دقت شود، هر دو را احیائی گرفتیم.

* چون مثبت شد، فرض اولیه در مورد آند و کاتد درست بوده است.

$$\Delta G = -nFE = -2 \times 96500 \times 1.13 < 0 \text{ (Joule)} \quad \text{میزان انرژی پیل:}$$

$\Delta G < 0$ یعنی از لحاظ ترمودینامیک هم درست است.

اگر جهت واکنش احیائی را کاتد و جهت واکنش آندی را همان آندی بگیریم (عکس جدول):

$$E_{\text{cell}} = E_c + E_a$$

$$E_{\text{cell}}^{\circ} = 1.1 \text{ (V)}$$

$$E_{\text{cell}} = 1.13 \text{ (V)}$$

باتغییر دما، پتانسیل هم تغییر می‌کند.

می‌تواند بطور مجزا، انرژی آند و کاتد را بدست آورد.

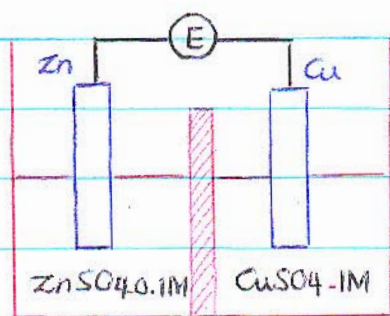
n از E° جدا شده است چون E° برای عنصر است.

دقت شود که واحد غلظت مولار است.

86.8.1

انواع پیل‌های الکتروشیمیایی:

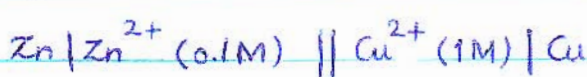
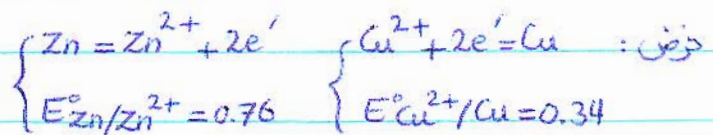
۱- پیل‌های گالوانیک: (پیل دوفلزی)



عشاد (پیل دنی)

بافتش واکنش‌های احیایی: $E_{cell} = E_c - E_a$

پیل (Daniel):



$$غلظت $C_{Cu^{2+}} = \frac{m_{Cu^{2+}}}{M_{Cu}}$$$

$$\text{برای کاتد: } E_{Cu^{2+}/Cu} = E_{Cu}^\circ - \frac{0.059}{2} \log \frac{1}{a_{Cu^{2+}}} = 0.34 - 0.03 \log \frac{1}{1}$$

$$\text{برای آند: } E_{Zn/Zn^{2+}} = 0.76 - \frac{0.059}{2} \log a_{Zn^{2+}} = 0.791$$

در این مسئله فرض بر این بود که هر نیم پیل بصورت واکنش انجام شده در نظر گرفته شود.

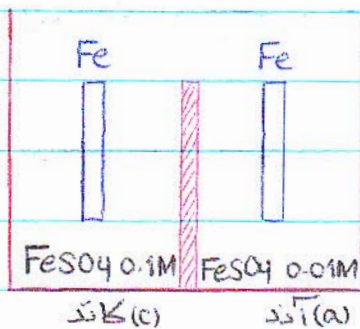
یعنی آندی را آندی و کاتدی را کاتدی در نظر گرفته ایم.

$$E_{\text{cell}} = E_c + E_a = 0.34 + 0.791 = 1.131 > 0 \Rightarrow \Delta G < 0$$

$\Delta G < 0$ پس فرض آند و کاتد در ابتدای مسئله درست بوده است.

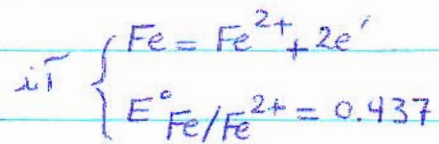
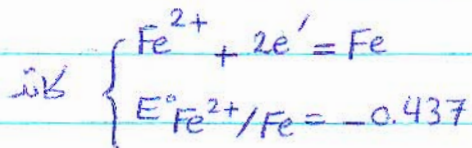
2- پیل های غلظتی:

در نیم پیل ها، غلظت با هم فرق می کند.



غلظت کمتر، آند و غلظت بیشتر، کاتد

است. در ادامه خواهیم دید چرا!



برای هر کدام رجعت خودش:

$$E_c = E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} - \frac{0.059}{2} \log \frac{1}{[\text{Fe}^{2+}]_c}$$

$$E_a = -E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} - \frac{0.059}{2} \log [\text{Fe}^{2+}]_a$$

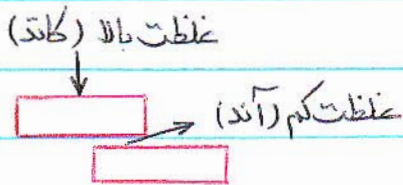
$$\Rightarrow E_{\text{cell}} = E_a + E_c$$

$$\Rightarrow E_{\text{cell}} = -0.03 \log \frac{[\text{Fe}^{2+}]_a}{[\text{Fe}^{2+}]_c} > 0$$

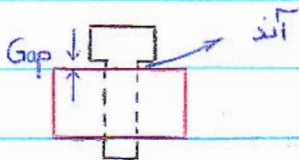
در نتیجه Ecell فقط به غلظت دو نیم پیل بستگی دارد.

شرط مثبت بودن Ecell این است که $[Fe^{2+}]_a < [Fe^{2+}]_c$ پس فرض اولیه درست

بوده است. مثال:



مثلاً این دو ورق:



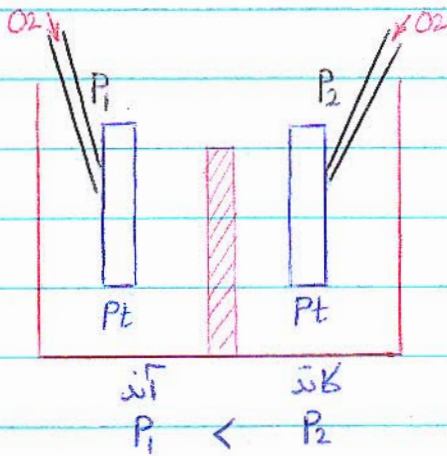
در پیچ و مهره هم به همین ترتیب است.

جاهای کوچکتر یا با مقطع کمتر آند موضعی شده و بشدت خوردگی می شود.

در حفزه ها هم همینطور است. داخل حفزه آند و خارج آن کاتد است. آند مقطع کمی داشته

و خوردگی در آنجا متمرکز شده و شدید می شود.

3- پیل های اختلاف دوش اکسیرن (اختلاف فشار جزئی اکسیرن):

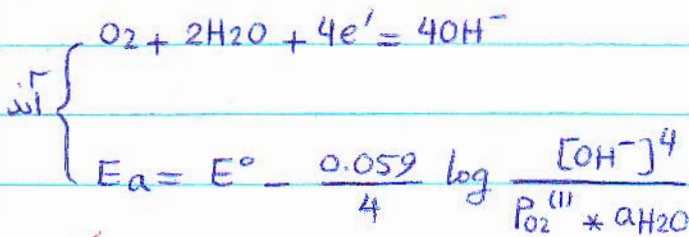
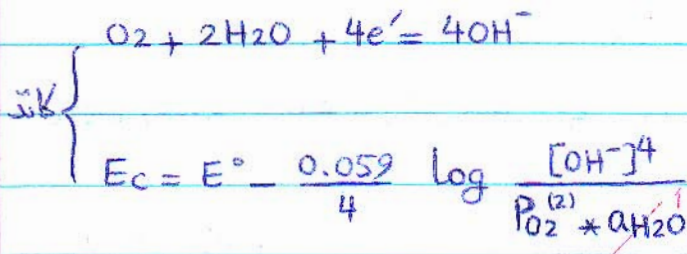


{ پیلاتی خوردگی می شود }

فرض: فشار اکسیرن بالاتر ← کاتد

فشار اکسیرن کمتر ← آند

پس اگر غلظت اکسیرن در دو سطح مساوی نباشد ← پیل



مورد واکنش
 \Rightarrow احیائی

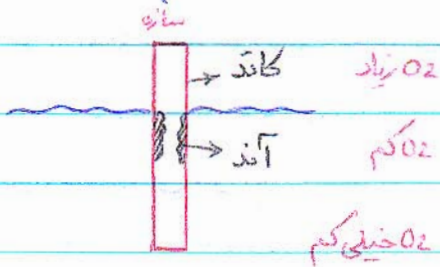
$$E_{cell} = E_c - E_a = - \frac{0.059}{4} \log \frac{P_{O_2}^{(1)}}{P_{O_2}^{(2)}} > 0$$

شرط مثبت بودن پتانسیل این است که:

$$P_{O_2}^{(1)} < P_{O_2}^{(2)}$$

پس فرض اولیه درست بوده است.

مثال. در جانگه آب داریم { دریا، رادیا تورتویسیل و هر جایی که آب باشد }



درست زیر سطح آب، آند بوجود می آید.

اما در عمق های خیلی زیاد P_{O_2} خیلی

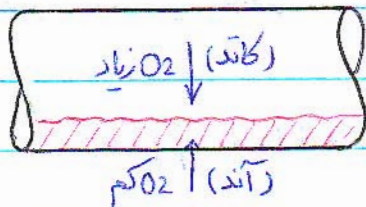
کم است در نتیجه واکنش های احیائی انجام نمی شود.

در جوشکاری اگر درز جوش کاملاً بر نشود و یا بعد از بر کردن پولیش نشود، فشار آند شده و



پیشروی می کند و عمیق تر می شود.

در خط اوله :



به این نوع خوردگی، خوردگی زیر رسوبی می گویند.


 اگر رسوبات را کنار بزنیم، سطح خورده شده را خواهیم دید.

4- میل اختلاف درجه حرارت:

$T_1 < T_2$	
کاتد	آنود

دو قطعه کنار هم و با اختلاف درجه حرارت میل ایجاد می کند.

معمولاً دمای بالاتر آنود دمای پائین تر کاتد است. اگر افزایش

دمایه تشکیل لایه passive کمک کند برعکس میشود. و گرنه افزایش دما موجب

تسریع واکنش خوردگی می شود چون انرژی اکتیواسیون را فراهم می کند. مثل کشتی روی دریا

روابط ترمودینامیکی:



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_c^c + a_d^d}{a_a^a + a_b^b}$$
 (رابطه اینورتیم و انتروف)

برای واکنش الکتروشیمیایی یعنی انتقال بار یا الکترون:

$$\Delta G = -nFE$$

$$\Delta G: \text{Joul}$$

$$E: \text{Volt}$$

$F = 96500$ Colomb or Joule. E و ΔG هر دو انرژی اند اما با واحدهای مختلف.

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ \Rightarrow -nFE = -nFE^\circ + RT \ln K$$

$$\Rightarrow E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_c^c \cdot a_d^d}{a_A^a \cdot a_B^b} \quad (\text{رابطه Nernst})$$

روابط موجود در ترمودینامیک و الکتروشیمی هم حاکم است. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

E را با یک ولت متر می آند و گاند اندازه می گیریم پس براحتی بدست می آید. اصولاً توابع

حالت در الکتروشیمی راحت بدست می آید پس ΔG هم بدست می آید.

$$\Delta G < 0 \quad \text{or} \quad E > 0 \quad \text{شرط انجام واکنش}$$

$$\Delta G = 0 \Rightarrow \Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq} \quad \text{در تعادل}$$

$$K_{eq} = \frac{a_c^c \cdot a_d^d}{a_A^a \cdot a_B^b} \Big|_{eq} \quad \text{اکتیویته هادر حالت تعادل} - \text{ثابت تعادل}$$

$$\Rightarrow -nFE^\circ = -RT \ln K_{eq} \Rightarrow \ln K_{eq} = \frac{nFE^\circ}{RT}$$

E° در جدول موجود است.

$$a_i = \gamma_i X_i$$

X_i : کسر مولی (غلظت)

$$a_B = \gamma_B X_B \quad \text{or} \quad \gamma_B [X_B] \quad \left(\frac{\text{مول}}{\text{لیتر محلول}} \right) [B] = \left(\frac{m_B(\text{gr})}{M_B(\text{gr})} \right) / V_{\text{محلول}}$$

در محلول های آبی: $\gamma \approx 1$ ^{تقریب} $\{ \gamma = f(T) \}$

برای غلظت های کم اجزاد: $a_i \approx [i]$

در خوردگی غلظت ها خیلی کم است اما رپیل ها غلظت ها کمی بالا هستند.

برای اجزای خالص، $a = 1$ است. چون میزان آب یا حلال در محلول

خیلی بیشتر از بقیه ی اجزاست.

خوردگی آهن در آب: $a_{Fe^{2+}} = [Fe^{2+}] = 10^{-4} M$

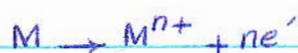
مثال. انرژی آزاد مثال قبل را بدست آورد.

$$\Delta G = -nFE = -2 \times 96500 \times 1.13$$

86.8.6

اگر غلظت کاتد را بیشتر کنیم، پیل قوی تر می شود. غلظت آنده خود فلز بستگی دارد یعنی میزان

حلالیت خود فلز. مثلاً نسبت به Ni بیشتر یون در محلول ایجاد می کند.



نوسنت:
$$E = E^{\circ} - \frac{0.0591}{n} \log [M^{n+}]$$

برای خوردگی فلزات: $[M^{n+}] = 10^{-1} \text{ L}^{-1} 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{lit}} (M)$

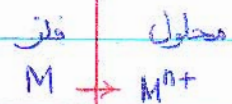
مثال. آهن در محیط آبی: $[Fe^{2+}] = 10^{-6}$

آهن در اسید مولفوریکیک 20%: $[Fe^{2+}] = 10^{-2}$

هرچه $[M^{n+}]$ بیشتر باشد، E مثبت تر شده و فلز M بیشتر خورده می شود.

مثال. نیکل در محیط آبی: $[Ni^{2+}] = 10^{-4}$ تیآنیم در محیط آبی: $[Ti^{4+}] = 10^{-8}$

اینکه چقدر M^{n+} در محلول ایجاد شود به خاصیت شیمیایی فلزیکی



M بستگی دارد. هرچه میزان حالات بیشتر باشد، تمایل به

خوردگی بیشتر می شود.



در واکنش های کاتدی:

$$E = E^{\circ} - \frac{0.059}{x} \log \frac{1}{[X^{x+}]}$$

$$E_1 = 0.34 - \frac{0.059}{2} \log \frac{1}{0.2} = 0.31 \quad ; \quad 0.2 \text{ M } Cu^{2+} \text{ در محلول حاوی}$$

$$E_2 = 0.34 - \frac{0.059}{2} \log \frac{1}{0.01} = 0.28 \quad ; \quad 0.01 \text{ M } Cu^{2+} \text{ در محلول حاوی}$$

با افزایش غلظت در فرآیند کاتدی، مقدار پتانسیل ایجاد افزایش می یابد و اگر بخواهم احاطه کنیم باید

اثری بیشتری صرف کنیم

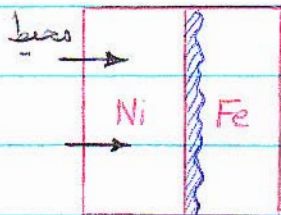
عوامل مؤثر در خوردگی گالوانیک:

1- اثر محیط: هرچه محیط فعال تر باشد، از نظر شیمیایی، یعنی آمپون های مهاجم بیشتر

باشد و هرچه رسوبات تر باشد، و هرچه دما بیشتر باشد و هرچه PH کمتر باشد یعنی اسیدیته

بیشتر باشد، خوردگی تشدید می شود.

2- اثر دما و ولتاژ:



$$V = R_t I$$

max جریان در اثر اختلاف پتانسیل

R_t : مقاومت محیط

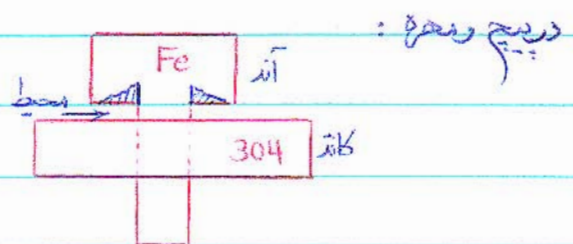
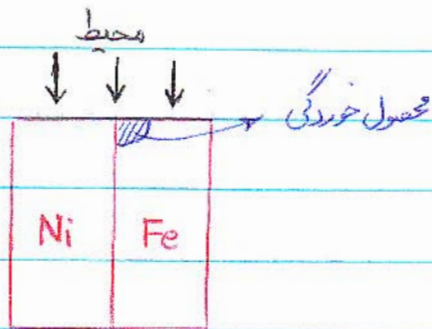
$$R_t = R_1 (\text{اتصالات}) + R_2 (\text{محصولات}) + R_3 (\text{محیط}) + r (\text{مقاومت داخلی فلز})$$

r خیلی کوچک است. R_1 هم همینطور. مقاومت محیط (R_3) از همه مهم تر است. اختلاف

پتانسیل این دو فلز برابر است با 0.22. پس I بدست می آید. $\max(I)$ در فصل مشترک

است؛ نزدیکترین جابه هر دو فلز. پس خوردگی در فصل مشترک متمرکز می شود.

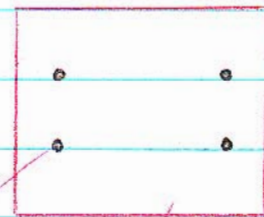
این فصل مشترک باید در تماس با محیط باشد. (محصول خوردگی در مجاورت محیط است)



در پیج و صفحه :
3- اثر سطح آند به کاتد :

عامل خنثی هم است .
دانشیه جریان آند : $i_a = \frac{I_a}{A_a}$

دانشیه جریان کاتد : $i_c = \frac{I_c}{A_c}$



در پیج های کوچک (فولاد 37 St) : معمولی ترین فولاد (آند)
در پیج بزرگ (st. st. 316) کاتد

یک سطح کاتدی بزرگ به سطح آندی کوچک در حالت پایدار : $I = I_a = I_c$

فولاد 316 مثل 304 است فقط Mo دارد و پاستوریز 304 است .

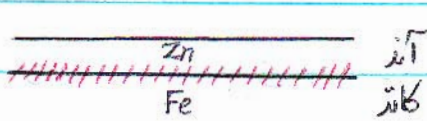
اصل سینتیک در حالت تعادل : انباشتگی الکترون نداریم .
 $I = I_a = I_c$

اگر $\frac{A_c}{A_a}$ زیاد شود در نتیجه i_a هم بیشتر زیاد می شود . در نتیجه دانشیه جریان آندی روی

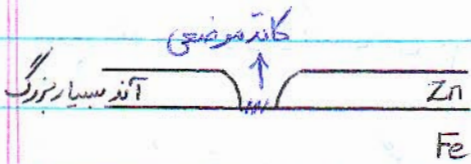
اندهای کوچک متبصرتری شود و بعد از مدتی پیچ ها بیشتر خورده میشوند .

جنس پیچ ها را می توان عوض کرد مثلاً 316 بگیریم یا پیچ های آبکاری شده از Cr که از 316 نیز

نخیب تر است .



* چون سطح آند و کاتد مساوی است یکمواخت خورده میشود.



* Fe بیشتر کاتدی می شود (کاتد موضعی) و

عکس حالت قبل است. Fe محافظت میشود.

* اگر روی آهن اکسید شود، اکسید آهن کاتد و آهن آند خواهد بود. اگر سطح خراشیده شود



آند موضعی و کاتد بزرگ خواهیم داشت.

محصولات افزایش حجم می دهند و به بیرون می آیند. چون تشکیل اکسید آهن بالاتر از حجم جرم آهن است

بنابراین خوردگی گالوانیک می تواند یکمواخت باشد و یا موضعی. فرم محصولات خوردگی به فرم

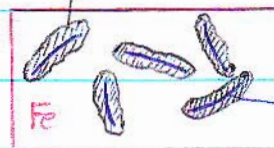


فلز بستگی دارد. و محصول خوردگی شکل فلز اولیه خواهد داشت.

خوردگی گالوانیک: تماس فلز بزرگ سطح هادی.

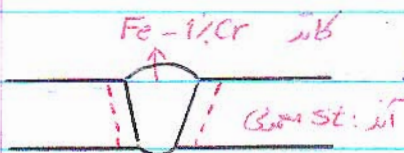
اطراف کاتد (گرافیت) خورده می شود چون

محصول خوردگی



مثال چون

در تماس با Fe است.



محصول خوردگی لزوماً فلز نیست. در جوشکاری نیز خوردگی گالوانیک

در وصل مشترک داریم. در اطراف خط جوش بسیار برچود آمده و قطع می شود.

خط جوش تحت بار مکانیکی قرار دارد. پس با وجود آمدن شیار، رشد کوره و شکست رخ میدهد.
 هیچ گاه خط جوش را آندی نمی کنیم چون کل خط جوش خورده می شود. چون کاتد بسیار بزرگ و
 آند بسیار کوچکی داریم و خوردگی متمرکز می شود. در این صورت خط جوش بازمی شود. مگافیم
 غالب خوردگی رجوش گالوانیک است. بهترین حالت از لحاظ گالوانیک این است که خط
 جوش ولوله هم جنس باشند. اما اگر این حالت نشد، خط جوش را کاتدی می گیریم.

* فولادهای آستنیتی یا گروه 300، آهن را جذب نمی کنند.

هر جا که اتصالات فلزی وجود دارد باید از خوردگی گالوانیک جلوگیری کرد (قابل پیش بینی است)
 راه های جلوگیری (پیش گیری) از خوردگی گالوانیک:

1- انتخاب آلیاژهای مناسب با حداقل فاصله در جدول پتانسیل گالوانیک (نه استاندارد)

2- انزوله کردن (عایق کردن) آند و کاتد: فصل مشترک آند و کاتد را عایق می کنیم: بین پیچ و مهره

از واشر تفلونی استفاده می کنیم.

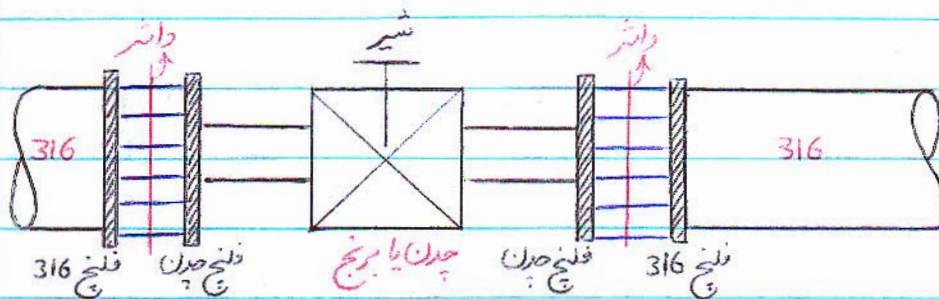
اگر بخواهیم دولوله ای 316 را با یک شیر به هم وصل کنیم به روش زیر می توان عمل کرد. اگر

بخواهیم شیر را از 316 بسازیم، خیلی گران می شود. (50 برابر شیر برنجی) اگر شیر را

نجیب بگیریم ، خطلوله خراب میشود . بنابراین یک مقطع از لوله و یک مقطع از شیر را فلنج

کرده بین آن ها واشر فراهم داده و فلنج ها را پیچ می کنیم .

فلنج دومیت دارد : عایق کردن شیر از لوله - تعویض ساده تر شیر .



3 - استفاده از پوشش های رنگ ، سرامیک و سایر پوشش های غیرهاری . (جدا کردن اتصال)

4 - طراحی بگونه ای باشد که بخش های آندک با حتی از سیستم جدا شوند . مثل همین فلنج ها را بالا

* اگر از فلنج استفاده نشود مجبوریم با گاز خطلوله را قطع کنیم ، به هنگام اتصال باید از جوش

استفاده کنیم پس یک نوع خوردگی نیز اضافه می شود . (چون موقع حرارت دادن کاربرد کروم هم

ایجاد می شود . خوردگی کاربرد کروم هم بوجود می آید)

5 - در جوشکاری الکترود هم جنس و یا مقاوم تر باشد .

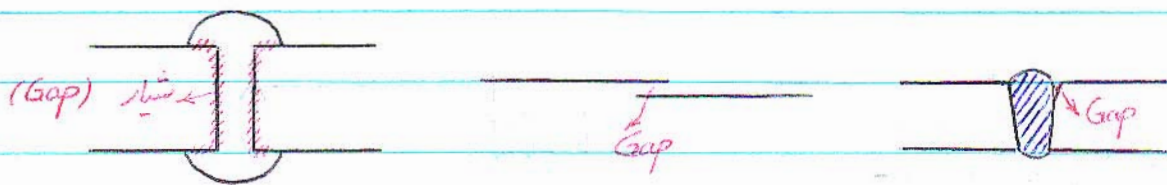
علت قبلاً برهبری شده است .

Crevice Corrosion:

خوردگی شیاری:

در اوراپ کردن ورق ها و یا در پیچ و مهره { اتصالات } شیار بوجود می آید. یا در خط جوش

اگر خط جوش کامل نباشد، شیار بوجود آمده و خورده می شود.



در اتصالات شیار داریم. اگر در شیار رطوبت جذب شود، شرایط مستعد به خوردگی است.

اگر عرض شیار یا gap در محدوده $0.025 - 0.1 \text{ mm}$ باشد خوردگی شیار حقاغ

میدهد. خوردگی شیار در اغلب فلزات رخ میدهد حتی در آلیاژهای اکسی-پاسیو

مثال: فولادهای گروه 3XX و 4XX و آلیاژهای پایه نیکل Ni-Cr و آلیاژهای

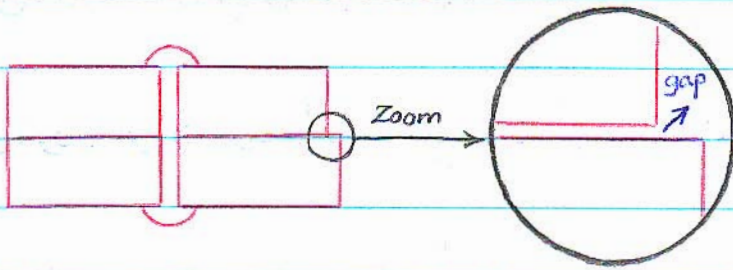
تیتانیوم: Ti-Al، Ti-Al-Va به ترتیب نسبت به این خوردگی حساس هستند.

{ فولادها بیشتر حساسند } به ترتیب هم گران می شوند. { فولادها ارزان تر هستند }

مثال: $70 \text{ Cu} - 30 \text{ Ni}$ آلیاژ نیکل مقاوم در برابر اسید $70 \text{ Ni} - 30 \text{ Cu}$

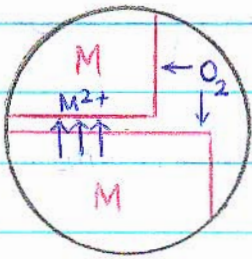
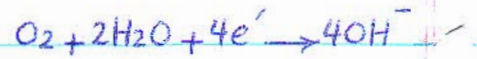
این آلیاژها همگی مقاوم اند اما نه در برابر خوردگی شیاری $25 \text{ Ni} - 20 \text{ Cr} - 5 \text{ Mo} - 1.5 \text{ Cu}$

مکانیزم خوردگی تسیاری:



در بیرون تسیاری و روی سطوح O_2 زیاد است پس کاتد بوده و واکنش کاتدی انجام می شود:

M: فولاد 304



در تسیاری O_2 کم است و آنقدر داریم: اگر Fe باشد یا M :



نتیجه پیل اختلاف دماش اکسیدین داریم.

1- مرحله اول: پیل اختلاف دماش: بعد از مدتی اکسیدین در تسیاری تمام می شود چون در

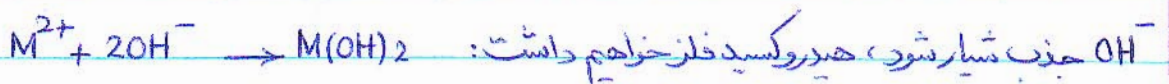
نقطه اول احیاء O_2 در تسیاری انجام می شود. اما چون بیرون هم O_2 وجود دارد به مقدار

فراوان، احیاء انجام شده اما تمام نمی شود. عامل اصلی خوردگی تسیاری، تمام شدن O_2 در تسیاری

است.

2- مرحله دوم: پس در تسیاری واکنش آنژی صورت گرفته و M^{2+} یا Fe^{2+} در تسیاری بوجود می آید

پس شیر بار مثبت پیدا می‌کند، بنابراین بارهای منفی مهاجم از جمله OH^- ، Cl^- جذب شیر می‌شود. اگر Cl^- در محیط داشته باشیم چون تحرک بیشتری داشته و نفوذپذیرتر از OH^- است پس:



3- مرحله سوم: نمک در داخل آب حل می‌شود. یعنی یونیزه می‌شود:



پس هیدروکسید فلز و اسید HCl تشکیل می‌شود. پس اسیدی‌تری موضعی در داخل شیر داریم.

چون شیر بسته است برای ما هم است. اگر شیر بار باشد، یعنی بیشتر از 0.1^{mm} عرض داشته

باشد، خوردگی شیر را نداریم. این HCl می‌تواند آنقدر زیاد باشد که $PH < 1$. یعنی محیط

اسیدی‌تری. غلظت یون‌های کلر در شیر به 7 تا 10 برابر می‌رسد. از طرفی $M(OH)_2$

نیز تجزیه می‌شود: $M(OH)_2 \rightarrow M^{2+} + 2OH^-$ پس در شیر دوباره M^{2+} تشکیل می‌شود و

دوباره در واکنش شرکت می‌کند: $M^{2+} + 2Cl^- \rightarrow MCl_2$ ؛ یعنی واکنش در شیر آتوکاتولیتی

است. یعنی خوردش کاتالیزور خود برده و وسیله تشکیل می‌دهد. به همین دلیل PH می‌تواند ناای

حرکم شود. هرچه شیار اسیدی تر باشد (H^+) سریع تر Cl^- جذب می شود و شیار شروع



می کند به خورده شدن:

همینکه رطوبت جذب شیار شود و کنشش شود کافی است. درصد رطوبت تهران حدود 40%

است. سواحل جنوب 70% است. رطوبت اگر از 60% بگذرد یعنی می تواند کنشش شود.

نقطه ی کنشش به دما وابسته است. یعنی روی سطح شیب دیده می شود پس رطوبت باید کنشش

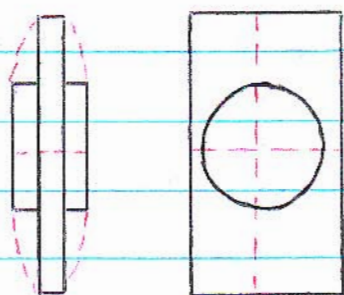
شود تا خوردگی شیار انجام شود چون واکنش اول به $2H_2O$ نیاز دارد. هم چنین واکنش انحلال

نیک هم انجام نمی شود: $MCl_2 + 2H_2O \rightarrow$ اما حذف رطوبت هم کار سختی است. این میزان رطوبت

نسبت به نقطه ی اشباع رطوبت است.

* آزمایش خوردگی شیار:

فولاد معمولی را انتخاب کرده و دو قطعه ی پلاستیکی یا کاغذی را مطابق شکل با نوارهای لاستیکی

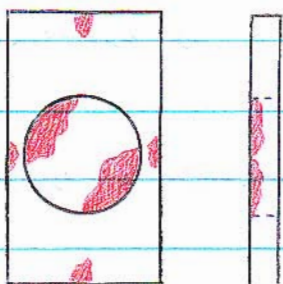


به فولاد می بندیم و در محلول 3% NaCl (آب دریا)

قرار می دهیم. کمی $FeCl_3$ هم به منظور تسریع کنشش به

محلول اضافه می کنیم. اگر اضافه نکنیم مثلاً اسامال طول می کشد.

دما را هم زیاد می‌کنیم: $T = 50^{\circ}\text{C}$. زمان: $t = 24(\text{hr}) - 120(\text{hr})$. اگر قطعه را در آوری مثل



جزیره روی سطح قطعه پلاستیکی محصولات خوردگی دیده

می‌شود. حتی جای تماس نوار با فولاد هم مسطح است. در

این خوردگی نوار پلاستیکی یا لاستیکی درون فولاد فرو می‌رود.

گاهی اوقات خوردگی موضعی از خوردگی خطرناک تر است. چون در خوردگی یکنواخت از کل

سطح کاهش می‌یابد اما در مورد موضعی این طور نیست.

برای آلیاژهای آلومینوم-پاسیو و فولاد 304 خوردگی ششای خطرناک تر است از یکنواخت. چون

در برابر یکنواخت مقاوم بوده و خوردگی ششای را در نظر نمی‌گیریم و فکر می‌کنیم برای فولاد اتعاقی نمی‌آید.

برای همین در جنوب از فولاد رنگ ترن استفاده نمی‌کنند. در خوردگی یکنواخت از جرم فلز خیلی کم

نمی‌شود اما در ششای، خوردگی در جای حساس روی می‌دهد: اتصالات، جوش، باندراین استحکام

را در این محل‌ها از دست می‌دهیم و اتصالات از بین می‌رود. محل اتصالات، نقاط ضعف

هستند از لحاظ مکانیکی ← خوردگی در این محل‌ها از نوع ششای و خطرناک است!

خوردگی ششای مثل گالوانیک قابل پیش‌بینی است چون خودمان ششای ایجاد نکرده‌ایم.

می‌توان گاهی اوقات به جای ایجاد شیار از طریق پیچ و مهره، از جوش استفاده کنیم تا شیار نباشد.

در جنوب برای فولادهای زنگ نزن (سیستم‌های حفاظتی استفاده می‌کنیم

مناطق حساس به خوردگی شکاری:

1- طراحی سازه: مثل اتصالات از جمله پیچ و مهره، پیچ، خط جوش و... سعی می‌کنیم

اتصالات را بیرون محلول قرار دهیم. مثل سازه‌های درون آب دریا.

2- تماس فلز با فلز: اورلپ کردن، تماس فلز با غیر فلز مثل واشر پلاستیکی. اگر مقداری از یک ورق

در سازه زیاد آمد باید حذف شود.

3- رسوبات داخل مخازن و لوله‌ها: زیر رسوب در لوله شیار داریم. زیر ته‌های رسوبات خوردگی

ایجاد می‌شود (خوردگی زیر رسوب) که از نوع شکاری بوده اما گسترده تر است. رسوبات: خاک، شن و...

4- باکتری‌ها که در آب دریا وجود دارند موجب رسوب می‌شوند. باکتری‌ها وقتی می‌میرند رسوب

می‌شوند. باکتری‌های بی‌هواری چنانچه هوا نباشد زندگی می‌کنند. زیر رسوبات باکتری‌های بی‌هواری

حستند (باکتری بی‌هواری: SRB ← ری ویروسولف) این باکتری‌ها از فلز تخریب می‌کنند و

موجب خوردگی می‌شوند.

روش‌های جلوگیری از خوردگی شکاری:

1- حذف شیارها و شکاف‌ها: اتصالات باید با هم فیت شوند. حذف شیارها از طریق: لحیم،

حوش، واکس و مواد پلیمری

2- افزایش فاصله‌ی قطعات یعنی نه‌گتر از 0.1mm

3- تمیزکاری و پولیش سطوح: تا رسوب بر سطح تجمع نکند.

4- حفاظت کاتدی: شیار را از این طریق کاتد کنیم.

5- استفاده از واشرهای غیر جاذبه‌الرطوبه.

6- استفاده از رطوبت زداهای مثل سولفیت سدیم، سیلیکاتن: بیشتر مروج حل و نقل استفاده می‌شود.

خوردگی حفره‌ای: Pitting Corrosion:

مخرب‌ترین نوع خوردگی در صنعت است و از نوع موضعی هم می‌باشد. فرق آن با خوردگی شکاری

در این است که در خوردگی شکاری، شیار داشته‌ام اما در اینجا معلوم نیست pitting که با وجودی آید

چیزی که با وجودی آید، پس خیلی خطرناک بوده و غیر قابل پیش‌بینی

در محیط‌های شیمیایی و مرطوب احتمال این خوردگی همواره وجود دارد.

هرچاکه حفره دیدیم این خوردگی وجود داشته است. خوردگی حفره‌ای سیستم را از کار می‌اندازد.

عامل بسیاری از انفجارها هم می‌باشد. پس نباید منبع و منشأ حفره را در فلز ایجاد کنیم: سطح فلز

را باید صیقلی کرد. حفره خودش جوانه‌ای برای خوردگی حفره‌ای است.

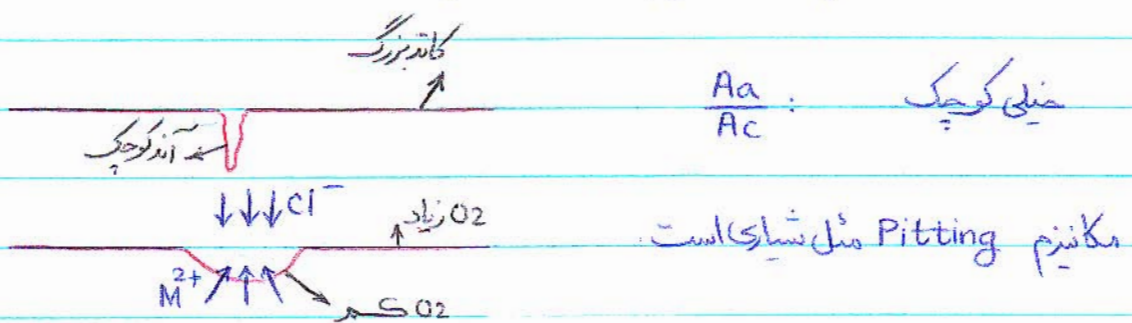
Pitting مکانیزم تأخیری است. یعنی طول می‌کشد تا جوانه‌ی حفره ایجاد شود. اما وقتی بوجود

آمد سرعت پیشروی می‌کند. شست و شو کلریدی (آنیون کلر Cl^-) عامل خوردگی حفره‌ای

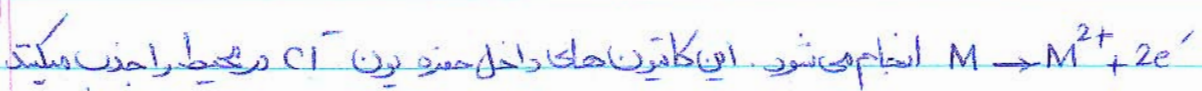
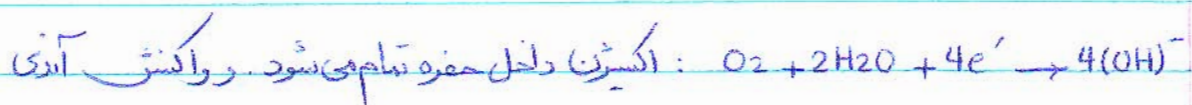
است. غالباً این خوردگی در مناطق حاوی یون کلرید دیده می‌شود. مثل محیط‌های دریایی. در

آلیاژهای آکسیو-پاسیو: آلیاژهای Ni-Cr، فولادهای زنگ نزن و پایه نیکل که نسبت به

خوردگی یکواخت مقاوم هستند در برابر Pitting خیلی حساس هستند.



O_2 کم در مراحل اولیه‌ی احیا مصرف می‌شود:





$M(OH)_2$ تجزیه می‌شود: $M(OH)_2 \rightarrow M^{2+} + 2(OH)^{-}$ این M^{2+} دوباره در واکنش شرکت

می‌کند. (آتوکاتالیتی) بنابراین $PH < 1$ { محیط اسیدی قوی }

در خوردگی شیاری سطح آند بزرگتر بود. راسخا آند خیلی کوچک است (موضعی) و سرعت

رشد می‌کند. { آند موضعی اکتر }
 عوامل مؤثر در سرعت رشد حفره در Pitting:

عوامل مؤثر در سرعت رشد حفره در Pitting:

1- سطح کاتد بزرگ و آند بسیار کوچک: دانسیته‌ی جریان در آند بزرگ است.

2- فاصله‌ی آند و کاتد کم است: تبادل الکترون راحت‌تر است.

3- اسیدیته‌ی خیلی بالا در حفره $PH < 1$. 4- پیل اختلاف دما در حفره داریم.

این عوامل حفره را آندی کرده و نیاز به انرژی هم نیست.

* Pit بصورت Random بوجود می‌آید. جوانمزنی با آخیر اما سرعت رشد حفره زیاد

است. مکانیزم آتوکاتالیتی بوده و درین محام اغلب Cl^{-} است. تلام آب دریا موجب می‌شود یون

کلر atomise شده و گازی شود. اما در شرایط عادی در آب دریا یون Cl^{-} داریم.

Fracture: شکست مکانیکی Failure: شکست شیمیایی

خوردگی حفره‌ای: (ادامه)

مثال: فولاد زیر خاک - زیر پوشش هاورسویات - آلیاژهای Al در محیط حاوی Cl^-

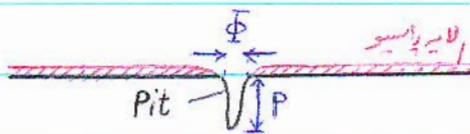
آنیون کلرید بر اکتیو لایه‌های passive را از بین می‌برد از جمله Al_2O_3 - فولادهای زنگ

زن در محیط حاوی Cl^- . این فولادها در همه محیط‌ها بجز Cl^- پایدارند. Cl^- لایه پسیو

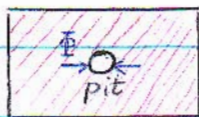
Cr_2O_3 را نیز از بین می‌برد - آلیاژهای نیکل و کبالت - آلیاژهای Ti در محیط حاوی Cl^- .

آلیاژهای Ti از همدی مورد فوق پسیو ترند.


معیارهای خوردگی حفره‌ای:



معیارهای خوردگی بگونه‌ای در اینجا صادق نیست.



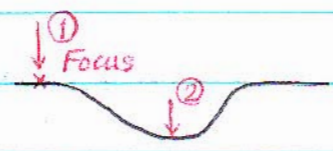
حفره: $P \gg \Phi$

اگر $P < \Phi$ باشد، Pit نداریم بلکه shallow (گودال) داریم.  shallow

$$\text{Pitting Factor} = P.F. = \frac{P}{\Phi}$$

هرچه P.F. بیشتر باشد، حساسیت به خوردگی حفره‌ای بیشتر است.

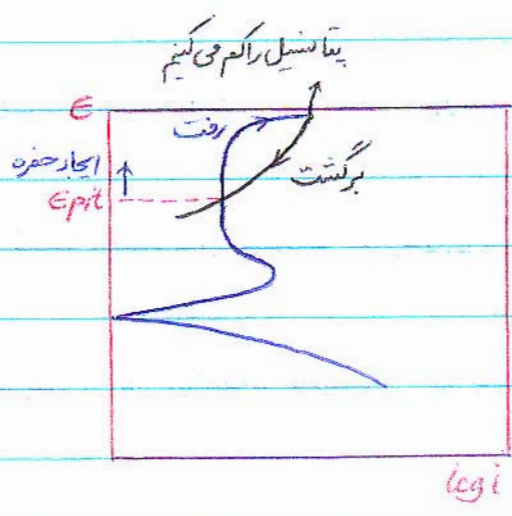
بامیکروسکوپ نوری: فاصله حرکت گage = عمق حفزه بزرگمایی



حساسیت به حفزه دار شدن:

آلیاژ راد محیط مورد نظر قرار می دهیم و بعد از مدتی آنرا آنالیز می کنیم. اثر درجه حرارت، زمان،

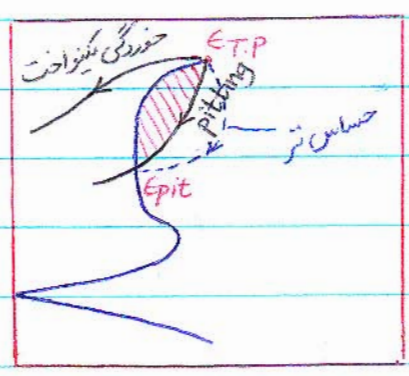
غلظت، PH و آمون های مهاجم و ... راد Pitting بررسی می کنیم



روش 2. استفاده از منحنی پلاریزاسیون:

محل برخورد رفت و برگشت: Epit

منطقه بالای Epit یعنی ایجاد حفزه



اما اگر منحنی از بالا برگردد یعنی حفزه شکل نمیگیرد.

اما ممکن است میکرواخت خورده شود و شدید

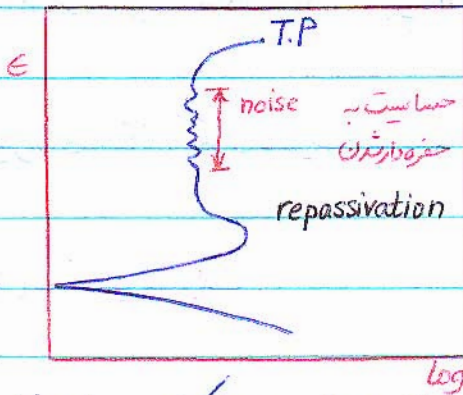
سطح مشخص شده، کولن بار مصرفی جهت

حساسیت به حفزه دار شدن است. هرچه مسیر

برگشت سطح بیشتری ایجاد کند، حساسیت به Pitting هم بیشتر است:

$$Q_{Pit} = \int_{E_{Pit}}^{E_{T.P}} i dE$$

اغلب اوقات نمودار بصورت مقابل است ؟



در محدوده‌های noise داریم . هر چقدر که جریان

زیاد می‌شود یعنی حفزه بوجود می‌آید و هر چقدر که

جریان کم می‌شود یعنی حفزات پاسیو شده‌اند . سپس لایه‌ی پاسیو می‌شکند و جریان زیاد می‌شود $\log i$

در این منطقه واثر اکسید شدن ، لایه‌ی passive ایجاد شده و دوباره از پس می‌رود . از T.P

به بعد کل لایه‌ی passive می‌شکند . هر چقدر دامنه‌ی این noise ها بیشتر شد یعنی آلودگی

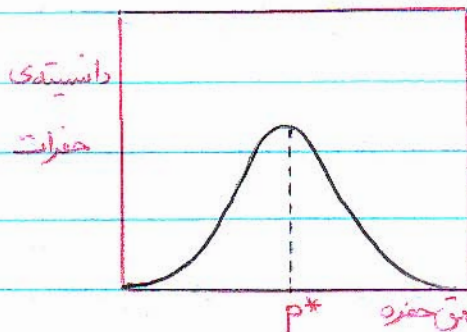
نسبت به Pit حساس تر است . البته چون دیاگرام لگاریتمی است این تغییرات کوچک است

معیارهای دیگر : متوسط اندازه‌ی حفزات ← حفزات تقریباً هم اندازه باشند

عمیق ترین حفزات ← عمیق ترین حفزه مشکل ایجاد می‌کند

(مهم) دانسیته‌ی حفزات ← تعداد حفزات در واحد سطح برای حفزات مشابه

پروفل حفزات :



بیشترین تعداد حفزات با اندازه‌ی P^* است . یعنی

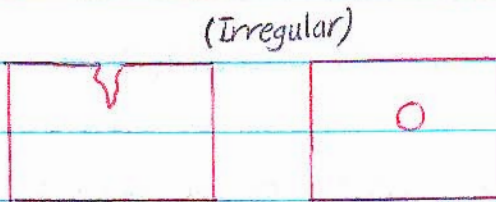
عمق متوسطی ها ، هم هستند اگر این حفزه معنی

به شکست شود ، تعدادشان نیز زیاد است .

در آلیاژهای Ti ، تعداد حفرات زیاد نیست و از معیار عمیق ترین حفره استفاده می کنیم .

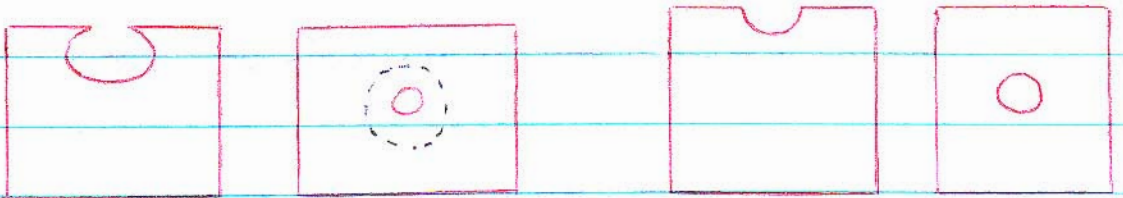
شکل هندسی حفرات :

1- حفرات بی نظم : شکل حفره وابسته به نوع آلیاژ است و هم چنین محیط محیطی های



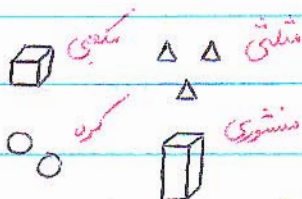
مختلف ، حفرات مختلفی هم ایجاد می کنند .

2- حفرات به شکل نیم کره :
3- حفره بسته شده (closed) :



4- حفرات منظم :

این حفرات کریستالوگرافیک هستند و تکرار میشوند . بصورت 4 شکل هستند :



گاهی یک فاز منظم داریم (فاز کریستالوگرافیک) اگر این

فاز آند واقع شود و خورده شود چون آند منظم بوده ، حفرات هم منظم میشوند .

مثال - حساسیت آلیاژها به حفره دار شدن :

به ترتیب حساسیت کم می شود: Fe-17/Cr (گروه 400) ، Fe-18/Cr-8/Ni (304)

، Ti-Al-Va ، Ni-Cr ، (316) Fe-18/Cr-8/Ni-2/Mo

به طرف Ti که می رویم ، حساسیت کم می شود چون لایه های passive پایدارتر ، چسبندگی

مقاوم تر و سترکم تر می شوند. (مشخصات لایه حفره)

آنیون های مهاجم حجت حفره دار شدن: (آنیون های گروه هالوژن ها) : Cl^- ، Br^- ، F^-

F^- از همه کمتر ، Cl^- از همه شدیدتر. (حجم یاری دارد ، 3-5% آب دریا) بقیه درصد

صدم درصد است.

آنیون های OH^- ، SO_4^{2-} ، NO_3^- ، غالباً عامل Pitting نیستند و اگر هم حفره ایجاد

کنند ، رشد نمی کنند چون در حفره اسید ایجاد نمی کنند. این عوامل اکسید کننده هستند پس

گاهی اوقات به تشکیل لایه های پاسیو کمک می کنند. با اسید نیتریک لایه پاسیو را افزایش می دهند

راه های جلوگیری از حفره دار شدن :

حفره سرعت رشد بالایی دارد و زمان تشکیل آن قابل پیش بینی نیست. منشأ آن نامحالی

داخل ساختار، شیار، باقی مانده‌ی رسوب روی سطح می‌تواند باشد.

1- کاهش خوردگی محیط (حذف یا کاهش آئین کلر از محیط)

1-2. کاهش درجه حرارت 3-1. کاهش اسیدیته یا افزایش PH

1-4. حذف اکسیژن (مثلاً)

T در روابط سینتیکی، رابطه آرنیوس دارد: $\uparrow T \leftarrow$ سرعت حل شدن فلز \uparrow

2- انتخاب ماده‌ی مقاوم‌تر: آلیاژهای تمیز (حلی مهم)

مثال: فولاد 316LC (کم کربن):

316LC تمیز، ناخالصی‌های کوره از جمله سولفید (MnS مثلاً) و pit (در فولاد زنگ‌نزن)،

گرافیت و... را ندارد. ساختار آستنیتی همراه فریت مضراست برای

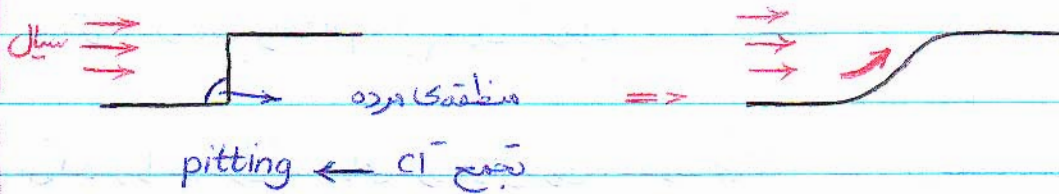
فولادهای زنگ‌نزن.

316LC \leftarrow ^{پروبیپ} 1-6 سال در آب خلیج فارس

316LC تمیز \leftarrow " " " 30-40 سال " " "

316LC تمیز ساختار یکدست آستنیتی دارد.

3- تغییر طراحی: مناطق مستعد حفره دار شدن حذف گردد.

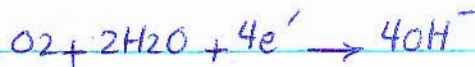


پس اگر سیال داشته باشیم، باید همه جا چرخش کند.

4- حفاظت کاتدی: داخل حفرت را کاندکنیم تا غیر فعال شود.

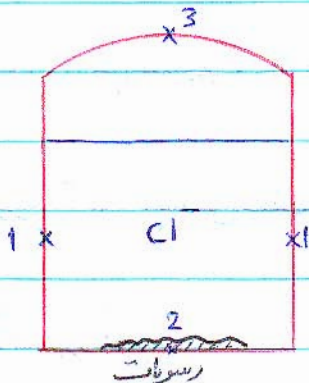
5- جایگزینی آنیون‌های OH^- ، NO_3^- ← سبب کاهش جذب اکسیژن و ترمیم لایه‌های پالسیس.

OH^- موجب می‌شود O_2 کمتر جذب شود (طبق قانون لوشاتلیه)



6- افزودن ممانعت کننده‌ها: ترکیبات آلی (عالباً) و معدنی که لایه‌هایی تشکیل دهنده

و جلوی خوردگی را می‌گیرند. یکسری ممانعت کننده‌ها عمودی اند اما یکسری مخصوص pitting



یون Cl^- که در آب تبدیل گندزدایی وجود دارد برای

سیستم دفاعی بدن مضراست.

مخزن آب
(فولاد 304)

در منطقه 3 ، حساسیت به pitting نداریم . در مخازن تلاطم نداریم پس Cl_2 کمی تولید می شود . در سقف pitting نداریم چون اگر یون Cl^- هم در سقف وجود داشته باشد ، سقوط می کند زیرا هر چقدری که جدا می شود در اثر وزن ، سقوط می کند . حفزه در جهت جاذبه رشد می کند . در خلاف جاذبه ، حفزه نمی تواند رشد کند . در بدنه ها و کف خوردگی حفزه ای داریم .

Fili form corr.

خوردگی فیلامنتی : (کری شکل)

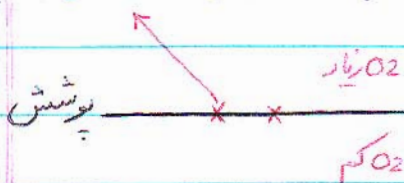
خیلی کم بوجود می آید . معمولاً در زیر پوشش ها است ؛ مثل رنگ ، لاک ، رزین ، پلیمری ، فلزی (کنسروها) ، کروماته ، سفاته .

شرط اینکه رطوبت روی سطح کنش شود این است که درصد رطوبت بالای نقطه شبنم

یعنی (60%) باشد . ($60\% > \text{٪ رطوبت}$)

پوشش های فوق خیلی چسبده نیستند . اگر درصد رطوبت زیر 60% باشد ، این خوردگی

را نداریم . در غیر این صورت خواهیم داشت . در اثر ترک های میکروسکوپی روی سطح ، منافذ میکروسکوپی

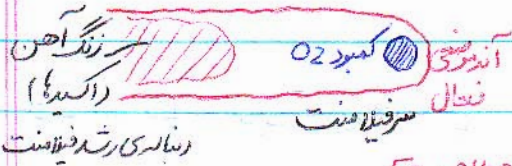


در زیر پوشش ، مناطق فعالی میشوند .

مثلاً در مورد آهن :

Fe

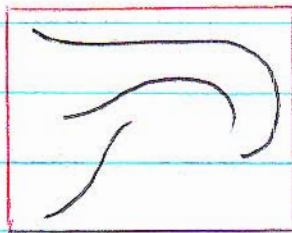
در بناهای آند، محصولات خوردگی وجود دارد.



اگر رطوبت فراخ باشد، سرعت رشد نیز بالاست.



نسته به اینکه عیوب سطح کجا باشد و کجا رطوبت حس شود، این خوردگی دیده می شود.



یک فیلامنت اگر به فیلامنت دیگری برخورد کند مسدود می شود.



و اگر در محیط بسته گیر کند نیز مسدود می شود.



فیلامنت می تواند زیاد شود.

اگر سرفیلانت تیغ بزیم، کمیون O2 رفع شده و فیلامنت کوری شود. در ابتدا فقط یک نقطه

آنداست و بعداً رطوبت رشد می کند.

این نوع خوردگی در هیچ عنوان منجر به تخریب سازه نمی شود و فقط پوشش در این مناطق بلند

می شود. چون محصولات حجم زیر پوشش بوجود می آید، رنگ بلند می شود. به همین دلیل

پوشش های تزئینی را خراب می کند. در مناطق جنوب این نوع خوردگی زیاد است.

راه های پیش گیری:

1- کاهش رطوبت زیر 60 درصد: رطوبت گیر

2- کاهش درجه حرارت (با کاهش دما، نقطه شبنم کاهش می یابد) (دما کم ← رطوبت بیشتر)

3- استفاده از پوشش های چسبنده یا چند لایه

4- استفاده از رنگ های زیر لایه (واش پلیمر، مثل ضد رنگ : لایه چسبنده روی سطح)

رنگ سه لایه دارد:

چسبنده - پرکننده (پرکردن پستی و بلندی) آستر - رنگ بیرونی : مالکیت

86. 8. 22

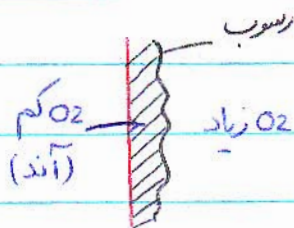
خوردگی بیولوژی:

در مورد خوردگی توسط موجودات زنده است. موجودات میکروسکوپی و میکروسکوپی

مانند: جلبک ها، قارچ ها، صدف ها، دوکفه ای ها، باکتری ها.

جلبک ها: میکروسکوپی - میکروسکوپی

1) غالباً جلبک ها، قارچ ها، دوکفه ای ها، صدف ها رسوب تولید می کنند (روی سطح فلز



می چسبند) مثل کشتی ها ← ایجاد خوردگی زیر رسوبی

این موارد اگر خیلی چسبنده باشند می توانند نوعی محافظ

باشند و حجم یون کلر را متوقف کنند. این گونه های زنده مستقیماً در خوردگی تأثیر ندارند.

باکتری‌ها در وقت بشدت تکثیر می‌شوند تا وقتی که غذا باشد. اگر هم غذا نباشد، می‌میرند و لجن تولید می‌کنند.

(2) مصرف‌کننده‌ها: (معمولاً بی‌موجودات زنده، فلزات منبع غذایی آنهاست)

مثل: باکتری‌های آهن خوار: آهن را مصرف می‌کند. این باکتری هیدروکسید آهن تولید

می‌کند. باکتری‌های مصرف‌کننده گوگرد: قیو باسیلوس. هرچاکه گوگرد باشد مثل واشرها

قطعات لاستیکی و ($S^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$) (سولفید \leftarrow سولفات) و در نتیجه اسید سولفوریک

(H_2SO_4) تولید می‌شود و محیط را اسیدی می‌کند \leftarrow تشدید خوردگی.

(3) تولیدکننده‌ی مواد شیمیائی خوردنی: برخی باکتری‌ها مواد شیمیائی تولید می‌کنند مثل:

H_2S ، CO_2 ، NH_3 \leftarrow باکتری‌های ازت خوار \leftarrow تولید آمونیاک

در استخراج هم از این باکتری‌ها استفاده می‌شود.

(4) باکتری‌ها: هواری \leftarrow باکتری مصرف‌کننده گوگرد، بی‌هواری \leftarrow باکتری زیرسویات

باکتری احیاءکننده‌ی سولفات (SRB) بی‌هواری است: در محیط آبی و تفتی. هرچاکه محیط

مرده‌ای از آب یافت باشد این باکتری زندگی می‌کند. $SO_4^{2-} + 8H \rightarrow S^{2-} + H_2O$



SRB در آب شیرین کن ها هم وجود دارد. نام دیگر SRB، دی ویدر سولفو است.

برای حذف رسوبات بیولوژی و باکتری ها (دیگر رسوبات باید اسید شوئی شوند) از مواد

کشنده استفاده می‌شود. محلول $NaClO$ ، 12٪ (هیپوکلریت سدیم) را به آب می‌زنند. قبلاً

$HClO$ می‌زدند اما چون اسیدی است اثرات مضر روی دیگر موجودات می‌گذارد پس از تک

آن استفاده می‌کنند. بعد از مدتی این باکتری‌ها باعث بسته شدن معاری می‌شوند پس

این محلول را می‌زنند.

خوردگی بین دانه‌های درون دانه‌ای: *Inter granular corr.*

Trans granular corr.

این خوردگی میکروسکوپی است. گاهی بین دانه‌های و گاهی از داخل دانه، خوردگی شروع می‌شود.

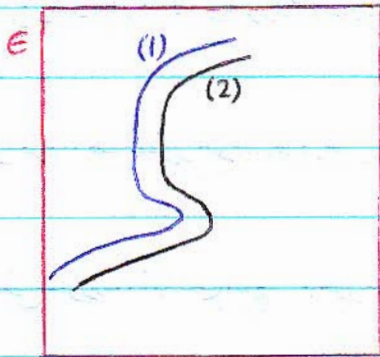
برخی آلیاژها، خوردانه آندی شود و برخی دیگر، مرز آندی شود. این نوع خوردگی می‌تواند منشا

خوردگی ماکروسکوپی شود: شیار، حفزدای، خوردگی تنشی.

مثال: در فولاد 304:

1- آلیاژ با دانه‌های بزرگ: بیشتر دانه و کمتر مرز دارد.

2- آلیاژ بادانه‌های بسیار ریز: دانسیته‌ی مرز بالا است.



در این مورد، نمودار مثل (1) است اما کلی نمودار به سمت

جریان بیشتر رفته است. پس خوردگی زیاد می‌شود.

حتی در لایه‌ی passive اگر مرز زیاد باشد، خوردگی ^{log}

شدیدتر است. چون در مرزها نقص شبکه‌ی کریستالی داریم؛ ناخالصی‌های بیشتری داریم. در

واقع ناخالصی‌ها، ناهمگنی‌ها در مرزها جمع کرده اند و منطقه‌ی کاتدی‌تری ایجاد کرده اند. در

مرز تعداد پیوندها کم است پس راحت پیوندها شکسته شده و واکنش می‌دهند.

(درون رانه) $C.R > C.R$ (مرز رانه): سرعت خوردگی

در این حالت خوردگی مرز رانه‌ای داریم. (Inter...) که به ساختار بستگی دارد و اینکه

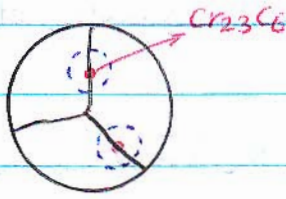
چقدر ناخالصی در مرز داشته باشیم.

عوامل موثر بر خوردگی مرز رانه‌ای:

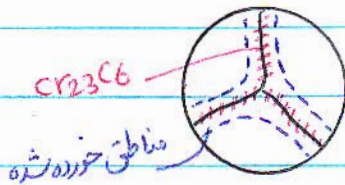
1- رسوب فلزها در مرز رانه و کاهش فلز موثر در مقاومت به خوردگی در نواحی اطراف.

مثال کاربرد کروم که در مرز رسوب کرده و نواحی اطراف فقیر از Cr شده و میزان Cr در این نواحی

کثیر از حد نیاز شده و خوردگی روی می دهد.



اگر کروم ها بطور پیوسته در مرز رسوب کنند، مرزها را بصورت



مناطق خورده شده می بینیم. (مرز ضخیم میشود)

(2) فازهای رسوب شده در مرزها تمایل دارند که با محیط واکنش دهند (تمایل شدید) مانند

رسوبات MnS. خود این فاز ضعیف است و خورده می شود (رسوبات ضعیف) در نتیجه

جای آن را حفره می گیرد و محصول خوردگی حفره است. و این منشأ pitting است. و همچنین

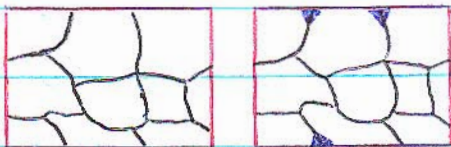
منشأ ترک خوردگی است.

(3) جدایش در مرزها: خود این جدایش سبب تشدید خوردگی می شود. دو فاز در مرز به هم

می رسند، ترکیب برابر ندارند در نتیجه شبکه ی یکسانی ندارند و مرز بوجود می آورند.

بین α و β در فولاد مرز موجود می آید پس جدایش داریم و پیوند مناسب بین دو فاز موجود

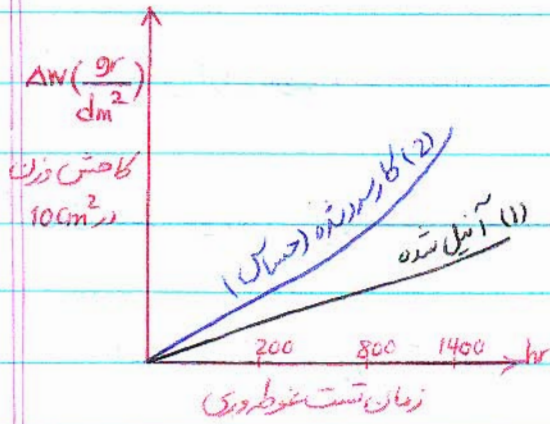
نی آید و خوردگی تشدید می شود. در خوردگی مرز دانهای



قبل از خوردگی مرز بازنده بعد

مرز بازمی شود رالته با چشم هم دیده نمی شود.

مثال. فولاد 304 در محلول 10% اسید سولفوریک در دو شرایط:



1- فولاد آئیل شده (حذف تنش)

2- فولاد کار سخت شده (تحت تنش)

برای دومی میزان خوردگی زیاد شده و مرزها در سطح

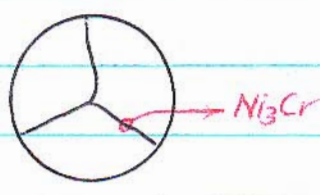
قطعه باز شده اند. چون تنش ها وجود دارند به باز شدن مرزها کمک می کنند. اگر مرز کاملاً

باز شود، دانه از سطح کنده می شود و وزن کم می شود. مرزها نوعی حساس به خوردگی اند.

خوردگی درون دانه ای:

در این حالت در مرز یک فاز مقاوم به خوردگی داریم (در اثر رسوب) این اتفاق خیلی کم می افتد.

در آلیاژهای پایه نیکل و پایه Cr این مورد دیده می شود. یک فاز مقاوم مثل Ni_3Cr در

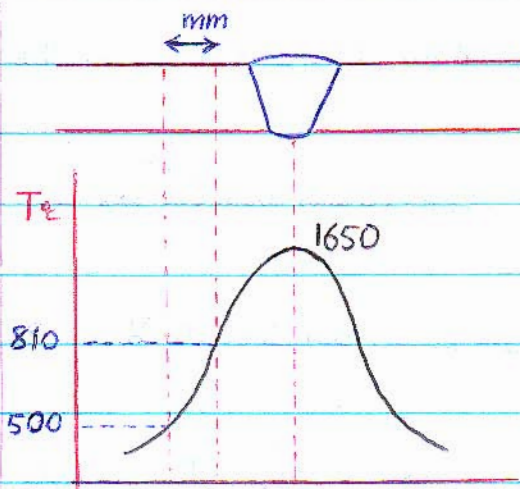


آلیاژ Ni-Cr در مرز رسوب می کند. چون مقاوم است

در درون دانه Cr کمتری داریم، درون دانه خورده می شود.

خوردگی ناحیه ای جوش:

در این مورد قبلاً نیز بحث شده است. که در جوشکاری فولادهای زنگ نزن ناحیه اتفاتی می افتد.



در محور خط جوش، دما به نقطه ذوب می‌رسد. در

فاصله‌ای کمی از دو طرف (چند mm) دما به محدوده‌ی

500-810°C می‌رسد این منطقه HAZ نام دارد.

(Heat Affected Zone)

لایه‌ی تحت تأثیر این دما: در فولادهای زنگ‌دزن ($0.03\%C + 18\%Cr - 8\%Ni$) روی

سطح فولاد Cr_2O_3 تشکیل می‌شود. برای تشکیل این لایه یک شرط داریم؛ حرارتی

کروم در آهن (در دیاگرام $Fe-Cr$) 11% است. min کروم مورد نیاز جهت این لایه، 14%

است. یعنی باید 3% کروم بیشتری داشت. این مازاد حد اشباع، روی سطح رسیده و اکسید

می‌شود. ضخامت Cr_2O_3 مورد نیاز 10nm است. با همین مقدار پاس می‌شود.

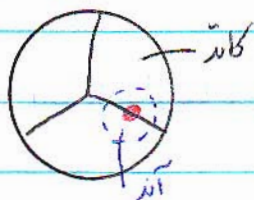
در ناحیه‌ی HAZ، کاربید کروم ($Cr_{23}C_6$) رسوب می‌کند. در جوشکاری، در نواحی کناری

(تقریباً 1mm کنار خط جوش) هرچه آلیاژ آرام‌تر سرد شود این محدوده بزرگ‌تر می‌شود. در

جوشکاری این سرد شدن، سریع‌تر است. پس حدود چند mm می‌شود.

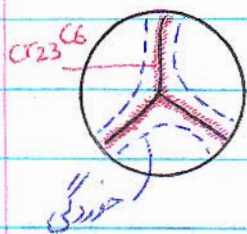
کاربید کروم در مرز دانه تشکیل می‌شود. پس نواحی اطراف از Cr فقیرتر می‌شود. درصد

Cr از 14٪ مورد نیاز کمتری شود. مناطق فقیر آند و بقیه گانده می شود. ضعیف ترین



عضو در این ناحیه آهن است پس آهن اکسید می شود.

در زمان های زیاد، کاربرد ها بطور پیوسته در می آیند و در مرز تشکیل



فاز پیوسته می دهند. (نوار پیوسته در مرز) در نتیجه خوردگی نواحی

اطراف ایجاد می شود. فولاد گروه 300 نسبت به این خوردگی

خیلی حساس است. مرزها بازمی شود و تیار فرم می گیرد و خط جوش استحکام خود را از دست

می دهد و خط جوش خارج می شود. این نوع خوردگی را گاهی خوردگی خط جوش می نامند.

(weld decay)

راه های جلوگیری از خوردگی خط جوش:

1- کاهش درصد کربن: تشکیل کاربید کروم مشکل می شود (مداخله مقدار کاربید کروم)

اگر درصد کربن کمتر از 0.03٪ باشد.

گروه 300: بین 0.03-0.05 درصد کربن دارد. گروه 300LC، کمتر از 0.03

و گروه 300XLC یا 300(ELC) کمتر از 0.01 درصد کربن دارد.

هرچه درصد کربن کمتر باشد، فولاد گران تر است.

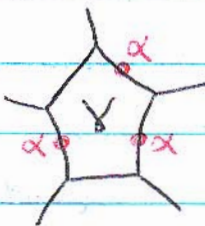
2- استفاده از عناصر آلفاژن: آلفاژن یعنی تولید کننده ی آلفا. در فولادهای آستنیتی

(گروه 300) ساختار باید لا باشد. بهر حال یک مقدار فاز فریت و پرلیت هم تشکیل میشود.

درصد فاز α باید کمتر از 10٪ باشد. حضور α را با هم از لحاظ خوردگی مجاز نیست.

هرچه α کمتر باشد، بهتر است. (α : آند - γ : کاتد)

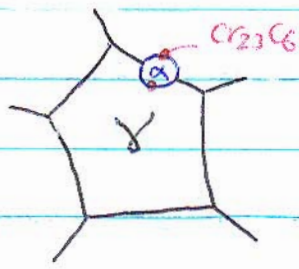
عناصر آلفاژن مثل Mo، بمقدار خیلی کم فازهای کوچک α را در مرز لا ایجاد میکنند.



فضاهای خالی در b.c.c بیشتر است پس کروم ها در α

حل میشوند. کربن ها تمایل دارند در لا حل شوند چون فضای کمتری می خواهند.

پس در α ، کروم بیشتر و در لا کربن بیشتری داریم. اگر بخواهد کاربید تشکیل شود، در مرز

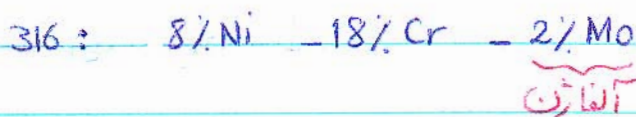


α و لا تشکیل می شود. پس کاربیدها ر جای اینکه

در مرز بطور میوه شده باشند، در مرز α و لا تشکیل میشود.

مهم ترین عامل خوردگی فولادهای زنگ نزن، کاربید کروم است که منشا pitting است.

درواقع با Mo این کاربیدها را توزیع کرده ایم.



(3) استفاده از پایدارکننده های کاربید :

یکسری عناصر مثل Ti ، Va ، Nb پایدارکننده ی کاربید هستند. یعنی با کربن واکنش

داده و کاربید ایجاد می کنند که از کاربید کروم پایدارتر است به چون ΔG کمتری دارند.

درین ترتیب دیگر کاربید کروم تشکیل نمی شود. چون کاربید Ti پایدارتر است. این فولادها

رافولادهای رنگ نزن پایدار شده می نامند.

اگرچه 304 ، Ti بزرگیم ، فولاد 321 و اگرچه 304 ، Nb بزرگیم ، فولاد 347 ایجاد میشود.

هرچه شماره ی فولاد بالای 316 باشد ، فولاد پایدار شده است.

$$\% \text{ Ti} = 5 \times \% \text{ C} + \% \text{ N} \quad \% \text{ Nb} = 8 \times \% \text{ C}$$

نیترژن

معمولاً مقدارشان کمتر از 1٪ است.

(4) عملیات حرارتی : گرم کردن تا بالای 810°C . در نتیجه کاربیدها حل میشوند. سپس سریع

سرد کردن تا زیر 500°C . بعد از آن ، سرد کردن معمولی تا دما ی محیط.

فولادهای آلیاژی را اگر در آب سرد کنیم، مارتنزیت تشکیل می شود و ترک برمی دارد.

(5) شستشوی اسیدی سطح:

با اسید 50٪ HNO_3 کربن شوئی می کنیم. سطح فقیر از کربن می شود پس سطح خورده

امنی شود. چون خوردگی از سطح فلز کم می کند و داخل هم نیست. پس مشکل حل میشود

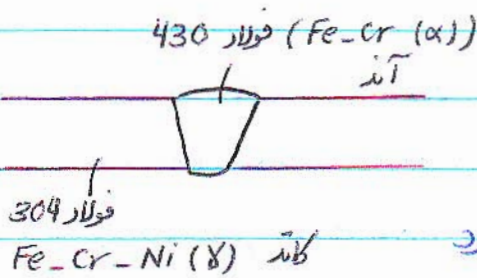
86.8.27

خوردگی های جوشکاری:

1- کوپل گالوانیک: ماده ی جوش و زمینه با هم فرق کنند. اگر ترکیب هم نزدیک باشد،

داخلی هایشان با هم فرق میکند. ممکن است عیوبشان با هم فرق کند. اما از همه مهم تر

تفاوت در ترکیبشان است.



اگر خط جوش ضعیف باشد:

آند موضعی داریم (خط جوش) و شدت خورده میشود

تا خط اتصال قطع شود. در حالت عکس، خط جوش کاتد بوده و از حالت تبلی بهتر است.

2- خوردگی بین دانه ای: ناشی از رسوب کاربید کروم ($Cr_{23}C_6$) است. این کاربید

مزر رسوب میکند ← اطراف آن از Cr فقیر شده و خوردگی اتفاق می افتد؛ و از دو طرف

خط جوش را قطع می‌کند. (weld decay). برای رفع این مورد:

عملیات حرارتی: بالای 800°C می‌رویم و سریع سرد می‌کنیم. هرچه سریع‌تر \leftarrow منطقه HAZ کمتر

پایدار کننده‌ی کاربید: Fe-Cr-Ni-C-Nb \leftarrow فولاد 347
 فولاد های پایدار شده }
 Fe-Cr-Ni-C-Ti \leftarrow فولاد 321

در فولادهای پایدار شده با حیدهای که کاربید کروم تشکیل می‌شود تغییر می‌کند:

منطقه‌ی HAZ بازیگر می‌شود. کاربیدهای Ti و Nb در دمای بالای 1230°C حل می‌شوند.

درست چسبیده به خط جوش ($0.1-1\text{mm}$) ممکن است Nb و Ti نتوانند تمام کربن را مصرف

کند در نتیجه تمام کاربیدها پایدار شده‌اند. بعد در فاصله‌ی دورتری دما از $500-800^{\circ}\text{C}$ عبور

می‌کند در نتیجه کاربید کروم تشکیل می‌شود.

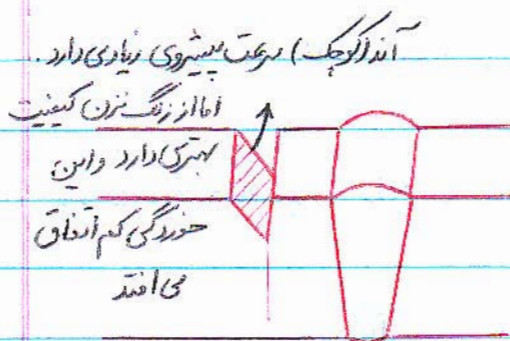
مکانیزم: 1- از نقطه ذوب تا 1230°C : کاربیدهای Ti و Nb حل می‌شوند.

2- از 1230°C تا $790-800^{\circ}\text{C}$: کاربیدهای Ti و Nb راسب می‌شوند.

3- از دمای 790°C تا 510°C : کاربیدهای Cr راسب می‌شوند.

4- در دمای پائینی 510°C : احتمال تشکیل کاربید کروم وجود ندارد.

پس باید پدیدار کردن همه ی کربن ها مصرف نمی شوند در نتیجه منطقه ی باریک ایجاد می شود:



خوردگی شیار چاقویی: *knife corr.*

خط در فولادهای پدیدار شده دیده می شود.

انگار با چاقو بریده شده است. براق و شارپ (sharp)

است. ادامه می یابد تا به چاقویی برسد. (در مورد فولاد رنگ نزن منطقه ی HAZ وسیع بوده

است. در این حالت پدیدار کننده ها کم بوده و باید اضافه میشد. اما راه حل دیگر:

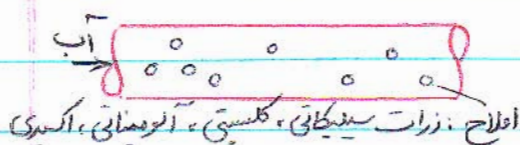
گرم کردن تا بالای 1230°C . از 1230°C تا 800°C آرام سرد شود و از $740-800-510^{\circ}\text{C}$

سریع سرد شود و از 510°C کمتر هم به طور معمولی سرد شود.

غیر از این عملیات حرارتی می توان کربن شویی هم کرد.

خوردگی سایشی:

خوردگی شیمی - فیزیکی است. عوامل شیمیایی خورنده + عوامل فیزیکی ساییده



در اثر عبور سیال خورنده بوجود می آید. این املاح

ذرات ساییده اند و بر روی سطح سایش ایجاد می کنند. حضور سیال با محلول خورنده پدیدها

راضعین می‌کند و با این ذرات مابنده، سطح‌کننده می‌شود. مایش در سطح رخ می‌دهد بیشتر در کف. چون نیروی ثقل وجود دارد و ذرات به پائین می‌روند.

یک راه این است که رسوب زدایی کنیم: با شستشوی اسیدی، رسوب‌ها را حذف کرد.

رسوب‌ها در کف حلی حبس شده هستند. سطح روی در اثر مایش بلند می‌شود اما سطح زیرین نه. راه‌های حذف رسوبات:

1- اسید شوئی یا رسوب زدائی
2- فیلتراسیون: حذف ذرات در چند مرحله

3- سند بلاست: حذف رسوبات اکسیدی در اثر توج با ساچمه یا ماسه سند بلاست مایش

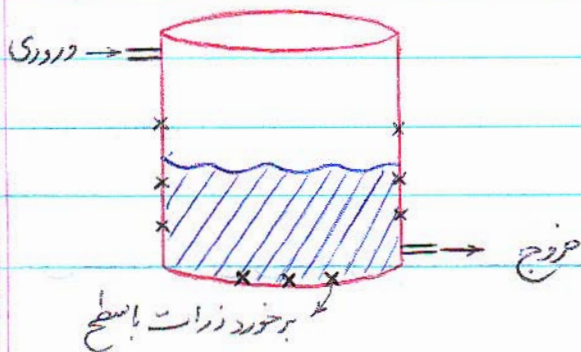


تمزیک است. در اثر این کار لایه‌های اکسیدی و محصولات

خوردگی حذف می‌شوند.

4- پوشش‌های نرم: لاستیک، سرب: پوشش نرم در اثر این ضربه‌ها کنده نمی‌شوند چون

انعطاف پذیرند.



5- پوشش سخت و مقاوم به مایش تا در اثر

برخورد کنده نشود.

خوردگی حبابی : cavitation corr.

در اثر تلاطم شدید سیال بر روی سطح بوجود می آید. (سرعت بالای سیال)

مثال . پروانه ها - پمپ ها - پروپلر ها - شیرهای تحت فشار (در سدها)



سیال با سرعت بالا

در اثر برخورد به سطح ، حباب هوا بوجود می آید. تشکیل حباب

در اثر اختلاف فشار است. اختلاف فشار موجب می شود اکسیژن حل شده در آب ، حباب بوجود

آورد. (جوانه زنی در رشد حباب) مثل تلاطم صابون در آب که کف و حباب بوجود می آورد

این ΔP می تواند در برخی جاها بزرگتر از 10^6 MPa شود. چون سطح کوچک است ، فشار

بر روی آن می تواند خیلی بزرگ شود. در مرحله ی بعد ، ترک خوردن حباب در نتیجه این نیرو



ΔP راه آن سطح اعمال می کند. با ترک خوردن حباب :

اگر حباب بعدی در پله ایجاد شود :

بعین ترتیب ، حباب ها سطح پله ای ایجاد می کنند. به مرور زمان روی سطح کلی خراش

ایجاد می شود.

این حباب ها می تواند تنش زیادی ایجاد کند و جایش روی سطح بماند.

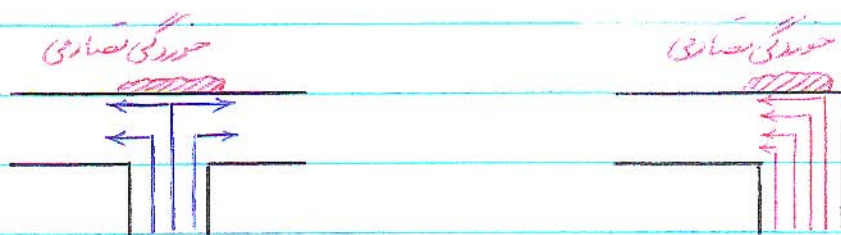
روش‌های جلوگیری از Cavitation :

- 1- پوشش‌های مقاوم به ضربه (پوشش‌های سخت) : پوشش $Ni-P$ ، $Ni-Mo$ ، Cr
- 2- پوشش‌های نرم و داکتیل : لاستیک ، PVC ، سرب ، قلع : اثری ضربه را جذب می‌کنند
- 3- در صورت امکان ، کاهش سرعت سیال (سرعت کم \leftarrow ΔP کم)
- 4- پولیش کاری سطح (کاملاً صاف)
- 5- طراحی سطح انتقال سیال \leftarrow این سطح کمتر بوجود آید.
- 6- افزایش ضخامت فلز در نواحی خوردگی جایی . (این خوردگی فرینگی است)

خوردگی تصادفی : Impact Corr.

مربوط به سیال است . در اثر برخورد شدید سیال با سطح فلز برخوردی آید . (ضربه ناشی از برخورد)

تصادفی ، جایی و سایشی در صنعت آمار بالایی دارد . این نوع خوردگی غالباً در اتصالات است



به این ترتیب جهت سیال را هم می‌توان فهمید . خوردگی تصادفی

هرچه سرعت سیال بالاتر باشد، خوردگی شدیدتر است.

اگر دما هم بالاتر باشد: (در خوردگی: دمای بالای 850°C) دیگر آب نداریم بلکه بخار داریم که

دمای آن 850°C است. (Super heat). فشار هم بالاست: $P=200\text{ atm}$. اگر زائتی وجود

داشته باشد: سایش. اگر زائتی سرراه باشد، تصادفی و اگر به برانه برخورد کند، جایی

دردیگ بخار که بخار تولید می شود، بخار انرژی دارد پس پرو توربین می چرخد. $T=200^{\circ}\text{C}$

دمای خوردگی تصادفی کمک می کند. $P=10\text{ atm}$

روش های پیش گیری از خوردگی تصادفی:

1- تغییر طراحی: بجای زائتی 90° از 120° استفاده می کنیم. (زائتی باز)



2- تعویض اتصالات: براحتی تعویض شود.

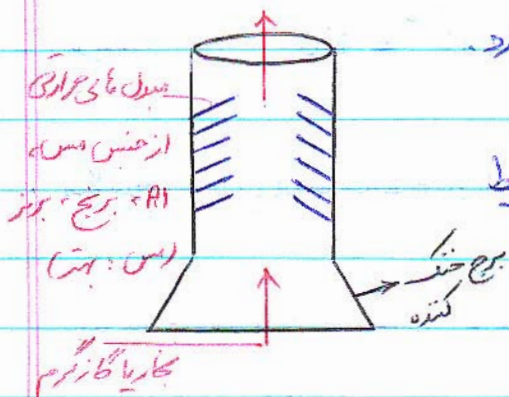
3- سیستم های خطر پیش بیان. 4- ماده ای مقاوم تر در اتصالات و یا ضخیم تر

5- حفاظت کاتدی (از لحاظ خوردگی شیمیایی باعث کم شدن نمک می شود). 6- پوشش ها

خوردگی داغ: High temperature corr. or Hot Corr. or Oxidation

مکان، کوره‌ها، دیگ بخار، حروری گازگرم صنایع (انگور)، نیروگاه‌ها، مبدل‌های حرارتی

در نیروگاه‌ها برج‌های متقابل به ارتفاع 70 متری وجود دارد.

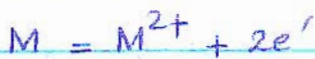
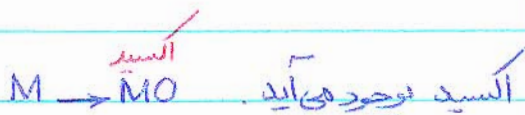


در سیستم‌های بویلر نباید املاح باشد چون در آن شرایط

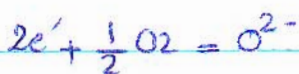
پدهای تریپس را از بین می‌برد.

$H_2O \leftarrow D_2O$ (آب سنگین) تا حجم آب برای خنک کردن کم شود. این آب قدرت

خنک‌کنندگی بالایی دارد. خوردگی داغ ناشی از دمای بالاست. روی سطح فلز در دمای بالا



مکانیزم:



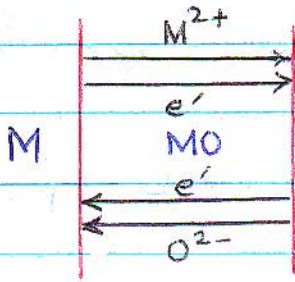
واکنش اکسیداسیون یک واکنش الکتروشیمیایی است.

وقتی لایه‌های اکسیدی روی سطح تشکیل شد این فلزات M^{2+} باید از لایه‌های اکسیدی نفوذ

کنند تا بتوانند با O_2 واکنش دهند. یکی از دو مکان زیری افتد:

1- M^{2+} از MO نفوذ کرده تا به سطح O_2 -MO برسد

2- باید O_2 روی سطح بیاید. $O_2 \rightarrow O^{2-}$ و نفوذ کند و به فصل مشترک M-MO



مکانیزم رشد نیمه‌های هالیت است

راه‌های جلوگیری از خوردگی داغ:

1- کاهش دما
2- پوشش‌های سطح: سرامیک، نسوز CaO, MgO

3- استفاده از اکسیدهای سطحی مقاوم: $TiO_2, SiO_2, Cr_2O_3, Al_2O_3$

Cr در آلایزهای زینم، روی سطح Cr_2O_3 تهیه می‌شود.

4- کاهش اکسیرن اتمسفر

مشکل اکسیداسیون: کنده شدن ذرات اکسیدی در اثر عبور سیال ← خودایی ذرات سایش

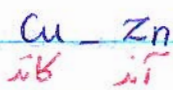
ایجاد می‌کند. در مابالاست ← اکسیداسیون ← کنده شدن با عبور سیال ← سایش

سایش - اکسیداسیون: ذرات کنده شده و بعد گرم می‌شوند و اکسید می‌شوند

مکانیزم‌ها: اکسیداسیون - سایش

خوردگی (جداش انتخابی) : Dealloying (Selective) attack

وقتی اتفاق می افتد که یک یا چند عنصر آلیاژی اکسید شده و جدا شده و وارد محلول می شود



مثال . آلیاژهای مس : برنج ها ، برنزها

عنصر Zn خورده شده و بصورت کاتیون درآمده و در محلول می آید : dezincification

در آلیاژهای کبالت : decobaltification

در آلیاژهای Al : dealluminification

در آلیاژهای مس و روی ، جداش روی داریم ، هرچه جداش بیشتر باشد ، درصد Zn در آلیاژ

کم و کاتیون روی در محلول بیشتر می شود . این جداش از سطح است . پس درصد Zn

در سطح کم می شود . بخصوص در حضور O_2 ، این اثر تشدید می شود . هر واکنش احیائی

جداش را تشدید می کند . خود O_2 واکنش احیائی انجام می دهد : $O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$

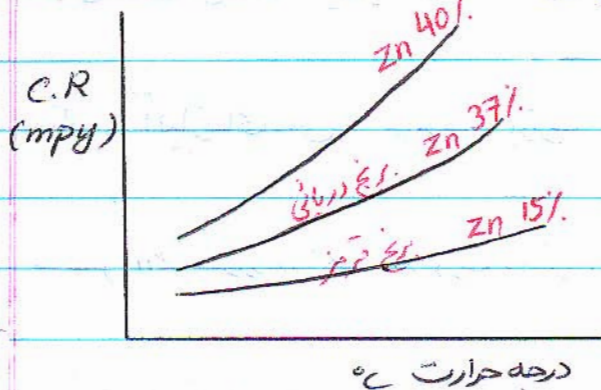
میزان جداش در مخفی و استحکام تأثیر دارد . صحت جداش بیشتر \leftarrow اخت فراس مکانیکی

هم بیشتر . آلیاژ Cu-Zn زرد رنگ است . اگر روی خارج شود ، قرمز رنگ شده

و اگر سیاه شود روی آن اکسید ایجاد می شود .

جدایش روی تحت تأثیر دمای حرارت است. و با افزایش آن، افزایش می‌یابد. هرچه

میزان روی بیشتر باشد، شیب منحنی هم بیشتر است.



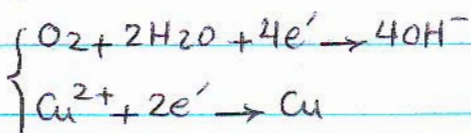
برنج α : Cu - 30% Zn

برنج β : Cu - 70% Zn

شکل پذیری برنج α بیشتر است.

مکانیزم جدایش روی:

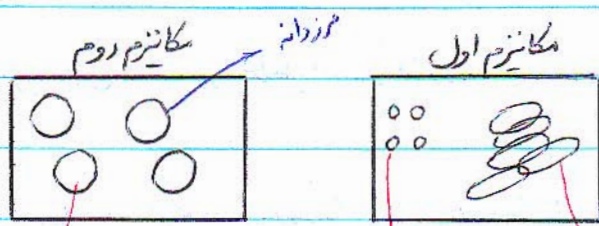
(1) هر دو فلز آلیاژ (Cu و Zn) واکنش اکسیداسیون انجام داده، وارد محلول میشوند و چون



(2) فقط روی حل میشود و اکسیران هم احیاء میشود. این مکانیزم غالب تر است.

طبق مکانیزم دوم، مس دانه‌های هم محور دارد. در این مکانیزم، مورفولوژی، مورفولوژی

انحاز و عملیات حرارتی است. یعنی مرزدانه داریم. اما در مکانیزم اول مرزدانه دیده نمیشود.



دانه های هم محور Cu

پودت ماهی (Flake) که برجسته

در اثر جراثیم روی، جای آنرا

تخلخل می گیرد - انت خواص

در خوردگی انتخابی، Zn جراثیم می کند و این به آلیاژ بستگی دارد؛ اختلاف پتانسیل Zn و Cu

انواع جراثیم:

(1) موضعی (plug type):



با pitting فرق می کند چون کل آلیاژ (همی عناصر) خورده نمیشود.

(2) یکینواخت:

جراثیم در منطقه وسیعی داریم. از تغییر رنگ میتوان جراثیم را فهمید. اینکه چه موقع

یکینواخت چه موقع موضعی است به تاریخچه ریخته گری آن برمی گردد.

مثال: برنج و در محیط محلول NaCl به مدت 80 روز، دچار جراثیم میشود.

در محیط نمکی، NaCl حالت plug زیاد می شود چون NaCl در یک جاهایی

کنداش میشود. در محیط های اسیدی ضعیف، حالت یکینواخت داریم؛ خاک تهران

جدايش روى در حضور عوامل اكسيد كننده مثل O_2 ، CO_2 ، SO_2 تشديد مى شود .

جدايش روى در برخ هاى دوفازى α و β بيش از برخ هاى تكت فازى است . در β

جدايش بيشتر است چون Zn بيشترى دارد . در دوفازى ، بين دوفاز كوپل گالوانيك هم داريم .

جدايش روى مى تواند سبب تشديد خوردگى تحت تنش SCC شود . در واقع منشا ترك است

عناصر آلياژى مثل قلع (Sn) را اگر به آلياژ برنيم ، جدايش بيشتر كم ميشود .

مثال . $Cu + 37\% Zn + (4-6)\% Sn$ برخ دريائى

Sn منطقه ائدى براى انحلال Zn را كم مى كند .

P ، As ، Sb (سفر ، آرسنيك ، آنتيموان) جدايش را كم مى كند ؛ وارد محلول

جامد فازهاى برخ ميشوند و فاز جديدي ايجاد مى كند ← روى براحتى از شبكه خارج نميشود .

آلياژهاى برخ در محيط هاى قلياى نسبت به جدايش خيلى حساسند . بخصوص در محيط

خاكي NH_3 (آمونياك) مثل محيط درختانى .

خوردگى تحت تنش (همراه با تنش) Stress Corrosion Cracking

بدرمته هاى زير طبقه بزرگ ميشود :

- | | | |
|----------------------------|----------------|-----|
| | SCC | (1) |
| Hydrogen Damage | تخریب هیدروژنی | (2) |
| Liquid Metal Embrittlement | ترری فلز مذاب | (3) |
| Solid " " | ترری فلز جامد | (4) |

(1) SCC :

بسیاری از تخریب‌هایی که در خوردگی می‌بینیم، SCC است؛ خیلی وسیع هم می‌باشد.

مثلاً یک لوله بعد از مدتی کاملاً در فرم می‌شود و یک مقطع بازشود.

چون لوله تحت فشار داخلی بوده و به آن تنش وارد شده است.

استحکام حوض را از دست داده است و تغییر فرم میدهد. تنش تسلیم کاهش و بدلیل تغییر فرم

تنش اعمالی زیاد میشود، در تنش کششی، ترک بازشود اما در تنش های فشاری، ترک بسته

است. با ایجاد ترک های فشاری در سطح، حساسیت به SCC کم میشود.

شکست در اثر خوردگی : failure عوامل مکانیکی : fracture

شرایط SCC : 1 - تنش کششی 2 - محیط خورنده

برای فولاد زنگ نزن $\sigma_{0.2} = 20 \text{ ksi}$ (yield s.) ، تحت تنش کم مثلاً

1.4 kg/mm^2 در حضور 50 ppm یون Cl^- در زمان طولانی، شکست روی می‌دهد.

تنش‌های لازم برای SCC کوچک است (0.01 y.s.). این تنش لزوماً اعلا نیست

می‌تواند توسط تنش‌های داخلی یا پس‌ماند از عملیات حرارتی، شوک حرارتی و کار سرد فراهم شود.

اما این تنش‌ها باید کششی باشند.

بارگذاری به در صورت است:

(1) تحت تنش استاتیکی: SCC

(2) تحت تنش سیکلی: Corrosion fatigue. (در این حالت تنش از SCC کم‌تر است)

کمتر است: یا تاقان، میل‌لنگ و قطعات چرخنده

هر فنری در هر محیطی دچار SCC نمی‌شود.

مثال: فولادهای کربنی، در محیط‌های کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، محلول‌های نیتراتی و

هیدروکسیدی، حساس به SCC هستند.

فولادهای HSLA: الکترولیت‌های آبی، بخصوص محلول H_2S - لوله‌های انتقال

و مخازن نگهداری از این جنس اند. (H_2S موجود در نفت)

استحکام بالا و کم آلیاژ

فولادهای St. St. : محیط‌های کربیدی، مخصوص در دما و غلظت‌های بالا.

آلیاژهای پایه نیکل : بخارهای خالص : بخار آب : در سیکل بویلر که super heat داریم

سرخ α : محیط‌های فلزی ← حساس به SCC : مخصوص در حضور NH_3 .

آلیاژهای پایه Al : محیط‌های Cl^- ، Br^- ، I^-

آلیاژهای پایه Ti : محیط‌های Cl^- ، Br^- ، I^-

آلیاژهای Mg : محیط‌های Cl^- ، آلیاژهای Zr : محیط‌های گاز I_2 ($T > 350$)

* پره توربین : Ni - Cr - Mo - W - Al - Nb - Va - Hf - γ (Inconel 738)

محیط : بخار تحت فشار $T = 850 - 880^\circ C$

$P = 200 \text{ atm}$ $t_{GE} = 40.000 - 50.000 \text{ hr}$

سوزش باید عاری از بخار آب و Va, Na باشد در غیر این صورت با پره توربین واکنش

دارد و فلز مذاب روی سطح پره ایجاد شده ← کنده میشود.

محلول موثر برودن SCC :

1- درجه حرارت محیط خورنده

2- میزان تنش اعمالی : چه اعمالی چه سبانه ترقی نمائند

3- غلظت حرارتی : منس زرای نمده ایم

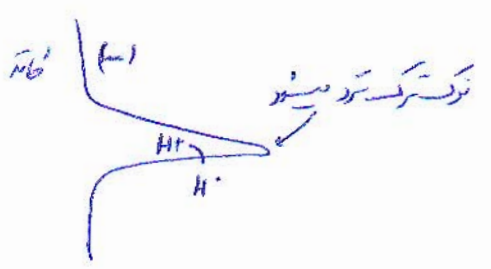
4- ترکیب شیمیایی فلز

5 - PH محیط
6 - غلظت یون های خورنده
7 - غلظت اکسیژن در محلول

8 - پتانسیل اعمالی (منند در حفاظت کاتدی)
PH که سرعت پدید آمدن ترک

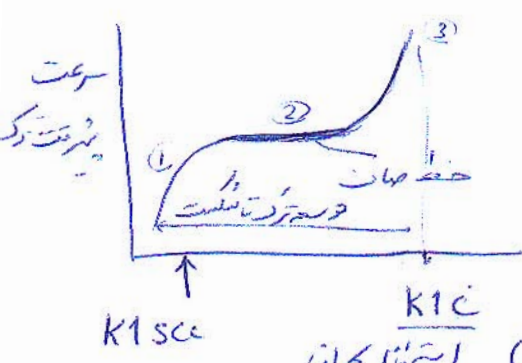
پتانسیل اعمالی خاصی اوقات ترک خردی را تسریع می کند. منند در منطقه ای که آیرا کانه کرده ایم. همه برودن

احید میور : $H^+ + e^- \rightarrow H^0$ - واقع نموده کرده در سرب تر شدن خاصه کارتون میور.



در فلوید که در این حالت پدید میور.

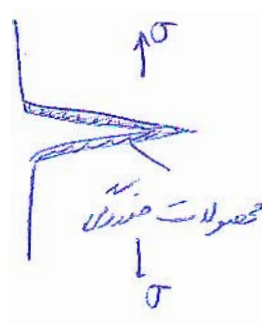
در ترک خوردن، جویز تری در سرب داریم.



- 1- بوجود آمدن ترک
- 2- توسعه ترک بصورت کینزافقت
- 3- شکست نهایی

$k1c$: این میزان استحکام می خواهیم. استحکام فلز
در محیط بدون عمل خورنده ماده تا $k1c$ استحکام دارد.

$k1SCC$: این میزان در SCC بهرات کمتر است. بدین عوامل خورنده اصند : $k1c$ کمتریم. در SCC



در هر صدمه جویز تری هم طایفات.

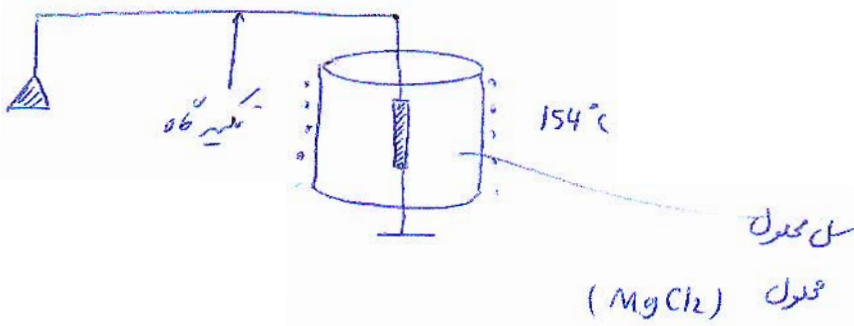
این محصولات استحکام خردتر را ندارد - شکسته و ترک
کیه بهم پیوسته گانه. تنش عدد نیاز برای این

کار کمتر است و نیاز به خردتر در نامبر کار تغییر شکل دهد. محیط خورنده استحکام کار را پایین

مقادیر در SCC هم تنش داشته در هم محیط خورنده.

در $k1c$ - ترک با طول $0.1 \mu m$ خطر ندارد اما در $k1SCC$ خطر کار است

آزمایش SCC

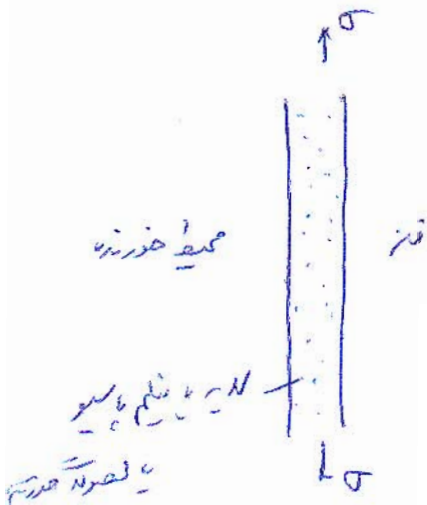


میوان در فونک ناچ هم ایجاد کرده عمل شکست را از تنبل بدینیم.



استحکام آتشی تحمل کرده و زمان شکست را می توان بهت آورد (k95CC) بهت می آید.

مکانیزم SCC

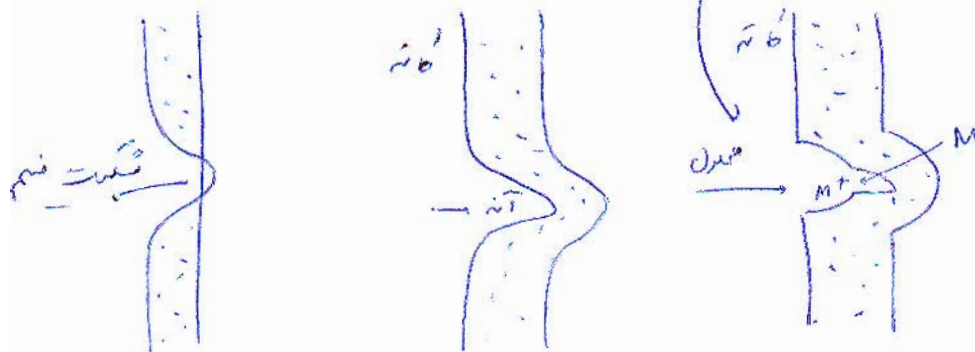


۱) در محیط خنثی یا قلیایی با محیط passivity و محلولات خنثی در برابر سطح شکست می شود

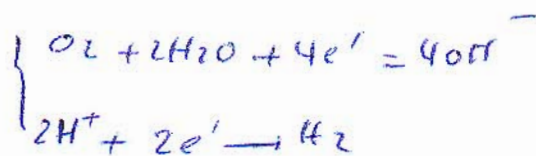
۲) اضمحلال هم کشیده می شود. این فرایند با سولفید جانی شکسته می شود.

۳) می فرزند در شکسته. در سطح شکست

در هر دو صورت ۲ تکرار می شود



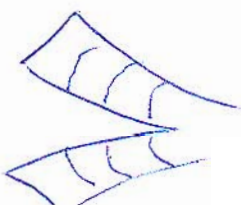
آند بعضی در رأس ترک طایع به رشد می کند. (همین فعلی است)



در صورتی که اگر محیط خنثی یا قلیایی ممکن است در رأس ترک $H^+ + e^- \rightarrow H^0$ و این هی در رأس ها داخل فلز می شود

ممکنه و این هی در رأس در شکسته و در این در شکسته و در این در شکسته

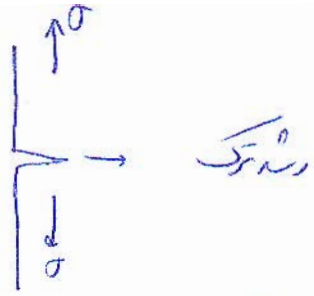
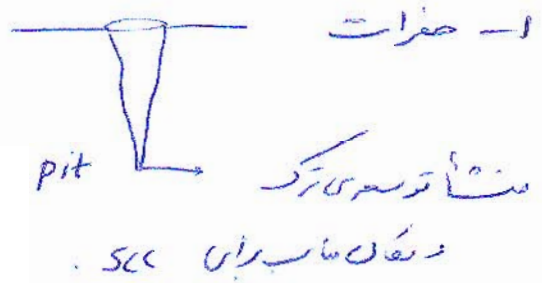
فقط در آن در شکسته



ترک در این حالت بصورت پدید می آید در شکسته و در شکسته و در شکسته

مواقع مناسب برای SCC :

2- SCC از بلع شروع می شود و عمود بر جهت اعمال تنش می شود.
پس گره ها در فضا در هنگام آلودگی در SCC مؤثر نیستند



3- شیارها، محبوب ماشین کاری، انتقال منصف حفرات

درز جوش نباید در حد واسه باشد. باید پولیش شوند در غیر اینصورت منش SCC هستند.

4- صدزنی برز در افغانی 5- مایکرو حفرات : می تواند راس ترک شود.

راه ها که جلوگیری از SCC :

1- در حفاظت کاتدی، وقتاً اضافه ای بکار برتند هم در رزین بورد باشد.

2- کاهش تنش اعمالی → از این حفاظت تعلم

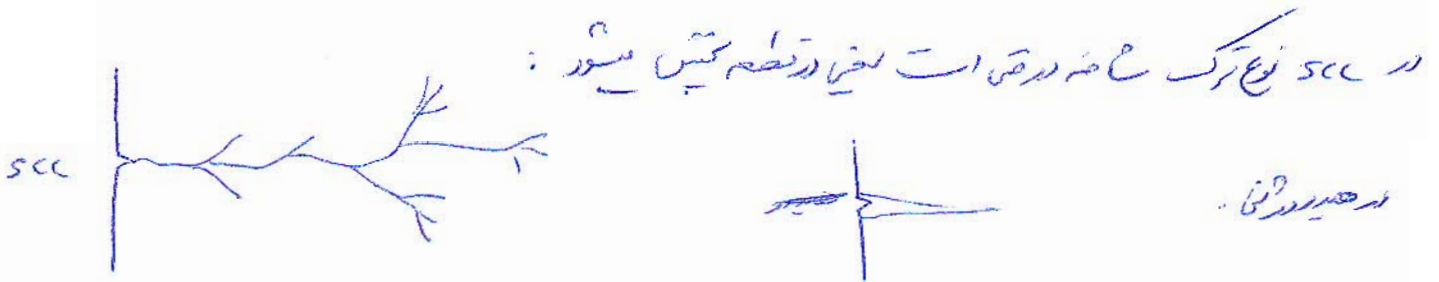
حذف تنش های داخلی توسط عملیات حرارتی (H.T.)

3- حذف ناخالصی ها : ناخالصی که از لحاظ هندسی هم با همفره به دیگران کردن - تمک زرای - اصلاح زرای

4- ماده ای مقاوم تر : آرنولد α مبر - نادره γ آرنولد - برآب با 0.05 آهن سولفات (فیلتراسیون) - فیلتراسیون - فیلتراسیون SAI -

باید رعایت

5- لایه های کته ها : مجتمع حدودی دارد SCC با این بافت کته های کاهن در هم



حشرات هیبرورنی :

هیبرورنی می تواند شکست های همراه تغییر ریزش را برسد (Hydrogen damage)

در ترکیب آتومک و شش عدد اتمی خود در این حالت کمترین طول می شود و در ترکیب سریع است

ساخت هیپروژن :

1- اتسفر بر طبق بردارهای بالا . 2- واکنش های آنتروپنی (الکترون)

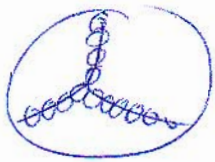
3- حفاظت فائده های (در ساخت هیپروژن) (هیپروژن) (در وقت)

5- اسپرها (همین هیپروژن دارند)

در کربوهیدرات :

در دمای 400°C به (T > 400°C) کربن داخل فنز (مثل فولاد) با این هیپروژن حاصل می شود
کربن و اکسیژن را در همان مکان تولید می شود .
 $C + 4H^{\circ} \rightarrow CH_4$

میل واکنش : اطراف ناخالصی ها . گاهی این خازن ها را در مورد آن می نماند : جیب ، حفره



همین فنز را می توان به کابین استخوان فنز

در کربوهیدرات هیپروژن می توان از آن استفاده کرد . عناصر Mo, Va, Ti
طوریته زاهدت به کربن را می توان به کربن تبدیل نمود CH_4 (کربن)

روش کربن هیپروژن از آن در ترکیب هیپروژن :

1- استفاده از فولادها که کربن شده (Al, Si) ، خالص ها را می توانیم . این خالص ها
از فولادها است .

Al و Si کربن کربن را می توانیم که خالص ها را می توانیم

کربن . (این کربن را می توانیم)

(در فولادها)

2- استفاده از فولادها که کربن هیپروژن تولید می کند : Pt, Au, Pb, Cd

در فولادها ، شیب آتومک به شیب فولادها ، تعداد کربن در فولادها

رکشی داران : cladding ، linding
 ↓
 با پود پود نرم
 ↓
 اول پس کرده ربه جوشکاری تقطه ای

3- هفت کته ها : امین هیدروژن اکم کته : آمین ها

4- مهم دفع هیدروژن : (تکلیت سه هتد) سولفیدها - سیانیدها - آرسنید ، استیمول ، تسند



این ها ، H⁺ و H₂ به سطح می کشند.

5- عناصر آهن من Ni ، Co از کته هیدروژن میگیرند کته - (محل کانه سینه)

6- کاربیدها : Ti ، Vn در هیدروژن باری کاربید میدهند ، کاربید در سطح فولاد

توزیع میسده ← کاربیدها (H) ← هیدروژن (H) در اصل سطح توزیع کته

← جمع نمائند.

خوردگی هیدروژنی :

هیدروژن داخل فلز سوراخ کند و با جوار فلز آلودگی و آکسیژن و رطوبت

فلزات - هیدروژن حباب زار : فاز بسیار سرد : هیدرید کربن $H^{\ominus} + Cr \rightarrow CrH$

اکسید و آکسیژن هیدروژن را جدا می کند. این نوع خوردگی در دماهای پایین (مانند 200°C)

در دماهای بالا (مانند 400°C) بود. چون هیدروژن و آکسیژن در دماهای بالا با هم واکنش

در اکسید (را جدا کند) ، (اکسید سطحی) ، سطح اکسید را از بین ببرد و آکسید (را جدا کند) و از بین

چینی در استحکام تأثیر ندارد. عمده مشکل در یک فاز غیر فلزی است در زونهای نزدیک به فلز

محسوب می شود.

ترک خوردگی هیدروژنی : Hydrogen stress cracking (HSC)

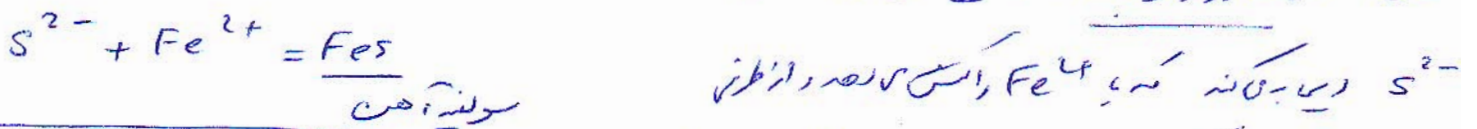
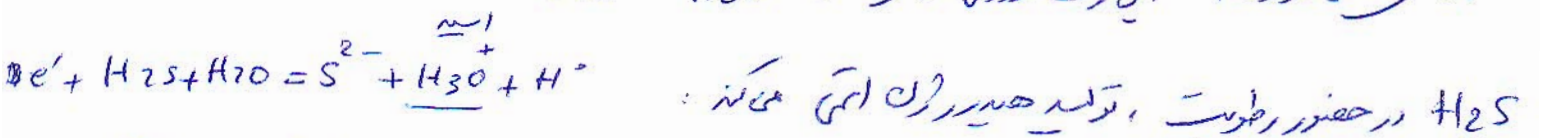
(ترک خوردگی تحت تأثیر تنش هیدروژنی) هیدروژن در داخل فلز ایجاد می کند.

مثل pitting غیر قابل پیش بینی است. مسدودیت عبور هیدروژن در آن جمع می کند و خوردگی ایجاد

می کند. (عمده مشکل)

یک نوع خوردگی هیدروژنی است HIC. Hydrogen Induced cracking (ترک خوردگی تحت

تأثیر هیدروژن) این ترک خوردگی در اثر گاز H_2S است.



چون واکنش آنتروپی مثبت است و باید لیوان الکترود را جدا کند. سولفید آهن به دست می آید - هیدروژن

است - جذب هیدروژن را تسهیل می کند - هیدروژن به داخل فلز نفوذ می کند پس

ترکیبات (FeS) و (Fe_3S_4) بر روی فلز سم هستند.

ترکیب استوکیومتری است و آهن اضافی در شبکه فلز قرار نمی گیرد و اضافی در شبکه

$x=0.99$: کمی از Fe کم - جابجایی - خوردگی هیدروژن (بعضی از آن سوراخ می شود و نفوذ می کند)

H^{\ominus} ، FeS ، رانده می شود - از بزرگی شدن هیدروژن هیدروژن می شود - واکنش تسریع می کند.

H₂S میزان منبع هیدروژن ، 10 برابر ضد H₂ است . رنگ بقد هیدروژن کند - $H^+ + H^+ \rightarrow H_2$

چوبه H⁺ جذب کننده ، H₂ تولید نمیشود - (H₂S مؤثرتر از H⁺ در منابع هیدروژن است)

مخصوصاً این تجمع در فولاد (پایه میله) تحت هیدروژن بیشتر از سایر اجزا است . این پایه

SSC SEE هم نامیده: (Sulphide stress cracking) (یکای {HIC})

(رنگ سفید ناشی از سولفید ناشی از H₂S)

معموداً اکثر درهای ضد فشار در محیط دارنده H⁺ درجه فشارها را از جانب دریا به سمت

رطوبت را به بار آورده و انتخاب کرده است . پس اکثر درها با پیش آرمیتموند تا هیدروژن کمتر

آزاد شود . منظم جوشکاری آرمیتموند و ضد ریش ، بهر حال اثرات مثبت ، تحت هیدروژن

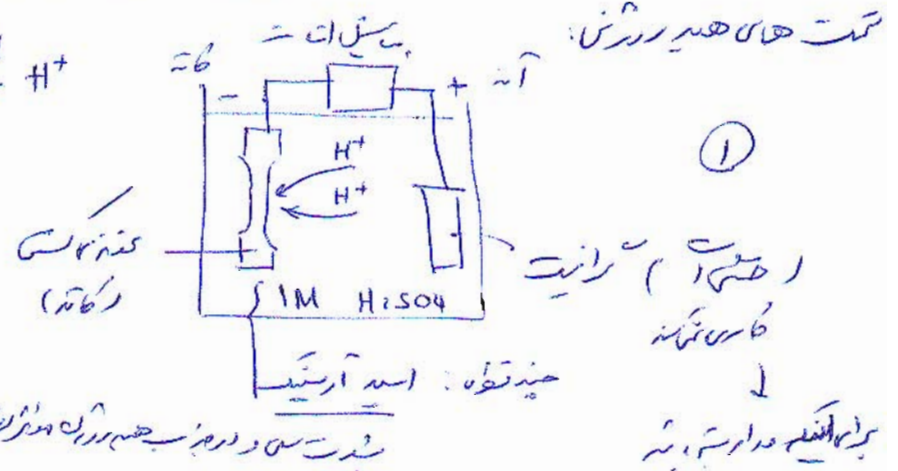
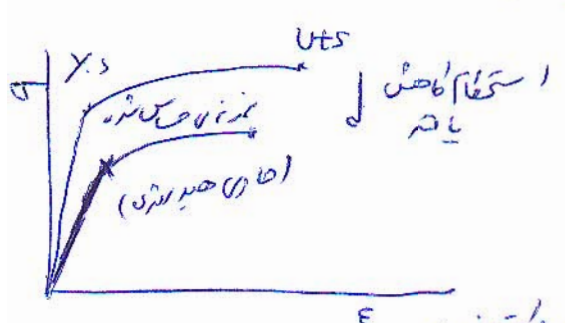
معموداً در حالت هیدروژن شده باشد . چوبه سستی به واسطه (قابلیت) آب بر خوردگی

حاصل است . فولاد آرسنیک آف ، در شرایط خاص موفق عمل کند . همین آب ، هیدروژن حاصل از

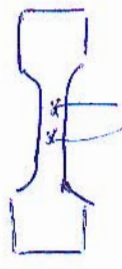
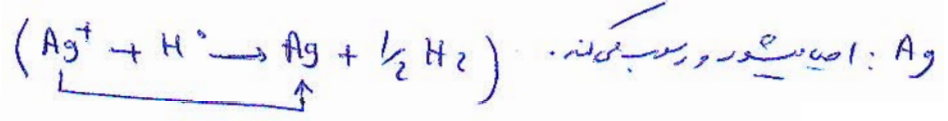
(در محیط غیر از H₂)

در محیط H₂S از فولاد نرم و کوه شده (بیرنگ) حاصل است .

تست های هیدروژن ریش: $H^+ \rightleftharpoons H^0$ - سدر: داخل تدر



سید: عمل (لاسیون) (برای ظهور)



در این منطقه هیدروژن زیاد آزاد می شود

منطقه ریش هیدروژن را قابل دیدن کرده ایم (ظهور)

(بقیه را می بینیم) یکای AgBr همراه از CuSO₄ استفاده کرد ...

(فصل 4، فونکشنل فرمات: آنتی کوروسیو)

تست های خوردگی:

1- تست کربن آزمون و شبیه سازی

خوردگی آتسنری

خوردگی آتسنری همگرا در بین آب آتسنری در

3.5% NaCl در حین آتسنری : 100hr

در دو آتسنری 35% و 35%

در واقع شرایط را خارج می کنند تا آتسنری در

در این تست به پایش محدودیت به سطح آن

(Salt spray)

تست نزدیکتر 200hr در دو آتسنری 35%

در دو آتسنری

تست های تبدیل یا رد محصولات مثل: HIC

پس از خوردگی، نمونه را از آن جدا می کنند

بعد از آنکه را بررسی می کنند. این قسم بهر تستها، فقط برای خوردگی است

2- تست کربن در مقیاس pilot plant

شرایط لیغ را همان تران و آتسنری - مقدار آن

آتسنری، یک محفظه کربن را در مقیاس

آتسنری در مقیاس آتسنری در مقیاس

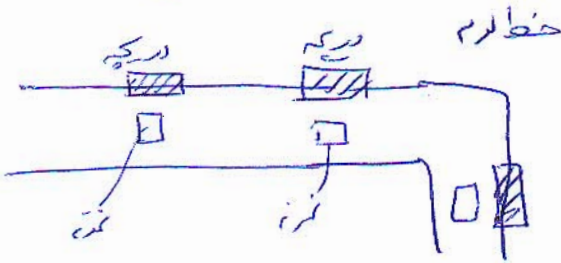
معیار تست کربن از نزدیک

(تقاطع و در کار آن - پایش)

بخش 1

3- تست های میدانی

در ابعاد است و آتسنری در



Corrosion protection

* روش های جلوگیری از خوردگی

واکنش کربن در آب و اکسیژن = خوردگی و آتسنری است. این کار را

سرعت خوردگی را کنترل می کنند و شیب آن را کاهش می دهند.

1- آتسنری - فاکتورهای خوردگی 2- آتسنری در مقیاس (آی) برون (سراسری) و آتسنری (ظرف، آتسنری)

روش‌های حفاظت:

۱- انتخاب فولاد: با توجه به محیط کار برداشته، انتخاب کنیم.

* محرک بزرگ زخم‌ها: به 500000 لیتری؛ لغت ساکن، وزن خیلی زیادی داریم، ارتفاع به قطر یک مایه دارد. تحمل فشار کم باید کافی باشد. از 304 نپسوان استفاده کرد چون زان می‌شود. به فولاد معمولی

* لوله‌ها انتقال نفت: تحت فشار 1-3 atm - در میان - هم وصله دارد - دما هم 60-70 درجه

در دهانه‌ها (جوش) جوشی که دما 200 درجه دارد. فولاد HSLA

* ظروف اسید سولفیک: با PH 2 تا 4 استفاده می‌شود. اسیدهای HCl و H2SO4

3XX درجه است. 5+ درجه است. فولاد 3XX با اسید دارد. فولاد 4XX درجه است. (فولاد) ضعیف‌تر است. Ni ندارد.

آیزن صاف با هم راحت تر می‌شود و خوردگی کمتر.

* به تیرین، سربالای نیکل یا کربن: ~~inckonel~~ 738

* آلیاژهای مختلف به نام خوردگی:

۱- فولادها زنگ‌زن ←

- a- فولادها زنگ‌زن کمترین (α) 4XX
- b- فولادها زنگ‌زن آستنی (δ) 3XX
- c- " " " (دو فاز) α+δ
- d- " " " (استنیت): (استنیت) 4XX

دماها بالاترند، دما هم وصله است و عناصری هستند که دماها می‌شود و خوردگی.

اسید نیتریک سراز 3XX درجه. قطعات تحت تنش (استنیت) فولاد معمولی، فولادها زنگ‌زن از زنگ‌زن تغیر کم کمتر می‌شود.

تر ۴ درجه سردکن، (δ) مارتنزیت است.

2- نیکل و آلیاژهای نیکل: در محیط گرم و دما ۴۰۰ - محیط‌های قلیایی LiOH, KOH, NaOH

3 - کاستلری : 60% Ni - 30% Mo
 6% Fe - 1% Mn
 مقادیر برابر لیخته ها
 حالت تک (CI)
 - کلاس AB, C : در همه موارد آلیاژها
 مقاوم بر اساس HCl - 5% N پاسوردها

4 - منیل (Monel) 70% Ni - 30% Cu
 مقاوم بر اساس HF که اکثر آلیاژها حساسند

3 x آلیاژهای Pb

مقاوم
 - اسید سولفوریک ، اسیدها آلیاژ کننده
 (PbO2) بسیار پاسور برای Pb (فشار آلیاژها)

ترشترین اسید 98% H2SO4 (اسید سولفوریک) - فولاد معمولی
 (مقاله) - به مقدار آلیاژها ، فولاد به درجه بندی - جادو کننده
 96% آلیاژها (مقاله آلیاژ) - فولاد معمولی - جادو کننده

اسیدهای معمولی در محیط
 هیچ تداوم ندارند

4 - آلیاژهای Al : بجز در درجه آلیاژ ، در محیط روغنی قابل استفاده نیستند . این کلاس (CI) بسیار رایج است

الزین مورد

5 - کاربردهای استنول : در درجه (سلیس آلیاژ می کنند) صفت از لحاظ فرسایش
 راندن از لحاظ خوردن

5 - آلیاژهای منگ : مواد آلیاژ : فولاد ، فولاد ، فولاد ، فولاد

صنایع فولاد ، پزشکی و بهرمانی . (پوشش منگ در منگ)

6 - آلیاژهای Ti : محیطهای آلیاژ کننده فولاد ، فولاد ، فولاد ، فولاد

در صنایع هوای فضا بخاطر سبکی است در سطح خوردن ندارد از سبب وجود درختن
 و سبکی در محیطهای آلیاژ کننده

7 - آلیاژهای Ni : با آلیاژهای فولاد (آلیاژهای فولاد) فولاد آلیاژ

8 - آلیاژهای Cr : مقاومت خوردن (" " ")

آکسید بیرونی
 لوله‌ها در وقت حتماً از آبی که در آن رسوبات FeO_4 تشکیل دهند. سرعت UF_6 یک ماده‌ای فوق‌العاده خرد شده است - UF_6 در UF_4 منجم است. هم‌آب‌زدایی در برابر UF_6 مقاومت ندارند. $UF_6 + UF_4$ آکسید بیرونی. UF_6 آبی در UF_6 حفرش را تحمل نمی‌کند - باقی‌مانده بار بیرونی است.

اول باید محیط برقرار کرد:
 اجداد کشته - آکسید کشته - رطوبت - خشک - آیزن‌ها در رطوبت

(2) تغییر شرایط محیطی:

باید بدانیم که میزان تغییرات در این موارد است:
 الف - درجه و دما: درجه‌های مختلف نیاز است تا در این مورد اطمینان حاصل شود.
 ب - تغییر سرعت سیال
 ج - کاهش آیزن و عوامل آلوده کننده
 د - حذف لایع
 ه - تغییر غلظت

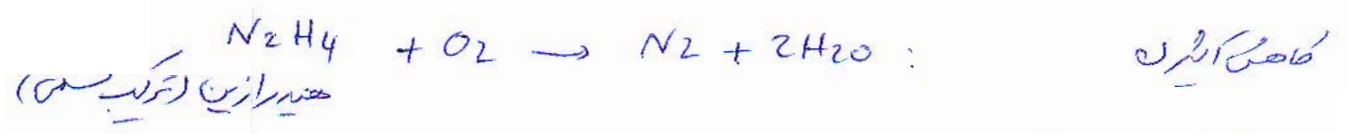
حذف آیزن: در این مورد fan استفاده می‌شود.

Fe^{3+} در رطوبت دائم (آکسید کشته) است. علت آن این است که H_2SO_4 در این حالت

25٪ مثل دایم - آزا 10٪ می‌کند. در این مورد در این مورد - آیزن را حذف

می‌کنیم. (اینجا هم به طریقی ربط دارند)

سرعت سیال در این آیزن در شبکه‌های بیرونی که در این جا باقی‌مانده است



در سیکل کاتدی است، شبکه‌های آیزن در سیکل با آن ترکیب کرده می‌شود.



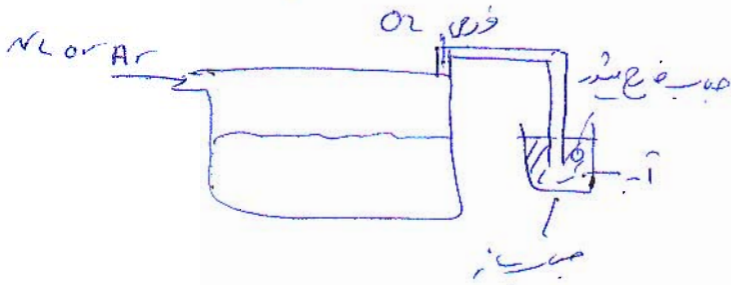
کمیته‌ای که در این آیزن در این هیدرازین از سولفید هم می‌تواند است.

گازات = Ar و N₂ (N₂ و O₂ ہلکے گور) . خلیہ پائین ایئر میسرور

$P_{O_2} = 1 \text{ atm} \rightarrow P_{O_2} = 0.2 \text{ atm}$

آئر نیٹروژن و آرگن پریسچر، $P = 0.1 \text{ atm}$ ہوا $\leftarrow P_{O_2} = 0.02 \text{ atm}$

(خلیہ 10^4 ات . خلیہ شہریت)



کارن صابہ ہا ریح ہو گیا
 ← نچ فرج آئرن ہوتے تھے

Ar, N₂ دار سہہ ← ہوا کا پھیلاؤ در - تہہ اس سیم خلیہ 10^4 ات در سہہ

خلیہ پریسچر: $10^{-6} - 10^{-9}$ خلیہ N₂: $10^{-4} - 10^{-6}$

در سہہ ہا بچار با این پریسچر، آئرن نراں ہا کینے
 * لیسع عالی صوری سہہ اندہ ← ہلکے ہا کینے

(3) ممانعت کنندہ ہا : Inhibitor

بعض آئرن کات ممانعت کنندہ ہا آئن و کات در سطح صوری ہا ممانعت کنندہ ہا آئرن کات

Complex مٹر (نیٹانہ آئن کہ در سطح صوری ہا ممانعت کنندہ ہا آئرن کات) لیسع آئرن کات



در سطح آئن و آئن (در سطح) چوب کینے ← ممانعت کنندہ ہا آئرن کات : ممانعت کنندہ ہا آئرن کات

برقی قطعات کہ در سطح، سطح آئن، چوب کینے ← ممانعت کنندہ ہا آئرن کات . رطوبت زرا ہا ہا در سطح در سطح
 ممانعت کنندہ ہا آئرن کات : رطوبت زرا ہا ہا در سطح در سطح }
 ممانعت کنندہ ہا آئرن کات : رطوبت زرا ہا ہا در سطح در سطح

حجم محلول زینکات - به مقدار کافی بافت کوره نرسیم. در محلول مشترک هیدروکسید $\frac{92}{100} - 0.1$

محیط آب : مس (Cu) در آب - نرسیم : بافت کوره هیدروکسید هیدروکسید محلول ها
نرسیم آب - مرکبات هیدروکسید آب

محیط نرسیم : بافت کوره هیدروکسید نرسیم. بافت کوره هیدروکسید نرسیم آب

اجزای مختلف نرسیم. در آب - آب هیدروکسید نرسیم نرسیم SO_4^{2-} ، Cl^-

نرسیم هیدروکسید نرسیم نرسیم : H_2S ، هیدروکسید نرسیم ، Cl^- ، هیدروکسید SO_4^{2-}

هیدروکسید pitting ... بافت کوره هیدروکسید نرسیم بافت کوره هیدروکسید

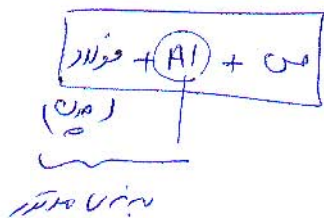
در هیدروکسید نرسیم نرسیم نرسیم نرسیم

علاوه بر این آب نرسیم نرسیم : هیدروکسید

نرسیم بافت کوره آب - نرسیم نرسیم نرسیم :

آب نرسیم + نرسیم (آب نرسیم) (آب نرسیم) 4 نرسیم نرسیم

در 4 نرسیم - نرسیم نرسیم + بافت کوره



با هیدروکسید بافت کوره نرسیم :

Cu : نرسیم آب

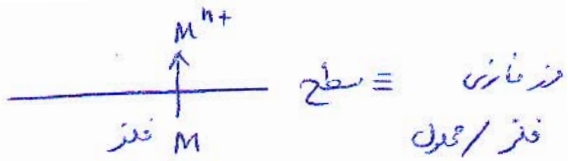
Al : نرسیم

Fe : نرسیم



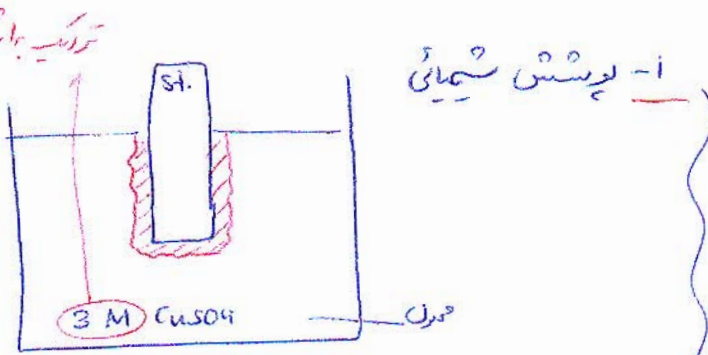
روش‌های پوشش دهی: (روش‌های شیمیایی)

در فرسایش فلزها جدول خوردگی اساسی استفاده می‌شود.



با Coating جرمی $M \rightarrow M^{2+}$ در سطح گرفته می‌شود.

انواع پوشش‌ها: فلزی، پلیمری، سرامیکی



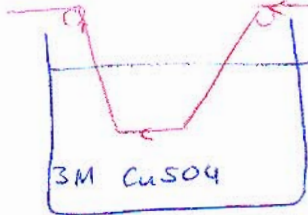
در سطح فولاد امپان می‌شود. در هر سطح فلز

با تنظیم این نسبت‌ها میزان پوشش آنها را می‌توان کنترل کرد.

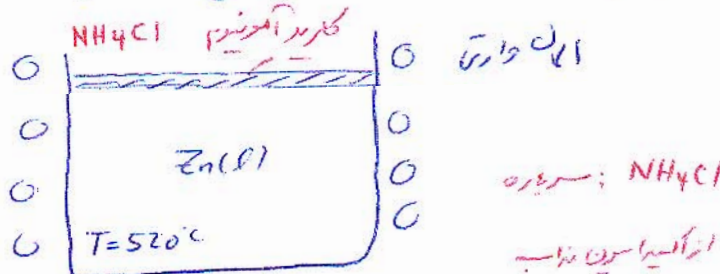
- الف - غلظت کاتیون فلز پوشش
- ب - اسیدیته محلول (PH)
- ج - دما و حرکت
- د - آلودگی‌ها

مثال: پوشش دهی سیم‌های نازک فولادی

سیم جوش، نرزه‌ها...

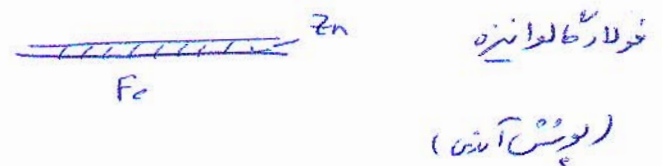
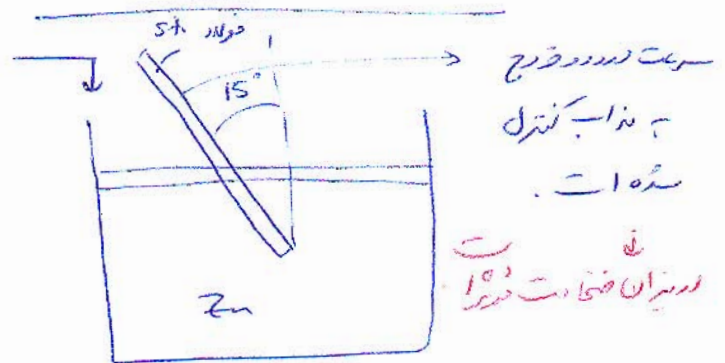


2- پوشش دهی غوطه‌وری داغ (Hot dip)



Zn مذاب: دما 480°C

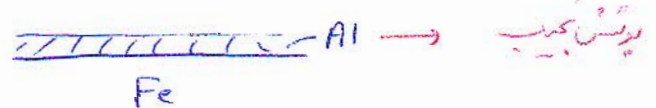
رنگ است در این جا سرخ و در جاهای دیگر خالص فلز هم استفاده می‌شود



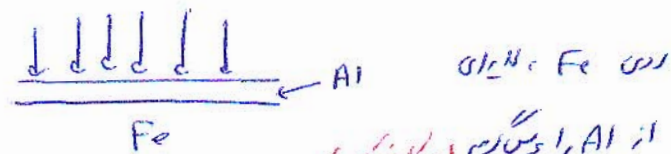
آلیاژ Zn, Al و غیره: T > 720°C

آلیاژ آلومینیوم-نیکل

فلزات Cd, Sn, Ag, Au هم می‌توانند باشند.



3- روکش کاری (cladding)



از Al و این گرم (مکانیکی)

کیم در جوش نقطه ای به هم می‌زنند. فلزات Al, Ni, Cu

در این حالت صورت پوشش بصورت لایه نازک است و با ابعاد بسیار کوچک و بالا لایه در سطح نشینند و در آن

تغذیه هم می کنند. پوشش در این حالت متراکم فولاد 304 (st. st) باشد. شکل آن در جاهای

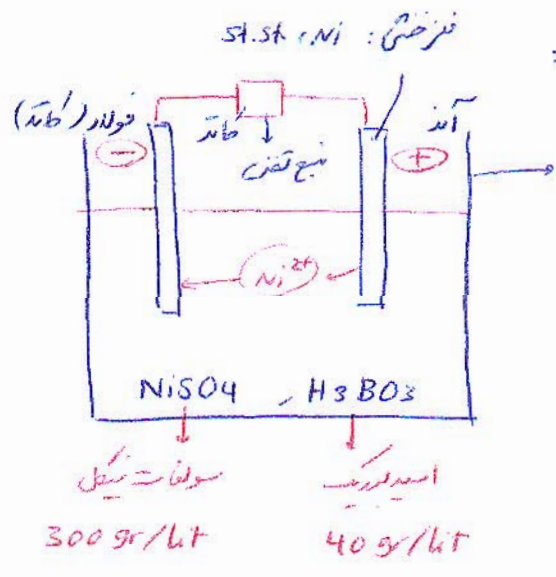


که مقطعی آن رو بر وجهیم:

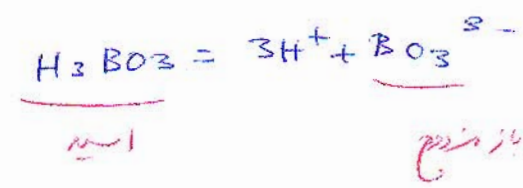
پوشش ازین هم رود که زنگ می خیزد.

بعضا پوشش استیل، پویش و کلاً اتصالات، پوشش ازین هم رود و با پوشش در این پوشش (لاکه) شود.

4- پوشش آنتروپاتی (آلیکاری) - پوشش آنتروپاتی



اسید بوریک یک بافر کننده تنظیم PH



PH* از 4.5 رود که فولاد رو بپوشد (بهرت اسید 100 میلی لیتر) این اسید بوریک PH

بین 3 ± 0.5 تنظیم می شود.

فرزخشی یا از جنس مادر است که در خواص هم تولید کنیم و یا فرزخشی است که تأثیری ندارد در اکسیدها پوشش از آن

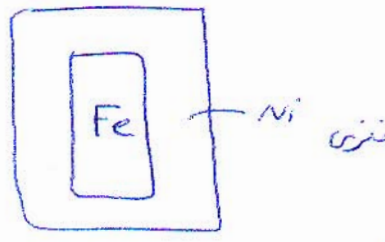
آرخند Ni باشد. پوشش در هر کسک می کشد. چون Ni²⁺ وارد محلول می کشد. Ni²⁺ روی کاتد

اصلاً می شود که در سطح نشینند. اوقات با سرعت آلیکاری را با هم برود که کیفیت کمتر

در آلیکاری به منبع بیانیسی نیاز داریم. (منبع تغذیه: E) رایجاً E = 10 Volt DC

مبیت روشی که در آن هم به است.

پوشش نیکل در برآی



تحصیل:

این روش خیلی از فرزات را هم توان بعد از پوشش

تغیر نمی کند = بعد از پوشش:

بکار برود. از Zn این روش پوشش باشد: گالوانیزه سرد

Sn - Zn - Cd - Ag - Au

در آن در دست خورده

Al - Pb - Cr - Ni

پوشش برآورد آلیاژ استیل: $Fe-Cr-Ni$, $Fe-Cr$ ← st. st.

$Fe-W$, $Fe-Mo$, $Ni-Mo$.

$Zn-Fe$, $Zn-Ni$, $Zn-Co$

پوشش های درخشان، چینی برآورد $(\bar{200})$ ، سبز $(\bar{30})$

$A-B \rightarrow \bar{200}$

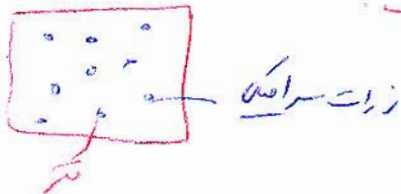
$A-B-C \rightarrow \bar{350}$

$A-B-C-D$: آلیاژ ها

پوشش های درخشان آلیاژ در فولاد استیل:

پوشش های کامپوزیت: $Co-SiC$, $Ni-Al_2O_3$, $Ni-B_4C$, $Ni-SiC$

آلیاژ فلزی در پوشش سرامیکی. پوشش بصورت ذرات است.



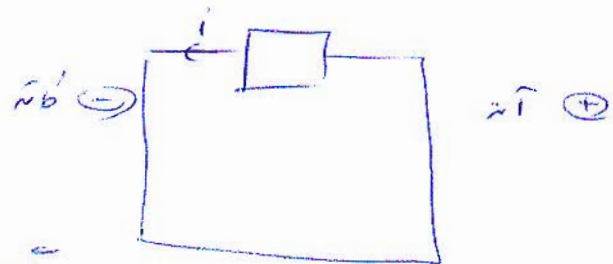
پوشش های چغاری: $Ni-WC$

کاربرد صنعتی: فولاد استیل

استاندارد این روش صنایع گوناگون: ϵ تبدیل
 در این روش یک مدار داریم. i : دانسته می‌شود

$$\epsilon = RI$$

$$R = \text{مقاومت اتصال} + \text{مقاومت مدل}$$



(پوشش نانو متری)

5- پوشش آلترولس (پودر جوین) در مقابل جوین بود.

ترانیا 1- فصل سازی سطح 2- جذب کیلا این هادی میانی 3- آلیاژ آلترولس

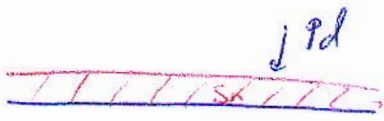
پوشش دومی بر روی پهنیها و سه اشکها. (هم غیر هادی را حذف کنیم) (سطح 1) به آلیاژ

① فصل سازی سطح: پوشش آلترولس نیکی این به هر طرف کفره تبلیغ انجام می‌گیرد.

در این روش Sn در سطح قرار می‌گیرد.

۱۰ تا ۳۰ نانومتر آبی (۱-۳ nm) Pd روی سطح خوب شود. سطح حاد است.

آبکاری Ni در آن انجام می‌دهیم. اول ۵ تا ۱۰ میکرومتر Pd. Pd خنثی می‌شود.



این جریان داریم - آنتروپس

پلیم Pd جانشین سطح می‌شود. Ni روی Pd می‌نشیند.

۳ فلج کاتینا پایداری در آن Ni در آن است. سطح حاد است.

پوشش‌ها کاتلیز:

روی سطح فلز شده کاتلیز. کاتلیز است آرسین مورد (خوردن سوراخ) - در برابر آرسین

پلیمرها کاربرد در سطح دارند. (در آن Ni) در آن می‌شود و پایداری.

در سطح Indoor (پلی استر) در آن است. پایداری بین پلیمرها در سطح ۱۰.۷

خوردن شده می‌شود. (پس زمان باقی ماندن را ششم نیست)

این پوشش پلیمری در آن است: lining و linking می‌شود. PE, PVC, BS

در واقع تکنولوژی هم این است. lining است. هم برای این‌ها است. زنگ پوشش

خوردن در سطح است. در سطح خوردن است. زنگ نداریم بلکه پوشش پلیمری داریم از جنس

PU (پول یورتان) است. PU است که آرسین است. زنگ پلیمرها دارند.

با اعمال فشار کم می‌توان این‌ها را در آن قرار داد. در آن‌ها، فلج‌ها این نوع پوشش در آن است. لوله‌ها، غار کاتلیز

پوشش‌ها کاتلیز:

پایداری شیمیایی در آن و در واقع در آن است که پایداری دارند. در آن است که خوردن می‌شود.

مثلاً: SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 اکسیدها کاتلیز است.

پوشش‌ها کاتلیز: cement coating: سطح فلزها کاتلیزها.

پوشش های آکسید

در پردازش های پاشش آن : MgO

پوشش های سخت : TiN یا TiC

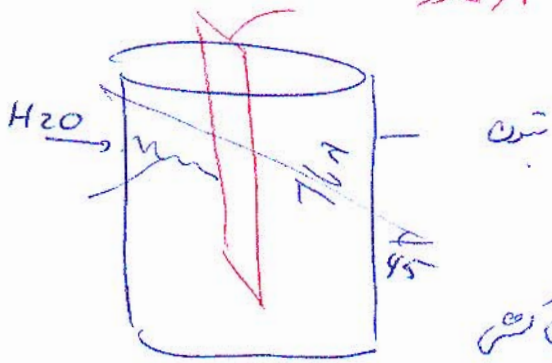
برای فولادهای ابزار ، پاشش
سرسیندر اثر حصول

تیر : Ti زرد زرد
کابرد : Ti خاکستری

این هم پوشش سرامیکی آنه .

سرامیکها مثل بتون یک لایه آن دارند : برخی سرامیکها جابجایی بر طبق این : رایج ترین شکل است مثل بتون

بتون عموماً ۱۰٪ : فولاد ۱۰۱۰ : آرماتور ۳۷



H_2O به فولادی رسند : اکسیدها



تسلیخ آنه ← ۱۲-۷ برابر از آن حجم ← سس گستر

آب به ← بتون سس بیجا در فولاد ۴۵ در بتون سس در فولاد ۳۷ ← شکست در فولاد بتون

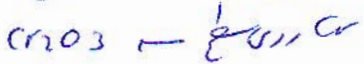
حفاظت بتون : پوشش آرماتورها مثل چاهت گتته ، پاشش روی آن

گاهی نفوذ بتون مثل ذرات میکروسکوپیک بتون سس در فولاد و الکترون پاشش

این ۲۲

سرامیک سنگ و استراحتی نمیکنند

۴ - پوشش های نشوون : کاربرد : (ماهای بالا : روی سطح یک خوبه قابلیت وصل با لایه وارند هم)



یک جبهه راد اقل فلز نشوون ، نفوذ هم : نفوذ فلزات در فلز نشوون : Al روی سطح Al_2O_3



پوشش نیکل

می خواهم یک عطر در روی سطح نشوون هم (آب و گاز هم)

- بازاری که کروم پاشش

Al_2O_3 در ۵۰۰ درجه سانتیگراد

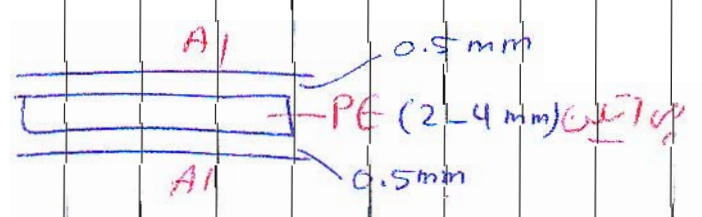
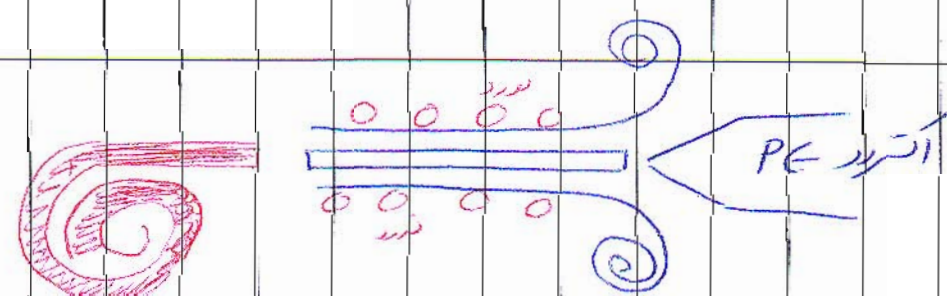
کاملاً نشوون : قابلیت
شدن آن در آب

پوشش های فلزات Cr → Al → Cr نشوون نشوون Al

پوشش های فلزات Al نشوون : سرامیک نشوون : پوشش Al در زمینه های مختلف + عالی فعال لایه : پوشش



لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

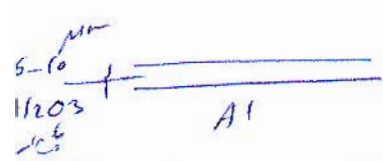
تاریخ	شماره سفارش یا فاکتور	رسید انبار	قرارداد	شماره پرسشی	شرح	نام ویز حساب	شماره حساب
					<p>P(6) 1 Lining Al-clad</p> 		
							
					<p>سین آل و PE حساب پیوسته PE حساب پیوسته</p>		
					<p>حساب پیوسته حساب PVC</p>		
					<p>آب سرد و آب گرم 5 mm - حساب پیوسته حساب</p>		
					<p>آب سرد آل حساب پیوسته حساب 50</p>		
					<p>finish</p>		

۸۹/۹/۲۰

آندازینگ

پوشش اکسید آلومینا: برعکس روش های قبلی است که سطح را پاک می کنیم. فنر در این حالت به این قابلیت براداش

بازگردد در اثر اکسید شدن NH_4OH یا پیدایش لایه های محافظت رادارند: Ti, Al



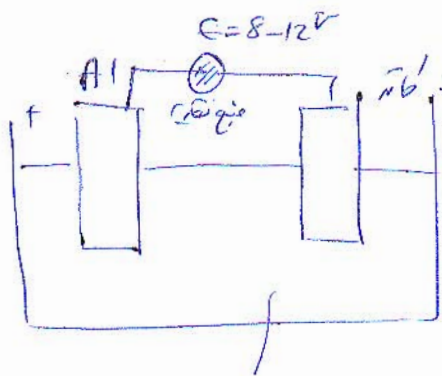
Al راندرها کنیم، خوردش Al_2O_3 شکل می دهد (لاایه محافظت)

چون $1-2 nm$ است. راندرها پدید می آید، از این جهت $6-10 \mu m$ تا در لایه آنتی فیلد پدیدار شود در زیر

پوشش ندرها می تواند این پوشش را $50-100$ یا پیدایش لایه های محافظت راندرها پدیدار شود

pitting NH_4OH می شود که آن هم حفره ها خرد و وسیع می آید

برای آندازینگ



منبع تغذیه
تا در راندر
آنتی فیلد

چون پسیلین $Alc st. st.$



barrier layer: لایه محافظت راندرها

حفرات شش ضلعی از روی سطح می آید

آنتی فیلد: محلول H_2SO_4 (اسید آلومینیک است نه)

این NH_4OH می شود که لایه های مختلف است - از رویه خوردش راندرها لایه های نازکی اصل مقادیر راندرها می دهد

این حفرات راندرها کنیم (سیل کردن حفرات با صوم، واکس، ترکیبات گرداننده، در آب جوش در این صوم)

محلول های $Al(OH)_3$ پر می شود. اندازه های حفرات راندرها می شود.

این $3 nm$ پر می شود. اما لایه های NH_4OH می شود خوردش شکل می شود. لایه های محافظت راندرها

الیه نسبتاً عالی است (نیمه هادی) با دوپینگ کردن هدایت آن NH_4OH در حین Al خوردش، منبع

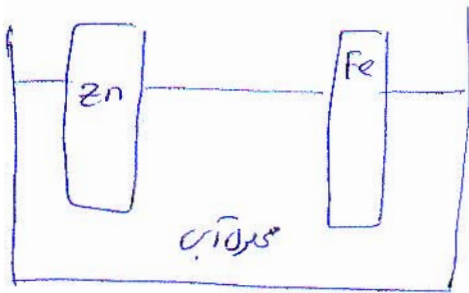
پایستی بسته است - اما لایه های محافظت راندرها است - گرم می شود. برای NH_4OH ترک آید می شود (میگردد ترک)

به چون از ترک میزاید می شود. این حفره شکل می شود. بارش لایه های راندرها این حفرات هم راندرها می شود.

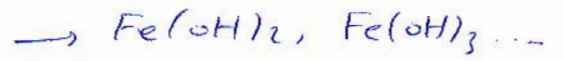
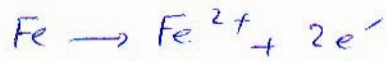
تا این که حفاظت بعدی شکل می شود.

* حفاظت کاتدی: Cathodic protection

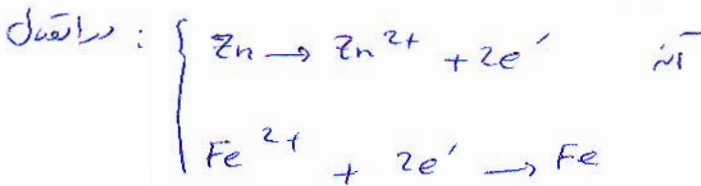
به کشته آهن در محلول Mg و کل که در این میان فاصله کم می شود (خوردن بیشتر)



آهن در محلول آهن دریم: (یعنی در این محلول)



آهن در محلول خورد:



این آهن در محلول خورد.

آهن حفاظت می شود.

Sacrificial anode

در این حالت اتصال

استقرار آن ها

۴-۵-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴-۲۵-۲۶-۲۷-۲۸-۲۹-۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸-۳۹-۴۰-۴۱-۴۲-۴۳-۴۴-۴۵-۴۶-۴۷-۴۸-۴۹-۵۰-۵۱-۵۲-۵۳-۵۴-۵۵-۵۶-۵۷-۵۸-۵۹-۶۰-۶۱-۶۲-۶۳-۶۴-۶۵-۶۶-۶۷-۶۸-۶۹-۷۰-۷۱-۷۲-۷۳-۷۴-۷۵-۷۶-۷۷-۷۸-۷۹-۸۰-۸۱-۸۲-۸۳-۸۴-۸۵-۸۶-۸۷-۸۸-۸۹-۹۰-۹۱-۹۲-۹۳-۹۴-۹۵-۹۶-۹۷-۹۸-۹۹-۱۰۰

۵- پتانسیل در جیول حفاظت

۲- سطح آهن در دریا

۴-۵-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴-۲۵-۲۶-۲۷-۲۸-۲۹-۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸-۳۹-۴۰-۴۱-۴۲-۴۳-۴۴-۴۵-۴۶-۴۷-۴۸-۴۹-۵۰-۵۱-۵۲-۵۳-۵۴-۵۵-۵۶-۵۷-۵۸-۵۹-۶۰-۶۱-۶۲-۶۳-۶۴-۶۵-۶۶-۶۷-۶۸-۶۹-۷۰-۷۱-۷۲-۷۳-۷۴-۷۵-۷۶-۷۷-۷۸-۷۹-۸۰-۸۱-۸۲-۸۳-۸۴-۸۵-۸۶-۸۷-۸۸-۸۹-۹۰-۹۱-۹۲-۹۳-۹۴-۹۵-۹۶-۹۷-۹۸-۹۹-۱۰۰

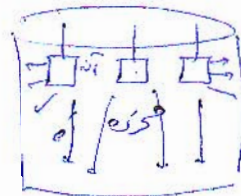
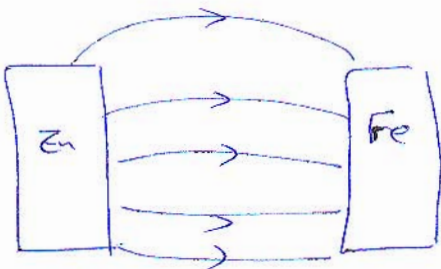
۶- نوع سازه (هولارک، Al، برون، محلول، ...)

۱- نوع آن ها

۷- محیط خوردگی (اسید، باز، دهن، آب)

اسکن: Zn، آهن خوردگی می کند - آهن در محلول آهن در محلول خوردگی می شود.

آن در آن خوردگی می شود. در این مدار با این کار می شود که آهن از خوردگی Fe در آن دور شود.



این آهن در محلول خوردگی می کند. در این مدار با این کار می شود که آهن از خوردگی Fe در آن دور شود.

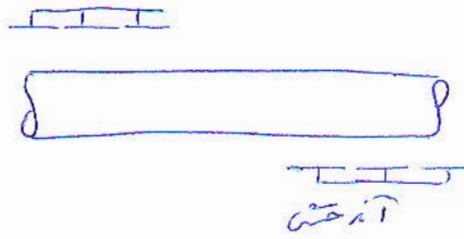


این در محلول خوردگی می شود. این آهن در محلول خوردگی می شود.

این فاصله بین آهن ها هم مهم می شود.

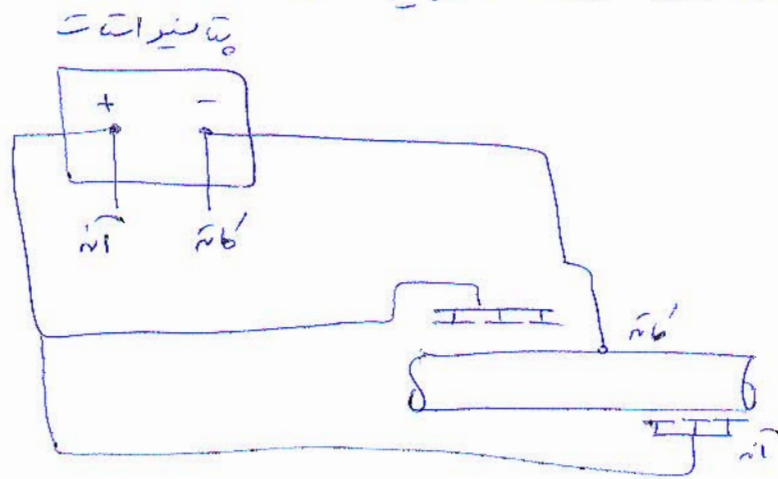
در هر دو آهن ها چه فاصله ای داشته باشد و فاصله بین آن ها چه قدر باشد؟

- انواع حفاظت کاتدی
- ۱- آند فدا شوند (Mg, Al, Zn) (.....)
 - ۲- روش اعمال جریان : applied current



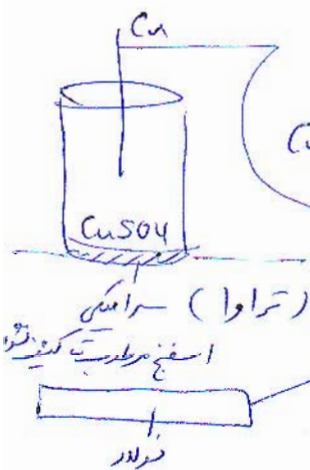
فولاد زینک → آندها MMO آند گالنیست فکوره نمی رود.

این آندها با این هم روزمان شکسته شوند و با این جریان را خوبی عبور دهند. ممی اطرافشان هدایت خوبی داشته باشد و هم چنین در اثر تصادم کانزرها سطحش، تخریب شوند.



بین مقدار منبع تغذیه می داریم. خطوط فشارها در حالت رگن چاره ها رکل برق هم داریم. کیت ترانس هم می داریم (ترانسفورماتور)

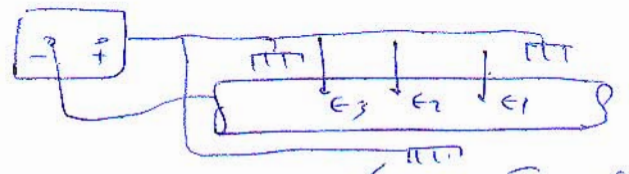
جریان شهری تبدیل به DC می شود. پتانسیل است (پتانسیل است به سیفوری)



فولاد در خاک : $E = -0.6V$ نسبت به اکترو درج Cu/CuSO4

مثل PH رستن. ولتاژ مستر $E = -0.6V$ نسبت به این اکترو

این پتانسی در اثر حفاظت باید $E = -0.950V$ برسد پس اگر پتانسیل مستر



این ها فولاد باید از 0.95 پتانسیل در 1.2 فولاد و فولاد باید از 1.2 فولاد اشکال دیگر در 1.2 فولاد

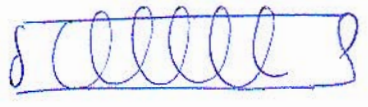
در تابلوهای بیسی از حد منفرض $\epsilon = -1.6$ (۱۶) . ادلا اقتصادری نسبت .

میل بیسی که ریکه ساقون تیراهن ۱۲ کازرات سه تیراهن ۲۶ استاده کونج .

در اینصورت اینکسور over protection داریم .

$\epsilon = 0.2 + 2H_{20} + 4e' = 40H^{-}$: ϵ در سطح عمیق

از حین بقایه $5H^{-}$ اینا برسیور .

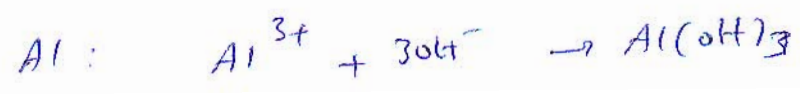


روی لوله ها ، نوارهای لاستیکی کشنده ، در وقت (مقاومت با بارگیری)

حین باربرد (over protection) چون مقادیر سن کازراتیم سه ایی برسیور ها را

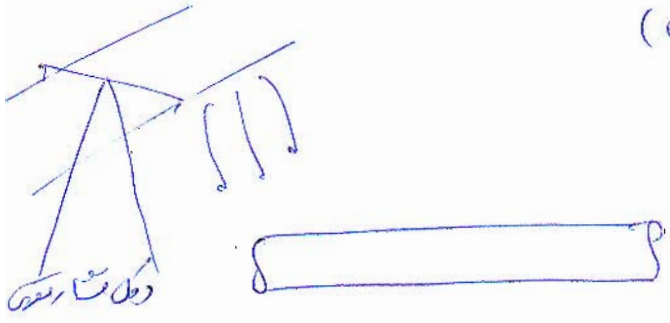
ازین صوابد .

برای غرآهنها میل Al ، آرزو قده زیند ← برسیور ها را ازین لوبند ← صده کانه (کانه)



فشل دم : stray current (جوان سترران)

در شب جوان اگر تیر عم داریم .

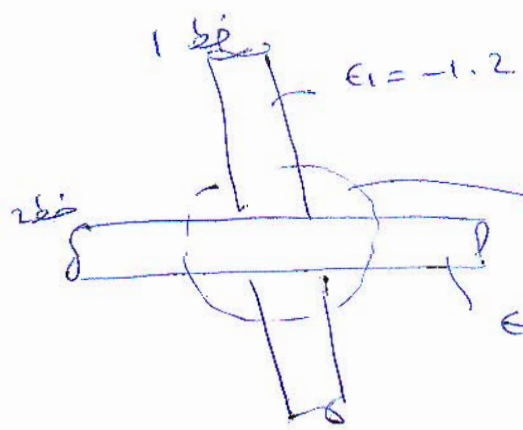


دکل های شارموی ، جوان ها سترران ایی می کنه .

سه بابه در فواصل درونی ایی لوله ها در تیرنه هم چنین مناطق مکنه .

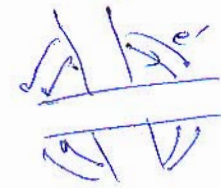
بدر از دکل ها :

در خط لوله که یکی از تیر تیرنه عبور می کنه .



از خط ۱ جوان خط ۲

وارد میور (جوان اضامن)



در واقع جوان اضامن ایی ک

از خط ۱ جوان وارد میور و از خط ۲ این جوان

بجای وارد میور سه غنسه سه از خط ۱ .

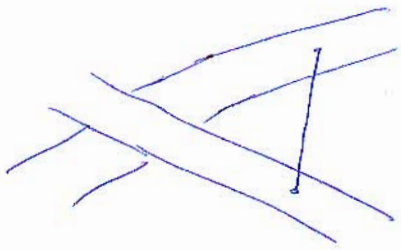
over protecta و از خط ۰ ، فینده بار .

سین خطوط مقاطع مطرب نیت

راه حل : (برای خطوط مقاطع)

۱- در طراحی فواصل رعایت شود. در خاک مرزانی ناصح : 6m

۲- القاد در خط . اگر به هم این رفته به هم وصل شود ، چون در مقطع توزیع



نیست . این سرد میزها است

و هم در مجسمه حاضر ، این نیست ←

(چون ما از طرف می گوییم)

۳- عایق کاری : (Shield) مثل سپر پلیمری ، سپر بتونی (بتون پر پلیسین نه ممبر)

میں دولوله این عایق ها را قرار می دهند . میگرد پلیسین مقادیر بتون را بیشتر به بالا می برد .

سین روشی دارد که برای اول باید به پلیسی را کم کرد ، overprotected و سبب میاید

مقایسه در روش حفاظت :

روش فدا ستونه	چون اعمال
آسان است	معمولاً
تهدیدها را تمام نمی راند	تهدیدها را تمام نمی راند
در محیطی مقادیر کم به عمل اعمال	در تمام محیط ها
حزین تر ناصب اولی کم	حزین تر ناصب اولی کم

عین آنها که فدا ستونه :

مغزین آنها	Mg	Fe
مغزین آنها	2.1	0.44
	Δ 1.8	

برای خاک Mg مناسب است . هر چه خاک مقادیر از آن کم
شود ، به پلیسی تیره تا چون از آن عبور کند به پلیسی
کمتر می رسد .

-T ₁	Al
	-1.2
	Zn
	-0.76

AZ 63 : Mg - 6% Al - 3% Zn

آنها نه خیلی سریع و نه خیلی کند باید

هندسه شود . میں به سرعت انکسار آنها ، اینتیم پیگ

سرعت انشود (kg/Amp.year)

Mg	Al 7.5-8	:	AZ63	هندسی استریات کجمن کف ریزه
Al	3-2	←	Al-Zn-Hg	
	5-2	←	Al-Zn-In	
	8-9	←	Al-Zn-Sn	
Zn	10.5		Zn-In	

آنه ها که مورد استفاده:

* دین پیلین : 14٪ سلیس دار

Fe - 0.95٪ C - 14.5٪ Si

تعداد شکنده و مقاومت
فردین منته به

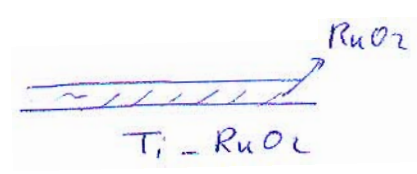
سلیس در سطح را با سوسونه

* مدار رانیت : جی ها در است

* طاق ها در سلیس

* Pb : آنه منی فیلد
(آنچه 6٪ Pb)

* St. St. : آنه ران تر است



* مقاوم تر آنه در grade MMO

14, 9, 25

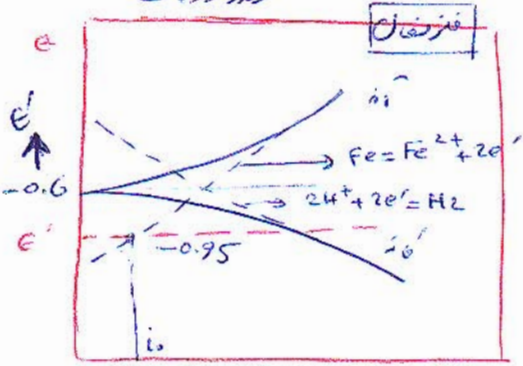
P(1)

anodic protection

حفاظت آنودی

حوردی

نولاد دریاک



حفاظت کاتدی

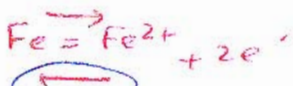


نولاد دریاک

$E_{protection} \leq E'$

معیار تعیین

پتانسیل تقویری (فولاد)



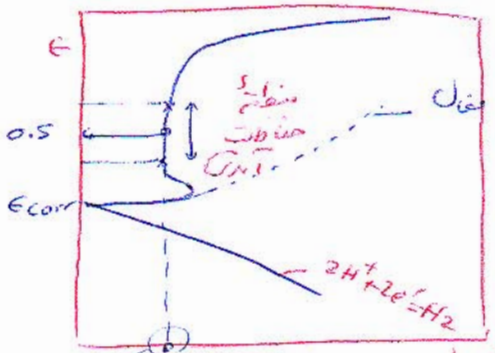
مناسبت

و نولاد دریاک تقویری (0.95) بر

دارد این در حقیقت تقویری

over protection

St. St. : آنزفولاد



حفاظت آنودی

فولاد فعال به طور کلی حفاظت آنودی نمیخورد اما حفاظت کاتدی میخورد. جریان آنزفولاد آن را از این جهت میخورد.

بین منطقه critical و Transpassive، منطقه حفاظت آنودی در نظر میگیرند.

$i_{pass} < 1 \mu A/cm^2$ (C.R Impy) ≤ 0.5 mpy

جریان پاسیو آنجا که میتواند باشد کمتر است.

بین حفاظت آنودی در صورتیکه $i_{pass} < 1 \mu A/cm^2$

در صورت حفاظت آنودی به تشکیل passive کمک کرده ایم.

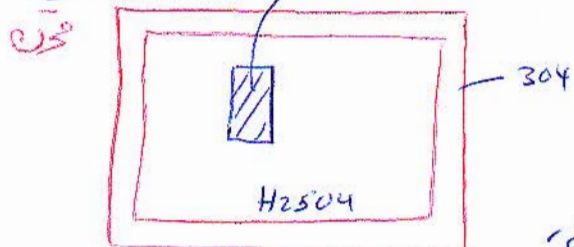
به حفاظت در نظر برسد.

آلیاژها: Fe-Cr | Ni, Ti, V, Mo

آلیاژها: Ni-Cr, Co-Cr و آلیاژها Ti

$i_{pass} < 1 \mu A/cm^2$ که این است

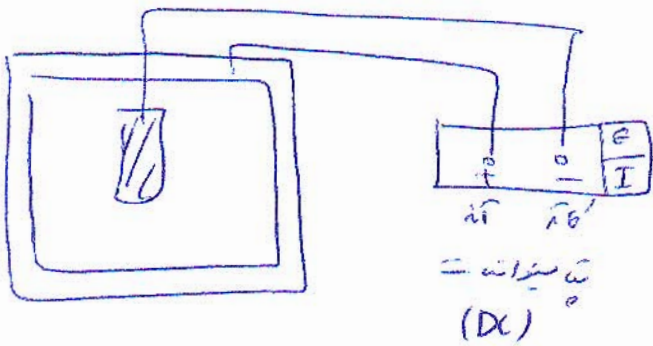
حفاظت کاتدی: در این سیستم برعکس است.



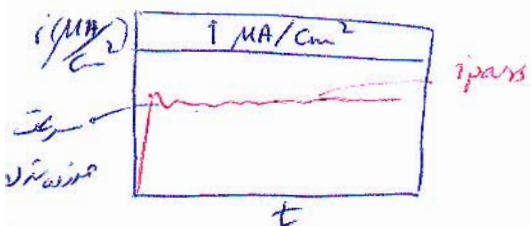
در حفاظت کاتدی، آنزفولاد سیستم برعکس است.

در آنزفولاد سیستم، آنزفولاد سیستم است.

P(2)



اندرون قلمی در فاصدها که یک تایموتانه میخوانیم
 0.5 (V) . تایموتانه این تایموتانه
 رادرس 0.5 (m) تنظیم کنیم ← خود کرد
 جریان را تنظیم می کند.



← ولتاژ را اعمال ← جریان بر خود آند است گذارد.
 برای جریان ، ipass است

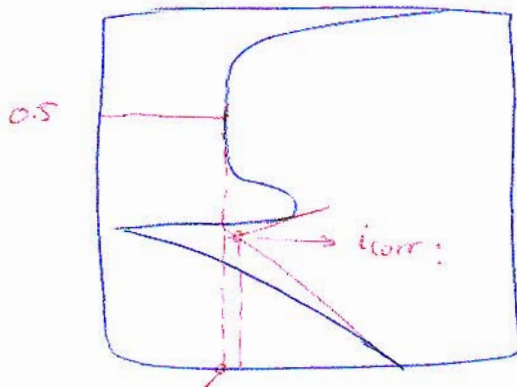
در رواج میزان خوردگی آند را از قبل بدانیم . در رواج خوردگی می توانیم جریان
 خوردگی را داریم . (Monitoring) این خوردگی که کیفیت است در صافت در زیر است.



توانی جریان کثیف شده و از این است:

مده است . برای خوردگی ، گفته شده $i_{pass} = i_{corr}$ (جریان پاسیو = جریان خوردگی)

در حفاظت میگردیم:



$i_{corr} = 50 \text{ mpy}$

$i_{corr} = i_{passive}$ ، حفاظت است : $i_{corr} = 0.5 \text{ mpy}$

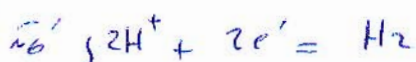
بدون حفاظت حسابیت pit و خوردگی هم داریم

با حفاظت آند ، حسابیت pit و خوردگی کم می شود

* ترمودینامیک خوردگی :

$$M \rightarrow M^{2+} + 2e^-$$

$$E_a = E_a^\circ - \frac{0.059}{2} \log [M^{2+}]$$



$$E_c = E_c^\circ - \frac{0.059}{2} \log \left(\frac{P_{H_2}}{[H^+]^2} \right)$$

(نویس) : تایموتانه های تاندر - ترمودینامیک

در حفاظت کاتود تایموتانه را E_a کم کنیم ، $M \rightarrow M^{2+} + 2e^-$ موزر

$$E_{cell} = E_c - E_a \quad \text{در} \quad E_{cell} > 0$$

خود را میانی

یعنی M خوردگی می شود و H^+ ایا می شود .

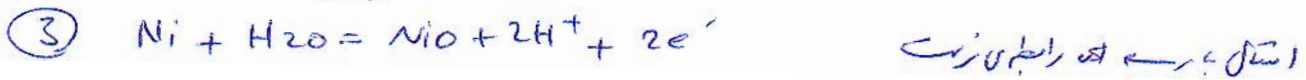
در حفاظت کاتود تایموتانه را برای است که $E_{cell} < 0$ شود . تا قند خوردگی نشود

→ $z\text{pH} = -\log K - \log [\text{Ni}^{2+}]$: یک خط عمود بر خط صفر

عقله های کمتر $[\text{Ni}^{2+}]$: pH بیشتر

همه E بیشترند ← Ni^{2+} در مقدار است. در رانج منطقه با پایداری کم یک پیک است

اکسید



$$E_{\text{Ni}/\text{NiO}} = -E^\circ_{\text{Ni}/\text{NiO}} - \frac{0.059}{2} \log \frac{[\text{H}^+]^2}{1 \times 1}$$

$$E_{\text{Ni}/\text{NiO}} = -E^\circ_{\text{Ni}/\text{NiO}} - 0.03 \log [\text{H}^+]^2$$

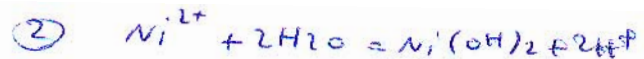
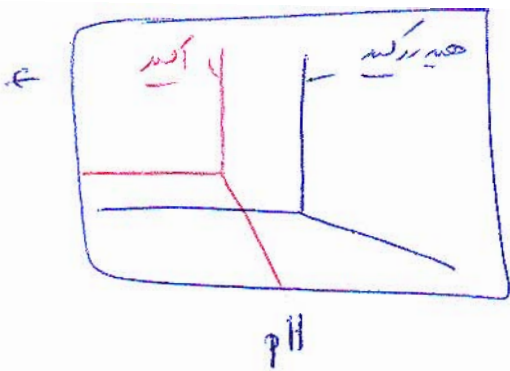
→ $E_{\text{Ni}/\text{NiO}} = -E^\circ_{\text{Ni}/\text{NiO}} - 0.059 \log [\text{H}^+] = -E^\circ_{\text{Ni}/\text{NiO}} + 0.059 \text{pH}$

$E = E^\circ - 0.059 \text{pH}$ در سمت راست

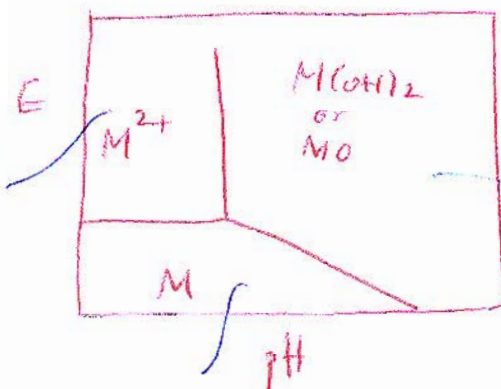
سپس ثابت برای هر قتری این را در استال بنویسیم.

همه تران یکجا اکسید از هیدروکسید استفاده کرد: NiO و $\text{Ni}(\text{OH})_2$ داشته نام رسم

در کسور تر نشد همان خطوط فقط اکسید می شود.



Corrosion



فاز هیدروکسید و یک محصول
در این که شکل نشود
passivation

آر لایه مجزایه شدن سوراخ
منطقه شکن می شود

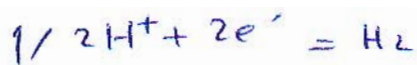
Immunity :
مصونیت

فاز هیدروکسید می شود

پایه ای این است که سینگ را بخار در دستوری یک یک کارانه تعیین کند.

در مورد st.st. می توانیم شکل NiO را در تمام آن شبیه به استال Fe در نظر بگیریم.

در اکسیداسیون حاصل (H₂O) :



E_{H⁺/H₂} = 0 - $\frac{0.059}{2} \log \frac{P_{H_2}}{[H^+]^2}$

خطی با شیب منفی

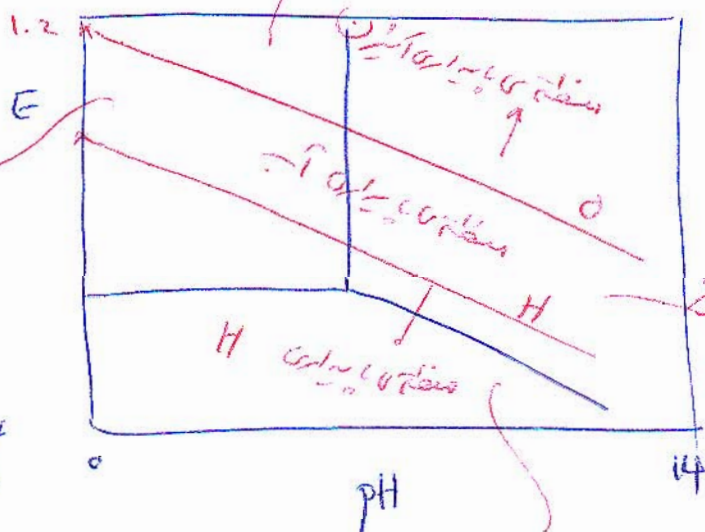
E_{H⁺/H₂} = -0.03 log P_{H₂} - 0.059 pH

(E_{H⁺/H₂}) شیب منفی و اکسیداسیون - فزونی اکسیداسیون

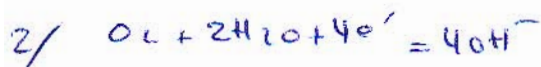
P_{H₂} = 1 atm
pH = 0 } → E = 0
شرایط استاندارد



OH⁻ و H⁺ : -I -I



فردوسی
شیب منفی
M²⁺
منطقه



E_{O₂/OH⁻} = 0.41 - $\frac{0.059}{4} \log \frac{[OH^-]^4}{P_{O_2}}$

= 0.41 - 0.059 log [OH⁻] + 0.015 log P_{O₂}

= 0.41 + 0.059 pOH + 0.015 log P_{O₂}
14 - pH

منطقه اکسیداسیون
↓
شیب منفی
اکسیداسیون

→ E_{O₂/OH⁻} = 1.2 - 0.059 pH + 0.015 log P_{O₂}

P_{O₂} = 1 atm

pH = 0 → E = 1.2

شیب منفی در 0.059 - است
11- اثر زمان در تغییرات پتانسیل
10- پتانسیل استاندارد، فقط، میزان پایداری، قدرت بازنگشتی سیستم از لحاظ
پتانسیل استاندارد

- 9- اثر سرعت سیال ترسول و پوریم بر پتانسیل (در تمام حالت)
- 8- اثر تغییرات در پتانسیل استاندارد
- 7- اثر تغییرات در پتانسیل استاندارد
- 6- در تمام حالت پوریم در دست خط (25°C) رسم کرده اند. (در تمام حالت)
- 5- اثر تغییرات در پتانسیل استاندارد

کاربرد و اهمیت پوریم : در اکسیداسیون و اختلال در پتانسیل است

2- خطی با شیب منفی : اکسیداسیون

3- اصل فردوسی بر اعتبار است

4- اصل فردوسی بر اعتبار است : تا اثر عمیق با عمیق است pH در تمام حالت

سینتیک خوردگی :

سینتیک الکترود :

$M = M^{n+} + ne'$, $\Delta G < 0$, $E > 0$. ΔG واکنش یونیزه شدن فلز در محیط آبی منفی است .
 در محیط آبی

چیزها که برای فلزات متفاوت است ، سرعت واکنش خوردگی آنها است .

سیتم های خوردگی در حالت تعادل ترمودینامیکی نیستند . E : تعادل این اصطلاح از تعادل

فوق پتانسیل و سرعت واکنش خوردگی تغییر کند . هر چه اختلاف از تعادل بیشتر شود ، سرعت خوردگی بیشتر شود .

E : پتانسیل غیر تعادل $\eta = E - E'$ ادر پتانسیل ، پتانسیل

هر چه η بیشتر باشد ، سرعت خوردگی بیشتر شود .

سؤال . محلول ده درصد HCl ، پیلار Fe و پیلار Zn :

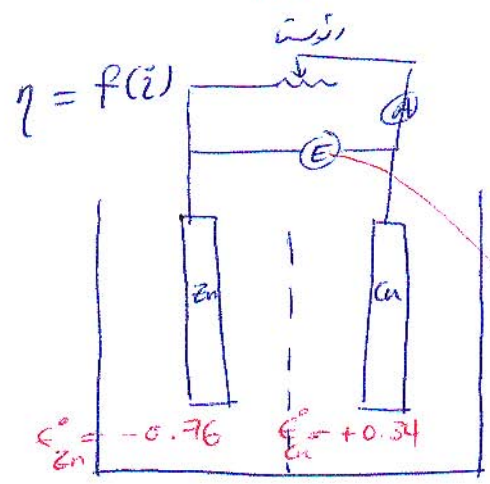
پتانسیل اصیل : $\left\{ \begin{array}{l} Zn = -0.76 \\ Fe = -0.44 \end{array} \right.$ (سرعت خوردگی Fe > سرعت خوردگی Zn)
 $r_{Zn} > r_{Fe}$

سینتیک را با پارامترهای دیگر نمی توان بررسی کرد . یک پارامتر دیگر تعریف کنیم .

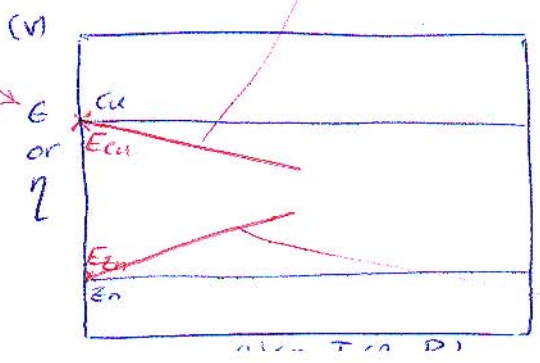
سرعت خوردگی را با i نشان می دهیم : i : دانسیته جریان خوردگی

$i : \frac{mA}{cm^2}$ $r = \frac{i}{nF}$ $\frac{mol}{cm^2 \cdot sec}$ $Q : coul$ $Q : sec$ $Q : mol$

r : چندین برسانتی که مربع در مانده از فلز خورده می شود .
 طرف راست در مورد بار جایگاهده صحبت می کند .



تغییرات پتانسیل بر حسب جریان به دست می آید .
 اگر مدار باز باشد پتانسیل آن مقدار مشخصه است : E_{Cu} ، E_{Zn}



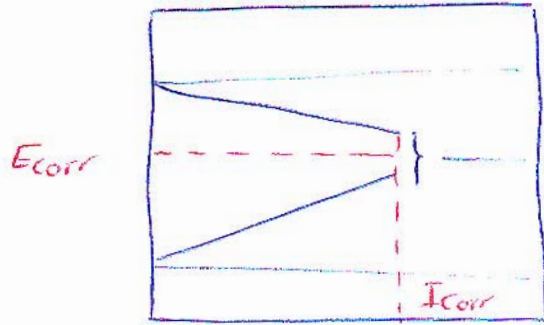
اگر مدار بسته باشد ، هر دو خط با هم تقاطع می کنند و این نقطه رسم می شود چون هر دو هم پتانسیل دارند .
 نسبت ترسیده با آن

$E_{Cu} = E_{Cu}^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{1}{[Cu^{2+}]}$
 اینها E هستند : تعادل

P(2)

وقتی به هم وصل می‌شوند خود را گسی پولاتری می‌شوند و در ظاهر هم ترکیب شوند. ممکن است حدی را قطع کنند و ممکن است حدی را قطع نکنند.

اگر تبادل آمیزن کامل انجام می‌دهد، این دو هم می‌رسند. اگر نرسند برای رسیدن یک استتایل را در یک از مقادیر محول ایجاد شده است.

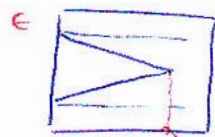


$IR_s = V_s$

s: solution

بنیاد افتادن پتانسیل از یک کاتد به دیگر می‌شود

در اثر تفاوت محول



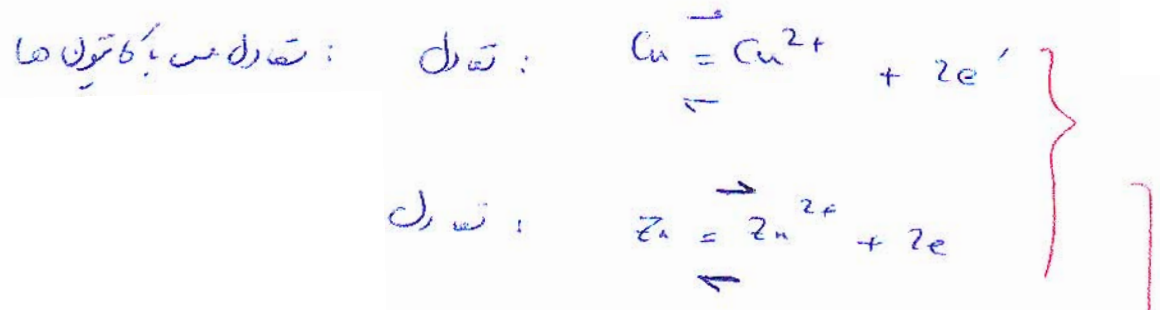
اگر هم رسیده به مقادیر محول اجزا است:

E_{corr}
 i_{corr}
تساوی جریان صدی

E_{corr}
 i_{corr}
حالت پایدار (steady state)

اگر نترسید به حال خود می‌مانیم، حالت پایدار می‌رسد یعنی E_{corr} و i_{corr} این به تعادل فرقی نمی‌کند.

همین قدر در محول به حالت پایدار می‌ماند. ممکن است اجزا با یون‌ها در تعادل باشند و یا نباشند.



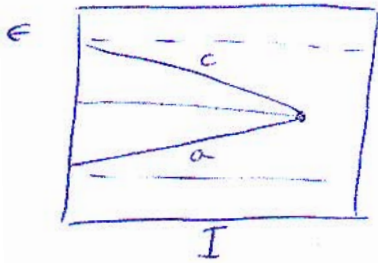
کلیت مجموعه، چون می‌دانیم (همیشه در تعادل) - پایدار می‌مانند نه تعادل، چون همین اجزا داریم.

پایدار: یک مجموعه سرعتی داریم اما سرعت مجموعه را که در این سرعت تعیین می‌کند به بقای اجزا با همین سرعت پیش می‌رود.

اگر range، r وسیع بود، محول جریان الکتریکی می‌شود. اگر محدوده را zoom کنیم میزان محول الکتریکی داریم.

3- مقادیر: در اثر مقاومت محلول و اتصالات. ← کاهش فاصله آنود کاتد (برای مقاومت محلول)

← محلول کم مسور ← کاتر آنده فاصله از حجم زیاد در کاتد $E-I$ می:

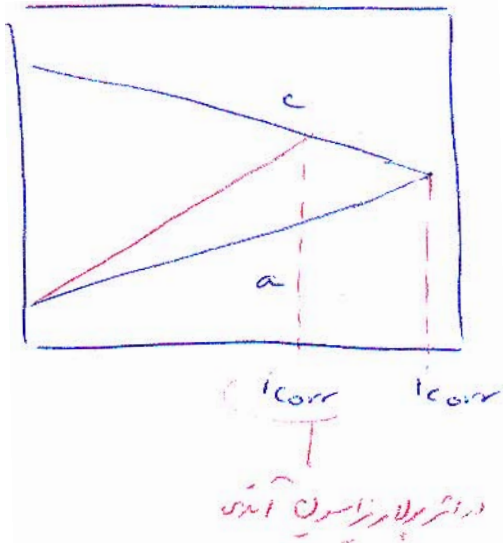


در عرض حال حفاظت آرا می حفاظت می کنیم

← واکنش های آنده را به پلازما می کنیم.

حفاظت کاتد ← واکنش کاتد را به پلازما می کنیم

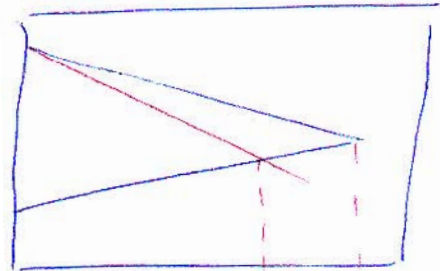
هدف از خوردگی: کاهش سرعت



مقاومت محلول ناچیز

1- با آنده آنده را به پلازما می کنیم

2- آرا کاتد را به پلازما می کنیم

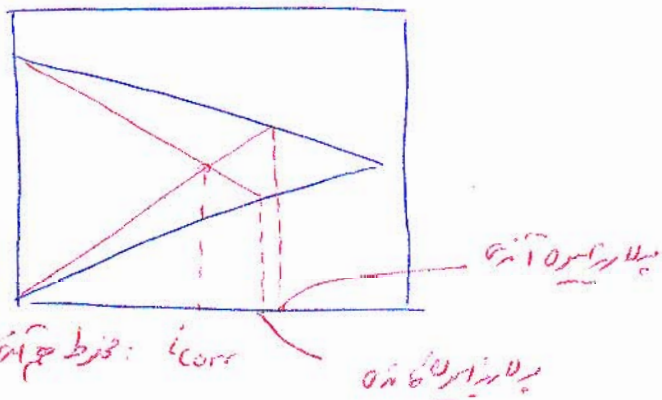


i_{corr} در اثر پلازما می کنیم i_{corr} کم می شود.

در حالت محلول:

میں در خوردگی از این پلازما می کنیم

i_{corr} را کاهش داده ایم.



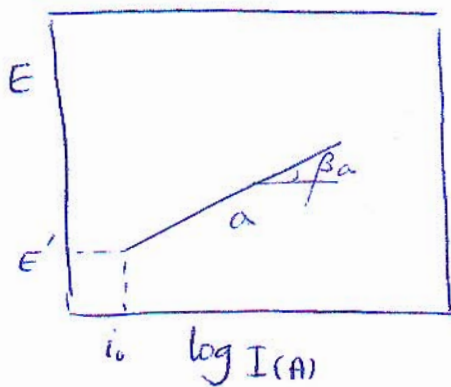
i_{corr} : محلول جمع آنده در کم می شود

پلازما می کنیم

خوردگی تغییرات در سینتیک واکنش های آنده و کاتد را می توان با ممتدی پلازما می کنیم برده کرد.

تمام گشتات سرعت را می توان با ممتدی پلازما می کنیم بدلت آورد

۳: شبیه برای راستن اولین نقطه:



نداردی نشان دار پتانسیل با جویال رابطه خطی دارد.
 $E = A + B I$ (در صورتی که کوچک)

بعد تا نشان دار (Tafel) در گذشته وسیع

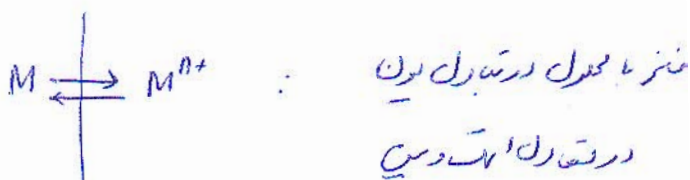
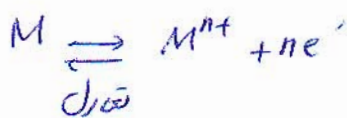
$$E = A' + B' \log I$$

مختصات شروع واکنش: $\left| \begin{matrix} E' \\ I_0 \end{matrix} \right.$

جریان $i_0 = \frac{I_0}{A}$: رانشیه جویال

ما رانشیه جویال تبادل

E' : پتانسیل تعادلی



این دو یون در حال تبادل است. شار رفت در جهت راست و شار برگشت در جهت چپ. شار جویال در جهت راست است. شار برگشت در جهت چپ است. شار جویال در جهت راست است.

پس i_0 : شار یون مین و شار یون اکسید کننده پتانسیل از یون امکان داریم.

$$\Delta G_{ox} = \Delta G_{red} \quad \left| \begin{matrix} \text{تعادل} \\ \text{سینتی} \end{matrix} \right.$$

$$I_{ox} = I_{red} \quad \text{یا} \quad r_{ox} = r_{red}$$

اکسیداسیون احیا

در تعادل سینتی: سرعت رفت در جهت راست با هم برابر است

پس نقطه اولیه را نقطه تعادل میگویند یعنی در آنجا شار رفت و شار برگشت برابر است. پس وقتی ما یک نقطه آن را رسم کردیم.

دانشیه جویال تبادل: در مدار تعادل مصرف است. برای حرفه میانه تعادل است.

مثال: برای امپال هیدروژن بر روی فلزات مختلف را داریم:

$$H_2: \begin{cases} i_0(H_2) = 10^{-12} \frac{mA}{cm^2} \\ i_0(Pt) = 1 \frac{mA}{cm^2} \end{cases} \quad i_0(Fe) = 10^{-6} \frac{mA}{cm^2}$$

پس تغییرات بزرگی از i_0 داریم. ما تابع خصوصیات سطحی فلزات مختلف است.

3- با اجزاء شرکت کرده لایون ها و کاتول ها (در مدل)

2- ترکیب سنجی اندریت (مدل)

4- غلظت اجزاء الکتریکه و امپاکتوره . یعنی همان آئین ها و کاتول ها .

5- کیفیت سطح

$$I_0 = K (C_{Mn^{2+}})^{\alpha}$$

K: ثابت سرعت . غلظت بقیر عامل در K و α آندانه .

α : ضریب اسهل بار

$C_{Mn^{2+}}$: غلظت

شیب در رسم منحنی ها در خط است

کینتیک واکنش الکتروشیمیایی :

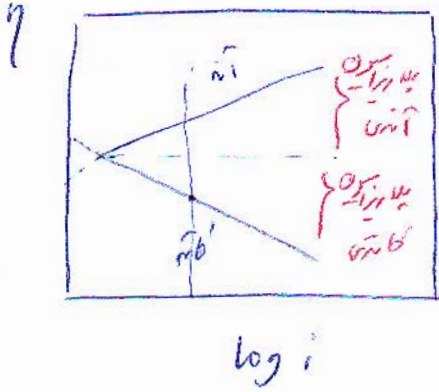
واکنش تحت پلازما

توازن $\eta = \epsilon - \epsilon'$ اوربیتال

تغییرات خطی است : در پتانسیل و از حالت تعادل تراش دهیم ، در این حالت واکنش ها

کنت پلازما در این شرایط قرار می گیرند . کسری عوامل می خواهد سرعت را زیاد کند کسری می خواهد سرعت را کم کند .

* پلازما در این شرایط قرار می گیرند :



اوربیتال آندی η_a : پلازما در این شرایط قرار می گیرند

اوربیتال کاتدی η_c : پلازما در این شرایط قرار می گیرند

تغییرات خطی است :

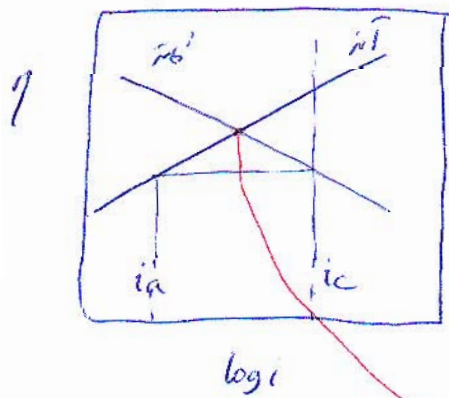
$\eta = A + B \log i$

(از رابطه تعادل)

$\eta_a : I_{ox} > I_{red}$

$\eta_c : I_{cathody} > I_{ox}$
or red

واکنش کاتدی غالب



در محبت کاتدی ، i در کاتد بسیار بیشتر از i در آند است :

در شاخص کاتدی

در شاخص آندی ، سرعت توده الکتریکی در شاخص کاتدی سرعت نصف الکتریکی

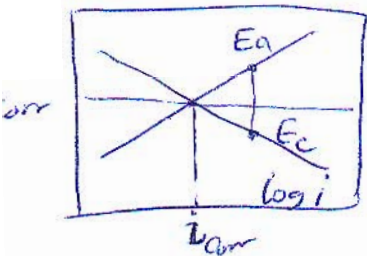
بیشتر است . در حالت پایداری سینتیکی : (قطر نقاط)

steady state : $\sum I_{ox} = \sum I_{red}$

(توازن سینتیکی داریم - ترمودینامیکی)

همان سرعت اجزا = سرعت آکسیداسیون . در این نقطه که جریان ها برابرند ، پتانسیل را E_{corr}

می نامیم . جریان شش طوری E_{corr} ، I_{corr} است



steady state $\left\{ \begin{array}{l} E_{corr} \\ I_{corr} (i_{corr}) \end{array} \right.$

$\eta_a = E_a - E_{corr} > 0$: این قدر انرژی (پتانسیل) اضافی داریم (برای) انجام واکنش آندی
 $\eta_c = E_c - E_{corr} < 0$

اوربیتال آندی همیشه مثبت و اوربیتال کاتدی همیشه منفی است

$E_a > E_{corr}$

$E_c < E_{corr}$

متغیر با کانه ر شیب را با آن وصل می کنیم

در پتانسیل را از E_{corr} کم می کنیم، این ها در کانه با هم اصلاً می شوند. اگر پتانسیل از E_{corr} بزرگتر شود، فتر (آند) صدمه می خورد. اگر در E_{corr} باشیم، واکنش ها آند و کاتود با هم به تعادل می رسند.

مقادیر + غلظت + آنتروپی \equiv پتانسیل

$(\eta_R = IR)$ عدد، افت ولت

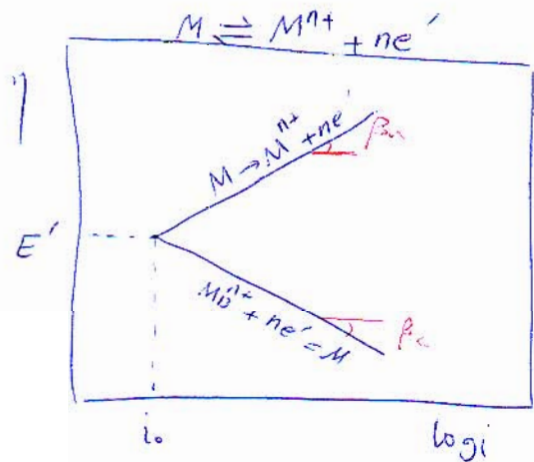
در درجه اول نیک ها را جزو تراژدم (KCI) و افت ولت هم حساب می کنند. η_R قابل فرسنگ است. در غیر این صورت اگر انت پتانسیل IR ایجاد می کند.

پتانسیل آنتروپی $\eta_{act} = \beta \log\left(\frac{i}{i_0}\right)$ β : شیب خط

دائره و جیب تناوبی

$\eta_{act, ox} = +\beta \log\left(\frac{i_{ox}}{i_0}\right)$

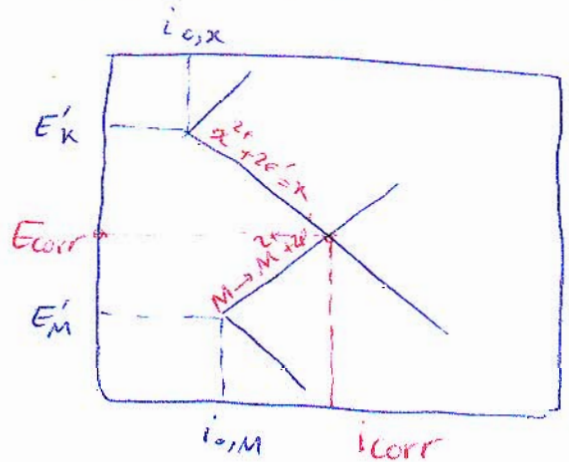
$\eta_{act, red} = -\beta \log\left(\frac{i_{red}}{i_0}\right)$



برای حرکت در رسیدن

E' : برای حرکت واکنش

E_{corr} : برای تعادل چند واکنش



بین یک واکنش و تعادل داریم

برای یک سیستم چند واکنش، سیستم به پتانسیل می رسد

واکنش ها M و X در E_{corr} به پتانسیل می رسند

$\beta = \frac{2.3RT}{nF \alpha}$

β : شیب پتانسیل و شیب پتانسیل

α : فریب انتقال بار (نسبت سرعت انتقال بار)

نکته ۱ - β معمولاً در محدوده ۰.۰۵ - ۰.۱۵ تغییر می‌کند. واحد β : $\frac{\text{volt}}{\text{decade}}$



$\beta = 0.05 - 0.15$

$\beta = \tan \theta = \frac{\text{rise}}{\text{decade}}$

نکته ۲ - مقدار β برای خوردگی نيزات بغير متوسط حدود $0.12 \frac{V}{\text{decade}}$ است.

نکته ۳ - با تغییرات کم و قشای، شار یا جریان کاتدی تغییر می‌کند.

مثال - با تغییر 0.13 ولت، جریان ۱۰ برابر زیاد می‌شود.

نکته ۴ - سرعت واکنش همان دانسیته جریان واکنش (i) است. (واحد آن Amp/cm^2 است و قابل تبدیل

$C.R. (mpy) = 0.129 \times \frac{M}{n} \times i_{corr} \times \frac{1}{\rho}$

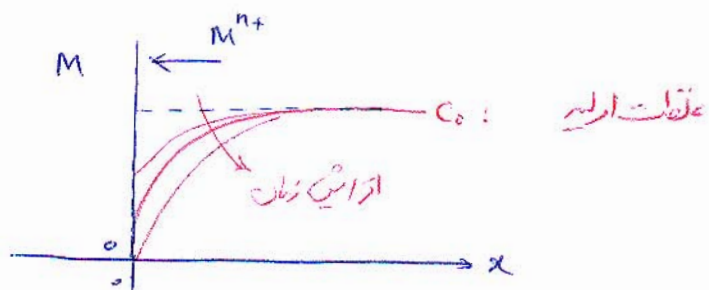
$\frac{M}{n}$: وزن اتمی / ظرفیت
 i_{corr} : دانسیته جریان خوردگی
 ρ : چگالی ماده (واحد $\frac{gm}{cm^3}$)
 واحد نتیجه: $\frac{M \cdot A}{cm^2} \cdot \frac{1}{cm^3} = \frac{M \cdot A}{cm^3}$

$M \rightarrow gr$

$i_{corr} (\mu A/cm^2)$

برای تبدیل زینسون، تغییرات خطی است.

در نقطه تعادل، باید برابری داریم: $\bar{I}_{ox} = \bar{I}_{red}$ (توازن سینتیکی)



- پلان زینسون غلظتی:

غلظت در سطح: $c_s = 0$ (در $t \rightarrow \infty$)

این حالت به از دست دادن محلول منتهی می‌گردد و اصلاح می‌شود.

در $t \rightarrow \infty$, $c_s = 0$, $i \rightarrow i_L$ (رسانایی جریان محدود)

غلظت اولیه در محلول: c_0

در $t = 0$, $c_s = c_0$ (خطه اولیه)

از این به بعد - اصلاح تابع نفوذ می‌شود.

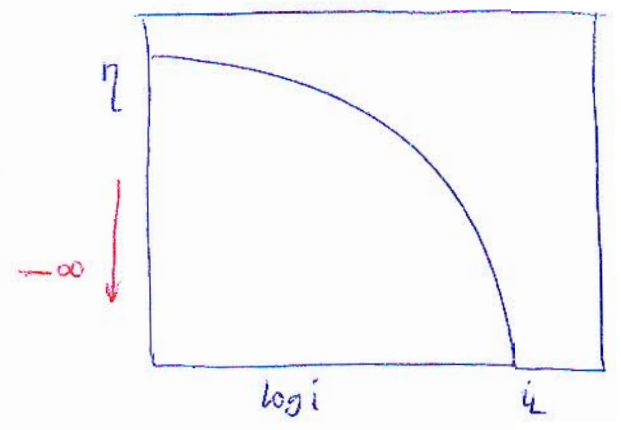
پس بعد از مدتی، شرایط محدود می‌شود.

در درجه پایینی از این ماده (بسیار کم مقدار خوردگی) سرعت زیاد شدن در درجه c_s کم می‌شود.

غلظتی $\eta_{conc.} = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right)$

$i_c \rightarrow -\infty : i \rightarrow i_L$

$i_L = \frac{D n F \cdot C_s}{\delta}$

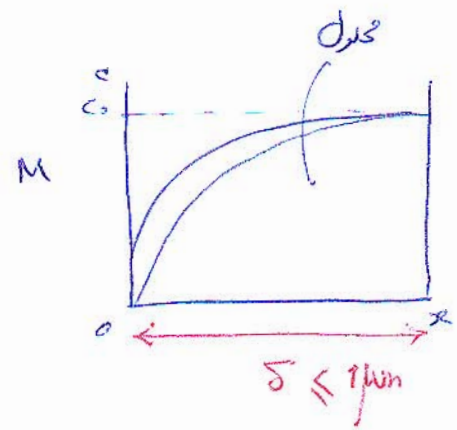


D : ضریب نفوذ n : ظرفیت

F : عدد فارادای δ : ضخامت لایه دیفیوژنی

C_s : غلظت سطحی

باید بین ها از محلول از این که ...



برای اکسایش $\eta_{conc., ox} = + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right)$
 $= - \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{i}{i_L} \right)$

$\ln x = 2.3 \log x$

برای کاهش $\eta_{conc., red} = - \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right) = \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{i}{i_L} \right)$

$\eta_{total} = \eta_{act.} + \eta_{conc.}$

در محلول رسانا و اقلات هم رسانا باشند

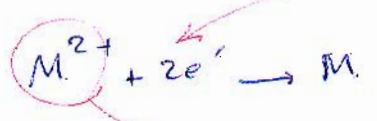
① $\eta_{ox.} = \eta_{act.} + 0$

پلازمین غلظتی در آنه معصوم نمی آید (قسم ۱)

② $\eta_{red.} = \eta_{act.} + \eta_{conc.}$

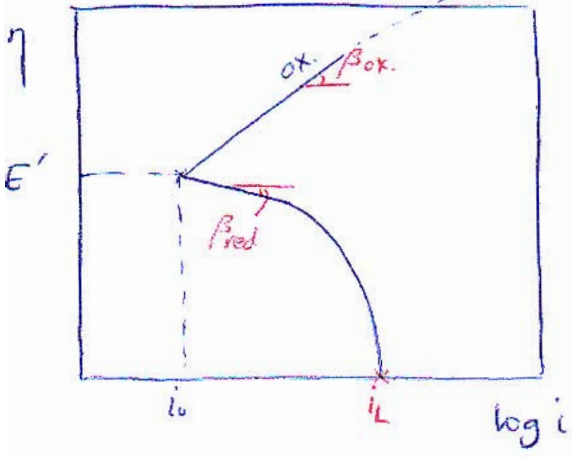
$\eta_{ox.} = + \beta_{ox} \log (i/i_0)$

$\eta_{red.} = - \beta_{red} \log (i/i_0) + \frac{2.3RT}{nF} \log \left(1 - \frac{i}{i_L} \right)$



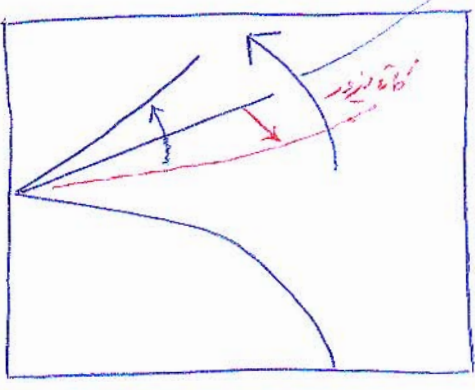
حدود استری در رسوبت بیشتره

استاندارد (e)
 استاندارد (غلظت)



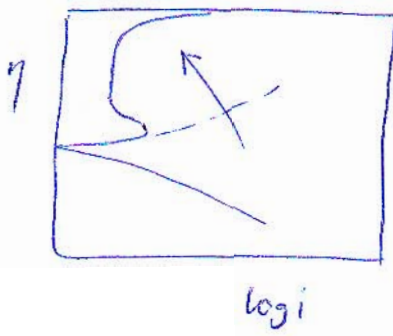
در α_{ox} : تغییرات نخواهد بود، در جویان های
 خیلی بالا بوجود می آید. (از نظر خیلی زیاد فرآهر)
 سرعت انتقال زیاد فرآهر نظر که از سرعت بخش شدن
 در مدل بسته شود. (انگلیش یون)

پلازما یون آنزیم
 مانع کندی آنزیم



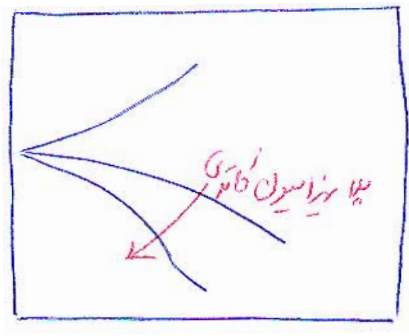
β زیاد \leftarrow α کم (سرعت انتقال بار)

پاسیواسیون تریب پلازما یون آنزیم خیلی کم است
 (جویان برآورد)

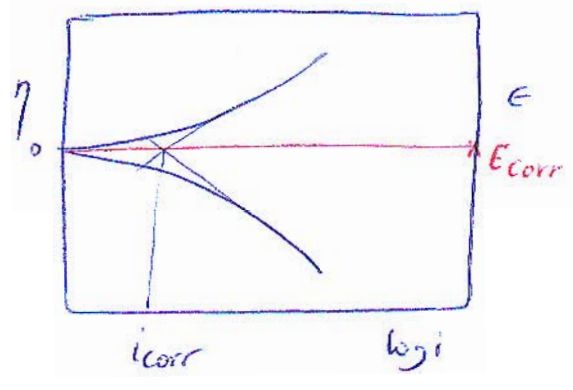


حفره را در راکتس های خوردگی با پلازما یون می توان توضیح کرد

برای β_{ox} :



پلازما یون کاتدی، کف عالی خوبی ایست یون برآورد
 (در محیط اسیدی ...)



$$\eta = E - E'$$

تبدیل: $(\eta = 0)$

در گذر گذر E_{corr} برای E
 در صورتی η داریم

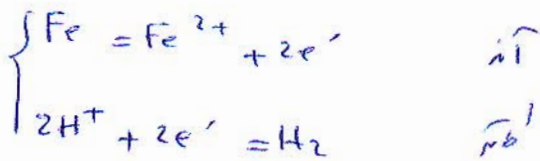
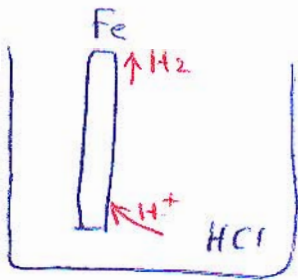
E : واکنش در جهت برآورد برای E'
 در E : η باشد، در آنجا E_{corr} است

تئوری پتانسیل مختلط : (یا رانندگی جویان مختلط) :

در عمل سازه‌ها از فلزات مختلفی استفاده شده است. اختلاف از فلزات مختلف را می‌توانیم داریم.

در مقیاس میکرونگونی : مرز دانه‌ها : آنه
 رانندگی : آنه
 آنه : MnS ، آنه ، Cr

در واقع مجموع عملیاتی از آنه و آنه داریم.



پس اینها بر پایه‌ی مرز دانه‌ها و تفاوت بین حیدروژن است.

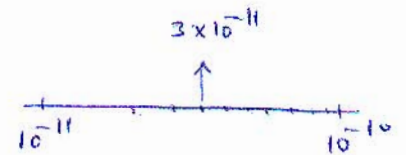
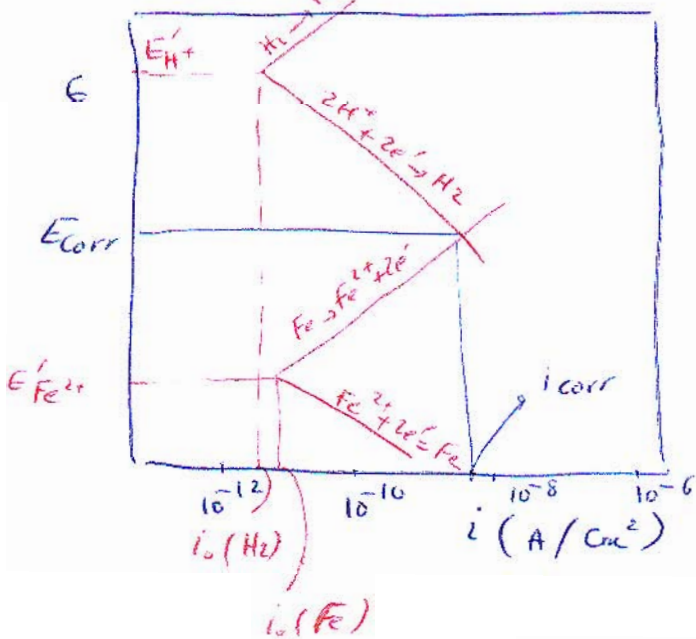
$$I_{net} = \sum I_{ox} - \sum I_{red}$$

جریان خالص (برایند) (اصطلاح)

(چند واکنش اجزائی داریم و حیدروژن آنه)

$$E_{cell} = E_c - E_a$$

↑
 آنه
 ↑
 آنه



(این محور کاتدی است، عدد را عیناً می‌خوانیم)

$$\begin{cases} E'_{H^+/H_2} = -0.059 pH \\ E'_{Fe/Fe^{2+}} = E^0 - \frac{0.059}{2} \log [Fe^{2+}] \end{cases}$$

آنه E' ها از نسبت برکت می‌آید.

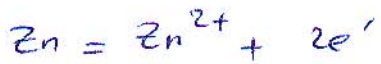
در حیدروژن قطع شده ← در واکنش‌ها رفتار ندارند.

در حیدروژن قطع کرده ← رفتار دارند.

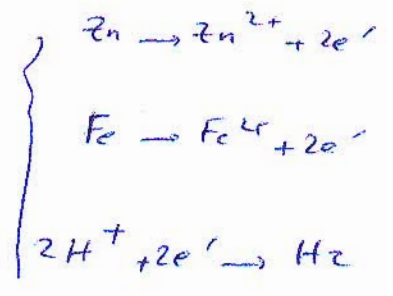
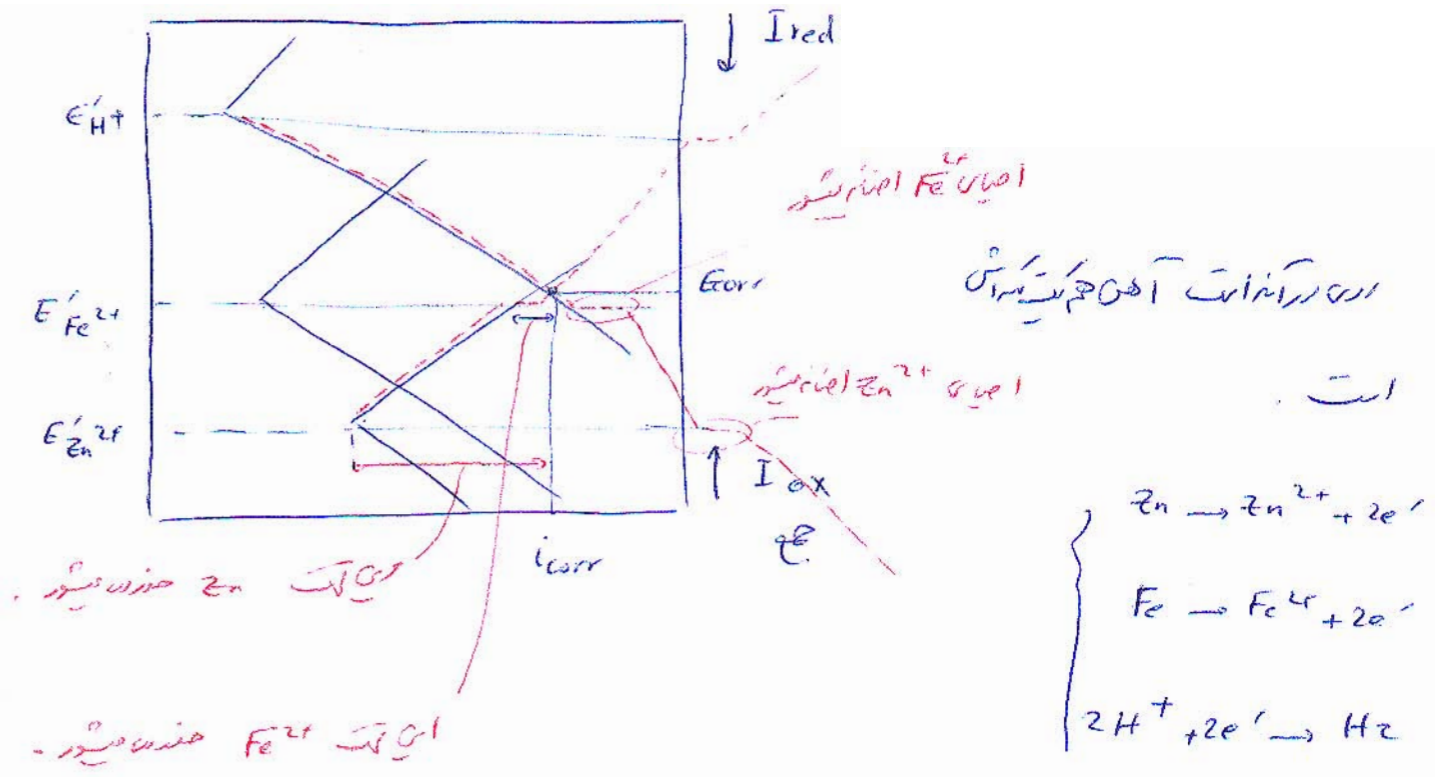
واکنش کرده { آنه ، آنه یا سوره آهن
 نمانده ، اصلاً حیدروژن

آنها آهن است که روی سطح

I (7)



$$E'_{\text{Zn}} = E'_{\text{Zn}} - \frac{0.059}{2} \log [\text{Zn}^{2+}]$$

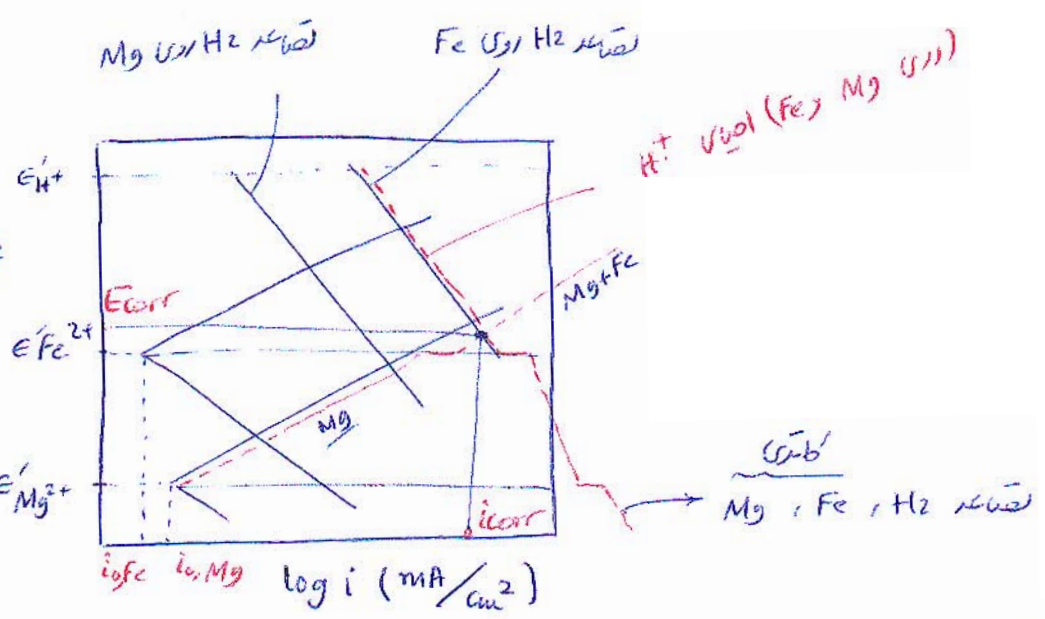


در صورتی که در شرایط آلودگی آب در تقاطع قرار دارد

reduction ها، الزام و oxidation ها، الزامین E است.

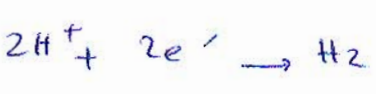
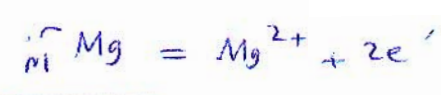
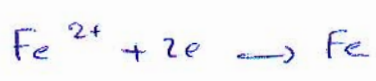
$$I_{\text{net}} = \sum I_{\text{ox}} - \sum I_{\text{red}}$$

درک و یا سبب غلط:

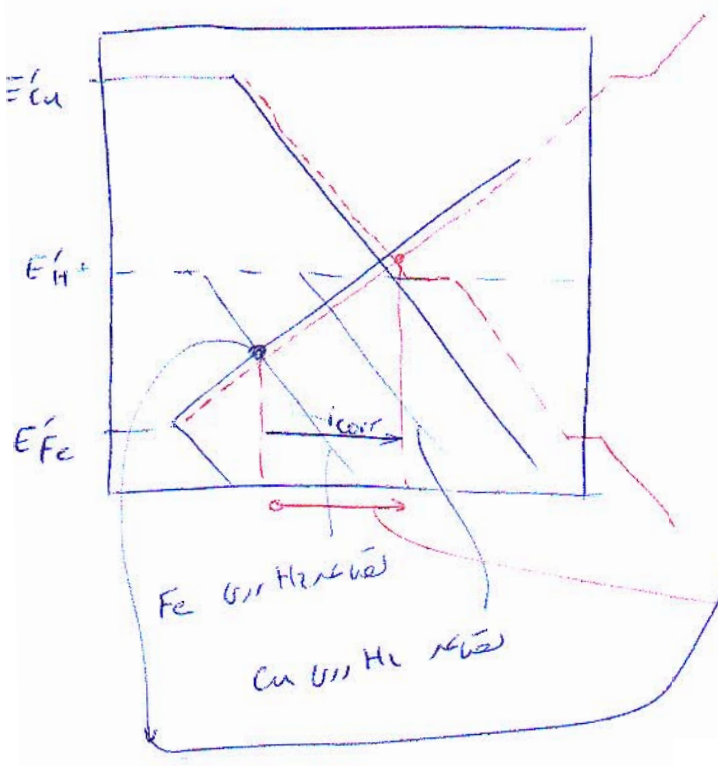


Fe-Mg در محیط آبی
 ↓ ↓
 -0.44 -2.1

(شکل اشتباه است: E_{corr} کمتر از $E_{Fe^{2+}}$ است)



$E_{corr} < E_{Fe}$: شرط حفاظت کاتدی

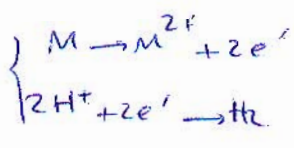
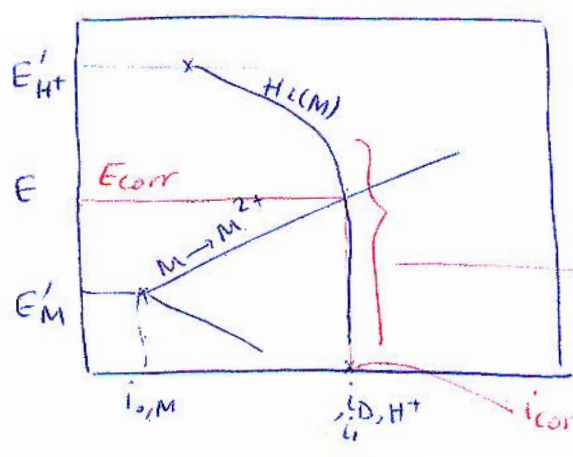


در اینجا آهن خورده می‌شود و کوبل پالانیک داریم

Fe
 E_{corr}
 Fe
 i_{corr}

اتریش خوردنی در اثر
 ایجاد کوبل (فرار دادن Cu)

* درک در حضور پلازما یون غلطی:



کنت نامبر پلازما یون غلطی است

$i_{L,H^+} = i_{corr}$

یعنی ریفرکتور. جریان خوردنی = جریان حدی

سرعت خوردنی در حودش رسیده است

پس در سیستم (دیفیوژن) سرعت خوردگی توسط دیفیوژن کنترل می‌شود. در سیستم خوردگی توسط انتقال بار کنترل شود ← تقاطع در صفا

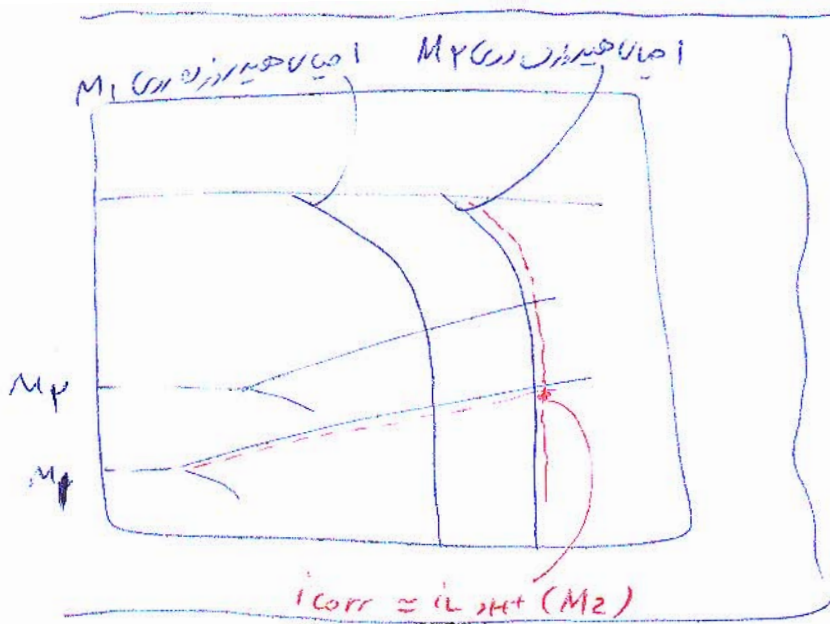
تو توسط دیفیوژن کنترل شود، سرعت خوردگی با سرعت جاری در آن از آن سرعت خوردگی را می‌گیریم

واکنش‌های کاتده یا امیای هیدروژن است و یا امیای اکسیژن:

* اگر اکسیژن زیادتریم، O_2 کم می‌شود ← کمتر کاتده در منطقه ی دیفیوژنی می‌شود. ← سرعت خوردگی کنترل می‌شود. (OH کم می‌شود)

* برای H_2 در pH اتراسی یا به وارد منطقه ی دیفیوژنی می‌شود.

آند دیفیوژن ندارد اینجاست در آنه سخت برسد می‌آید. و یا در جیل‌ها حتی در دیفیوژنی می‌شود و کاتده حتی زودتر از تقاطع می‌گذرد و ما آن نمی‌گیریم.



پدیده ی پاسیوایون:

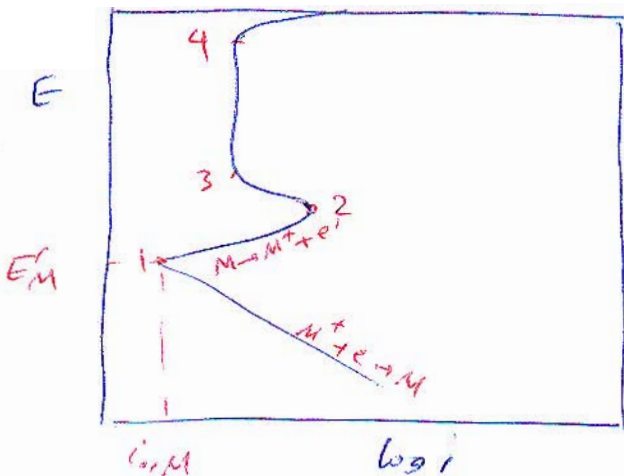
کنترل کلی: MxO

حضور میات لایه پاسیواید گفته شد و مثل

پوشش کل کاتده

2: critical zone

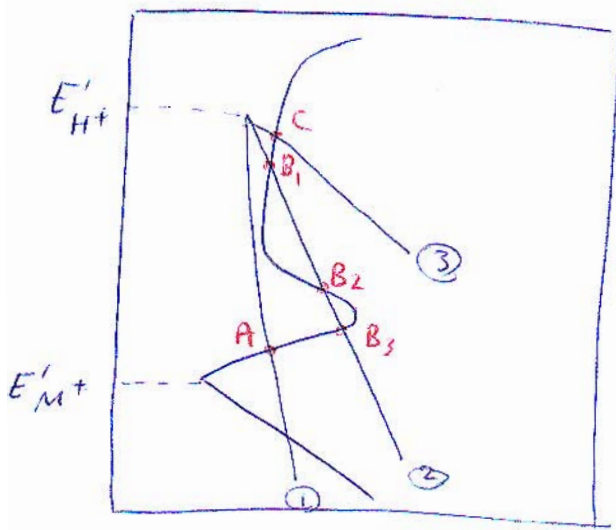
4: Trans passive



2: ابع خوردگی نتر

4: شکست لایه پاسیو

توجه: عوامل خوردگی در محیط پاستور یا تئوری تبیین می‌شود:



حالت 1:

تحت یک سری شرایط می‌توانیم به حالت پاستور رسید.

منطقه اتصال نیز انتخاب کرده.

نیز در نقطه A خوردگی می‌شود و نرخ خوردگی در این حالت بسیار کم است.

مثال: فولاد 304 در محلول اسید HCl. چون فولاد در آن محیط حالت پاستور پیدا می‌کند.

حالت 2:

منطقه اتصال و پاستور را قطع کرد. در سه نقطه قطع کرد:

خطرناک‌ترین حالت برای فولاد است. در حالت اول کمترین خوردگی است. نیز فولاد ندارد و...

حفاظت کنیم. لذا در حالت دوم، در B1، پاستور در B2 و B3 پاستور شده.

می‌شود و یک جایی خوردگی می‌شود و یک جایی نمی‌شود. مناطقی پاستور: کاتده و آنده.

در این شرایط، خوردگی موضعی می‌شود. و معلوم نیست کجا خوردگی می‌شود. و حالت قابل پیش...

بینی نیست.

مثال: فولاد 410 در محلول NaCl. (که فولاد در محلول معلوم نیست چه رفتاری خواهد داشت)

حالت 3:

منطقه پاستور را قطع کرد. نقطه قطع کرد:

مثال: فولاد 304 و 410 و Ti در H2SO4.

فولاد پاستور → در همان جا اتفاق می‌افتد: حفاظت آهنی در محلول آهنی.

کثیر عوامل در آلودگی زمین محیطی در بار بار منظم و موسم قرار دهد ، باعث پایداری فولاد سیور .

عوامل مختلف :

- 1- درجه حرارت
- 2- آنیون های مهاجم
- 3- سرعت سیال
- 4- اثر لایه کالمانیک
- 5- اثر سطح آهن کربن

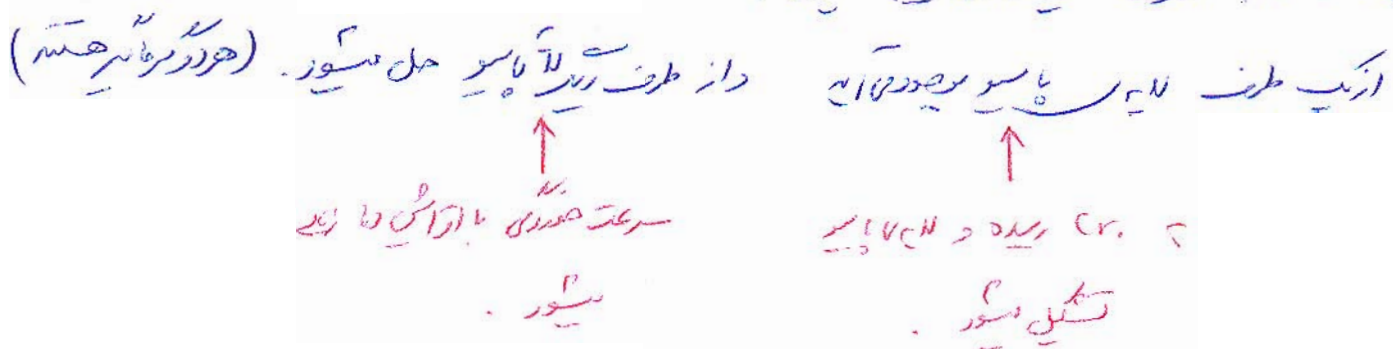
در برخی شرایط حتی در منظم با سیوری است .

1- درجه حرارت :

سرعت واکنش ها زیاد می شود . آلودگی ها در ① ، ② ، ③ با درجه حرارت پایداری سیور .

→ آلودگی ها زیاد می شود → لایه پایداری سیور .

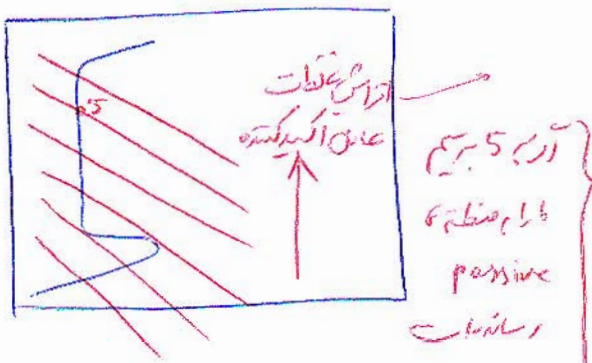
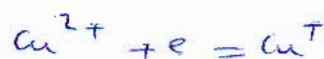
پس در جاهای سرد یک تعادل ایجاد می شود :



2- عوامل اکسید کننده :

تیز تر اکسید کننده در هوای آلوده می شود .

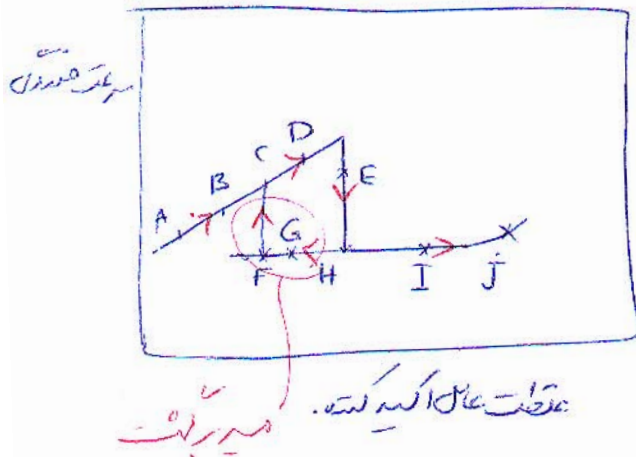
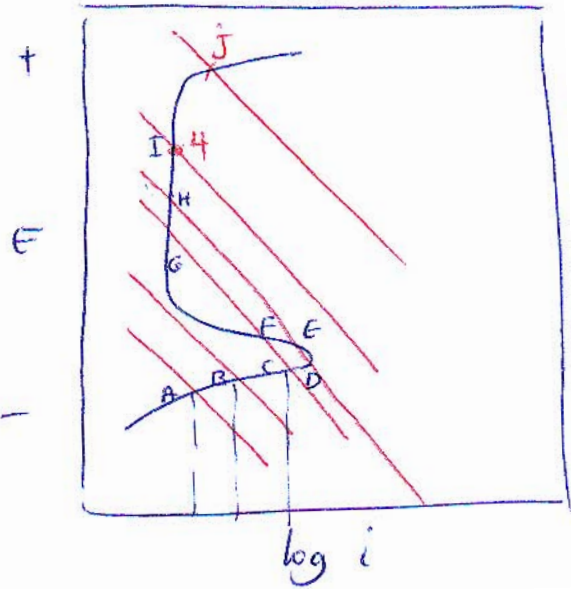
مثال : عامل اکسید کننده مثل آهن و Fe^{3+} :



حرم این عوامل بیشتر است ، در این حالت در اثر لایه کالمانیک

پس پایداری سیور . Fe^{3+} (آهن سه)

$$E = E^0 - \frac{0.059}{1} \log \left\{ \frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}} \right\}$$

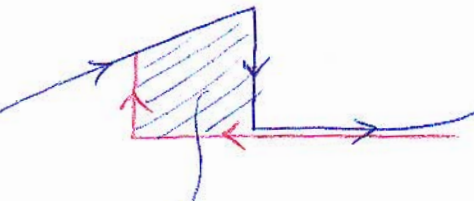


عقده عالی که گفته می‌شود
میریزد

در ۴ بریم موبات. چون با پایداری پایداری رسیدیم.

پس در صورت برگشت یک سطح بوجود آید.

عقده را کم کنیم } برگشت
رنت



یعنی همان حساسیت از این سطح لایه

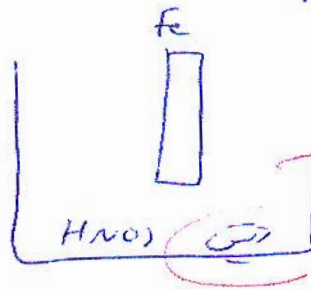
منطقه آسیب دیدگی سطح

پایه

این افتد: در وقت

شکل پایداری در برگشت شکست لایه پایه

سوال: فولاد آهنی در HNO_3 خالص (غلیظ) و بعد در HNO_3 رقیق. در حلال
سازنده فولاد آهنی در HNO_3 خالص (غلیظ) و بعد در HNO_3 رقیق.



در این لایه فولاد آهنی

لایه فولاد آهنی در HNO_3 رقیق و در مجموع، شدت فولاد آهنی.

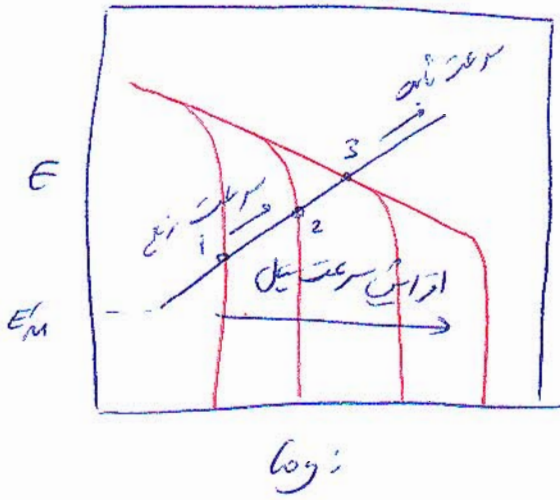
لایه فولاد آهنی در HNO_3 رقیق و در مجموع، شدت فولاد آهنی.

پس در حلال غلیظ، لایه پایه شکن می‌شود. در حلال رقیق مقاومت می‌کند.

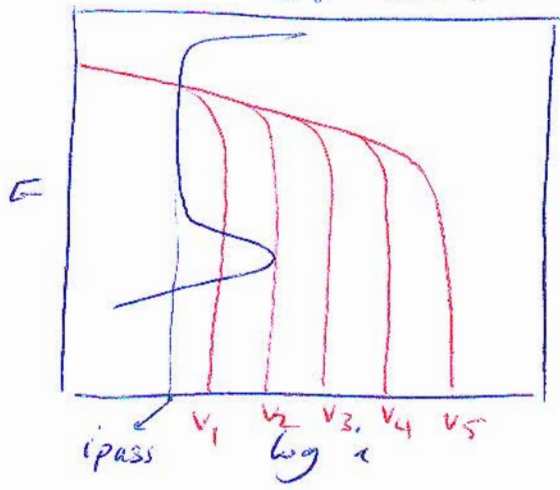
3- از سرعت پیل:

در این پیل از این عقده مولکول است.

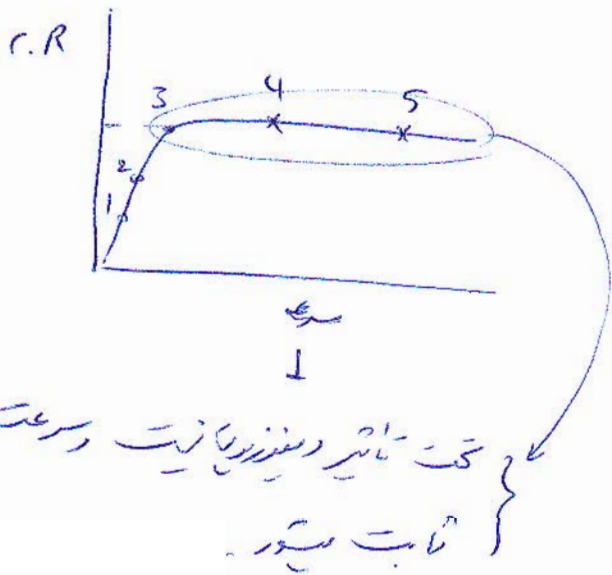
نتر فعال



نتر فعال - پسیو



سرعت میل زیاد ، قدرین هازید و صدمات لایر ندر کلم ← پسیو رستور



سرعت میل زیاد : راستن اولی ندر رستور

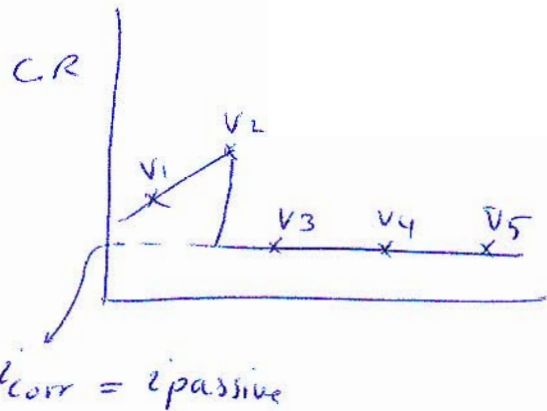
د اکسیراسیون هم ندر
آند اکسیداسیون سر رفتن پارکته

$$v > v_2$$

critical

تا فلایر با یو تشکیل شود
سرعت قوی با یو سرور کند تره
سرعت صوری = passive

رستور $v > v_2$ ← منگنه با یو مستقل میوم

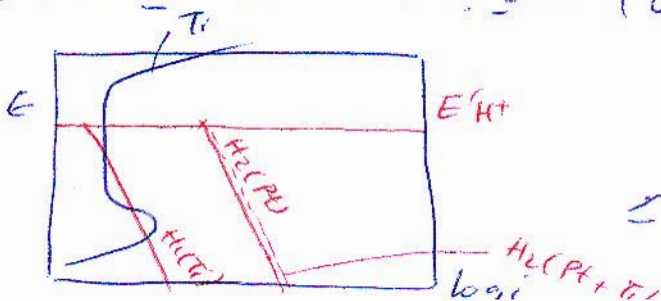


بیت صغی

پس ای عوامل می ترانه مارا کند که تا میسر پسیو تشکیل شود.

4- اثر ندرج کاروانک :

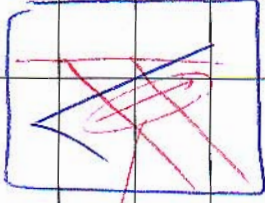
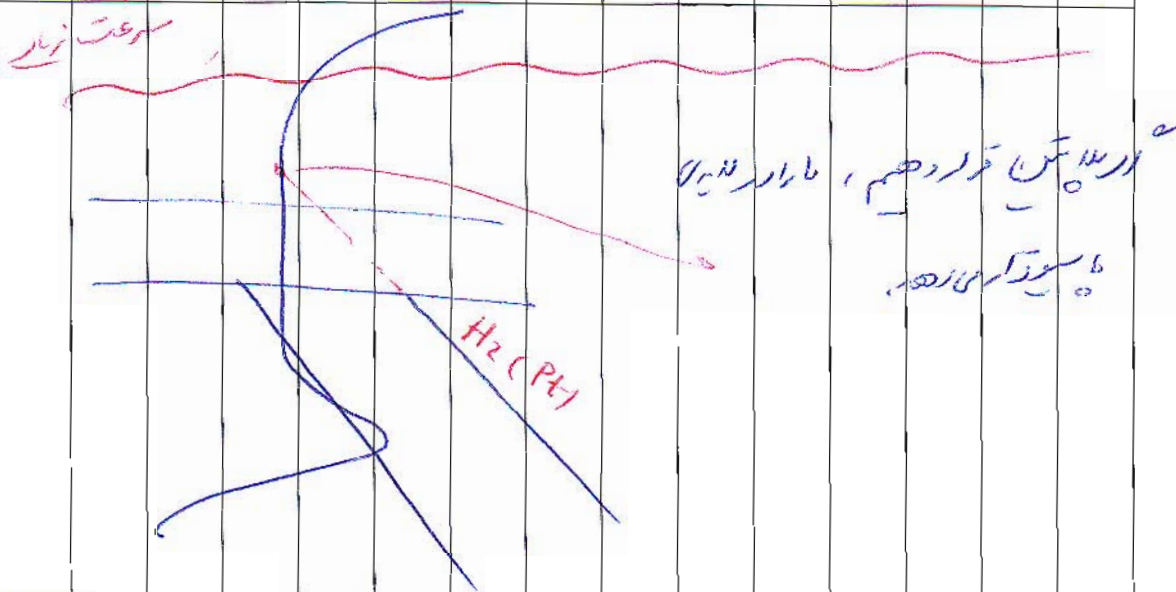
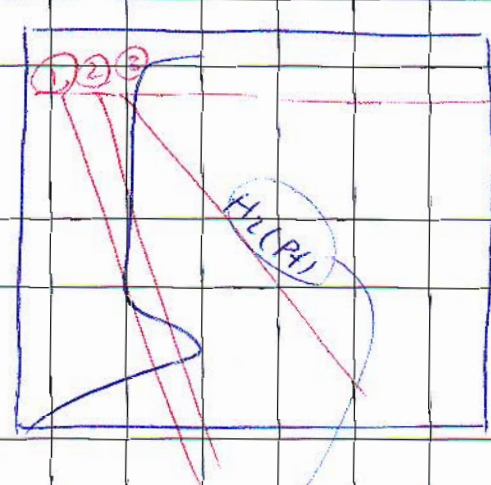
همه ندرات را کونول کنیم (برای ندرات معین) آند ندرت کتر هنده میسر و ندر ندری



T_r - P_t
↑ ندر با یو
↑ ندر

هنده میسر
 P_t هدرن اولی میسر و ندرت با یو
هده ندر کتر هنده

لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

شماره حساب	نام ریز حساب	شرح	شماره پرسنلی	قرارداد	رسید انبار	شماره سفارش یا فاکتور	تاریخ
۱						تسهیل شده	
۲					در مورد فزونی، هزینه بهینه کانتینر	پس در این جا کانتینر، اترسج کانتینر	
۳					کانتینر، سرعت خودرو		
۴							
۵				5 - اترسج کانتینر			
۱					سرعت کانتینر		
۲							
۳							
۴							
۵							
						تسهیل شده	

اصول و مقررات PT