# التآكل فى الماكينات

اعداد
د / معتز بالله حسن عطا

## المحاضرة الأولى

# التآكل في المعادن

## تعريف التآكل :-

يعرف التآكل بأنه التلف ( جزئي أو كلي ) الذى يحدث للفلز أو السبيكة من حيث المظهر أو الأداء بسبب التفاعل الذى يحدث بين الفلز أو السبيكة مع الأجواء المحيطة به سواء كانت غازية أو سائلة **أو هو تلف المعدن نتيجة تدهور** فى خواصه الطبيعية أثر التفاعلات التى تحدث له فى التربة المحيطة .

يعتبر **التآكل** إحدى المشاكل التى تتعرض لها و تعانى منها الكثير من المنشآت البترولية كخطوط البترول و الغاز و **الخزانات** و أبراج التقطير كما يحدث فى الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة و النقل البحرى و المعدات و المنشآت العسكرية و يحدث التآكل تلف شديد فى المنشآت مما ينتج عنه تكاليف ضخمة تتمثل فى فواقد الانتاج و بالتالى قلة الكفاءة بالإضافة إلى تكاليف الإحلال و تطبيق أساليب مقاومة التآكل و هذه التكاليف تشمل تكاليف مباشرة و تكاليف غير مباشرة كالتالى :-

أولاً : التكاليف المباشرة :

١ـ انتهاء العمر الافتراضى للمعدة ( تلف كلى ) .

٢ـ تكاليف عملية الحماية من التآكل و تنقسم إلى :

- زيادة التصميم : عملية الزيادة فى التصميم تكون متمثلة فى زيادة السمك عن الحد العادى و ذلك لإطالة عمر المعدة للحماية من التآكل كما أن عملية الزيادة فى التصميم تؤدى إلى زيادة المكان المطلوب للمعدة و هذا فى حد ذاته يعتبر زيادة فى التكاليف .
- تعديل مواد التصنيع باستخدام مواد أكثر مقاومة للتآكل و أعلى تكلفة .
- تكاليف المواد المانعة للتآكل .
- تكاليف الحماية الكاثودية .

ثانياً : تكاليف غير مباشرة :

١ـ نقص الانتاج :عمليات الاصلاح و التجديد التى تجرى للأجزاء المتآكلة من المعدات تحتاج إلى ايقاف المصنع أو الوحدة لمدة معينة حتى إذا كان سعر تلك الأجزاء صغيراً كما أن زيادة معدل التآكل يؤدى فى كثير من الأحيان إلى حدوث إيقافات إضطرارية مما يؤدى إلى زيادة عمليات الصيانة للمعدات ووقف عمليات الإنتاج لمدد أطول من اللازم و هذا التوقف **يؤدى إلى زيادة التكاليف** و نقص الإنتاج .

٢ـ تقليل الكفاءة : تؤدى عمليات التآكل إلى تقليل كفاءة المعدات أو الخطوط و ذلك نتيجة تراكم نواتج التآكل حيث يؤدى ذلك فى بعض الأحيان إلى زيادة القوة المطلوبة لدفع السائل داخل الخطوط و كذلك تقليل الحيز اللازم لمرور السائل و يمكن أن يؤدى تراكم التآكل إلى تقليل الانتقال الحرارى من خلالها أو إنتاج منتجات معيبة .

٣ـ التلوث بنواتج التآكل : بعض الصناعات مثل الصناعات الكيميائية أو صناعة الأغذية لا تسمح بتلوث منتجاتها بأكسيد المعدن و لتجنب هذا التلوث الناتج عن التآكل فإنه يتم تصنيع الأوعية و الخطوط من الصلب الذى لا يصدأ .

٤ـ الفقد أو الخسارة العامة : التآكل يمكن أن يؤدى إلى حدوث خطورة على أرواح العاملين بالوحدة أو المصنع و هذه خسارة غير محسوبة فى التصميم و لكن يجب أن تؤخذ فى الاعتبار .

و بعض التعريفات الهامة التى تساعد على معرفة ما هو التآكل و أسباب حدوثه و طرق مقاومتها يمكن ان نوجزها فيما يلى :

١ـ التآكل :ـ هو رد فعل كهروكيميائى للمعادن المحاطة بمواد كيميائية من التربة أو ماء و هذه تشكل خلايا توصيل تولد الكهرباء نتيجة فرق الجهد الطبيعى بين المعادن و الذى ينتج عنه ذوبان المعدن الأكثر نشاطاً .

٢ـ الأنود ( المصعد ـ القطب الموجب ) :ـ معدن له مستوى أعلى من الطاقة ( القيمة المطلقة لفرق الجهد ) أو ( فرق جهد قطبى ٧ أقل مع وضع الاشارة فى الاعتبار طبقاً لترتيبه فى السلسلة الكهروكيميائية ) و ينساب منه التيار خلال التربة و هو الجسم الذى يحدث له التآكل .

٣- الكاثود ( المهبط - القطب السالب ) :- معدن له مستوى أقل من الطاقة ( القيمة المطلقة لفرق الجهد ) أو ( فرق جهد قطبى V أعلى مع وضع الاشارة فى الاعتبار طبقاً لترتيبه فى السلسلة الكهروكيميائية ) و ينساب منه التيار خلال سلك التوصيل و هو الجسم الذى يتم حمايته من التآكل .

٤- الأيون :- هو ذرة أو مجموعة ذرات تحمل شحنة كهربية موجبة أو سالبة فاذا كانت أيونات موجبة يقال انها عناصر موجبة التكهرب و اذا كانت ايونات سالبة يقال انها سالبة التكهرب .

٥- الأيون الموجب :- يتكون بفقد الكترونات من الذرات التى لها أنصاف أقطار كبيرة و تحتوى طبقاتها الخارجية على عدد قليل من الإلكترونات .

٦- الأيون السالب :- يتكون باكتساب الذرة للالكترونات .

٧- الوسط الالكتروليتى :- هو الذى يسمح بمرور التيار خلاله من المصعد إلى المهبط ( من الأنود إلى الكاثود ) و يكون تربة أو ماء .

٨- الوصلة العازلة :- هى وصلة أو رباط من مادة عازلة كهربائياً بين جزئين من الخط كى تمكننا من منع استمرار التوصيل الكهربى بينهما .

٩ـ الموصل : هو جزء معدنى أو كربونى ينساب فيه التيار الكهربى بواسطة حركة الالكترونات من الكاثود إلى الأنود و هناك نوعان من الموصلات هما : الموصل الالكترونى و هو المعدنى ، و الموصل الأيونى و هو المحلول .

١٠ـ الخلية :ـ هى دائرة كهربية كاملة تتضمن الكاثود و الأنود و موضوعين فى وسط موصل و متصلين بموصل معدنى .

١١ـ قطب كبريتات النحاس :ـ هو قطب يتكون من قضيب من النحاس موضوع فى محلول مشبع من كبريتات النحاس و متصل بسلك لتوصيله بجهاز القياس و هو الأساس فى قياس فرق الجهد للمعادن بالإضافة إلى بعض الأقطاب الأخرى التى تستخدم فى ماء البحر و المعامل .

١٢ـ الاستقطاب :ـ هو التغير الذى يحدث فى جهد القطب نتيجة لانسياب التيار ( الحيود عن حالة الاتزان ) .

١٣ـ السلسلة الكهروكيميائية :ـ هي ترتيب المعادن المختلفة طبقاً للجهد الكهربائي الطبيعي لها من **الاكبر للاصغر** أو هي ترتيب المعادن طبقاً " لمدى مقاومتها للتآكل في ظروف معينة و كل معدن في هذه السلسلة يكون مصعد ( **ANODE** ) للمعادن السابقة له في السلسلة كالتالي :

السلسلة الكهروكيميائية

| Name | رمز | جهد القطب | المنصر |
|---|---|---|---|
| | **Li** | ٣ـ | الليثيوم |
| | **K** | ٢.٩٢ـ | البوتاسيوم |
| | **Ca** | ٢.٨٤ـ | الكالسيوم |
| | **Na** | ٢.٧١ـ | الصوديوم |
| **MAGNESIUM** | **Mg** | ٢.٣٨ـ | ماغنسيوم |
| **ALUMINUM** | **Al** | ١.٦٦ـ | ألومنيوم |
| **ZINC** | **Zn** | ٠.٧٦ـ | زنك ـ خارصين |
| **CHROMIUM** | **Cr** | ٠.٧١ـ | كروم |
| **IRON** | **Fe** | ٠.٤٤ـ | حديد |
| **CADMMIUM** | **Cd** | ٠.٤ـ | كادميوم |
| **NICKEL** | **Ni** | ٠.٢٣ـ | نيكل |
| **TIN** | **Sn** | ٠.١٤ـ | قصدير |
| **LEAD** | **Pb** | ٠.١٣ـ | رصاص |
| **HYDROGEN** | **H** | صفر | هيدروجين |
| **CUPPER** | **Cu** | ٠.٣٤+ | نحاس |
| **SILVER** | **Ag** | ٠.٨+ | فضة |
| **PLLADIUM** | **Pd** | ٠.٨٣+ | بالاديوم |
| **MERCURY** | **Hg** | ٠.٨٥+ | زئبق |
| **PLATINUM** | **Pt** | ١.٢+ | بلاتين |
| **GOLD** | **Au** | ١.٤٢+ | ذهب |

# ميكانيكية التآكل

أولاً : شروط التآكل : لكي يحدث التآكل فهناك شروط يجب توافرها لتكوين خلية التآكل هذه الشروط هي :

١ـ لابد من وجود قطبي التفاعل ( الأنود ـ الكاثود ) .

٢ـ لابد من وجود فرق جهد كهربي بين الكاثود و الأنود لا يقل عن ٥٠ ملي فولت ( هذا الفرق يتولد نتيجة لعدة أسباب مثل اختلاف التركيزات أو اختلاف المواد أو اختلاف نسب الأكسوجين ... الخ ) .

٣ـ لابد من وجود اتصال معدني أو مادي بين الأنود و الكاثود يساعد على مرور التيار الكهربي من خلاله .

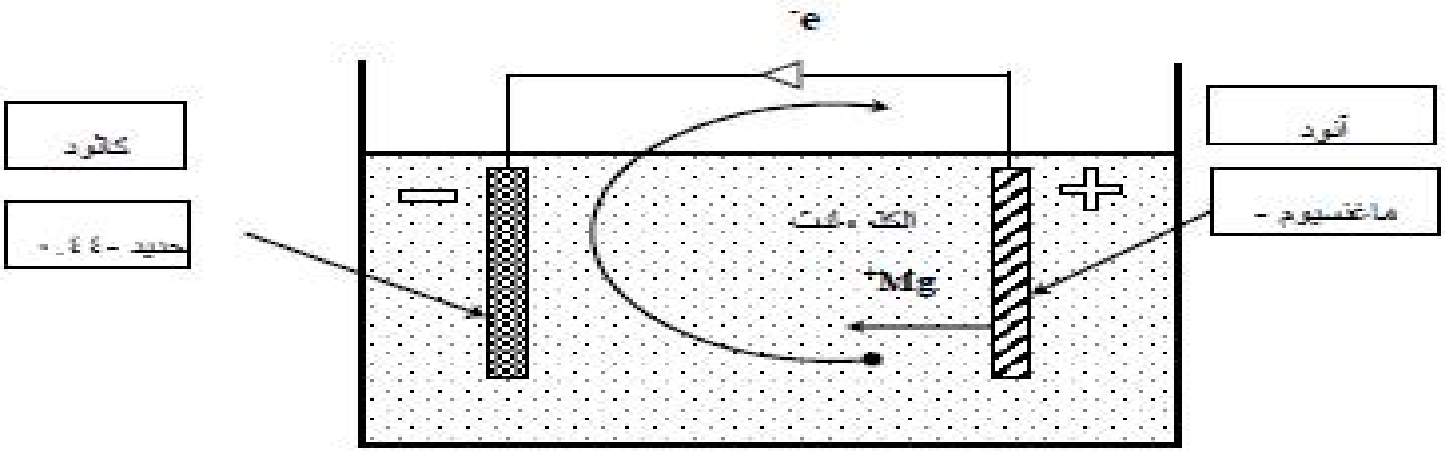
٤ـ لابد من وجود وسط يغمس به كلاً من الأنود و الكاثود و يجب أن تتوفر في هذا الوسط الموصلية الكهربية .

في حالة توافر تلك الشروط مجتمعة تتكون خلية التآكل و يبدأ المعدن في التآكل و بذلك تبنى نظريات منع التآكل على إحداث خلل في أحد الشروط السابقة بغرض منع حدوث التآكل كلية .

ثانياً : حدوث التآكل :

عند غمس قضيبين من الماغنسيوم و الصلب في وسط موصل للكهرباء **ELECTROLYTE** و عند توصيل القضيبين خارجياً بسلك يصبح قضيب الماغنسيوم آنود **ANODE** بينما قضيب الصلب يصبح كاثود **CATHODE** .

حيث يتساب إلكترون $e^-$ سالب الشحنة خلال سلك التوصيل من قضيب الماغنسيوم إلى قضيب الصلب و للاحتفاظ بحالة التوازن يتساب أيون موجب الشحنة $Mg^{++}$ في الوسط الإلكتروليتي من قضيب الماغنسيوم متجه إلى قضيب الصلب و هكذا يحدث تآكل في قضيب الماغنسيوم و لا يحدث تآكل في قضيب الصلب .




العوامل المؤثرة في اختلاف جهد المعدن :

عوامل تخص المعدن وهي :

١ـ طبيعة المعدن ( موقعه في السلسلة الكهروكيميائية ) .

٢ـ تشطيب السطح .

٣ـ درجة حرارة المعدن .

عوامل ترجع إلى المحلول و هي :

١ـ درجة تركيز المحلول .

٢ـ درجة حرارة المحلول .

٣ـ اختلاف التهوية .

## المواد المسببة للتآكل

١ـ مواد أكاله بالزيت الخام .

٢ـ مواد أكالة تنتج أثناء عملية التصنيع أو مستخدمة أثناءه .

## أنواع التآكل المختلفة CORROSION TYPES

### ١ـ التآكل العام GENERAL CORROSION

و هو ما يطلق عليه التآكل المنتظم و معدل التآكل ثابت على الأسطح الداخلية و الخارجية للمعدات بأنواعها سواء كانت خطوط أو أوعية ضغط أو مواسير أو غيرها .

و يقاس معدل التآكل المأخوذ بدلالة نقصان السمك بالمعدن عن السمك الأصلى للمعدن .

و بمعرفة ساعات التشغيل يمكن قياس معدل التآكل كل فترة زمنية معينة و معايرتها بمعدل التآكل السنوى يمكن معرفة الحالة العامة للمعدة .

و يحسب معدل التآكل فى هذه الحالة بالمعادلة الآتية :

معدل التآكل = ( السمك الأصلي - السمك الحالي ) × ٧٩٠٠ مم / سنة

فرق عدد ساعات التشغيل بين القياسين

مثال : المطلوب تحديد معدل التآكل لماسورة كان بيانها كالتالي :

- السمك السابق ٩ مم - عدد ساعات التشغيل عنده = ٧٢٦٠٠ ساعة
- السمك الحالي ٥ مم - عدد ساعات التشغيل = ٩٦٦٠٠ ساعة

معدل التآكل = ( ٩ - ٥ ) × ٧٩٠٠

٩٦٦٠٠ - ٧٢٦٠٠

= ١٫٣١٦ مم / سنة

## ٢ـ التآكل الجلفانى GALVANIC CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل عند تلامس أو اتصال معدنين مختلفين فى الجهد الكهربى أى يشكل أحد المعدنين منطقة آنود و الآخر منطقة كاثود و يمكن معرفة ذلك بدراسة السلسلة الكهروكيميائية (( GALVANIC SERIES حيث يبين الجدول أن القطب الذى يكون موجب يكون كاثود و الآخر السالب آنود .

## ٣ـ التآكل بين الفجوات CREVICE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل فى الفجوات الصغيرة الموجودة بين معدنين مثل فجوات المسامير المقلوظة و خلافه و التى يكون تركيز الأكسجين فى تلك الفجوات محدود ( آنود ) بينما السطح الخارجى يكون ( كاثود ) به تركيز عالى من الأكسوجين مما يؤدى لحدوث تآكل لتلك الفجوات ( الآنود ) .

## ٤- التآكل بالنقر PITTING CORROSION

التآكل بالنقر هو عبارة عن هجوم موضعى سريع ينشأ عن تكوين تجويف داخل المعدن الغير معرض للتآكل مما يؤدى إلى وصول التخانة فى بعض المناطق إلى الصفر و يؤدى لحدوث الثقوب العديدة نتيجة تعرض المعدن لأوساط أكالة شديدة و يحدث هذا النوع دائماً فى أنواع عديدة من ( STAINLESS STEEL ) .

يحدث التآكل بالنقر عادة فى المعادن التى تظهر فيها ظاهرة الخمول أو التى تغطى بطبقة من الأكسيد حيث يحدث بها خدش ينتج عنه مساحة أنودية صغيرة و تكون المساحة الكاثودية كبيرة و يكون تيار التآكل عالى يؤدى لتآكل السطح .

## ٥-التآكل الاختيارى SELECTIVE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل فقط بالنسبة للسبائك التى تتكون من معدنين أو أكثر و يبدأ التآكل بسبب اختلاف موضعى فى التركيب و نتيجة لذلك يبقى المعدن الأكثر كاثودية بينما يتآكل المعدن الأكثر نودية .

و مقاومة السبيكة تعتمد على تركيبها و تزداد المقاومة للتآكل بزيادة تركيز المعدن الأكثر كاثودية فى السبيكة .

## ٦ـ التآكل المصاحب بعامل ميكانيكى EROSION CORROSION

و يحدث نتيجة قوى القص و الاحتكاك بين السائل و المعدن و يرجع هذا النوع من التآكل إلى التآكل الناتج عن تأثير الفعل الميكانيكى للسائل على المعدن .

## ٧ـ التآكل تحت سطح الماء ( UNDER WATER CORROSION WATER LINE ATTACK )

يحدث هذا النوع من التآكل تحت مستوى الماء مباشرة و ذلك للمعادن المغموسة فى الماء أو التربة و هذا ناتج عن اختلاف تركيز الأكسوجين على السطح منه لداخل الماء ( حيث المناطق المغمورة بالماء تعتبر آنود بالنسبة للمناطق ذات التركيز العالى من الأكسوجين ) و يحدث التآكل فى المناطق المغمورة ( الآنود ) .

## ٨ـ التآكل الناتج عن الرواسب DEPOSIT CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل نتيجة وجود رواسب على أجزاء المعدن و التى تحجب جزء من المعدن عن الأكسوجين مما يؤدى إلى تكوين خلية التركيز بالأكسوجين و يحدث التآكل فى الأماكن التى يوجد عليها الرواسب ( ذات التركيز الأكسوجينى المنخفض ) .

## ٩ـ التآكل بين حدود الحبيبات INTER CRYSTALLINE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل للصلب الأستينى ٨/١٨ المحتوى على نسبة كربون بين ( ٠.٠٨ ـ ٠.١ % فى درجات الحرارة ما بين ٤٠٠ ـ ٨٠٠ $^{o}$م أو إذا برد تبريداً بطيئاً فى نفس المدى من درجات الحرارة ) .

و من الأوساط الأكالة المسببة لهذا النوع من التآكل ( محاليل الأحماض ـ محاليل الكلوريدات المتعادلة مثل ماء البحر ) .

كما أن طريقة اللحام لها تأثير أيضاً خصوصاً القوس الكهربائى ( حرارة عالية ـ تبريد بطئ ) مما يجعل الصلب حساس لهذا النوع من التآكل .

و حساسية الصلب ترجع إلى تكوين كربيدات من الكروم (( **CR23 C6** و تترسب على حدود الحبيبات و بالتالى نجد أن المناطق المجاورة لحدود الحبيبات يسحب منها الكروم و لذلك نجد أن هناك تركيز عالى من الكروم موجود داخل الحبيبة و على حدود الحبيبات بينما المناطق المجاورة لحدود الحبيبات بها تركيز منخفض من الكروم و بالتالى جهدها أكثر نشاطاً ـ أى تعمل كأنود بينما الحبيبة نفسها ـ حدود الحبيبات ـ تعمل ككاثود .

<u>العلاج :</u>

١ـ إزالة الكربيدات بواسطة المعالجة الحرارية .

٢ـ إضافة مواد مثبتة مثل التيتانيوم و الفاناديوم .

٣ـ تقليل نسبة الكربون **T3316L** .

## ١٠ـ التآكل التشرخي الإجهادي STRESS CORROSION

التشرخ الإجهادى التآكلى يطلق على التأثير المشترك بين اجهادات الشد و الوسط الأكال على المعدن و هى اجهادات يمكن أن تكون مطبقة على المعدن أو اجهادات متخلفة داخل المعدن ( RESIDUAL STRESS ) و التى تنشأ نتيجة ظروف عديدة منها التصميم الغير جيد ـ التشغيل على البارد ـ عمليات اللحام .

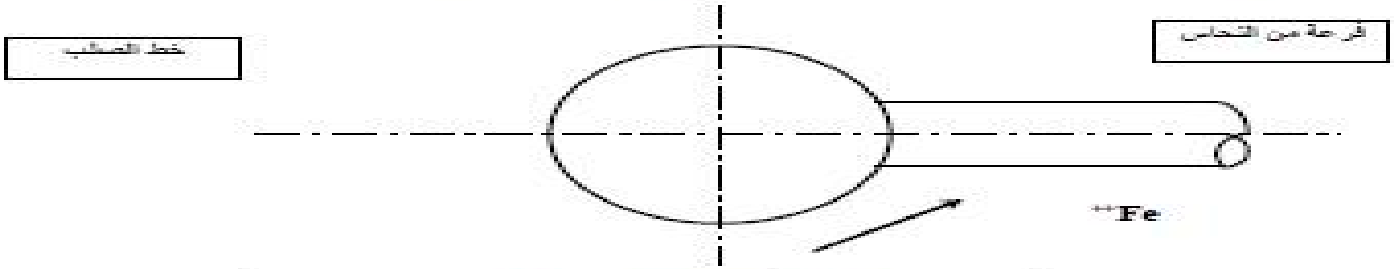
و يتشابه هذا النوع من التآكل مع التآكل بالنقر فى حدوثه للسبائك القابلة للخمول من ناحية التأثير الأولى للوسط الأكال الذى غالباً ما يكون تأثير أيونات الكلوريدات على طبق الأكسيد الخاملة مما يؤدى إلى تكوين شرخ فى هذه الطبقة ثم حدوث الخطوة الثانية و هى التآكل بالنقر أو التشرخ الإجهادى التآكلى حسب مقدار الإجهادات الموجود وكذلك جهد التآكل .

## ظروف تكوين خلية التآكل في المواسير المدفونة

يتم دفن خطوط الصلب على أعماق قد تصل إلى ٢ متر حيث يرتفع مستوى المياه الجوفية ليصبح الردم وسط " الكتروليتى " جيد التوصيل للكهربية و تتكون خلية التآكل عند تعرض خط الصلب إلى الظروف التالية :-

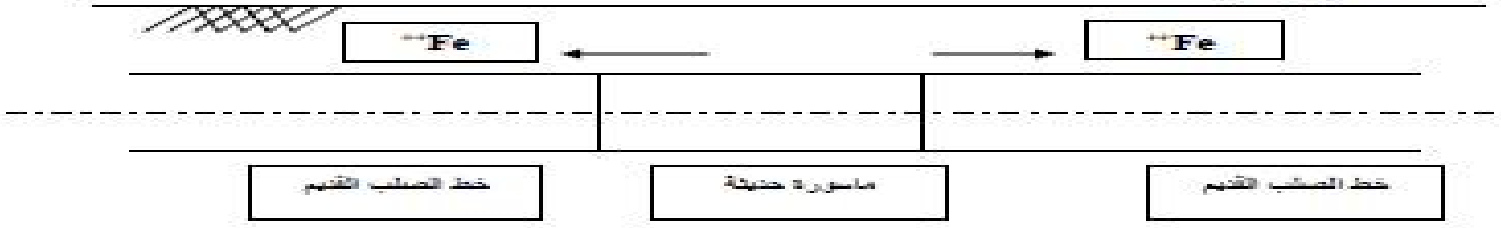
١ - تنوع مواد مكونات خط الصلب :

- عند اتصال خط الصلب بمعدن بسيط فى السلسلة الكهروكيميائية ( نحاس ) فإن خط الصلب يصبح آنود بينما وصلة النحاس تصبح كاثود .



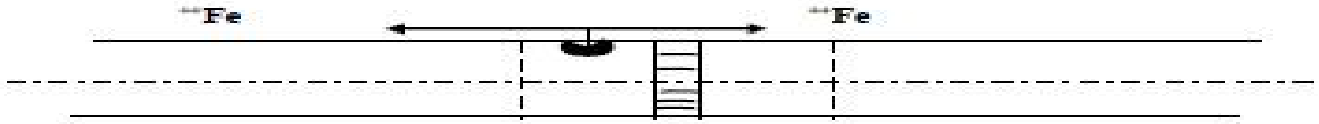

خلية تآكل بين النحاس و الصلب

- قد تحدث خلية التآكل بين ماسورة الصلب الجديدة المتصلة مع خط عامل قديم أثر عملية إحلال أو إصلاح فتكون الماسورة الجديدة " آنود " بينما باقى الخط " كاثود " .




*خلية تآكل فى مواسير الصلب حديثة التركيب*

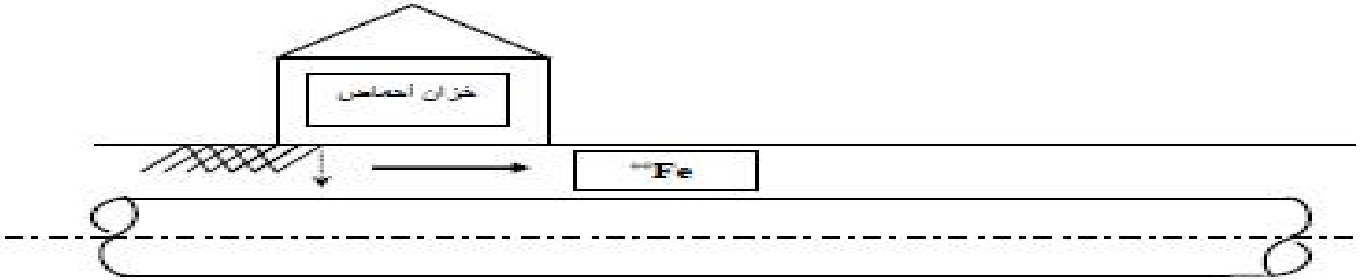
- و تحدث خلية التآكل في مناطق رءوس اللحامات نتيجة اختلاف المنطقة المتأثرة باللحام **H.A.Z** مبتالورجياً عن مناطق الماسورة الأخرى فتصبح تلك المنطقة " أنوداً " بينما باقي جسم الماسورة " كاثوداً " .




خلية تآكل في مناطق رءوس اللحامات

٢ـ تنوع مكونات مواد الردم :

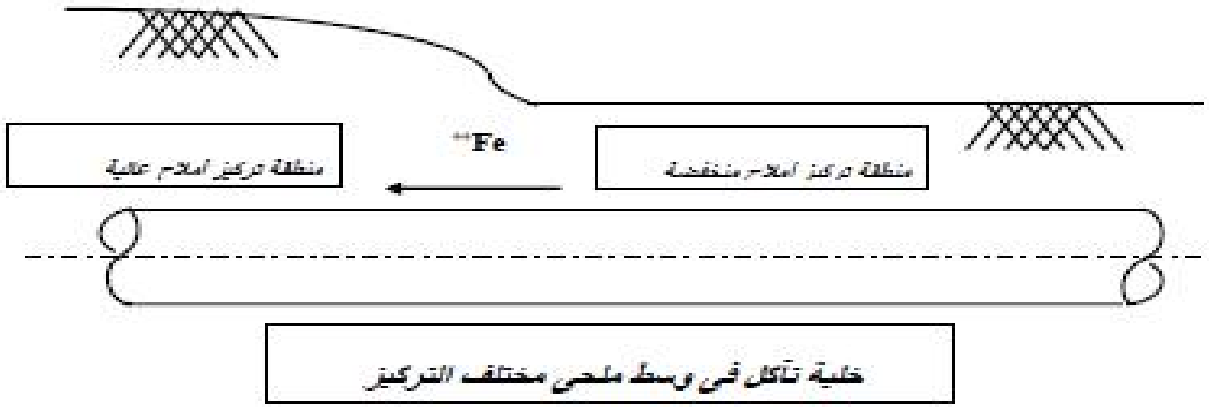
* جزء خط الصلب المدفون في الردم المشبع بأحماض متسربة من وعاء تصبح أنوداً بينما باقي الخط يصبح كاثوداً .




خلية تآكل في الوسط المشبع بالأحماض

- اختلاف نسبة تركيز الأملاح في مواد الردم يؤدي إلى تكوين الردم يؤدي إلى تكوين خلية التآكل . فنجد أن جزئية الخط المار في منطقة ذات تركيز ملحي

منخفض تكون " آنوداً " بينما جزئية الخط المار في المنطقة ذات تركيز ملحي عالي تكون " كاثوداً "




* نسبة المحتوى الأكسجيني في ردم الخط : اختلاف درجة التهوية في ردم خطوط الصلب يؤدي إلى تكوين خلية التآكل . فنجد أن جزية خط الصلب المردومة في منطقة ذات تركيز أكسجين منخفض تكون " آنوداً " بينما المردومة في منطقة ذات تركيز أكسجين عالية تكون " كاثوداً " .