الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب: .....

رقم التسلسل: .....

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان: علوم وتكنولوجيا

شعبة: هندسة طرائق

تخصص: هندسة كيميائية

من إعداد الطالبات:

بوغزاله حمد أحلام - بوطيب زينب – حامدي شهلاء

بعنوان

استعمال الجيلاتين كمثبط دراسة كهروكيميائية

نوقشت يوم: 2024/06/03

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

- رواحنا نور الدين	أستاذ محاضر - أ -	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	رئيسًا
- بوعافية عبد الرحمان	أستاذ محاضر - ب -	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	مناقشًا
- شعبية ناصر	أستاذ مساعد - أ -	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	مؤطرًا

الموسم الجامعي 2024/2023

﴿37﴾ وَأَن لَّيْسَ لِلْإِنسَٰنِ إِلَّا مَا سَعَىٰ ﴿38﴾ وَأَنَّ سَعْيَهُۥ سَوْفَ
يُرَىٰ ﴿39﴾ ثُمَّ يُجْزَىٰهُ ٱلْجَزَآءَ ٱلْأَوْفَىٰ ﴿40﴾ وَأَنَّ إِلَىٰ رَبِّكَ ٱلْمُنتَهَىٰ

الإهداء

الحمد لله حبا الحمد لله شكرا

" وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين "

من قال أنا لها "نالها "

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون،

لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق كان محفوفا بالتسهيلات،

لكنني فعلتها ونلتها

ها أنا اليوم أتوج لحظاتي الأخيرة في ذلك الطريق الذي كان يحمل في باطنه الكثير من الصعوبات والمشقة والتعب ،ها أنا أقف على عتبة تخرجي اقطف ثمار تعبي، فاللهم لك الحمد بفضلك سبحانك أنظر إلى حلم طال انتظاره وقد أصبح واقعا أفتخر به.

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها واحتضنني قلبها قبل يدها وسهلت لي الشدائد بدعائها ، ممتنة أن الله اصطفاك لي من البشر يا خير سند وعوض "أمي".

إلى من زين اسمي بأجمل الألقاب إلى داعمي الأول في مسيرتي وسندي وقوتي وملاذي بعد الله إلى فخري واعتزازي "أبي"

إلى من قيل فيهم " سنشد عضدك بأخيك " إلى من مدو أيديهم دون كلل ولا ملل وقت ضعفي إلى خير أيامي وصفوتها إلى قرة عيني "اخوتي ".

لكل مكان عونا وسندا في هذا الطريق من قريب وبعيد ،إلى كل من ساندني وأعانني طيلة فترة دراستي، أهديكم هذا الانجاز وثمرة نجاحي التي أتتمتها راجية من الله تعالى أن ينفعني بما علمني وأن يعلمني ما أجهل، ما سلكنا البدايات إلى بتيسيره ،وما بلغنا النهايات إلى بتوفيقه ،وما حققنا الغايات إلى بفضله ،فالحمد لله على هذه الثمرة جعلها الله حجة لي لا علي

شكر وعرفان

قال تعالى " لئن شكرتم لأزيدنكم "

الحمد والشكر لله الذي أنار لنا

درب العلم والمعرفة لانجاز هذا العمل

ووفقنا وأعاننا عليه فلك الحمد ربي دائما وأبدا .

نتوجه بجزيل الشكر والاحترام والامتنان لكل من ساعدنا من قريب أو بعيد على انجاز هذا العمل وفي تذليل ما واجهنا من صعوبات

ونخص بالذكر الأستاذ المشرف الذي لم يبخل بتوجيهاته ونصائحه القيمة التي كانت عونا لنا في أتمام هذا الإنجاز المتواضع " الأستاذ ناصر شعبية " على تأطيره لهاته المذكرة وعلى ما بذله من جهد وإرشاد خلال مراحل هذا العمل.

وكما لا ننسى بأن نعترف بالجميل ونعبر بالكلمات التي لا تفي حق كل من كان سندا في هذا العمل و مد لنا يد العون من الاساتذة الكرام والعملاء في مشوارنا الدراسي من أول الطريق إلى آخره و المخبريين الذين لم يبخلو علينا بمساعدتهم لنا.

وأخيرا نشكر كل من ساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في تحقيق هذا العمل.

فهرس المحتويات

شكر وعرفان I

الإهداء..... II

فهرس المحتويات III

قائمة الأشكال VIII

قائمة الرموز والاختصارات X

المقدمة العامة..... 2

الدراسة النظرية

الفصل الأول: عموميات حول التآكل وطرق السيطرة عليه

تمهيد..... 4

I.1. عموميات حول التآكل و طرق السيطرة عليه..... 4

I.1.1. مفهوم التـآكل..... 4

I.1.2. أنواع التـآكل..... 4

I.1.2.1. التآكل الكهروكيميائي..... 5

I.1.2.2. التآكل البكتيري (البيولوجي)..... 5

I.1.2.3. التآكل الكيميائي (الجاف)..... 5

I.1.3. أشكال التآكل..... 6

I.1.3.1. التآكل المنتظم (العام) (General Wear)..... 6

I.1.3.2. التآكل بالتعرية..... 6

I.1.3.3. التآكل تحت الإجهاد (الإجهادي) (Eating Under Stress)..... 7

I.1.3.4. التآكل بين الحبيبات 8

I.1.3.5. التآكل الجلفاني..... 8

I.1.3.6. التآكل الموضعي (بالنقر) (Pitting corrosion) 9
I.1.3.7. التآكل الشقي أو التجويفي..... 9
I.1.4. آلية التآكل..... 10
I.1.5. أسباب تآكل المعادن..... 11
I.1.6. العوامل المؤثرة على التآكل..... 11
I.1.7. شروط حدوث التآكل الكهروكيميائي للمعادن..... 12
I.1.8. الحماية من التآكل..... 12
I.1.8.1. الحماية بالتغطية..... 13
I.1.8.2. الحماية المهبطية (الكاثودية)..... 13
I.1.8.3. الحماية المصعدية (الأنودية)..... 13
I.1.8.4. الحماية بالتصميم المناسب..... 13
I.1.8.4.1. الحماية بالتصميم المناسب من ناحية البيئة..... 13
I.1.8.4.2. الحمايـة بالتصميـم المناسب من ناحيـة الإجـهـادات..... 14
I.1.8.4.3. الحمـايـة بالتصميـم المنـاسـب من نـاحيـة الشـكل والمظـهر..... 14
I.1.8.5. تغيير وسط التآكل..... 14
I.2. استعمال المثبطات للتآكل..... 15
I.2.1. مفهوم المثبطات..... 15
I.2.2. بداية استخدامها..... 15
I.2.3. تصنيف المثبطات..... 15
I.2.3.1. حسب وسط استعمالها..... 16
مثبطات تعمل في الأوساط السائلة..... 16
مثبطات تعمل في الأوساط الغازية..... 16
I.2.3.2. حسب تأثيرها على التفاعلات الكهروكيميائية..... 16

المثبطات المصعدية (الأنودية).....16
المثبطات المهبطية (الكاثودية).....16
المثبطات المختلطة.....16
I.3.3.2. حسب آلية التفاعل.....16
بالإمتزاز.....16
بالترسيب.....16
الخمولية.....17
بإزالة العنصر الآكال.....17
I.4.3.2. حسب طبيعتها.....17
المثبطات غير العضوية.....17
المثبطات العضوية.....17
I.4.2. الخصائص الأساسية للمثبطات.....17
I.3. مدخل الى مادة الجيلاتين.....18
I.1.3. مفهوم الجيلاتين.....18
I.2.3. مصدر الجيلاتين.....19
I.3.3. بنية وتركيب الجيلاتين.....19
I.4.3. تحول البنية الكيميائية للجيلاتين.....20
I.4. الفولاذ الكربوني.....20
I.1.4. تعريف الفولاذ الكربوني.....20
I.2.4. أنواعه.....21
I.3.4. استخدامات الفولاذ الكربوني.....21
I.4.4. اهميته.....21
مراجع الفصل الأول.....22

الدراسة العملية

الفصل الثاني: الطرق الكهروكيميائية والمواد المستعملة

تمهيد.....26
II.1. تعريف التقنيات الكهروكيميائية.....26
II.1.1. الفولطامتري الخطي.....26
II.1.2. الكرونوامبيرو متري (chronoampèromètrie).....26
II.2. الأجهزة الكهروكيميائية المستخدمة.....26
II.2.1. الخلية الكهروكيميائية.....26
II.2.2. الأقطاب.....27
قطب المساعد (AE).....28
القطب المرجع (RE).....28
القطب العمل(WE).....28
II.3. التركيب التجريبي المستعمل.....29
المواد المستعملة.....29
الأدوات المستعملة.....30
مراجع الفصل الثاني.....31

الفصل الثالث:تحليل ومناقشة النتائج

تمهيد.....33
III .1. طريقة الغمس.....33
III.1.1. قياس جهد التوازن نصف ساعة.....33
III.1.2. منحنى الإستقطاب.....34
III.1. 3. منحنى تفال 34
III.1. 4. قياس جهد التوازن لمدة ساعة 36

III.1.1. 5. منحنى الاستقطاب 37
III.1.1. 6. منحنى تفال (Tafel)..... 38
III.1.1. 7. قياس جهد التوازن خلال ساعتين 39
III.1.1. 8. منحنى الاستقطاب 40
III.1.1. 9. منحنى تفال (Tafel)..... 40
III.2. طريقة التثبيت..... 42
III.2.1. منحنى كرونوامبيرومتري..... 42
III.2.2. منحنى الاستقطاب..... 44
III.2.3. منحنى تفال..... 44
III.2.4. منحنى الاستقطاب لمدة ساعة 46
III.2.5. منحنى تفال 47
III.2.6. منحنى الاستقطاب لمدة ساعتين 48
III.2.7. منحنى تفال 49
تحليل النتائج..... 51
خاتمة عامة..... 53
ملخص

فهرس الأشكال

ترتيب الشكل	عنوان الشكل	الصفحة

الفصل الأول: الدراسة النظرية

الشكل(1.I): مخطط أنواع التآكل.....4

الشكل(2.I): صورة للتآكل المنتظم (العام).....6

الشكل(3.I): التآكل بالتعرية.....7

الشكل(4.I): صورة للتآكل تحت الإجهاد (الإجهادي).....7

الشكل(5.I): صورة للتآكل بين الحبيبات 8

الشكل(6.I): صورة للتآكل الجلفاني.....8

الشكل(7.I): صورة للتآكل الموضعي.....9

الشكل(8.I): صورة للتآكل الشقي 10

الشكل(9.I): مخطط يوضح أهم عوامل التآكل.....12

الشكل(10.I): صور لبعض التصاميم الهندسية المناسبة لتفادي التآكل.....14

الشكل(11.I): صورة للجيلاتين المستعمل.....18

الشكل(12.I): صورة لتركيبة الأحماض الأمينية للجيلاتين.....19

الشكل(13.I): صورة لسلسلة لهيكل الجيلاتين (التكوين الكيميائي للجيلاتين).....20

الفصل الثاني :الطرق الكهروكيميائية والمواد المستعملة

الشكل(1.II): صورة للخلية الكهروكيميائية 27

الشكل(2.II): صورة لقطب البلاتين المساعد.....27

الشكل(3.II): صورة لقطب المرجع RE (Ag/Agcl/Kcl).....28

الشكل(4.II): صورة لقطب العمل (WE).....28

الشكل(5.II): صورة للتركيب التطبيقي المستعمل في التجربة.....29

الفصل الثالث:تحليل ومناقشة النتائج

الشكل(1.III): قياس جهد التوازن **(أ)**: فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl و **(ب)** : فولاذ في 15 ملل من محلول 0.009/NaCl غ من الجيلاتين لمدة نصف ساعة.....33

الشكل(2.III): (ج) منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(د)** منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين 34

الشكل(3.III): منحنى تفال**(و)** : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى **(ي)** : الفولاذ / NaCl بوجود الجيلاتين.....35

الشكل(4.III): قياس جهد التوازن منحنى**(أ)** :فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl والمنحنى**(ب)** : فولاذ في 15 ملل محلول NaCl / 0.009 غ من الجيلاتين لمدة ساعة.....36

الشكل(5.III):(ج): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl، **(د)** منحنى استقطاب الفولاذ في NaCl بوجود الجيلاتين.....37

الشكل(6.III) : منحنى تفال (و) : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى (ي) : الفولاذ /محلول NaCl بوجود الجيلاتين.....38

الشكل(7.III): قياس جهد التوازن المنحنى**(أ)**: فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl و المنحنى**(ب)** : فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl / 0.009 غ من الجيلاتين لمدة ساعتين.....39

الشكل(8.III):(ج) :منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ، **(د):** منحنى استقطاب الفولاذ في NaCl بوجود الجيلاتين.....40

الشكل(9.III) : منحنى تفال(و) : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى (ي) : الفولاذ / NaCl بوجود الجيلاتين.....41

الشكل(10.III): منحنيات كرونوامبيرومتري i=f(t) (الجهد E=-1000mV).....43

الشكل(11.III): (4): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(5) :** منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين 44

الشكل(12.III): منحنى تفال **(6)** : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى **(7)** : الفولاذ / NaCl 3% بوجود الجيلاتين.....45

الشكل(13.III) : (4): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(5):** منحنى استقطاب الفولاذ في3% NaCl بوجود الجيلاتين 46

الشكل(14.III) : منحنى تفال **(6)** : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى **(7)** : الفولاذ / NaCl بوجود الجيلاتين.....47

الشكل(15.III) : (4): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(5):** منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين.....49

الشكل(16.III) : منحنى تفال **(6) :** الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى **(7) :** الفولاذ /3% NaCl بوجود الجيلاتين.....50

قائمة الاختصارات والرموز

الرموز	الاسم
pH	درجة الحموضة
V0	السرعة بدون مثبط.
V	السرعة بوجود المثبط.
E	الجهد(volte)
I	التيار(A) .
AE	القطب المساعد Electrode L'auxiliaire .
RE	قطب المراجع
WE	قطب العملElectrode Work:
ECS	قطب الكالوميل المشبع(Saturated Calomel Electrode
$\boldsymbol{Lcun}$	كثافة تيار التآكل في غياب المثبط.
$\boldsymbol{Lcin}$	كثافة التيار بوجود المثبط
IE%	نسبة التثبيط .
Bc	معامل Tafel الكاثودي.
Ba	معامل Tafel الانودي.
Rp	مقاومة التأين .
Coef	معامل Coefficient.
$\boldsymbol{icorr}$	تيار التآكل.
Corrosion	سرعة التآكل.
أ	فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl.

ب	فولاذ 15 ملل من محلول 0.009/NaCl غ من الجيلاتين.
X52 Acier	الفولاذ الكربوني .
Ec	جهد المؤكسد.
Ea	جهد المرجع .

مقدمة عامة

مقدمة عامة

تعتبر الكهروكيمياء علم من العلوم التكنولوجية التي تهتم بدراسة المادة ومحيطها الخارجي، كما تعالج المشاكل الاقتصادية الكبرى التي تواجه التطور.ومن اهمها ظاهرة التاكل التي تؤدي إلى إتلاف كميات كبيرة من المنشآت والمعادن ولذلك تبذل جهود كبيرة بهدف الوقاية منه [1]، ولأن أكثر المواد استعمالا هو الفولاذ كما يتآكل في معظم الأوساط لابد من دراسته وحمايته بعدة طرق مختلفة من أهمها وأكثرها فاعلية هي استخدام المثبطات التي تعمل على تقليل سرعة التآكل إلى أقل حد ممكن.

تصنف المثبطات حسب طبيعتها الكيميائية إلى عضوية وغير عضوية حيث سنركز في عملنا على المثبطات العضوية فهي تؤثر في الطبقة الكهربائية المزدوجة التي تنشأ في وسط التآكل بين السطح والقطب والأيونات المنتشرة في المحلول.

لهذا قمنا باختيار أحد المواد الغير شائعة في مجال المثبطات وهي الجيلاتين حيث يعتبر من المواد الغذائية المهمة ويدخل في العديد من الصناعات بما يقرب 65% من الصناعات الغذائية و 15% في المجال الصيدلاني و20 % في مجال التصوير.

حيث ينقسم هذا البحث إلى جزئين :

- **الجزء النظري:** يحتوي على عموميات حول التآكل وأنواعه وطرق الحماية منه، واستعمال المثبطات للتآكل ودراسة مادة الجيلاتين والفولاذ الكربوني X52.
- **الجزء العملي:** يحتوي على فصلين:
  - **الفصل الأول:** (دراسة التقنيات والأجهزة الكهروكيميائية المستعملة).
  - **الفصل الثاني:** (مناقشة وتحليل النتائج).

الخاتمة العامة

الدراسة النظرية

الفصل الأول

عموميات حول التآكل وطرق السيطرة عليه

تمهيد:

من الظواهر الكيميائية التي تعد مهمة في الصناعات العالمية هي عملية التآكل فهو سبب للمشاكل الاقتصادية الكبرى ويعتبر عامل رئيسي لانهيار المنشآت وتآكلها.

سنتطرق في هذا الفصل إلى دراسة مفهوم التآكل والتعرف على أنواعه وكيفية الحد منه ولو نسبيا بواسطة المثبطات ، كما نتعرف على أشكاله وآلية حدوثه والخصائص التي تميزه ومعرفة طريقة تثبيطها للتآكل. حيث قمنا باختيار مادة الجيلاتين كمثبط وسنتعرف على مصدر استخلاصه وبنيته وأهم استخداماته، كما سنقوم بدراسة الفولاذ الكربوني X52 والتعرف على أهميته واستخداماته.

I.1. عموميات حول التآكل وطرق السيطرة عليه:

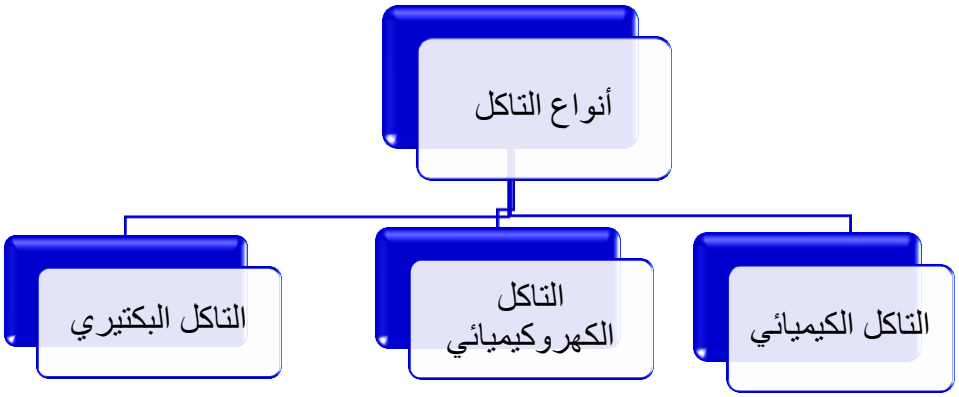
I.1.1. مفهوم التآكل:

يعرف التآكل على انه تلف (جزئي أو كلي) الذي يحدث للفلز أو السبيكة من حيث المظهر أو الأداء بسبب: المعدن نتيجة تدهور في خواصه الطبيعية أثر التفاعلات التي تحدث له في التربة المحيطة. وكلمة Corrosion مشتقة من الكلمة اللاتينية Corroder والتي هي ظاهرة كيميائية من شأنها التسبب في تآكل المنشآت وانهيارها [2].

التآكل عبارة عن أكسدة معدن معرض للمحيط ، وبشكل أدق التآكل عبارة عن تفاعلات كيميائية (تفاعلات أكسدة مصحوبة باختزال)تحدث على سطوح المعادن عندما يكون المعدن على صلة بالوسط المسبب للتآكل مثل الهواء الجوي أو المحاليل المائية وغيرها . ويمكن تعريفه بأنه تلف أكسيدي لمعدن ما ، ومثاله تحول الحديد إلى صدأ [3].

I.1.2. أنواع التآكل:

حسب طبيعة البيئة المحيطة التي تتفاعل معها المادة يمكن تصنيف التآكل كما هو موضح في **الشكل (I.1)**.



الشكل(I.1): مخطط أنواع التآكل.

I.1.2.1. التآكل الكهروكيميائي:

هو التآكل الذي ينشأ بسبب تيار كهربائي تعرض له الفلز أو السبيكة، تنشأ هذه التيارات بسبب تطبيق جهد خارجي أو وجود ازدواج غلفاني أو وجود خلايا غلفانية وهو أكثر الأنواع في الطبيعة، يحدث في الإلكتروليتات (المحاليل الناقلة للتيار الكهربائي) حيث تحدث فيه أكسدة للمعدن و إرجاع للإلكتروليت، يتبع هذا النوع من التآكل الطريقة الكهروكيميائية حيث التفاعل وفق المعادلتين يتم فيهما التبادل الإلكتروني على النحو التالي [4]:

$$M \longrightarrow M^{n+} + né \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(1.I)}$$

$$Ox + né \longrightarrow Red \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(2.I)}$$

يعد خطرا للمعادن إذ يشكل أكثر من 90% من مشاكل التآكل في صناعة النفط، حيث فيه يتم تلف سطح الفلز تحت تأثير التيارات الكهربائية التي تنشأ عن وجود إلكترودين يفصل بين منطقتين في الفلز، منطقة القطب الكهربائي الموجب ومنطقة الكهربائي السالب [5].

I.2.2.1. التآكل البكتيري(البيولوجي):

سببه وجود وتكاثر بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا في منطقة التآكل . تتحمل هذه الأنواع من الكائنات الدقيقة العيش في ظروف قاسية سواء في الأوساط الحمضية أو الأساسية وحتى عند ارتفاع درجة الحرارة إلى 80 درجة مئوية. إن تأثير هذه الكائنات إما على التفاعلات المهبطية والمصعدية أو على طبقة الأكسيد المانعة أو من خلال ما تنتجه من نواتج لها تأثير على وسط التآكل ،ومن ذلك مثلا القدرة على إنتاج الحموضة العضوية [6].

$$SO_4^{-2} + 4H_2 \longrightarrow S^{-2} + 4H_2O \ldots\ldots\ldots \textbf{(3.I)}$$

ومن أنواع تآكل البكتيريا اللاهوائية الذي يحدث لأنابيب الفولاذ المدفونة في التربة وكذلك في بعض المياه المالحة التي تقل فيها نسبة الأكسجين المذاب المحتوية على البكتيريا اللاهوائية التي تسبب تآكلا في بعض المعادن ولبعض هذه البكتيريا لها القدرة على إرجاع الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين الذي يسبب تآكل سبائك النحاس ، حيث يؤدي الغاز إلى تكوين قشرة مسامية من كبريتيد النحاس [6].

I.3.2.1. التآكل الكيميائي (الجاف):

يحدث هذا النوع من التآكل في حالة عدم وجود إلكتروليت موصل . وكذلك يحدث بسبب التفاعل الكيميائي المباشر بين المواد المعدنية والغازات الموجودة في بيئة التآكل . يؤدي التفاعل الكيميائي المباشر للغازات مثل الأوكسجين والنيتروجين و الهالوجينات و كبريتيد الهيدروجين و الأمونيا مع المعادن خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة إلى التآكل الجاف إذا من المحتمل ألا تكون الرطوبة موجودة. يعتمد مدى وشدة التآكل المباشر إلى حد كبير على التقارب الكيميائي بين المعدن والغاز، وطبيعة منتج التآكل المتكون. مثل تآكل الحديد عن طريق الأبخرة أو الغازات المنتشرة في الجو [7].

I.3.1. أشكال التآكل:

إن تـأثير التآكل علـى سطح المعدن يتخذ أشكالا مختلفة يعتمد علـى طبيعـة هذا التآكل وحالـة الوسط وظروفه التي تؤدي إلى حدوثه، وعلى هذا يمكن تمييز أشكال من التآكل أبرزها ما يلي:

I.3.1.1. التآكل المنتظم (العام) (General Wear):

إن هذا الشكل من التآكل هو الأكثر شيوعا من الأنواع الأخرى، حيث يحدث تفاعل إلكتروكيميائي أو كيميائي على سطح المعدن كاملا بانتظام ، الذي يكون في تماس مع الوسط الأكال على كل نقطة من نقاطه وبشكل منتظم، حيث أن سرعة تآكل المعدن تكون ثابتة عبر جميع نقاط السطح [8].

الشكل(I.2): صورة للتآكل المنتظم (العام).

I.3.1.2. التآكل بالتعرية:

هذا النوع يحدث عندما وسط التآكل يكون بشكل متدفق، حيث يُعرف التآكل بالتعرية بأنـهُ الزيـادة في معدل التآكل النسبي بين سطح المعدن و وسط التآكل و من أهم أوساط التآكل، هي الغازات، المحاليل أو المواد العضوية والمعادن المنصهرة. وتعتبر الأجسام الصلبة العالقة في السوائل عوامل مساعدة لحدوث التآكل بالتعرية. والتآكل بالتعرية يكون إما على شكل حفر أو أخاديد و تموجات أو ثقوب دائرية [9،10].

الشكل(3.I): التآكل بالتعرية.

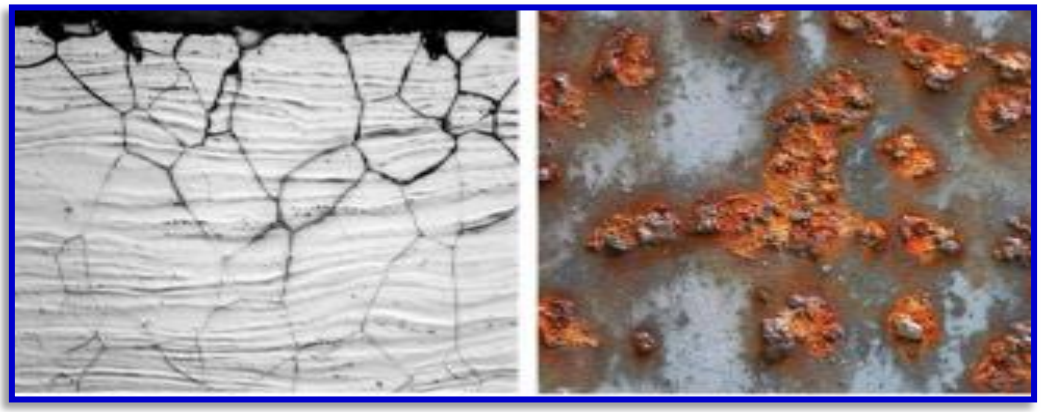
3.3.I. التآكل تحت الإجهاد (الإجهادي)(Eating Under Stress):

ظاهرة تشقق المعادن مسببة لتحطم المعدن بسبب التأثير الخارجي، حيث يسبب الإجهاد تلف في المعادن عالية المقاومة وتنتج هذه الشقوق نتيجة التأثير المزدوج والمتزامن لجهد الشد مع توفر محيط أو وسط يساعد على التآكل [11].

الشكل(4.I): التآكل تحت الإجهاد (الإجهادي).

I.4.3.1. التآكل بين الحبيبات:

ينتج هذا التآكل عن هجوم موضعي على حدود حبيبات المادة، مشكلا مناطق مضطربة متعلقة بالشبكة البلورية، لذلك فهي تحتوي على العديد من العيوب، غالبا ما يصعب اكتشاف هذا النوع من التآكل [12].

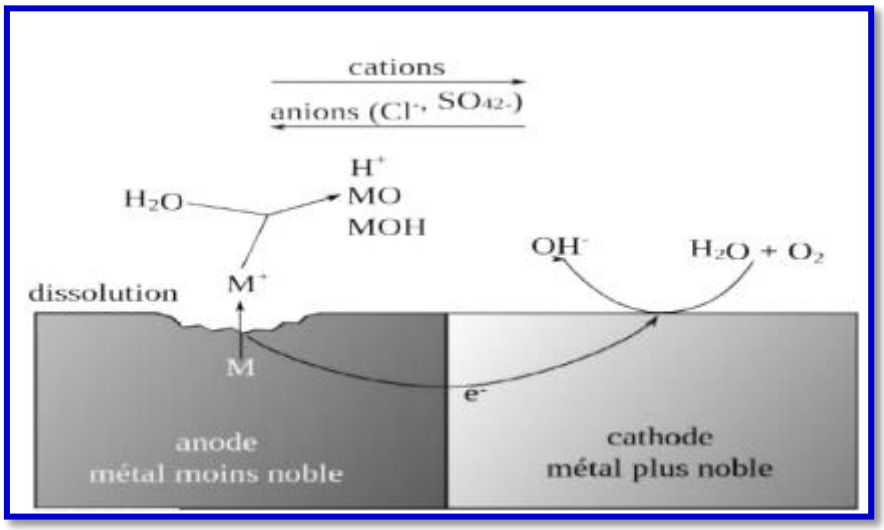


أ - التآكل الحبيبي ب- صورة بالمجهر الإلكتروني للتآكل الحبيبي

الشكل(I.5): التآكل بين الحبيبات .

I.5.3.1. التآكل الجلفاني:

يطلق عليه اسم تآكل ثنائي الفلزات أو تآكل المعدني وهو يحدث بسبب تكوين خلية كهروكيميائية بين معدنين غير متماثلين في وجود إلكتروليت . يحدث عندما تتلامس معادن غير متشابهة ،المعدن ذو خاصية اختزال قليلة يعمل كالانود ويخضع للتآكل بينما المعدن ذو خاصية اختزال عالية يعمل كالكاثود [13،14].



الشكل(I.6): التآكل الجلفاني .

I.1.3.6. التآكل الموضعي (بالنقر) (Pitting corrosion):

هو شكل موضعي من التآكل إذ تتشكل ثقوب صغيرة على سطح المعدن ويكون هذا النوع من التآكل ذاتي التحفيز بطبيعته وهو أكثر أنواع التآكل تدميرا وينتج عنه فشل مفاجئ في المعدات بسبب تكوين حفر أو ثقوب في مناطق سطح المعدن التي تكون أقل تلامسا مع الهواء أو الأوكسجين مقارنة بالمناطق السطحية الأخرى، في التآكل النقري يكون النقر أو الثقب صغيرا جدا على سطح السبيكة ولذا في كثير من الأحيان لا يمكن تحديده، وعادة ما يخترق المعدن من الأعلى إلى الأسفل بشكل عمودي على سطح المعدن، غالبا ما يحدث النقر في وجود أيونات الكلوريد على سبيل المثال النقر الحاصل للفولاذ المقاوم للصدأ المعرض لمحلول كلوريد الحامض ، ويكون المعدن النقي والمتجانس ذو السطح شديد اللمعان أكثر مقاومة للنقر من المعدن الذي يحتوي على العديد من الشوائب والعيوب والسطوح الخشنة [15،16].

الشكل(I.7): التآكل الموضعي.

I.1.3.7. التآكل الشقي أو التجويفي:

التآكل التجويفي ظاهرة تكون الحفر والتجاويف في المعادن بتأثير سائل سريع الحركة على سطح المعدن[17].

الشكل(8.I): التآكل الشقي.

4.1.I. آلية التآكل:

يعرف التآكل بأنه التفاعل الذي يحدث من خلاله انتقال الأيونات من جزء إلى آخر في المعدن و بالإمكان تقسيم التفاعل الكهروكيميائي إلى قسمين من التفاعلات الجزئية أحدهما يمثل الأكسدة (وهي عملية فقدان ذرات المعدن لعدة من الالكترونات) والآخر يمثل الاختزال (وهي عملية اكتساب أيونات المعدن عدد من الالكترونات) [18].

طبقا للنظرية الكهروكيميائية ينقسم تفاعل التآكل بالكامل إلى قطب الأنود وقطب الكاثود، ويحدث التآكل بشكل آلي على السطوح المعدنية، إن تدفق التيار الكهربائي من مساحة الأنود إلى مساحة الكاثود قد يولد خلايا تآكل موقعيه تبدأ إما على سطح معدني واحد بسبب اختلاف فرق الجهد، وتسمى خلية التآكل المجهرية (Corrosion microcellulaire) أو بين سطحين معدنيين فتسمى خلية التآكل العينية أو غير المجهرية (Corrosion des macrocellulaire) بشرط وجود الالكتروليت في كلتا الحالتين الذي يمكن أن يكون ماء الشرب أو ما مالح أو الحوامض و القواعد أو الرطوبة السطحية ، يعد المعدن متصدي عند تحول ذرة المعدن النشيط (الأنود) إلى أيون المعدن بفقدانها واحد أو أكثر من إلكتروناتها [18].

يحدث تآكل الحديد (F_e) عند توفر الظروف المناسبة لذلك وهي الأكسجين والرطوبة، أو المحاليل الكيميائية، وتتضمن تعرض مساحة الأنود لتأثير الإلكتروليت الذي يزيل حالة التعادل الكيميائي عنها بفقدان واحد أو أكثر من الكتروناتها، تفقد ذرة الحديد غير القابلة للذوبان في الالكتروليت اثنين من الكتروناتها وبذلك تحول ذرات الحديد إلى أيونات الحديد (Fe) كما في المعادلة التالية التي تحدث عند قطب الأنود [18]:

$$F_e \longrightarrow F_e^{2+} + 2é \quad \text{.....(4.I)}$$

وكذلك هناك جملة من التفاعلات الكيماوية التي توضح العديد من أنواع التآكل منها [18]:

1) اتحاد معدن فلزي بمادة لا فلزية دون ان يشترك الماء في هذا التفاعل:

$$2F_e + O_2 \longrightarrow 2F_eO \ldots\ldots\ldots (5.I)$$

ويمكن أن يكون أكسيد الحديد (F_e) تحت ظروف معينة.

2) اتحاد الغاز مع الأكسجين مع وجود الماء مثل صدأ الحديد[18]:

$$Fe + 1/2\ O_2 + H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 \ldots\ldots\ldots (6.I)$$

وغالبا ما يتحول $F_e(OH)_2$ إلى (F_eO) أو ($F_{e2}O_3$).

$$F_e(OH)_2 \longrightarrow F_eO + H_2O \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7.I)$$

5.1.I. أسباب تآكل المعادن:

من أهم أسباب تآكل المعادن وجود الماء والهواء بشكل رطب، الوسط الحمضي، الأملاح الكيماويات السائلة،ملمعات المعادن وكذلك الغازات الخطرة [19].

6.1.I. العوامل المؤثرة على التآكل:

العوامل التي تؤدي إلى التآكل كثيرة وهي مرتبة بطبيعة المعدن والوسط المحيط وكذلك بشروط استعمال هذه المادة ونلخص أهم عوامل التآكل في المخطط التالي [12]:

الشكل(9.I): مخطط يوضح أهم عوامل التآكل.

I.7.1. شروط حدوث التآكل الكهروكيميائي للمعادن:

لكي يحدث تآكل لمعدن ما، يجب توفر الشروط التالية [20]:

- لابد من وجود مؤكسد ومرجع
- أن يكون جهد المؤكسد أكبر من جهد المرجع $E_c > E_a$.

I.8.1. الحماية من التآكل:

لا يمكن من الناحية العلمية منع التآكل منعا تاما، إلا أنه يمكن تحسين مقاومة الفلزات والسبائك وإطالة عمرها بوسائل وطرق عديدة، من بينها:

I.1.8.1. الحماية بالتغطية:

الحماية بالتغطية هي أكثر الطرق شيوعا للتصدي لعملية تآكل المعادن، فبعد إعداد الأسطح يتم تغطيتها بطبقة واقية ضد التآكل من معدن مقاوم أو مادة غير معدنية، ومن الأساليب المتبعة للتغطية نذكر [6،21]:

- التغطية بالغمر في المحاليل المعدنية.
- التغطية بالمعادن المنصهرة.
- التغطية بترسيب معدن في الطور الغازي.
- التغطية بطبقة من الطور المعدني الجامد.

I.2.8.1. الحماية المهبطية (الكاثودية):

تكون بتوفير شحنة كهربائية سالبة مستمرة على المعدن ، ويكون مصدر الشحنة الخارجي مصدر طاقة خارجي مباشر ويستخدم هذا من الحماية الخزانات الوقود خطوط الأنابيب تحت الأرض [22].

I.3.8.1. الحماية المصعدية (الأنودية):

تعتبر الحماية الأنودية طريقة للسيطرة على التآكل ، والتي تم تطويرها حديثا أكثر من الحماية الكاثودية، لكنها تستخدم عند الترددات الأقل، أي أن الحماية الأنودية تغطي أو تحجب قطب الأنود (Electrode Anode) في الأنظمة من التآكل بدلا من قطب الكاثود (Electrode Cathode) في الحماية الكاثودية .إن الحماية الأنودية ملائمة للمعادن التي لا تتأكسد (المقاومة للصدأ)، حيث يتم إزاحة جهدها إلى منطقة الخمول Passivity ، أي يتم تحويلها إلى أقطاب موجبة [24،23].

I.4.8.1. الحماية بالتصميم المناسب:

بما أن التصميم هو الخطوة الأولى لتحقيق المشروع، فإنه ذو أهمية كبرى لتفادي حدوث معظم أنواع التآكل، ويشمل عدة نواحي نذكر منها [10]:

I.1.4.8.1. الحماية بالتصميم المناسب من ناحية البيئة:

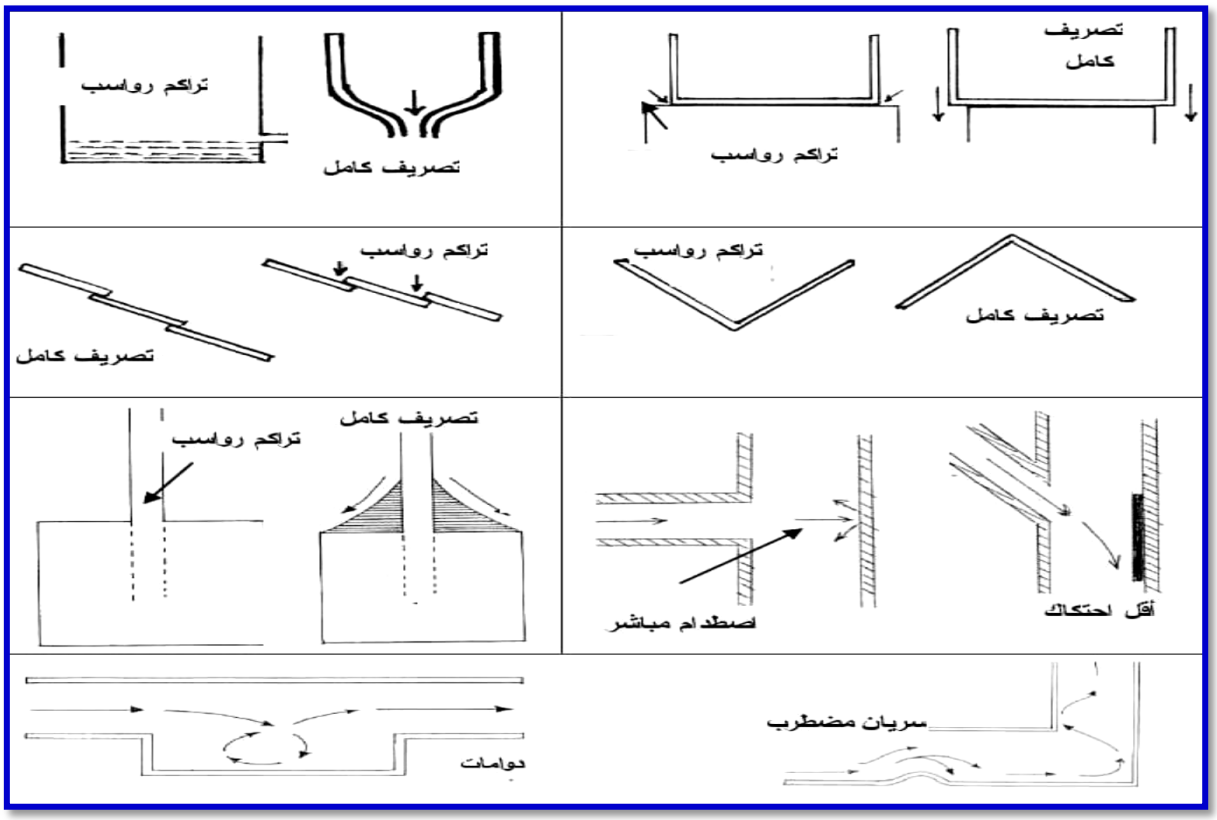
- **الطبيعة الجغرافية للبيئة:** التهوية والمياه والتربة يختلف تأثيرها باختلاف نوعها ومناطق تواجدها [10].
- **الأوساط الكيميائية:** تختلف الأنواع الكيميائية المستخدمة باختلاف الأوساط الكيميائية فالمعادن المستعملة لتفادي التآكل في مياه البحر تختلف عن المستعملة لتفادي التآكل في الوسط الجوي [10].
- **الأوساط الأخرى:** مثل التحام المواد المعدنية مع المواد الغير معدنية مثل الخشب، البلاستيك ..... [10].
- **درجة الحرارة:** كقاعدة عامة بزيادة درجة الحرارة عن 30°C يزداد معدل التآكل لمعدن الحديد أضعاف عند الرطوبة النسبية العالية [10].

I.1.8.4.2. الحماية بالتصميم المناسب من ناحية الإجهادات:

التصميم المناسب يجب أن يأخذ في عين الاعتبار جميع الإجهادات التي تحدث خلال عمر الآلة، وتتضمن إجهادات التشكيل والإجهادات الحرارية عند التصنيع والإهتزاز وكذلك إجهادات الاختبار والتشغيل[10].

I.1.8.4.3. الحماية بالتصميم المناسب من ناحية الشكل والمظهر:

- **اللحام:** يعتبر اللحام من أفضل الطرق لربط قطع المعدن الواحد ويجب أن يكون خاليا من التنوءات والفجوات.
- **الرواسب:** في الأسطح الأفقية مثل: (أسقف المباني والأنابيب وقيعان الخزانات...) كثيرا ما تترسب المياه والأتربة، وهنا يجب تصميم أماكن لتصريفها وعدم تراكمها [10]، ويوضح **الشكل (10.I)** الشكل الصحي لبعض التصاميم:



الشكل(10.I): صور لبعض التصاميم الهندسية المناسبة لتفادي التآكل.

I.1.8.4.5. تغيير وسط التآكل:

إن عملية التغيير في خصائص الوسط تضمن بشكل أفضل السيطرة على عملية التآكل ، ومن أهم هذه الخصائص : التحكم في درجة الحرارة ، سرعة الجريان، إزالة الأكسجين أو العوامل المؤكسدة [25].

I.2. استعمال المثبطات للتآكل:

I.2.1. مفهوم المثبطات:

المثبط مركب كيميائي (عضوي أو معدني) يضاف بكميات قليلة إلى الوسط الأكال فيؤدي إلى إعاقة التآكل وذلك إما بالتقليل من سرعتها، أو بالتقليل من احتمال حدوثها أو بالاثنين معا [26].

يعبر عن مدى فاعلية المثبط بمردود التثبيط (IE) ويدعى أيضا بالقدرة الوقائية والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$1E = \left(\frac{V0-V}{Va}\right)\times 100 \quad \text{.....(8.I)}$$

حيث V ، V_0: سرعتي التآكل في غياب المثبط وفي وجوده على الترتيب.

إن استعمال المثبطات مجال واسع ومعقد ولا يمكن تطبيقه إلا من طرف شخص يملك الخبرة الكافية وإلا كانت النتائج عكس المتوقع [26]، فمثلا شوارد النحاس Cu^{+2} يمكن أن تلعب دور مثبط أو منشط لتأكل سبائك الألمنيوم على حسب تركيزها المضاف إلى الوسط الأكال [27].

I.2.2. بداية استخدامها:

إن تأثير بعض الأيونات والجزيئات (الإضافات Additives) على نمو بلورة الملح المعروف منذ قرون وأحد تلك الأمثلة القديمة هي اليوريا والتي تسبب تغير شكل بلورة كلوريد الصوديوم من المكعب إلى الثماني octahedron (Rodriguez-Navarro et al .2002)، إن كميات بسيطة من إضافات معينة يمكن أن تؤثر بشكل كبير على الخصائص الظاهرية للمعادن فعلى سبيل المثال الجبس والجير من مواد البناء التي استخدمت منذ عصور ما قبل التاريخ وأضيف إليها بعض الإضافات العضوية الشائعة مثل الدم، اليوريا، اللبن، الجبن (الكارين)، وبياض البيض، عصير النباتات (Rodriguez-Navarro and Benning 2013)على الرغم من انتشار استخدام مثبطات التبلور الملحي فإن تأثيرها على نواة البلورات النامية غير مفهوم بشكل كامل(Rodriguez-Navarro et al .2002) [28].

I.2.3. تصنيف المثبطات:

تصنف المثبطات حسب:

- وسط استعمالها.
- تأثيرها على التفاعلات الكهروكيميائية الجزيئية.
- آلية التفاعل (التثبيط).
- طبيعتها.

I.3.2.1. حسب وسط استعمالها:

أ.مثبطات تعمل في الأوساط السائلة:

- **الأوساط المائية**: هناك مثبطات تستخدم في الأوساط الحمضية وأخرى تستخدم في الأوساط المتعادلة.
- **الأوساط العضوية**: تستعمل كميات من مثبطات التآكل في الزيوت تشحيم المحركات والوقود.

ب. مثبطات تعمل في الأوساط الغازية: تستخدم لحماية الأجهزة الدقيقة والحساسة وكذلك القطع الإلكترونية أثناء نقلها أو تخزينها قصد حمايتها من التآكل الذي قد يسببه الهواء الجوي (الرطوبة) [29].

I.3.2.2. حسب تأثيرها على التفاعلات الكهروكيميائية:

أ. المثبطات المصعدية (الأنودية):

وهي مركبات عضوية تؤدي إلى تغطية المناطق الأنودية في المعدن، وهذا باتحادها مع شوارد الحديد الثنائي مشكلة بذلك رواسب تؤدي إلى غلق المناطق المتآكلة. تعمل هذه المثبطات على خفض شدة التيار الجزئي المصعدي وإزاحة كمون التآكل نحو الاتجاه الموجب [30].

ب. المثبطات المهبطية (الكاثودية):

هي مثبطات عضوية تعيق التفاعل الكاثودي وهذا بخفض كثافة التيار الجزئي المهبطي فيتناقص، وإزاحة كمون التآكل نحو الاتجاه السالب، ومن بين هذه المركبات نجد: فوسفات الكالسيوم وبيكربونات الكالسيوم.... [30].

ج. المثبطات المختلطة:

هي مثبطات عضوية مصعدية ومهبطية في نفس الوقت، تعمل على خفض كثافة التيار للتفاعلين الأنودي والكاثودي معا، مع تغيير طفيف في كمون التآكل [31].

I.3.2.3. حسب آلية التفاعل:

ونميز التثبيط في هذه الحالة بما يلي:

أ. بالإمتزاز:

تكون المثبطات عبارة عن مركبات عضوية تضاف إلى الوسط التآكلي، فيحدث لها بما يسمى الامتزاز على مستوى سطح المعدن المعرض للتآكل فتمنعه من التفاعل مع الوسط المحيط به. تستخدم مثبطات الامتزاز في الأوساط الحامضية عادة، وهناك نوعان من الامتزاز الفيزيائي و الإمتزاز الكيميائي [30].

ب. بالترسيب:

في هذه الحالة يتم تشكيل رواسب تتوضع على سطح المعدن تكون إما رواسب لأملاح معدنية أو معقدات عضوية قليلة الذوبان في الوسط الأكال مما يقلل من سرعة التآكل [30].

ج. الخمولية:

إن تفاعل المثبطات بالخمولية مع سطح المعدن يسبب تشكيل رواسب خاملة كيميائيا تجاه الأكال، وهذا ما يؤدي إلى حدوث خمولية للمعدن وتناقص في سرعة التآكل، فالمثبطات من هذا النوع تتأثر بـ PH الوسط مثل: الكرومات والنترات [30].

د. بإزالة العنصر الأكال:

تتفاعل المثبطات في هذه الحالة مع العنصر المساعد على التآكل كيميائيا، وهذا ما يؤدي إلى إزالته من الوسط، وبهذا تقل سرعة التآكل مثل المثبطات من نوع كبريثيد الصوديوم [30].

I.4.3.2. حسب طبيعتها:

أ. المثبطات غير العضوية:

إن المركبات العضوية عادة تستخدم كمثبطات للتآكل. وأن تأثيرها على المواقع الأنودية أو الكاثودية أو كلاهما يعتمد على (حجمها، طبيعة الروابط بين الذرات، الصفة الارومانية، التعاقب وطول السلسلة الكربونية) [32].

ويجب أن تكون منتشرة أو ذائبة كليا في وسط التآكل المحيط بالمعدن وبصورة عامة أن تأثيرها بسبب عملية الامتزاز على سطح المعدن وتكوين طبقة رقيقة كارهة للماء (Hydrophobic Lyaer) وبما أن تكوين هذه الطبقة يعتمد على عملية الامتزاز لذلك فأنها تتأثر بالضغط ودرجة حرارة النظام [32].

المركبات العضوية المحتوية على الكترونات غير المتوقعة، ذرات غير متجانسة مثل (P.N .S .O) في الحلقة أو السلسلة الجانبية ومجاميع فعالة قطبية (OH. 2NH. CN. SH. 2NO) تستخدم كمثبطات خصوصا في الأوساط الحامضية والتي تعتبر الطريقة الأكثر شيوعا لحماية المعادن أو السبائك من التآكل[22].

ب. المثبطات العضوية:

تستخدم المثبطات العضوية في بعض الأحيان إذا إنها تقوم بدور مثبطات كاثودية أو أنودية أو معا كما أسلفنا... وكقاعدة عامة تعمل على التثبيط من خلال عملية الامتزاز على سطح المعدن فتتشكل طبقة تعوق تآكل المعدن هذا النوع من المثبطات تظهر كفاءة جيدة وأقل خطرا على البيئة [31].

I.4.2. الخصائص الأساسية للمثبطات:

يتميز المثبط بعدة خصائص منها [1،28]:

- أن يعمل على تخفيض سرعة التآكل للمعدن دون التأثير على ميزاته الفيزيوكيميائية.
- زيادة سلوك الاستقطاب المصعدي والمهبطي.
- إنقاص حركة أو انتشار الايونات إلى السطح المعدني.

- زيادة المقاومة الكهربائية للسطح المعدني.
- أن يكون مستقرا في وجود مختلف مكونات الوسط الأكال خاصة بالنسبة للمؤكسدات.
- أن يكون مستقرا في درجة حرارة الوسط.
- أن يكون فعالا عند تركيز ضعيف.
- يمكن إضافته أو تغييره مباشرة دون تعطيل العملية.
- أن يكون غير سام.
- ألا يكون غالي الثمن.

I.3. مدخل إلى مادة الجيلاتين:

I.3.1. مفهوم الجيلاتين:

جيلاتين هي عبارة عن كلمة مشتقة من فعل لاتيني Gelatin أي بمعنى القدرة على تكوين الهلام، وهو عبارة عن مادة بروتينية قابلة للذوبان في الماء مصدرها الكالوجين الذي يتواجد بشكل كبير الأنسجة الرابطة لجميع الحيوانات كالعظام، الغضاريف، الجلد والأوتار العضلية [33].

كما عرف الجيلاتين في الدستور الغذائي للمواد الكيميائية على أنه المنتج الذي يتم الحصول عليه من التحلل المائي للحمض أو الفلوي أو الإنزيمي للكولاجين ، المكون البروتيني الرئيسي للجلد والعظام والأنسجة الضامة للحيوانات، بما في ذالك الأسماك والدواجن [34].

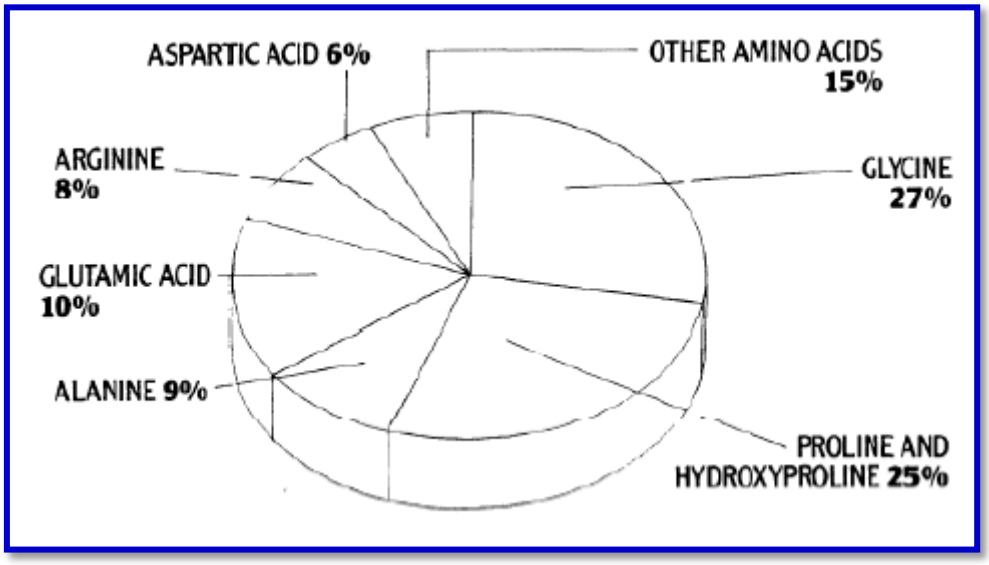
الشكل(I.11): صورة للجيلاتين المستعمل

2.3.I. مصدر الجيلاتين:

يمكن تصنيف الجيلاتين من عدة مصادر مختلفة من الكالوجين ، حيث تعتبر عظام الماشية والجلود المصادر الرئيسية لذالك وهي تمثل نسبة 70% من الجيلاتين، كما يمكن أن يأتي من مصادر زراعية وغير زراعية مثل الأعشاب البحرية [35،36].

3.3.I. بنية وتركيب الجيلاتين:

يتكون الجيلاتين مزيج من البروتينات الذائبة ذات الأوزان الجزيئية العالية التي لها القدرة على تكوين هلام قوي في الوسط السائل . يتكون من 18حمض أميني مرتبطة مع بعضها بأواصر ببتيدية ،بحيث تشكل سلاسل متعدد الببتيد تحتوي على أكثر من ألف حمض أميني . بحيث يتم علاج الأنسجة التي تحتوي على الكولاجين بالحمض و/أو القلويات متبوعة بمعالجة حرارية في وجود الماء لكسر بنية ألياف الكولاجين هو حوالي 330 كيلو دالتون (KDa)، جميع أجزاء الكولاجين ذات الوزن الجزيئي المنخفض جيلاتينا بل هي هيدرات جيلاتينية لأنها غير قادرة على تكوين هلام على الرغم من أنها قد تشارك في تكوين الهلام. المعالجة الحرارية لحوالي 40 درجة مئوية تكسر الروابط الهيدروجينية والروابط الكهروساتيكية في جزيئات الكولاجين المشكلة حديثا التي تطلق سلاسل ألفا واحدة ولكن هذا غير كاف لكسر الروابط المتشابكة والروابط التساهمية في هيكل الكولاجين للكولاجين الناضج. ومع العلاجات في درجات حرارة أعلى، من ناحية أخرى، تنهار تلك الروابط التساهمية بما في ذالك الروابط المتشابكة بين الجزيئات والروابط الببتيدية ، وبالتالي يمكن الحصول على أجزاء أصغر من سلسلة ألفا .بما أن تسلسل الأحماض الأمينية وتكوين الكولاجين من مصادر مختلفة يختلفان اختلافا كبيرا ، فإن فواصل الروابط تبدو عشوائية وهذا التحلل العشوائي للرابطة هو السبب الرئيسي لعدم التجانس الجزيئي في الجيلاتين [4].



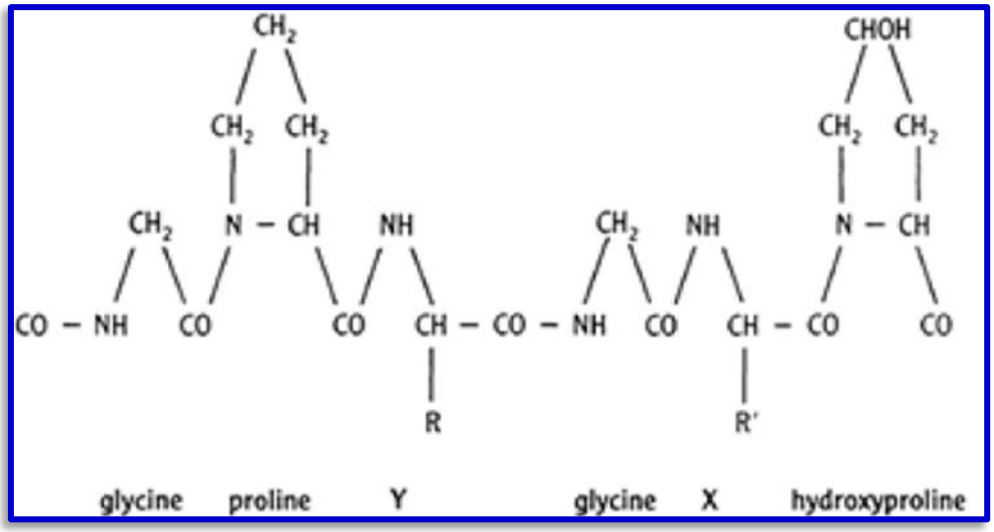
الشكل (12.I): تركيبة الأحماض الأمينية للجيلاتين[36].

4.3.I. تحول البنية الكيميائية للجيلاتين:

إن تنوع العمليات الكيميائية التي يمكن تصورها لانقسام الهياكل البوليمرية لا تتضمن الحصول على جيلاتين واحد فحسب، بل جيلاتين متنوع للغاية من كولاجين سليم معزول جيدا.

يتم إجراء الانقسام عن طريق العمل الكيميائي المعتدل (وسط منخفض الحموضة عند 40 درجة مئوية) وفقا للخطوات التالية [37]:

- ✓ انتفاخ التروبوكولاجين في ثلاث سلاسل α غير منظمة ومستقلة.
- ✓ تحتفظ سلسلتان α غير منظمتين بروابط تساهمية واحدة أو أكثر بينهما وتشكلان جزيئا مزدوجا . تصبح السلسة α مستقلة.
- ✓ تظل ثلاث سلاسل غير منظمة مرتبطة بواحد أو أكثر من التساهمات وتشكل جزيء الحلزون الثلاثي.



الشكل (13.I): سلسلة لهيكل الجيلاتين (التكوين الكيميائي للجيلاتين).

4.I. الفولاذ الكربوني:

1.4.I. تعريف الفولاذ الكربوني:

الفولاذ الكربوني أو الصلب الكربوني هو سبيكة معدنية تتكون بصورة رئيسية من الحديد ونسب ضئيلة من العناصر الأخرى مثل الكربون ،النحاس ،المنغنيز ،السليكون ، وإن خصائص الفولاذ تعتمد على كمية الكربون حيث أن معظم الفولاذ الكربوني يمتلك محتوى كربوني اقل من 1% ،الفولاذ الكربوني يستخدم في الكثير من التطبيقات الصناعية حيث يدخل في صناعة السيارات، السفن، سكك الحديد ،صناعة المعدات الحربية وغيرها من الصناعات ،بالإضافة إلى استخداماته في صناعة الأجهزة المنزلية بسبب ما يتمتع به من ميزات منها الكلفة القليلة والمتانة القوية ،ويستخدم أيضا في تصنيع أوعية التفاعل (reaction vessels) وصهاريج التخزين (storage tanks) في المنشآت البترولية [38].

I.2.4. أنواعه:

- ✓ الفولاذ الكربوني سهل التشغيل Libre- coupe de l'acier.
- ✓ الفولاذ الكربوني منخفض الكربون Acier bas carbon تكون نسبة الكربون بين (0.15 إلى 0.3 %).
- ✓ الفولاذ الكربوني متوسط الكربون Acier au carbone doux تكون نسبة الكربون (0.3 إلى 0.6 %).
- ✓ الفولاذ الكربوني عالي الكربون Acier à haute teneur en carbone تكون نسبة الكربون (0.6 إلى 1 %) [39].

I.3.4. استخدامات الفولاذ الكربوني:

تستخدم أنابيب الصلب أساسا لتصنيع خطوط أنابيب لنقل النفط والغاز . شبكة أنابيب النفط والغاز هي القناة الأكثر ملائمة وأمانا التي تربط منطقة الموارد ومنطقة السوق . إن بنائه السريع لن يخفف فقط من ضغط النقل بالسكك الحديدية ، بل سيساعد أيضا في ضمان الإمداد للسوق بالنفط والغاز وتحسين درجة وأمن الطاقة في العالم .[38].

I.4.4.أهميته:

الفولاذ الكربوني X52 يتم معالجته بعمل تبريد سريع له حيث يؤدي ذلك إلى تحسين في خواصه الميكانيكية كما يضاف إليه بعض العناصر لتكوين سبائك مختلفة ذات خواص ميكانيكية جيدة من هذه العناصر الكروم و المولبيدنيوم . كما يمكن زيادة مقاومة الصدأ بإضافة عنصر الألمنيوم أو السيليكون وهما عنصران يذوبان في الحديد ويكونان أثناء التسخين قشرة واقية من الأكاسيد .[40].

قائمة مراجع الفصل الأول

❖ المراجع بالعربية:

[1]: صياد عائشة، تقدير الفعل المضاد للتآكل لمستخلص فينولي لنبات البطمة وثنائي ثيول الحلقي، مذكرة ماجستير، تخصص كيمياء عضوية وفيزيوكيمياء الجزيئية ،جامعة قاصدي مرباح ورقلة، ص33 (2012).

[2]: مهند محمد بابكر محمد أحمد، تقييم وتحكم نظام الحماية الكاثودي لأنابيب النفط الخام، مذكرة ماجستير، جامعة البحر الأحمر، ص 9 (2019).

[3]: عمر بن عبد الله الهزازي ، الكيمياء الكهربائية ، قسم الكيمياء ، كلية العلوم التطبيقية ، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية، ج2، ص 546 (2017).

[4]: د. خالد عثمان شرف مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الثامن والعشرون العدد الأول، ص 384 (2012).

[6]: رهف قطاش، دراسة تآكل أهم المعادن المستخدمة في الصناعات الكهروكيميائية اللاعضوية، رسالة ماجستير في الكيمياء التطبيقية، قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة حلب، سوريا، ص 38_39 (2015).

[8]: بلفار آسيا، دراسة القدرة المضادة للأكسدة وللبكتيريا وللتآكل للمستخلصات الفينولية لنبات Limonistrum Guyonianum (Dur.)، رسالة دكتوراه ل.م.د ، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة (2018).

[10]: د. عيسى مسعود بغني أساسيات هندسة التآكل 2006/7029 دار الكتب الوطنية – ليبيا (2006).

[18]: إخلاص أحمد بشير، غيداء إبراهيم حسين سراج، تأثير المعاملات الحرارية على مقاومة تآكل صلب متوسط الكربون في مياه عين كبريت، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، جامعة موصل، ص17 (2012).

[19]: د. قحطان خلف محمد الخزرجي، عبد الجواد محمد أحمد الشريف، "التآكل: أسبابه أنواعه طرق الحماية منه"، جامعة بغداد (1988).

[20]: عبد القادر بن منين، étude de L'effect inhibitrice des extrais de plantes sur la corrosion de l'acier Cx52، أطروحة دكتوراه جامعة ورقلة، ص 20-29 (2018).

[21]: ع . بكوشة، "دراسة فعالية التثبيط لبعض المركبات العضوية الكبريتية والآزوتية"، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة، سبتمبر (2008).

[25]: د. قحطان خلف محمد الخزرجي، عبد الجواد محمد أحمد الشريف، "التآكل: أسبابه أنواعه طرق الحماية منه"، جامعة بغداد، مديرية دار الكتاب للطباعة والنشر- جامعة الموصل، ص694 (1988).

[28]: محمد الزغبي، محسن محمد صالح، سوسن درويش، "دراسة مرجعية في الطرق المتبعة في إزالة وإستخلاص الأملاح ودور مثبطات الأملاح في حماية الحجر الجيري من التلف الملحي"، مجلة كلية الآثار، جامعة القاهرة مج 11، الرقم المسلسل للعدد 25، ص535 (2022).

[29]: منال معلول، "تقدير الفعالية التثبيطية للمستخلص المائي لنبات صحراوي Moltiki Ciliata تجاه تآكل الفولاذ الكربوني XC70 في أوساط حمضية"، مذكرة ماجستير جامعة ورقلة، قاصدي مرباح، ص13 (2014).

[30]: علاوي عبد الفتاح، "مساهمة في إصطناع بعض مشتقات 1و2 ثنائي ثيول 3 ودراسة اثرها المثبط لتآكل الفولاذ الكربوني"، رسالة ماجستير تخصص كيمياء عضوية، معهد العلوم الدقيقة، جامعة ورقلة، ص 30-31 (2001).

[31]: س. شيحي، "دراسة الفعالية التثبيطية للمستخلص الفلافونيدي لنبات Euphorbia giyonianaعلى تآكل الفولاذ في وسط حمضي"، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة، ص2-18 (2009).

[32]: زينب. غيابة، "المساهمة في تحضير بعض المشتقات 4- أريل -1 ، 2- ثنائي -3- ثيون و4- أريل-1، 2- ثنائي ثيول -3- ون ودراسة فعالية تثبيطها لتآكل الفولاذ الكربوني X52 في وسط حامضي وماء صناعي"، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح – ورقلة، ص 8-23 (2005).

[39]: مها جاسم المرشدي،"دراسة بعض الأصباغ (Luxol fast blue, Methyl violet, Cresol red) كمثبطات لتآكل سبيكة الكربون الصلب في محلول حامض الكبريتيك"، رسالة ماجستير في علوم الكيمياء، قسم الكيمياء، جامعة كربلاء، ص 26 (2016).

[40]: نجيب علي يحي، "تأثير الأوساط المائية المختلفة على سلوك تآكل الفولاذ المتوسط الكربون"، مجلة الجامعة، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة، جامعة الزاوية، ليبيا، ص 27-28 (2019).

❖ المراجع باللاتينية:

[5]: M. P. Couget. Corrosion et inhibiteur des puits et collectes, Edition Tecnnip, France, p59 (1981).

[7]: B. Einar, Corrosion and protection–Engineering materials and Processes, Springer-Verlag, London Limited, 1 156 (2004).

[9]: Frankel, G. S. "Pitting Corrosion of Metals A Review of the Critical Factors", Journal of the Electrochemical Society 145 2186-2198 (1998).

[10]: Neville, A., Wang, C. and Ramchandran, S. "Erosion - Corrosion mitigation using chemicals", Copyrighted NACE International (2003).

[11]: Prakash . T.L, John O , Hara and Anees U.Malik, "Studies on the stress corrosion cracking (SCC) behavior of various metals and alloys used in the deszlination and power plants", Research & Development center, Saline water conversion corporation, kingdom of Saudi Arabia (1999).

[12]: Dob Karima. "Etude électrochimique de l'effcacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans milieu aqueux", Thèse de Doctoral, Université 20 Aout 1955 Skikda, (2018) .

[13]: R. Narayan, An introduction to metallic corrosion and its prevention, Mohan Primlani for Oxford & IBH Publishing Company, (1983).

[14]: L.J. Berchmans, V. Sivan, and S.V.K. Iyer, Studies on triazole derivatives as inhibitors for the corrosion of muntz metal in acidic and neutral solutions. Materials chemistry and physics 98 395-400 (2006).

[15]: C. Ahner, P. Maaß, and P. Peißker, Handbook of hot-dip galvanization, John Wiley & Sons, (2011).

[16]: G. Blustein, and C. Zinola, Inhibition of steel corrosion by calcium benzoate adsorption in nitrate solutions: theoretical and experimental approaches. Journal of colloid and interface science 278. 393-403 (2004).

[17]: Ehteram A. Noor King Abd El-Aziz university, Girls College of Education, Chemistry Department, Jeddah, KSA, Temperature effects on the corro-sion inhibition of mild Steel in Acidic Solutions by Aqueous Extract of Fenugreek Leaves Int. J. Electrochem. Sci., 2 996 – 1017 (2007).

[22]: thiraviyam, p. "inhibition of synthesized mannich bases on mild steel corrosion in acid medium", corrosion science,32, pp420-430 (2014).

[23]: Ben jamin, G.D., Richard, L.A. and david, H.R. "Corrosion Prevention and Control", Book 2nd Edition , Publishing Alion Science& Technology , New York (2006).

[24]: Heywousk , T. and weronski A. "The effect of thermal barrier coating on diesel engine performance", Article ARPN journal of science and technology, 65(3),pp.427-432 (2013).

[26]: J. C. Scully, Corrosion Protection, Ed. Masson, (1995).

[27]: R. Salghi, L. Bazzi, M. Zaafrani, Acta Chim. Slov,491-495 (2003).

[33]: Kurdi, W. I.,& Al-Baghdadi, M. F. Gelatin Processing From bones, legs ,heads and skins of spent hens (1-study its Chemical contents and yield). Anbar Journalofagricul tural sciences, 8(1), 192-205 (2010).

[34]: Gelatin Manufacturers institute of america, Gelatin Handbook GMIA, (2012).

[35]: Hudson, C. B. Gelatin - relating structure and chemistry to functionality in food hydrocolloids (pp.347-354). Springer, Boston, MA (1994).

[36]: Mariod, A. A, & Fadul, H. Gelatin, source, extraction and industrial application, Acta Scientiarum Polonorum Tehnologia Alimentaria, 12 (2);135-147 (2013).

[37]: EL KOLLI HAYET, Etude de la rèticulation par le glutaraldèhyde de deux gèlatines denature et de Blooms diffèrentset son effet certaines propriètès, Mèmoire magister, universitè Ferhat Abbas Setif, Pp10-12 (2009).

[38]: Adel Abdu Al - Zahra Rashq Al – sadi. Iraq Al - Qadisiya University (B.Sc. 2013).

الدراسة العملية

الفصل الثاني

الطرق الكهروكيميائية

والمواد المستعملة

تمهيـــد:

بعد الدراسة النظرية لمادة الجيلاتين ودورها في تثبيط التآكل في الفصل الأول سنقوم بدراسة مختلف التقنيات والأجهزة المستعملة .

1.II. تعريف التقنيات الكهروكيميائية :

تعتبر طرق التحليل الكهروكيميائية من أكثر الطرق التحليلية الآلية شيوعا في مجال التقدير الكمي بصفة خاصة وتعتمد هذه الطرق على القياسات الكهروكيميائية التي تشمل التيار، والمقاومة، والجهد، حيث أنه يوجد علاقة بينهما وبين مكونات المحلول الموجود في الخلية الكهربائية. وبشكل عام فإن الطرق الكهروكيميائية ذات حساسية وإنتقائية عاليتين، كما أنها غير مكلفة من الناحية التجارية وسهلة الاستعمال[1].

1.1.II. الفولطامتري الخطي:

تعد طريقة الفولطامتري من طرق التحليل الكهروكيميائي، وهي تقنية بسيطة ومتعددة الإستخدامات نسبيا، وتستخدم على نطاق واسع في مجالات مثل الكيمياء الكهربائية وعلوم المواد والكيمياء التحليلية ، تعد هذه التقنية واحدة من أكثر التقنيات الكهروكيميائية استخداما لدراسة التفاعلات الكهروكيميائية حيث تعتمد على دراسة التغيرات التي تحدث في التيار الناتج عن تلك التفاعلات الإنتقالية بفضل دراسة المقاومة ويمكننا تحديد فعالية مثبط معين عن طريق تحديد المقاومة التي تنشأ في حضور المثبط وعدم وجوده وأيضا عن طريق تحديد سعة الطبقة المضاعفة التي تشكلت على سطح المعدن [2].

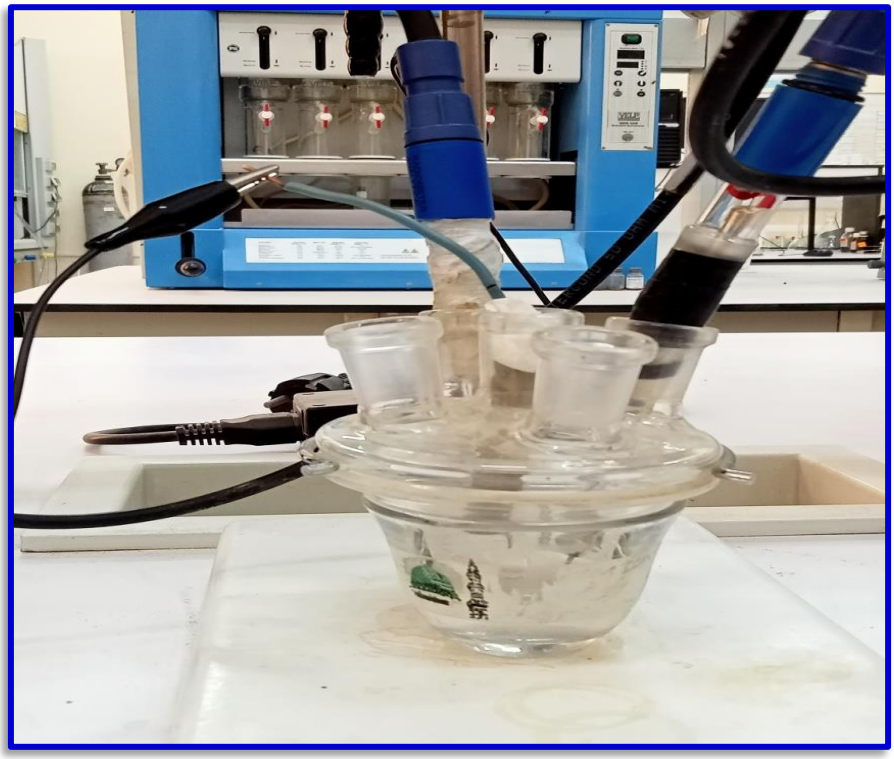
2.1.II. الكرونوامبيرو متري (chronoampèromètrie):

الكرونوامبيرو متري هي تقنية تعتمد على متابعة التغير في التيار الكهربائي بدلالة الزمن وذلك بتثبيت قيمة الجهد عند قيمة محددة هذه التقنية استخدمت لترسيب الجيلاتين على قطب العمل X52Acier والحصول على منحنى كثافة التيار بدلالة الزمن i=f(t)، تهتم هذه الطريقة بشكل أساسي بتشكل أطوار جديدة على القطب ، حيث تتم الإستجابة في وجود أنماط نشطة كهربائيا والتي تخضع لتفاعل إنتقال الإلكترونات عند معدل تحكم الانتشار في ظل هذه الشروط يتم التعبير عن التيار بدلالة الزمن وفق الدالة contrel [3].

2.II. الأجهزة الكهروكيميائية المستخدمة:

1.2.II. الخلية الكهروكيميائية:

هي عبارة عن نظام يستخدم لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية والتي يحدث من خلالها تفاعلات الأكسدة والإختزال في الخلايا ويتم دراسة سلوك الكهروكيميائية داخل خلية زجاجية غطائها يحتوي على خمسة ثقب ثلاثة منها تسمح بدخول إلكترودات أما الثقبان الآخران فأحدهما يسمح بتزويد الوسط الأكسجين والثقب الآخر يكون لإضافة المواد [4].

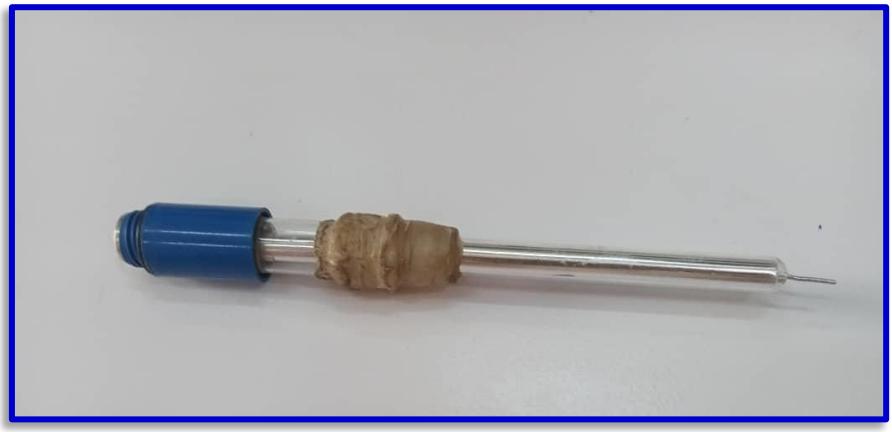


الشكل(1.II): صورة للخلية الكهروكيميائية .

2.2.II. الأقطاب:

◄ قطب المساعد (AE):

هو عبارة عن إلكترود مصنوع من البلاتين يضمن مرور التيار الكهربائي حيث يوضع بالتوازي مع قطب العمل للحصول على التجانس في المجال الكهربائي [5] أبعاد قطب البلاتين المساعد المستعمل في التجربة: الطول 1cm والقطر 1mm .



الشكل (2.II): صورة لقطب البلاتين المساعد

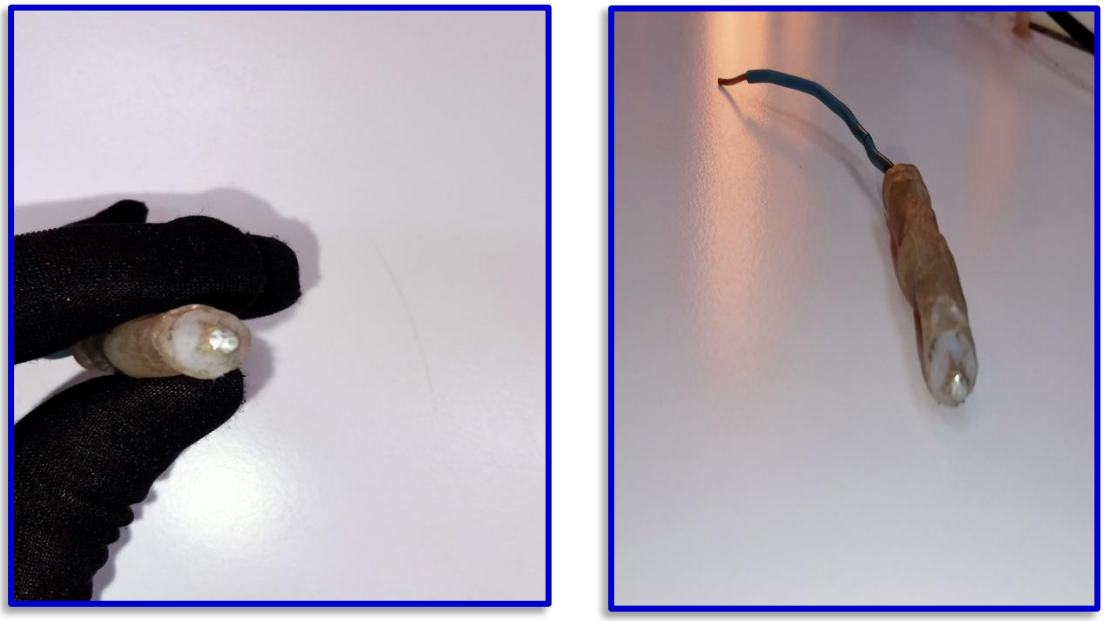
◄ **القطب المرجع (RE):**

يعتبر قطب المرجع من أهم مكونات الخلية الكهروكيميائية، هذا القطب يجب أن تكون له قيمة ثابتة ومحددة، كما يسمح بتحديد جهد قطب العمل ، وهذا مهم كونه يسمح بالتحقق من الفرق في الجهد بين القطبين، لوحظ أيضا أنه من الضروري الإشارة إلى طبيعة القطب الكهربائي المستخدم في جميع القياسات الفولطا مترية ، القطب المرجعي المستخدم مقارنة بقطب الهيدروجين القياسي (E=0) [6].

الشكل (3.II): صورة لقطب المرجع RE (Ag/Agcl/Kcl).

◄ **قطب العمل (WE) :**

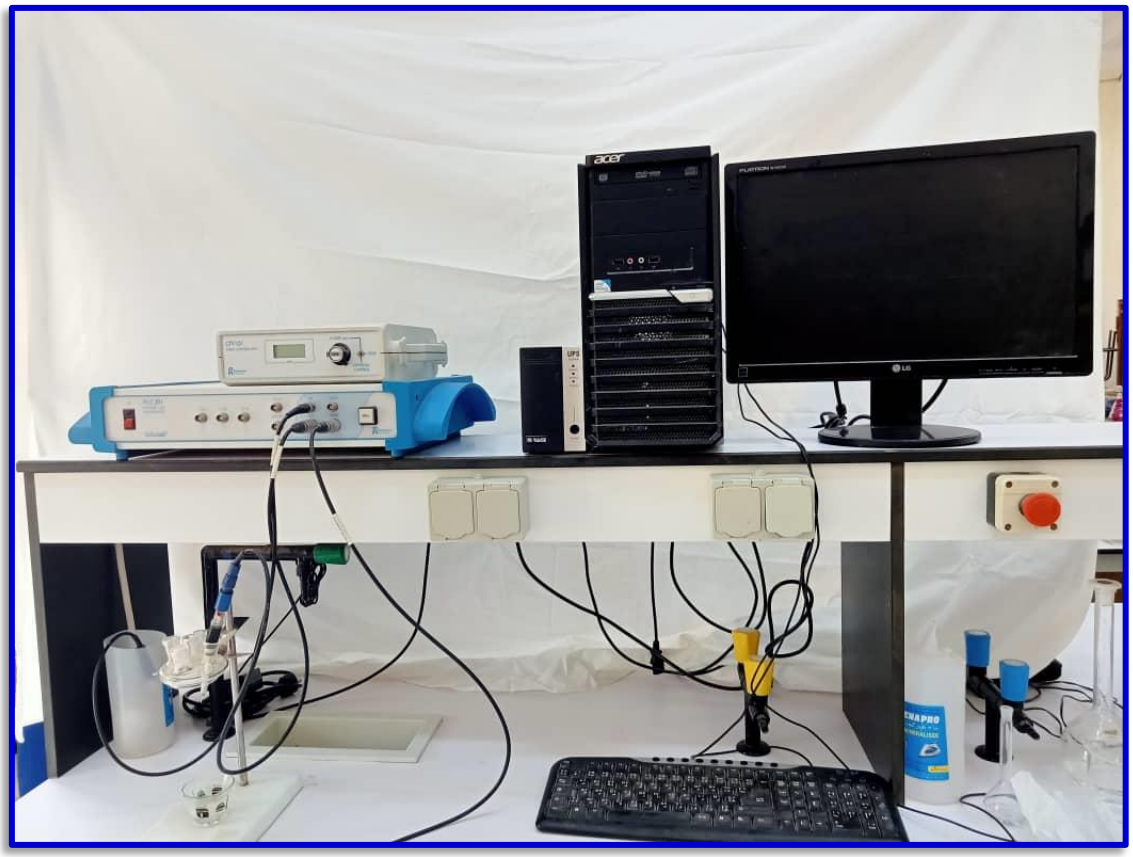
قطب العمل أو الكاشف هو القطب الذي يتم استخدامه للكشف عن كمية وفي بعض الأحيان النوعية للمادة المراد تحليلها ، ويتم تصنيع هذا القطب من معادن نبيلة مثل الذهب والبلاتين ، يتم تطبيق جهد ثابت أو مدى واسع من الجهد الكهربائي على قطب العمل للتحاليل الكهروكيميائية المختلفة لدراسة تثبيط تآكل الفولاذ [4]، قطب العمل المستعمل في التجربة من الفولاذ x52.



الشكل (4.II): صورة لقطب العمل (WE).

3.II. التركيب التجريبي المستعمل:

تم انجاز التجربة الكهروكيميائية باستعمال (Voltabal PGZ 301) موصول بجهاز كمبيوتر لتسجيل البيانات وذالك باستعمال برنامج Voltamaster 4 والذي يسمح بحساب الخصائص الكهروكيميائية ورسم المنحنيات والطباعة. هذه المعدات توصل بالخلية الكهروكيميائية المكونة من ثلاثة أقطاب .



الشكل (5.II): صورة للتركيب التطبيقي المستعمل في التجربة.

◄ **المواد المستعملة :**

♦ الجيلاتين Galatine.

♦ الماء المقطر H_2O.

♦ كلور الصوديوم NaCl.

◄ الأدوات المستعملة :

- ♦ الخلية .
- ♦ جهاز Volta lab PGZ 301 مدموج بالحاسوب .
- ♦ أقطاب (المرجع ، العمل ،المساعد).
- ♦ ملعقة مخبرية .
- ♦ ميزان حساس.
- ♦ مسخن أنبوب مدرج .
- ♦ بيشر مدرج.
- ♦ أسلاك التوصيل .
- ♦ ورق الصنفرة .
- ♦ قضيب مغناطيسي.
- ♦ زجاجة الساعة.

قائمة مراجع الفصل الثاني

❖ المراجع باللاتينية:

[1]: R.A .Meyre, Encyclopedia of Anlytical chemistry Vol. 2 John Wiley, Sons, LTD, NewYork, (2000).

[2]: E I Korotkova. Y A Karbainov. OA Avramchik . Anal BioanaChem "Voltammertry Chemical" 465,(2003).

[3]: J.Wang. analytical electrochemistry, John Wilay &sons Hoboken, New Jersey,United States, (2006).

[5]: A.Lounas, prèbaration de l'èlectrode de fer sous forme de couche mince. Etude de l'oxydation et de la rèduction du fer dans diffèrents milieux, These de doctorat Universitè BADJI MOKHTAR –ANNABA ,(2011).

[6]: A. J. Bard . L. R. faulkner . electrochemical methods Fundamentals and Application . John Wiley& sons, (2001).

❖ المراجع بالعربية:

[4]: عبد الله محمود أبوالكباش. كتاب الكيمياء التحليلية، المفاهيم الأساسية في التحليل التقليدي والآلي، قسم الكيمياء جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، (2017).

الفصل الثالث

تحليل ومناقشة النتائج

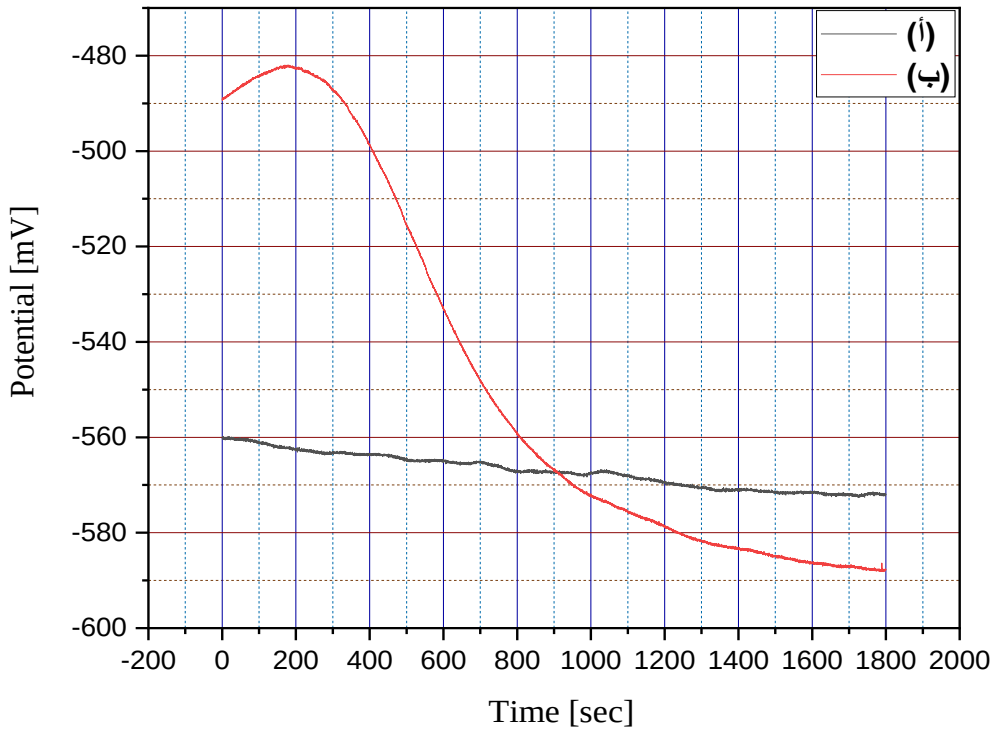
تمهيد:

تتنوع حماية المعادن من التآكل باختلاف العوامل الأكال المعرضة لها وقد ظهرت عدة طرق لقياس سرعة التآكل ومن ثمة قياس كفاءة المثبط منذ ظهور مشكل التآكل واختلفت باختلاف الوسائل المستعملة حيث تطرقنا في هذا الفصل للدراسة الكهروكيميائية لظاهرة التآكل والتثبيط و ذلك بتحضيرمحلول Nacl بتركيز 3% واستعملنا مادة الجيلاتين كمثبط .

1.III. طريقة الغمس:

1.1.III. قياس جهد التوازن خلال نصف ساعة:

باستعمال جهاز الفولطلاب الذي يربط بين الخلية الكيميائية وجهاز الكمبيوتر المزود ببرنامج voltamaster 4 وذلك للحصول على منحنى تغير الجهد (E) بدلالة الزمن لمدة نصف ساعة ، حيث نغمس قطب العمل (فولاذ X52) في محلول NaCl للحصول على المنحنى (أ) وفي محلول NaCl ونذيب فيه 0.009 غ من الجيلاتين للحصول على المنحنى (ب) ، و نقيس جهد توازن العمل كما هو موضح في الشكل **(1.III.أ.ب)** :

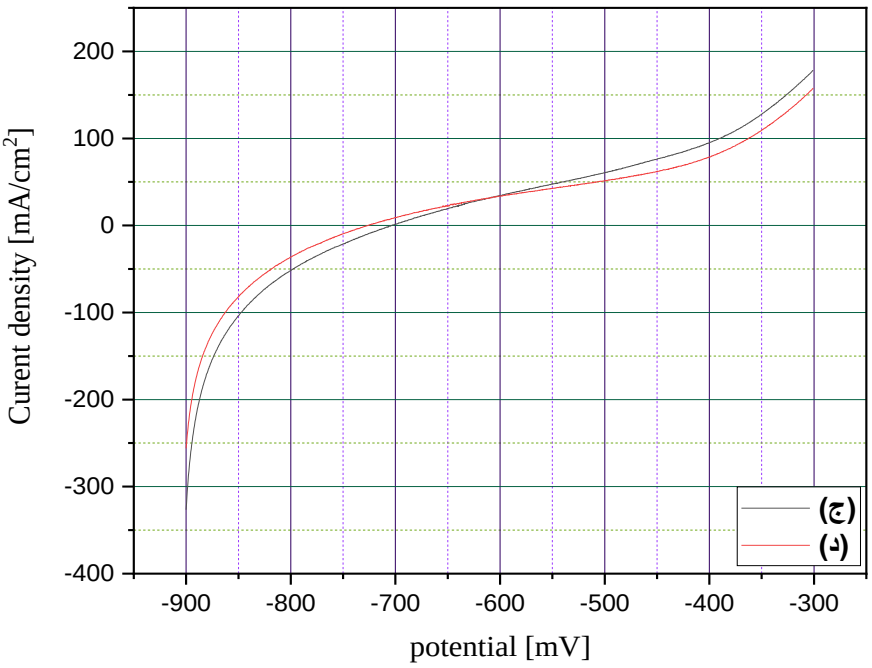


الشكل (1.III): قياس جهد التوازن (أ): فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl و **(ب)** : فولاذ في 15 ملل من محلول 0.009/NaCl غ من الجيلاتين لمدة نصف ساعة

يظهر المنحنى (أ) استقرار في جهد التوازن بعد مرور 1400 ثانية بقيمة 570.75mV- ، واستقرار في جهد التوازن بعد مرور 1600 ثانية بقيمة 585.87mV- للمنحنى (ب).

2.1.III. منحنى الاستقطاب :

نقوم بغلق الدارة واختيار مجال المسح 900mV - الى 300mV- للحصول على منحنيي الاستقطاب (التأيين) الموضحان في الشكل **(2.III.ج.د)** حيث كانت سرعة المسح 30mV/s .

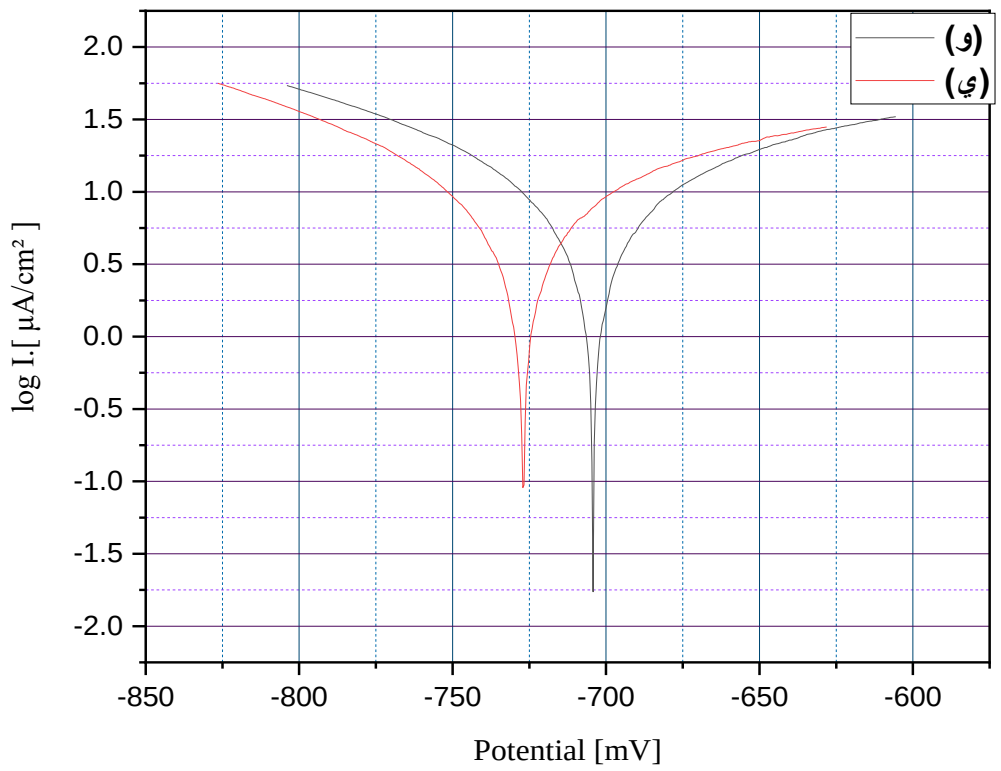


الشكل (2.III): (ج) منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(د)** منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين.

كما هو مبين في الشكل**(2.III)** نهايات الأكسدة للمنحنيين (ج) و(د) ممثلة بقمم شدة التيار $177.998mA/cm^2$ $156.73mA/cm^2$ على التوالي ، ونهايات الارجاع للمنحنيين ممثلة بقمم شدة التيار $319.038mA/cm^2$- للمنحنى (ج) و $252.664mA/cm^2$- للمنحنى (د) ،التغير في شدة التيار راجع لتأثير الجيلاتين .

3.1.III. منحنى تفال (Tafel) :

انطلاقا من منحنى الاستقطاب نتحصل على منحنى تفال (Tafel) log i =f (E) الخاص بالفولاذ عند وجود وغياب الجيلاتين كما هو موضح في الشكل **(III.3.و.ي) :**



الشكل(3.III): منحنى تفال(**و**) : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى (**ي**) : الفولاذ / NaCl بوجود الجيلاتين.

كما تستخلص من الشكل **(3.III)** الذي يبين سرعة التآكل وشدة تيار التآكل ومن هذه المعطيات نحسب نسبة التثبيط .

الجدول(1.III): نتائج منحنى Tafel

Milieu NaCl	E(i=0)	Rp	i corr:	Ba	Bc	Coef	Corrosion
ي	-727.1 mV	2.79 kohm.cm^2	10.4867 mA/cm^2	226.6 mV	-135.8 mV	1.0000	122.6 µm/ɣ
و	-704.3 mV	2.58 kohm.cm^2	11.4403 mA/cm^2	211.8 mV	-146.8 mV	1.0000	133.8 µm/ɣ

باستعمال العلاقة نتحصل على نسبة التثبيط :

$$IE = \frac{Lc_{un} - Lc_{in}}{Lc_{un}} \times 100\%$$

تعويض عددي :

$$\mathrm{IE} = \frac{11.4403 - 10.4867}{11.4403}$$

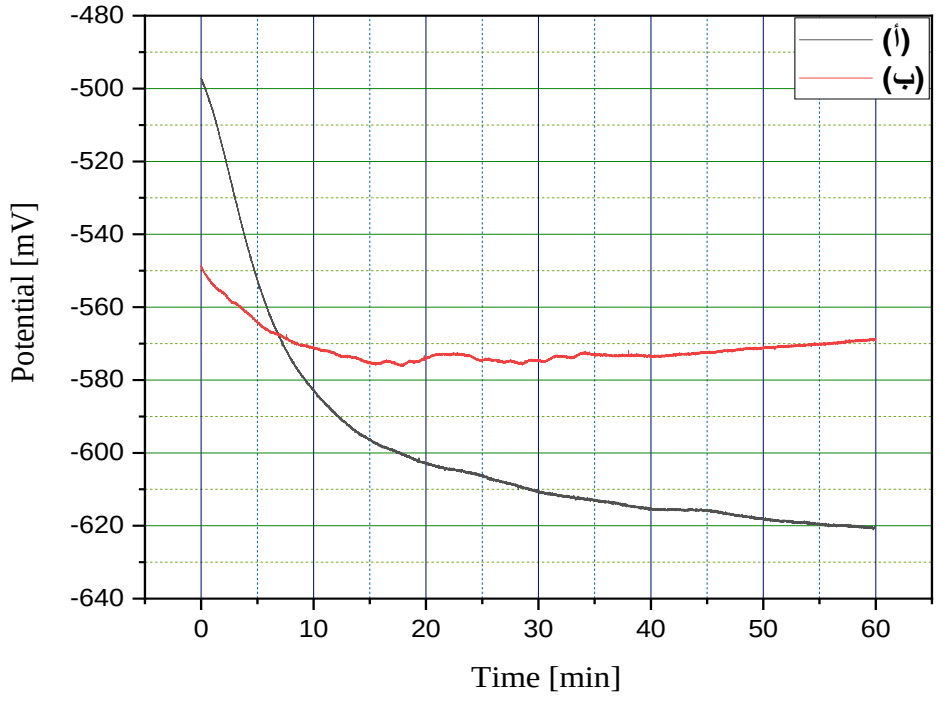
$$\mathrm{IE} = 0.0833$$

أي أن نسبة التثبيط 8.3% .

توضح المنحنيات (جهد التوازن و الاستقطاب والتفال) ازاحة قيم جهد التآكل بوجود المثبط نحو القيم السالبة وذلك يدل على نوع الحماية : حماية كاثودية. وهذا ما يتوافق مع الجزء النظري [22].

4.1.III. قياس جهد التوازن لمدة ساعة :

في نفس الشروط السابقة نقوم بقياس جهد التوازن خلال ساعة كما هو موضح في الشكل **(4.III أ.ب)** :

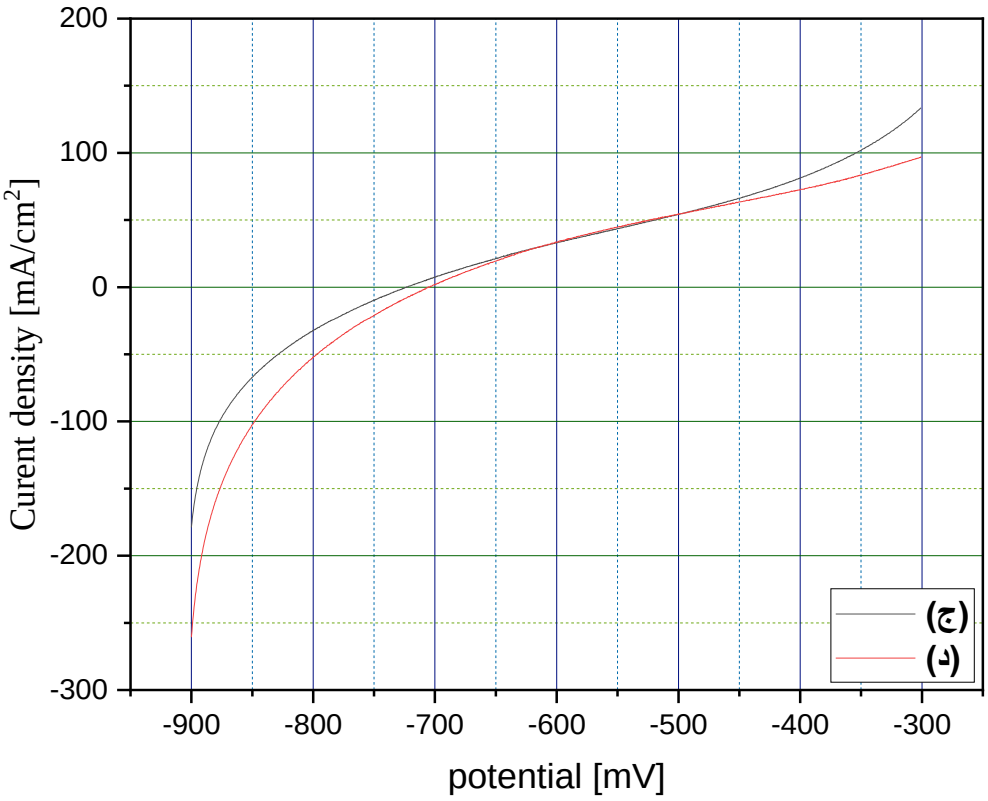


الشكل (4.III) : قياس جهد التوازن منحنى(أ) :فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl والمنحنى**(ب)** : فولاذ فى 15 ملل محلول NaCl / 0.009 غ من الجيلاتين لمدة ساعة

- يظهر الشكل **(4.III)** استقرار في جهد التوازن في غياب الجيلاتين بعد مرور 55 دقيقة بقيمة 620mV- و في وجود الجيلاتين استقرار جهد التوازن 573.31mV- بعد مرور 20 دقيقة .

5.1.III. منحنى الاستقطاب :

في نفس الشروط السابقة تحصلنا على منحنى الاستقطاب الممثل في الشكل**(5.III.ج.د):**

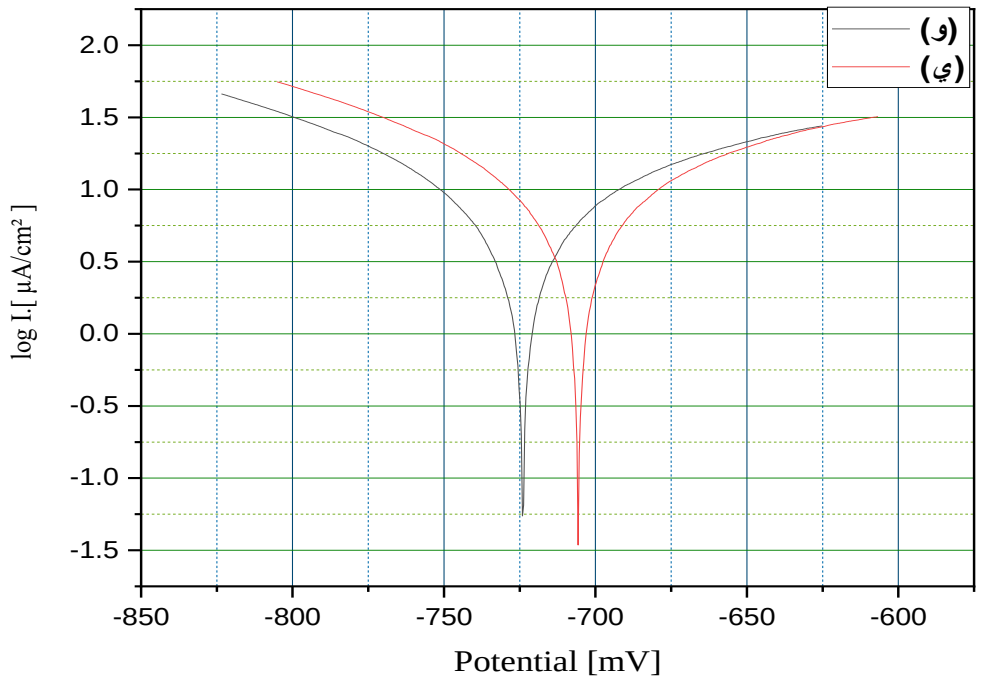


الشكل (5.III):(ج): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl، **(د)** منحنى استقطاب الفولاذ في NaCl بوجود الجيلاتين

كما هو مبين في الشكل **(5.III)** نهايات الأكسدة للمنحنيين (ج) و (د) ممثلة بقمم شدة التيار 133.545mA/cm^2 96.6904 mA/cm^2 على التوالي ، ونهايات الإرجاع للمنحنيين ممثلة بقمم شدة التيار 164.068 mA/cm^2- للمنحنى (ج) و 256.377 mA/cm^2- للمنحنى (د)، الانخفاض في شدة التيار راجع لتأثير الجيلاتين.

6.1.III. منحنى تفال (Tafel) :

انطلاقا من منحنى الاستقطاب نتحصل على منحنى تفال (Tafel) log i =f (E) الخاص بالفولاذ عند وجود وغياب الجيلاتين كما هو موضح في الشكل**(6.III.و.ي) :**



الشكل (6.III) : منحنى تفال (و) : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى (ي) : الفولاذ /محلول NaCl بوجود الجيلاتين

كما نستخلص من الشكل **(6.III)** الذي يبين سرعة التآكل وشدة تيار التآكل ومن هذه المعطيات نحسب نسبة التثبيط .

الجدول (2.III) : نتائج منحنى Tafel

Milieu NaCl	E(i=0)	Rp	i corr:	Ba	Bc	Coef	Corrosion
ي	-705.7 mV	2.48 kohm.cm^2	8.8638 mA/cm^2	158.9 mV	-117.2 mV	1.0000	103.6 µm/Y
و	-723.9 mV	2.94 kohm.cm^2	8.3130 mA/cm^2	179.5 mV	-130.1 mV	1.0000	97.23 µm/Y

باستعمال العلاقة نتحصل على نسبة التثبيط :

$$IE = \frac{Lc_{un} - Lc_{in}}{Lc_{un}} \times 100\%$$

تعويض عددي :

$$\mathrm{IE} = \frac{8.3130 - 8.8638}{8.3130}$$

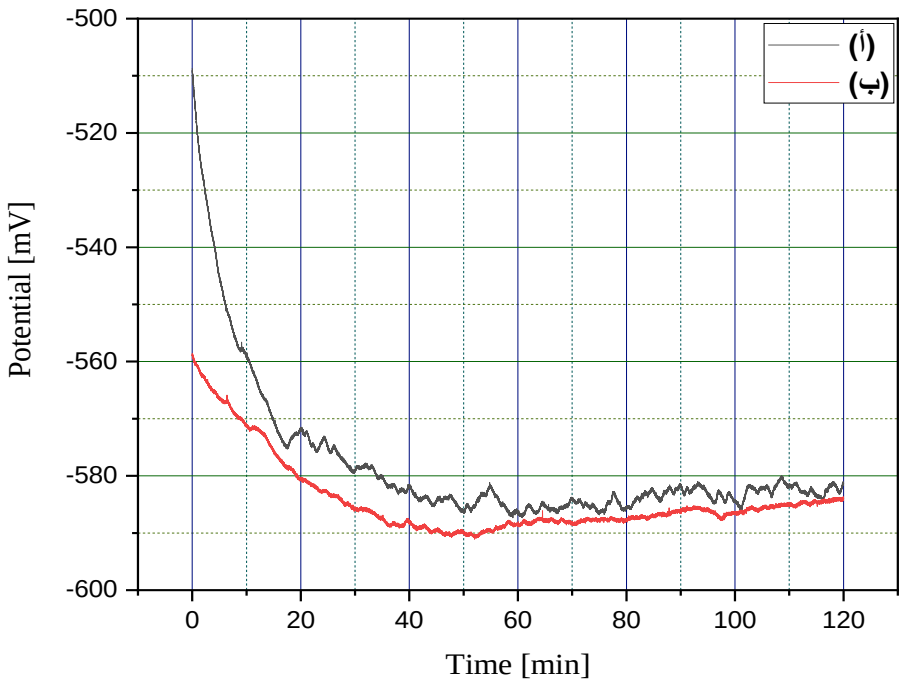
$$\mathrm{IE} = -0.06625$$

أي أن نسبة التثبيط 6.62 %.

- انطلاقا من منحنيات جهد التوازن والإستقطاب والتفال نستنتج أن نوع الحماية : حماية أنودية[23،24].

7.1.III. قياس جهد التوازن خلال ساعتين :

في نفس الشروط السابقة نقوم بقياس جهد التوازن خلال ساعتين كما هو موضح في الشكل **(7.III.أ.ب)** :

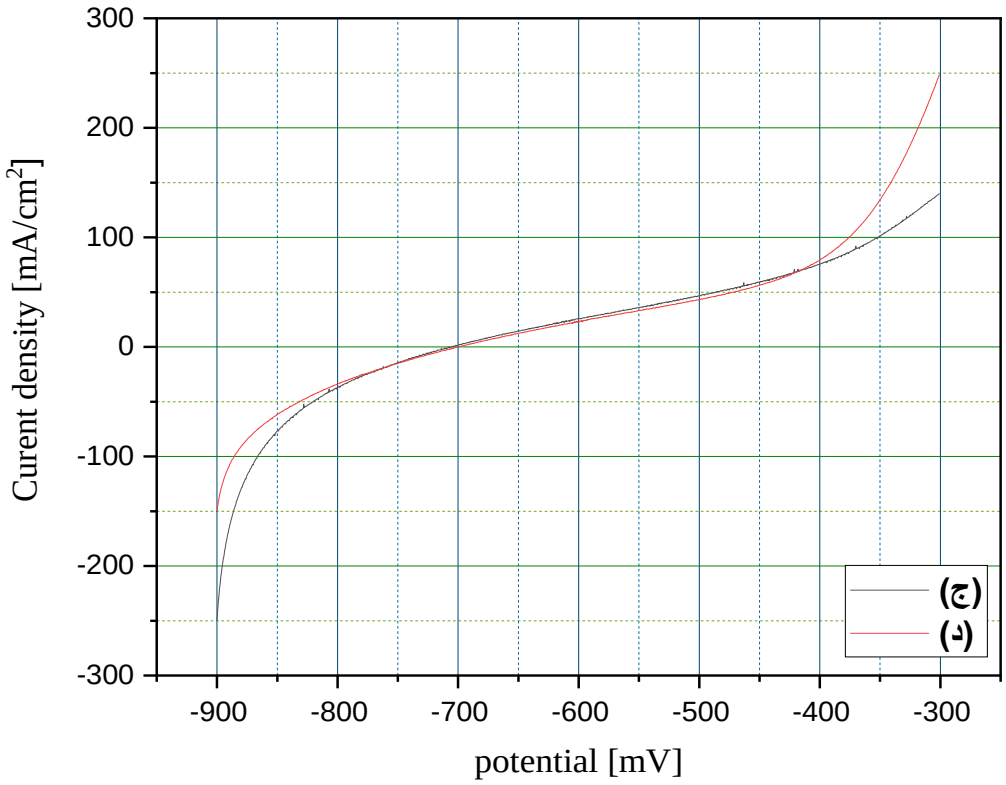


الشكل (7.III): قياس جهد التوازن المنحنى(أ): فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl و المنحنى(ب) : فولاذ في 15 ملل من محلول NaCl / 0.009 غ من الجيلاتين لمدة ساعتين.

يظهر الشكل **(7.III)** استقرار في جهد التوازن في غياب الجيلاتين بعد مرور ساعة و10 دقائق بقيمة 585.5mV - و في وجود الجيلاتين استقرار جهد التوازن 588.87mV- بعد مرور ساعة .

8.1.III. منحنى الاستقطاب :

في نفس الشروط السابقة تحصلنا على منحنى الاستقطاب الممثل في الشكل**(8.III.ج.د):**

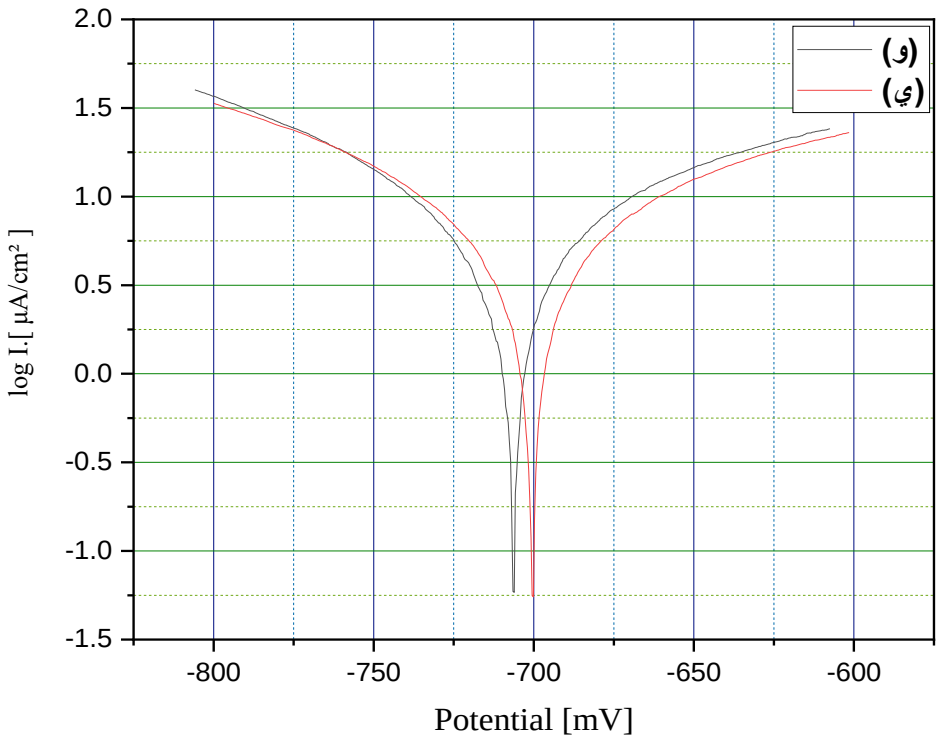


الشكل (8.III):(ج) :منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،
(د): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين

كما هو مبين في الشكل (8.III) نهايات الأكسدة للمنحنيين (ج) و (د) ممثلة بقمم شدة التيار $140.106mA/cm^2$ $248.709mA/cm^2$ على التوالي ، ونهايات الإرجاع للمنحنيين ممثلة بقمم شدة التيار $-227.768mA/cm^2$ للمنحنى (ج) و $-149.516mA/cm^2$ للمنحنى (د)، الزيادة في شدة التيار راجع لتأثير الجيلاتين.

9.1.III. منحنى تفال (Tafel) :

انطلاقا من منحنى الاستقطاب نتحصل على منحنى تفال (Tafel) log i =f (E) الخاص بالفولاذ عند وجود وغياب الجيلاتين كما هو موضح في الشكل**(9.III.و.ي) :**



الشكل (9.III) : منحنى تفال(و) : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى (ي) : الفولاذ /محلول NaCl بوجود الجيلاتين

كما نستخلص من الشكل **(9.III)** الذي يبين سرعة التآكل وشدة تيار التآكل ومن هذه المعطيات نحسب نسبة التثبيط .

الجدول (3.III) : نتائج منحنى Tafel

Milieu NaCl	E(i=0)	Rp	i corr:	Ba	Bc	Coef	Corrosion
ي	-700.5 mV	3.82 kohm.cm^2	8.1064 mA/cm^2	218.8 mV	-160.5 mV	1.0000	94.81 µm/ɣ
و	-706.3 mV	3.58 kohm.cm^2	7.7717 mA/cm^2	194.8 mV	-138.4 mV	1.0000	90.89 µm/ɣ

باستعمال العلاقة نتحصل على نسبة التثبيط :

$$IE = \frac{Lc_{un} - Lc_{in}}{Lc_{un}} \times 100\%$$

تعويض عددي :

$$\mathrm{IE} = \frac{7.7717 - 8.1064}{7.7717}$$

$$\mathrm{IE} = -0.04306$$

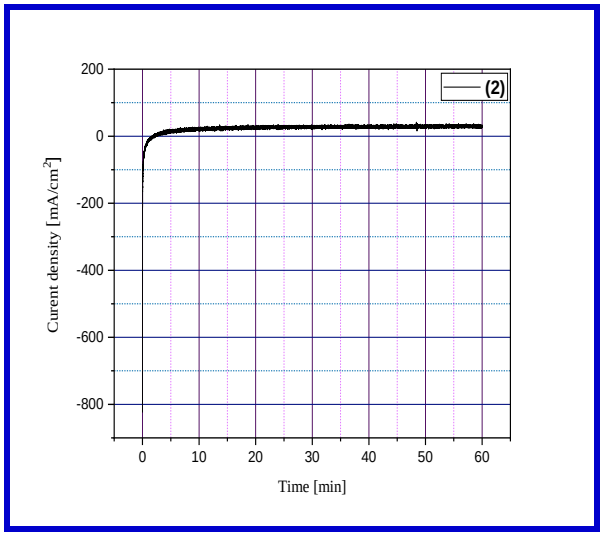
أي أن النسبة التثبيط 4.30%

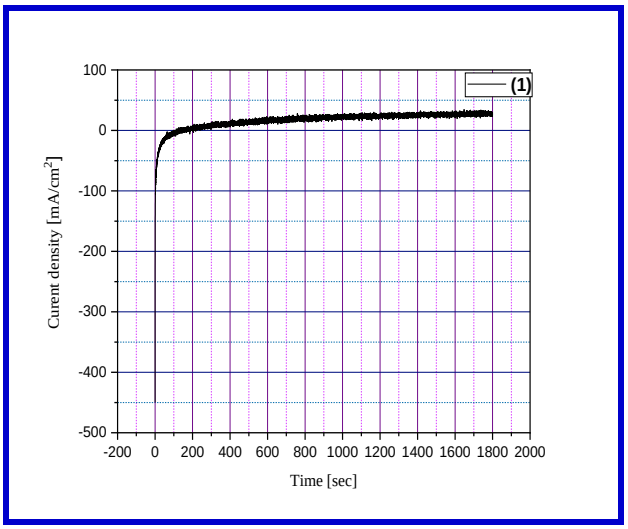
توضح المنحنيات (جهد التوازن و الاستقطاب والتفال) ازاحة قيم جهد التآكل بوجود المثبط نحو القيم الموجبة وذلك يدل على نوع الحماية : حماية انودية.

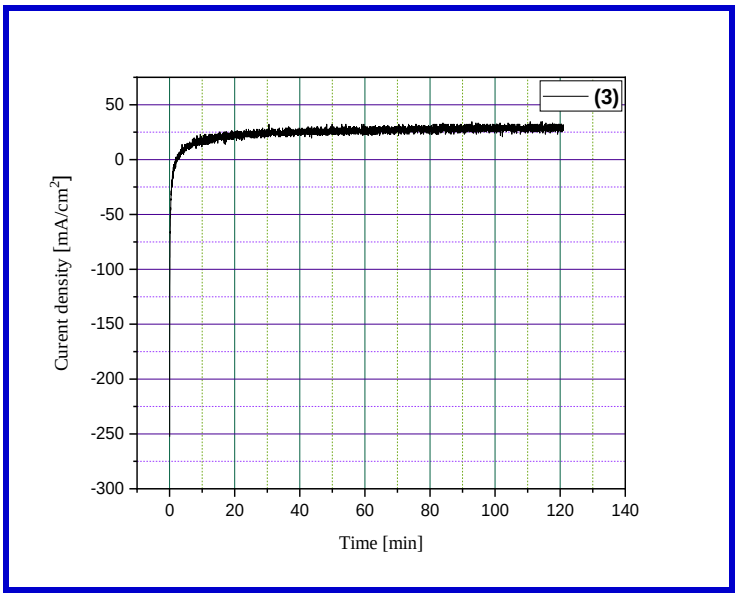
2.III. طريقة التثبيت :

بتطبيق جهد ارجاع قيمته 1000mV- تحصلنا على المنحنيات التالية التي تمثل تغير التيار بدلالة الزمن على التوالي بهدف ارجاع مادة الجيلاتين او بلمارته على سطح الفولاذ .

1.2.III. منحنى كرونوامبيرومتري:



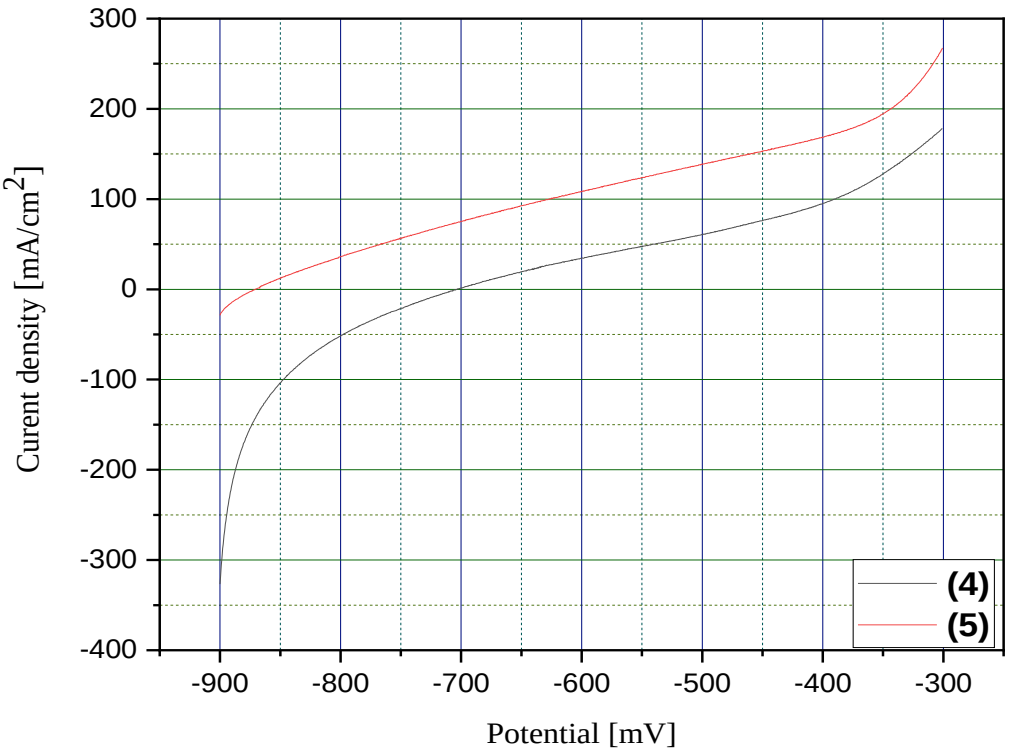




الشكل(10.III): منحنيات كرونوامبيرومتري i=f(t) (الجهد E=-1000mV)

2.2.III. منحنى الاستقطاب لمدة نصف ساعة :

نغلق الدارة للحصول على منحنى تأيين واختيار مجال المسح 300mV- الى 900 mV- الموضح في الشكل **(5.4.11.III)** حيث كانت سرعة المسح 30mV/s .



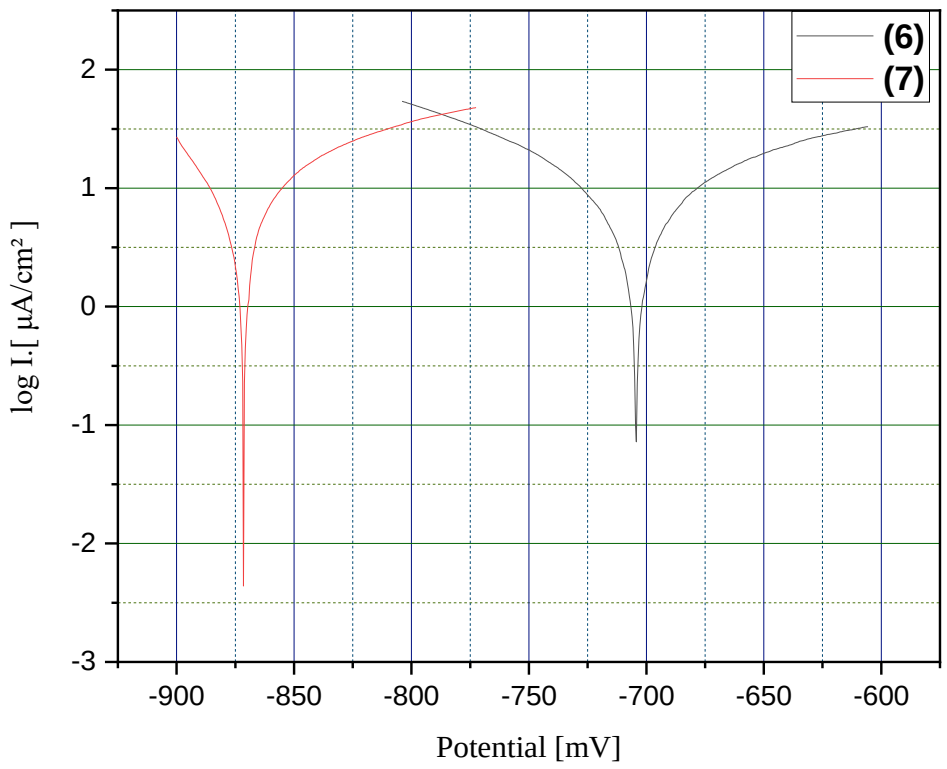
الشكل (11.III): (4): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(5) :** منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين .

كما هو مبين في الشكل **(11.III)** نهايات الاكسدة للمنحنيين (4) و (5) ممثلة بقمم شدة التيار

- $177.966 mA/cm^2$ و $267.447 mA/cm^2$ على التوالي، ونهايات الإرجاع للمنحنيين ممثلة بقمم شدة التيار $-298.501 mA/cm^2$ للمنحنى (4) و $-26.2708 mA/cm^2$ للمنحنى (5)، الزيادة في شدة التيار راجع لتأثير الجيلاتين.

3.2.III. منحنى تفال:

انطلاقا من منحنى الاستقطاب نتحصل على منحنى تفال Tafel الخاص بقطب العمل و محلول NaCl ، الشكل **(7.6.12.III)** :



الشكل (12.III) : منحنى تفال **(6)** : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى **(7)** : الفولاذ / NaCl بوجود الجيلاتين.

كما نستخلص من الشكل **(12.III)** الذي يبين سرعة التآكل وشدة تيار التآكل ومن هذه المعطيات نحسب نسبة التثبيط .

الجدول (4.III) : نتائج منحنى Tafel.

Milieu NaCl	E(i=0)	Rp	i corr:	Ba	Bc	Coef	corrosion
7	-871.4 mV	1.62 kohm.cm^2	13.2171 mA/cm^2	162.1 mV	-24.7 mV	1.0000	154.5 µm/ץ
6	-704.4 mV	2.56 kohm.cm^2	11.4215 mA/cm^2	210.9 mV	-146.7 mV	1.0000	133.5 µm/ץ

باستعمال العلاقة نتحصل على نسبة التثبيط :

$$IE = \frac{Lc_{un} - Lc_{in}}{Lc_{un}} \times 100\%$$

تعويض عددي :

$$\mathrm{IE} = \frac{11.4215 - 13.2171}{11.4215}$$

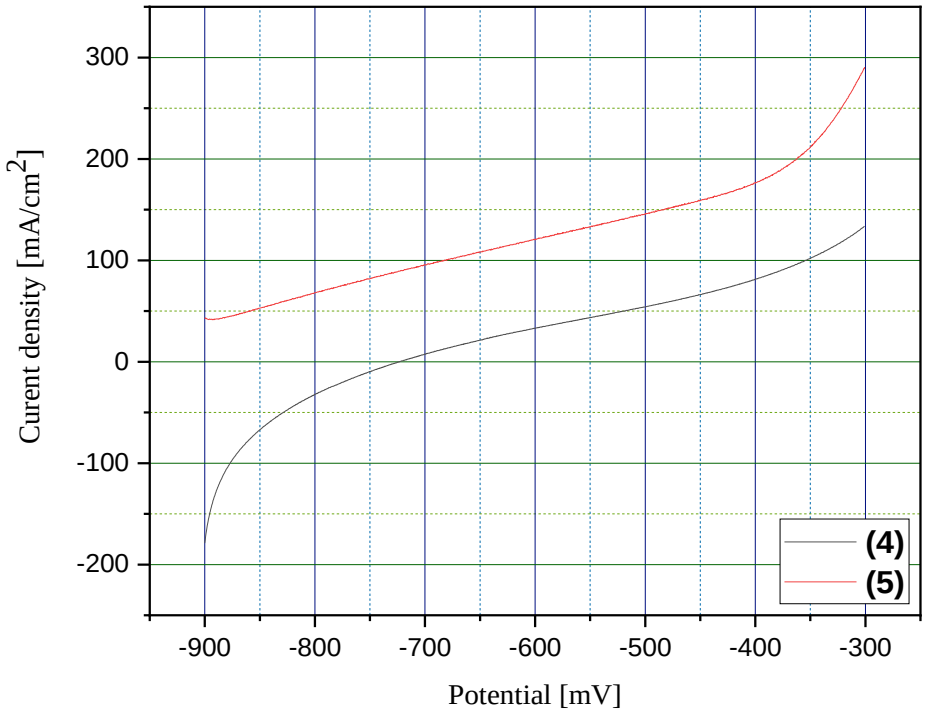
$$\mathrm{IE} = -0.01572$$

أي أن نسبة التثبيط 1.57%

توضح المنحنيات (الاستقطاب والتفال) ازاحة قيم جهد التآكل بوجود المثبط نحو القيم السالبة وذلك يدل على نوع الحماية : حماية كاثودية. وهذا ما يتوافق مع الجزء النظري [22].

4.2.III. منحنى الاستقطاب لمدة ساعة :

في نفس الشروط السابقة تحصلنا على منحنى الاستقطاب الممثل في الشكل**(5.4.13.III):**

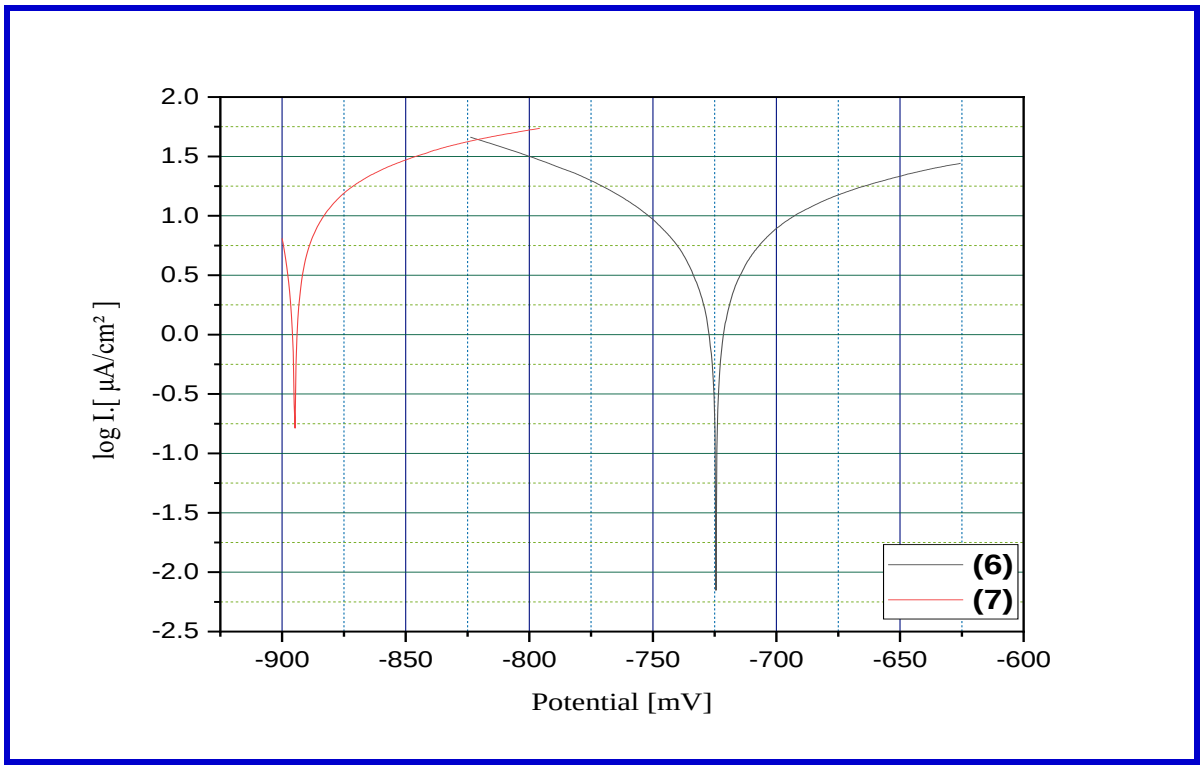


الشكل (13.III) : (4): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(5):** منحنى استقطاب الفولاذ في NaCl %3 بوجود الجيلاتين .

كما هو مبين في الشكل **(13.III)** نهايات الاكسدة للمنحنيين (4) و (5) ممثلة بقمم شدة التيار $133.545mA/cm^2$ و $290.648\ mA/cm^2$ على التوالي ، ونهايات الإرجاع للمنحنيين ممثلة بقمم شدة التيار $-164.068\ mA/cm^2$ للمنحنى (4) و $42.7583\ mA/cm^2$ للمنحنى (5)، الزيادة في شدة التيار راجع لتأثير الجيلاتين.

5.2.III. منحنى تفال:

في نفس الشروط السابقة تحصلنا على منحنى تفال الممثل في الشكل**(7.6.14.III):**



الشكل (14.III) : منحنى تفال **(6)** : الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى **(7)** : الفولاذ / NaCl بوجود الجيلاتين.

كما نستخلص من الشكل **(14.III)** الذي يبين سرعة التآكل وشدة تيار التآكل ومن هذه المعطيات نحسب نسبة التثبيط .

الجدول (5.III) : نتائج منحنى Tafel.

Milieu NaCl	E(i=0)	Rp	i corr:	Ba	Bc	Coef	Corrosion
7	-894.9 mV	0.93 kohm.cm^2	22.2933 mA/cm^2	252.3 mV	-144.5 mV	0.9989	260.7 µm/ɣ
6	-724.4 mV	2.91 kohm.cm^2	9.2943 mA/cm^2	201.9 mV	-142.2 mV	1.0000	108.7 µm/ɣ

باستعمال العلاقة نتحصل على نسبة التثبيط :

$$IE = \frac{Lc_{un} - Lc_{in}}{Lc_{un}} \times 100\%$$

تعويض عددي :

$$\mathrm{IE} = \frac{9.2943 - 22.2933}{9.2943}$$

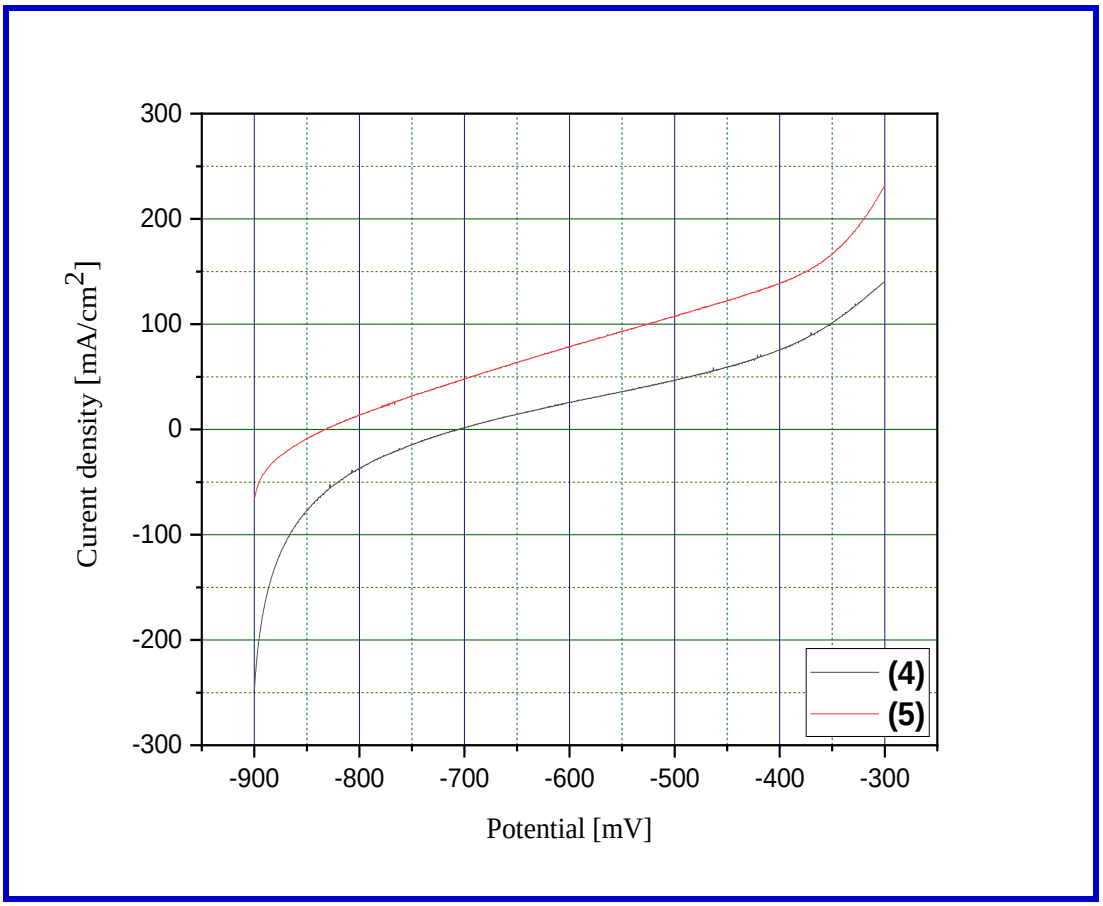
$$\mathrm{IE} = -1.39859$$

أي أن نسبة التثبيط 139.85%

توضح المنحنيات (الاستقطاب والتفال) ازاحة قيم جهد التآكل بوجود المثبط نحو القيم السالبة وذلك يدل على نوع الحماية : حماية كاثودية

6.2.III. منحنى الاستقطاب لمدة ساعتين :

في نفس الشروط السابقة تحصلنا على منحنى الاستقطاب الممثل في الشكل**(5.4.15.III)**:.

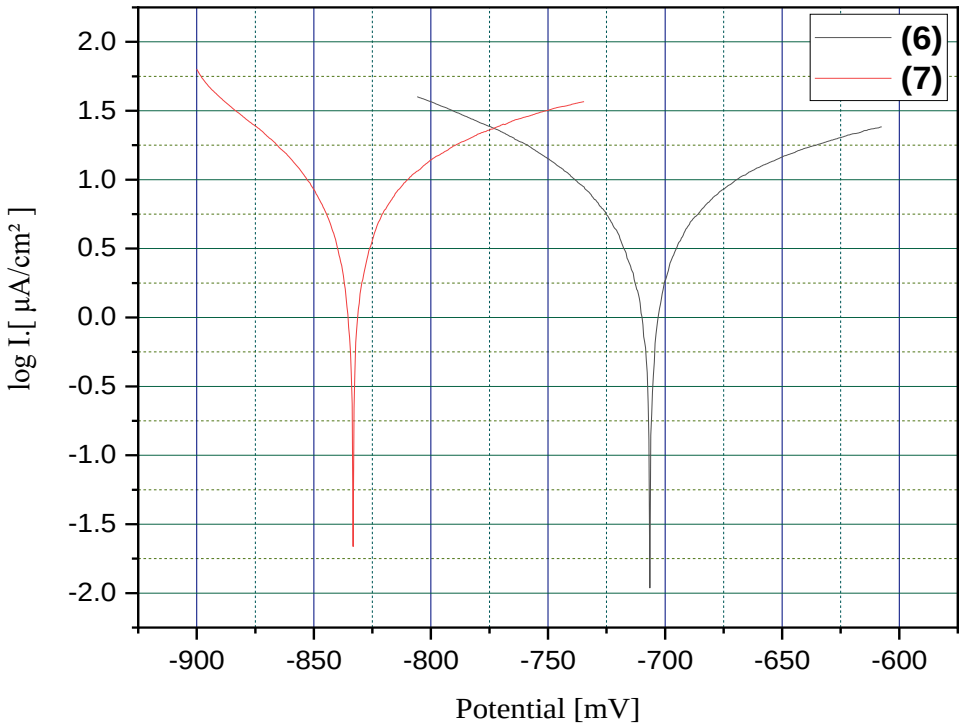


الشكل(15.III) : (4): منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl ،**(5):**
منحنى استقطاب الفولاذ في محلول NaCl بوجود الجيلاتين .

كما هو مبين في الشكل **(15.III)** نهايات الاكسدة للمنحنيين (4) و (5) ممثلة بقمم شدة التيار $138.33mA/cm^2$ $230.604\ mA/cm^2$ على التوالي ، ونهايات الإرجاع للمنحنيين ممثلة بقمم شدة التيار $-227.768\ mA/cm^2$ للمنحنى (4) و $-61.566\ mA/cm^2$ للمنحنى (5)، الزيادة في شدة التيار راجع لتأثير الجيلاتين.

7.2.III. منحنى تفال:

في نفس الشروط السابقة تحصلنا على منحنى تفال الممثل في الشكل**(7.6.16.III):**



الشكل (16.III) : منحنى تفال (6) **:** الفولاذ /محلول NaCl و المنحنى (7) **:**
الفولاذ /3% NaCl بوجود الجيلاتين

كما نستخلص من الشكل **(16.III)** الذي يبين سرعة التآكل وشدة تيار التآكل ومن هذه المعطيات نحسب نسبة التثبيط .

الجدول (6.III) : نتائج منحنى Tafel.

Milieu NaCl	E(i=0)	Rp	i corr:	Ba	Bc	Coef	corrosion
7	-833.7 mV	2.17 kohm.cm^2	6.2736 mA/cm^2	104.3 mV	-70.9 mV	1.0000	73.37 µm/ץ
6	-706.8 mV	3.55 kohm.cm^2	7.7165 mA/cm^2	196.1 mV	-137.6 mV	1.0000	90.25 µm/ץ

باستعمال العلاقة نتحصل على نسبة التثبيط :

$$IE = \frac{Lc_{un} - Lc_{in}}{Lc_{un}} \times 100\%$$

تعويض عددي :

$$\mathrm{IE} = \frac{7.7165 - 6.2736}{7.7165}$$

$$\mathrm{IE} = 0.18698$$

أي أن نسبة التثبيط 18.69%

توضح المنحنيات (الاستقطاب والتفال) ازاحة قيم جهد التآكل بوجود المثبط نحو القيم السالبة وذلك يدل على نوع الحماية : حماية كاثودية.

❖ تحليل النتائج :

- جهد التوازن في طريقة التثبيت اكثر استقرارا من طريقة الغمس خلال الازمنة التالية 30min و60min و 120min على التوالي .
- منحنيات الاستقطاب تبين تناقص نهايات الاكسدة الانودية و تزايد نهايات الارجاع الكاثودية مقارنة بين طريقة التثبيت بوجود الجيلاتين وغمسها .
- من منحنيات تفال تبين ازاحة قيم جهد التاكل من الحماية الانودية في طريقة الغمس نحو الحماية الكاثودية بطريقة التثبيت .

الخاتمة العامة

خاتمة عامة

يعتبر التآكل ظاهرة علمية لا مفر منها فهو من المشاكل الاقتصادية الكبرى التي تؤدي إلى إتلاف كميات كبيرة من المنشآت والمعادن، ولكن يمكن التحكم فيها بعدة طرق من بينها استخدام المثبطات العضوية الصديقة للبيئة، لحماية المعدن من التآكل بسبب فعاليتها القوية واتساع تواجدها وعدم سميتها تطرقنا لدراسة الفعالية التثبيطية للتآكل على ركيزة الفولاذ الكربوني X52 الذي يتم استخدامه في نقل الغاز والماء والنفط في وسط NaCl 3% باستعمال مادة الجيلاتين المصنع مخبريا ، تم متابعة التوازن بين المعدن والوسط على حدى وعند وجود المثبط ، تم تعمد أكسدة المعدن في منحنيات التأين وحصلنا على سرعة التآكل بوجود وغياب الجيلاتين، كما قيمنا نسبة التثبيط كهروكيميائيا.

تتمة لدراسات سابقة في هذا الموضوع اخترنا تغيير الوسط ومدة التفاعل بين المعدن والوسط بوجود مثبط ، وتبقى الأبحاث واردة للتعمق في دراسة فعالية هذا المثبط الصديق للبيئة سواءا بتغيير مدة الزمن أو تغيير الوسط .

بسم الله

الملخص

الهدف من هذا العمل هو إستعمال الجيلاتين كمثبط لتاكل الفولاذ Aciex X52 من خلال تثبيت وغمس الجيلاتين كهروكيميائيا على سطح الفولاذ في وسط مؤكسد NaCl محضر مخبريا مقارب لخصائص ماء البحر.

الكلمات المفتاحية: الفولاذ X52، الجيلاتين، المثبطات، محلول NaCl.

Abstract

The aim of this work is to use gelatin as a corrosion inhibitor for Aciex X52 steel by electrochemically immobilizing and immersing gelatin on the steel surface in a laboratory-prepared NaCl oxidizing medium that is similar to the properties of seawater.

Key words: X52 steel, gelatin, inhibitors, NaCl.