الجمهورية العربية السورية
جامعــة دمشــق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم التصميم الميكانيكي
ماجستير علم المواد وهندستها

معالجة مشكلة الاهتراء في المبادل الحراري التابع لجهاز الكولون لتقطير العنب

"Addressing the Wear Problem in the Cologne Grape Distillation Heat Exchanger"

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة التصميم الميكانيكي

اختصاص علم المواد وهندستها

إعداد

م. رامي صالح صالحه

المشرف العلمي

أ. م. د. حسن فارس هدله

أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي – جامعة دمشق

العام الدراسي

2022–2023 م

فهرس المحتويات

الموضوع	الصفحة
فهرس المحتويات	I
فهرس الجداول	V
فهرس الأشكال	VI
فهرس المخططات	IX
المقدمة	1
أهداف البحث	2
الملخص العربي	3
الفصل الأول : أشكال التآكل والعوامل المؤثرة عليه	4
1.1 تعريف التآكل	5
2.1 أنواع التآكل	6
3.1 أشكال التآكل	6
1.3.1 التآكل المنتظم	7
2.3.1 التآكل الغلفاني	7
3.3.1 التآكل الانتقائي	9
4.3.1 التآكل التصدعي	9
5.3.1 التآكل النقري	10

الموضـوع	الصفحة
6.3.1 التآكل بين الحبيبات	12
7.3.1 التآكل الإجهادي التحطمي	13
8.3.1 التآكل الحتي	14
الفصل الثاني : قياس التآكل ومراقبته	16
1.2 مقدمة	17
2.2 أقسام اختبارات التآكل	17
1.2.2 الاختبارات الخدمية	17
2.2.2 الاختبارات الخدمية المحاكية	17
3.2.2 الاختبارات المعجلة	17
3.2 طرق وتجهيزات قياس مراقبة التآكل	17
1.3.2 اختبارات الوزن المفقود	18
2.3.2 تقنية المقاومة الكهربائية	18
3.3.2 الاختبارات الكهروكيميائية	19
4.3.2 طريقة مسبار الهيدروجين	19
5.3.2 التحاليل الكيميائية	19
6.3.2 تحليل أماكن الضعف وتفتيشها	20
الفصل الثالث : حماية المعادن من التآكل	21

الموضـوع	الصفحة
1.3 مشاكل التآكل وأضراره	22
2.3 السيطرة على التآكل	23
3.3 التصميم الهندسي الجيد	23
1.3.3 السيطرة على التآكل التصدعي	24
2.3.3 السيطرة على التآكل الغلفاني	24
3.3.3 السيطرة على التآكل الحتي	25
4.3 الاختيار المناسب لمواد الإنشاء و التشييد	26
1.4.3 المتطلبات الواجب تحقيقها عند اختيار مواد الإنشاء و التشييد	27
2.4.3 معايير الاختيار	27
3.4.3 متغيرات تتعلق بالوسط الآكل	27
4.4.3 نوع التطبيق	28
5.3 مقاومة التآكل المعدني بالتغطيات	28
1.5.3 التغطيات المعدنية	29
2.5.3 التغطيات اللاعضوية	31
3.5.3 التغطية العضوية	33
6.3 مقاومة التآكل بالحمايات الأنودية والكاثودية	34
1.6.3 أساسيات الحماية الكاثودية	35

الموضـوع	الصفحة
2.6.3 أساسيات الحماية الأنودية	38
7.3 مقاومة التآكل باستخدام مثبطات التآكل	39
1.7.3 المثبطات الأنودية	40
2.7.3 المثبطات الكاثودية	40
3.7.3 مثبطات الإمتزاز	42
4.7.3 المثبطات التي تعمل في الطور البخاري	43
8.3 متطلبات مثبط التآكل	43
الفصل الرابع : الدراسة المرجعية Literature review	45
1.4 مقدمة	46
2.4 الدراسات المرجعية.	46
الفصل الخامس : خط إنتاج معمل المشروب الكحولي	58
1.5 تعريف العرق	59
2.5 خطوات صناعة المشروب الكحولي	60
الفصل السادس مواد البحث وطرائقه	67
1.6 مكان تنفيذ البحث	68
2.6 المبادل الحراري	68
3.6 التحليل الكيميائي لعينة النحاس	68

الموضـوع	الصفحة
4.6 تحضير العينات	68
1.4.6 تجهيز العينات للاختبار	68
2.4.6 أبعاد العينات	69
3.4.6 حساب الوزن المفقود	73
4.4.6 حساب معدل التآكل للعينة المغمورة في الماء	74
5.6 اختبار PH الماء	76
6.6 دراسة معدل التآكل لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ	77
7.6 مناقشة النتائج	81
8.6 الاستنتاجات	83
9.6 المقترحات التوصيات	83
المراجع	84
الملخص الانكليزي	86

فهرس الجداول

الجـدول	الصفحة
جدول (4-1) مكونات الماء .	48
جدول (4-2) التركيب الكيمائي للماء المستخدم .	50

الجـدول	الصفحة
جدول (4-3) التركيب الكيمائي للمعادن المستخدمة في المبادل الحراري.	50
جدول (4-4) مواصفات أنابيب الاختبار.	54
جدول (6-5) القيم الوزنية لعينات من النحاس المغمورة في أوساط التآكل.	72
جدول (6-6) التركيب الكيمائي الفولاذ المقاوم للصدأ 316	78
جدول (6-7) القيم الوزنية لعينات من الفولاذ المقاوم للصدأ المغمورة في أوساط التآكل.	79
جدول (6-8) جدول مقارنة بين أنبوب مصنوع من النحاس وأنبوب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ.	81

فهرس الأشكال

الشـكل	الصفحة
شكل (1- 1)) دورة تصنيع المعادن وتآكلها	5
شكل (1- 2) التفاعلات الكهروكيميائية للربط الغلفاني توتياء – بلاتين	9
شكل (1- 3) التآكل الانتقائي للتوتياء	9
شكل (1- 4) التآكل التصدعي لحلقات أنبوب مصنوع من الستانلس ستيل.	10
شكل (1- 5) التآكل في نقاط التماس بين معدنين مختلفين ومثبتين بعزقة.	10
شكل (1- 6) التآكل النقطي لأنبوب استخراج النفط	11
شكل (1- 7) التآكل النقطي	11
شكل (1- 8) عملية الوساطة الذاتية في التآكل النقطي	12

شكل (1– 9) مقطع عرضي يبين حدود الحبيبة في الفولاذ المقاوم للصدأ	13
شكل (1– 10) الكربيدات المنفصلة عن الفولاذ المقاوم للصدأ.	13
شكل (1– 11) تآكل مخرج مضخة عمودية	14
شكل (1– 12) التآكل الحتي لجدار أنبوب مكثف	15
شكل (3– 13) اللحام الجيد يحد من التآكل	24
شكل (3– 14) استخدام عازل لإعاقة تشكل خلية غلفانية	25
شكل (3– 15) خلية الطلاء الكهروكيميائي	31
شكل (3– 16) اختيار التغطية العضوية المناسبة كتغطية أولية	34
شكل (3– 17) الحماية الكاثودية للأنابيب المدفونة باستخدام تيار خارجي	35
شكل (3– 18) قيمة التيار المطبق في أثناء الحماية الكاثودية	36
شكل (3– 19) الحماية الغلفانية للأنابيب	37
شكل (3– 20) حالة الخمول يرافقها معدل تآكل محدود	39
شكل (3– 21) الحماية الأنودية لخزان يحوي حمض الكبريت	39
شكل (3– 22) تأثير المثبطات على منحنيات الاستقطاب.	42
شكل (3– 23) آلية تشكل طبقة واقية من مثبط التآكل تحمي سطح المعدن من التآكل.	43
شكل (4– 24) التآكل العام في أنابيب المبادلات الحرارية	46
شكل (4–25) التآكل النقري في أنابيب المبادلات الحرارية	47
شكل (4–26) التآكل التصدعي الإجهادي في أنابيب المبادلات الحرارية	47

شكل (4-27) التآكل التشققي في أنابيب المبادلات الحرارية	48
شكل (4-28) الثقوب الحاصلة على جدران أنابيب المبادل الحراري	49
شكل (4-29) المبادل الحراري الأنبوبي	51
شكل (4-30) شكل خليطة لاتون – 68 ، خليطة النحاس الأصفر.	51
شكل (4-31) تباين الطول مع الوقت لثلاثة أنابيب اختبار	54
شكل (4-32) علاقة زمن الاختبار بمساحة وحجم منطقة التآكل	55
شكل(4-33) صورة مجهرية لمقطع عرضي لأنبوب يظهر فشل التآكل على شكل اعشاش النمل.	57
شكل (5-34) عملية جمع محصول العنب بعد عملية القطف.	60
شكل (5-35) تقسيم كحول الناتج إلى: الذيل والجيد والرأس.	62
شكل (5-36) مبادل الحراري النحاسي.	62
شكل (5-37) جهاز التقطير.	63
شكل (5-38) دارة التحكم جهاز التقطير.	64
شكل (5-39) أنبوب النحاس المستخدم في المبادل الحراري.	64
شكل(5-40) يوضح نوعية جهاز التقطير.	64
شكل (5-41) المبادل الحراري المستخدم في تقطير اليانسون.	65
شكل (5-42) المبادل الحراري المستخدم في تقطير اليانسون.	65
شكل (5-43)عملية تعبئة الكحول ضمن زجاجات.	66
شكل (5-44) عبوة المشروب الكحولي جاهزة للتسويق	66

شكل (6-45) تحليل عينة النحاس المستخدمة في اختبار.	68
شكل (6-46) العينات المأخوذة من أنبوب النحاس	69
شكل(6-47) وزن العينات قبل غمرها في أوساط آكلة.	70
شكل(6-48)الحوض الزجاجي الحاوي على العينات.	71
شكل (6-49) علاقة تآكل معدن النحاس في أوساط الآكلة (الماء، عصير العنب المخمر ،عصير العنب المقطر) مع الزمن.	75
شكل (6-50) أدوات اختبار القساوة	77
شكل (6-51) عينات الفولاذ المقاوم للصدأ.	77
شكل (6-52) وزن عينات الفولاذ المقاوم للصدأ قبل إجراء الاختبار.	78
شكل(6-53) الحوض الزجاجي المغمور فيها عينات الفولاذ المقاوم للصدأ .	79
شكل (6-54) علاقة التآكل بين العينات المغمورة في أوساط آكلة خلال المدة الزمنية.	81

فهرس المخططات

مخطط	الصفحة
(5-1) المخطط الصندوقي لخط إنتاج معمل المشروب الكحول	59

المقدمة

Introduction

يستخدم المبادل الحراري بشكل واسع في الصناعة ويكون له تأثير مباشر على كفاءة عملية الإنتاج إذ تمثل حوالي خمس الاستثمار في الإنشاء الكيمائي ولذلك فإن طول عمر المبادل الحراري من القضايا المهمة التي تستحق الدراسة ، لذلك يجب حل مشكلة تآكل المبادل الحراري وإيجاد أسباب التآكل للحد من الهدر الناتج عن صيانة و استبدال أنابيب المبادل الحراري و لتجنب حدوث أعطال طارئة وزيادة عمر الأنابيب أيضا ،لذلك يجب اختيار مواد للمبادل الحراري بدقة من أجل التخفيف من مشكلة الاهتراء .

من مواد الأنابيب التي تستخدم في المبادل الحراري الفولاذ المقاوم للصدأ ، وسبائك النحاس والنيكل ، وسبائك النيكل ، والتيتانيوم.

يمكن تعريف المبادل الحراري: بأنه جهاز ينقل الحرارة لتحقيق التسخين أو التبريد المطلوبين حيث تقوم بنقل الحرارة من سائل إلى سائل مجاور دون تلامس المادتين أو التصادم مع بعضهما البعض، فإن هذه الأجهزة لها تصميمات مختلفة من سبائك مختلفة، ولكن جميعها تتبع المبدأ نفسه.

يمتلك النحاس العديد من الخصائص كالناقلية الحرارية الممتازة، ومقاومة التآكل، والمتانة على الزحف، والمتانة على التعب، والتمدد الحراري، ودرجة انصهار مرتفعة، وسهولة تصنيعه ولحامه. لذلك يعد الخيار الأفضل لاستخدامه في المبادل الحراري، ولكن على الرغم من هذه الخصائص تعاني الأنابيب النحاسية في المبادل الحراري من مشكلة الاهتراء في جهاز الكولون لتقطير العنب، والتي تسبب عوائق في عملية الإنتاج وتكاليف الصيانة المرتفعة لذلك يهدف هذا البحث إلى تحديد أسباب حدوث التآكل في هذا الجزء من الآلة وطرق الوقاية منها.

أهـداف البحـث

Research Objectives

دراسـة ظـاهرة التآكـل فـي أنابيـب النحـاس فـي المبـادل الحـراري وإيجـاد الحلـول المناسـبة مـن خلال:

1) دراسـة مجموعـة مـن العينـات مـأخوذة مـن أنابيـب المبـادلات الحراريـة الموجـودة فـي معمل المشروب الكحولي (العرق).
2) دراســة عمليــة التآكــل الحاصــلة فــي هــذه الأنابيــب والســعي لإيجــاد الحلــول الملائمة.
3) إجـراء اختبـار الـوزن المفقـود علـى العينـات فـي أوسـاط آكلـة عنـد مراحـل زمنيـة مختلفة وحساب معدل التآكل.
4) حساب حموضة مياه البئر المستخدمة لسير العمل في شركة العرق.

ملخص البحث

تعاني الأنابيب النحاسية في المبادل الحراري من مشكلة الاهتراء في جهاز الكولون لتقطير العنب، والتي تسبب عوائق في عملية الإنتاج وتكاليف الصيانة المرتفعة لذلك يهدف هذا البحث إلى تحديد أسباب حدوث التآكل في هذا الجزء من الآلة وطرق الوقاية منها.

تم حساب معدل التآكل بطريقة الفقدان بالوزن بطريقة الغمر في أوساط التآكل المأخوذة من معمل المشروبات الكحولية (معمل الريان) وهذه الأوساط هي: (الماء، عصير العنب المقطر، عصير العنب المخمر) تم غمر العينات النحاسية المختبرة بشكل كامل في الحوض الزجاجي وقورنت النتائج بعينات الفولاذ المقاوم للصدأ المختبرة أيضا في أوساط نفسها و المدة الزمنية نفسها لوحظ أن قيمة التآكل في عينة النحاس المغمورة في الماء كانت أعلى مقارنة بالعينتين المغمورتين في عصير العنب المخمر والمقطر.

تم حساب معدل التآكل لعينة النحاس المغمورة في الماء فكانت قيمتها 0.069mm/y ومعدل التآكل لعينة النحاس المغمورة في عصير العنب المقطر 0.027mm/y ومعدل التآكل لعينة النحاس المغمورة في عصير العنب المخمر 0.038 mm/y.

تم اختبار حموضة الماء خلال مراحل متعددة وتحديد قيمتها Ph=5، تم تحليل التركيب الكيمائي لعينة مأخوذة من الأنبوب النحاسي المستخدم في المبادل الحراري.

تبين أن سبب التآكل ناتج عن انخفاض حموضة الماء، واختلاف درجات الحرارة بين الماء والكحول، و حموضة عصير العنب. وتبين أيضا خلال مدة الاختبار أن عينات الفولاذ المقاوم للصدأ لا يحدث فيها التآكل في حين أن التآكل يحدث في العينة النحاسية .

الفصل الأول

أشكال التآكل والعوامل المؤثرة فيه

Chapter 1

FORMS OF CORROSION AND FACTORS AFFECTING IT

الفصل الأول

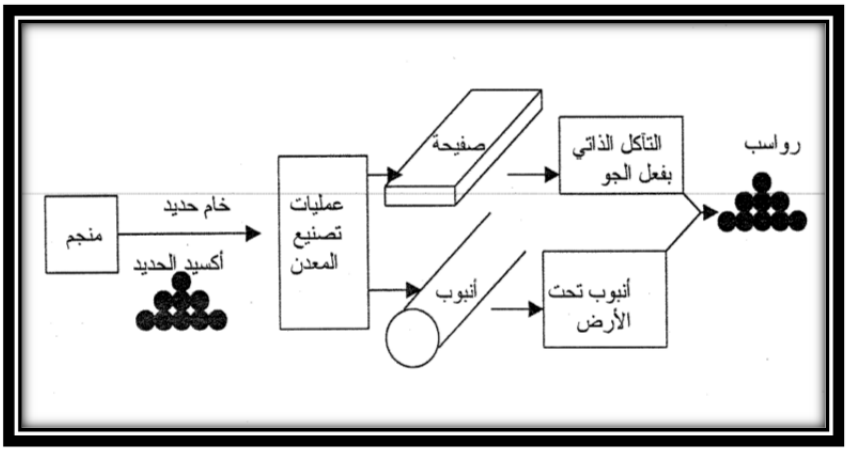
1.1 تعريف التآكل:

التآكل هو انهيار المنشآت المعدنية نتيجة تفاعلها مع الوسط المحيط، والتآكل من العوامل بالغة الأهمية في المجال الصناعي، فهو عادةً السبب الرئيس للكثير من المتاعب التي تواجه عمليات التشغيل في خطوط الإنتاج، وهو غالباً المسؤول عن الأعطال وتوقف الإنتاج.

إن عملية التآكل هي عملية تلقائية طبيعية يتم فيها إعادة الفلزات من صورتها الانتقالية الحرة إلى صورتها الثابتة (الاتحادية والتي كانت موجودة عليها أصلاً في الطبيعة قبل استخلاصها)، ذلك أن معظم الفلزات تستخلص من خاماتها عن طريق إمدادها بمقدار معين من الطاقة، ويتبع ذلك أنها تكون وهي في الحالة المنفردة في مستوٍ طاقي أعلى مما تكون فيه وهي في صورتها الاتحادية.

وفقاً للقانون الثاني في الترموديناميك فإن التآكل : هو عودة الفلز المستخلص إلى الصورة التي تملك أدنى مستوى طاقي ممكن أي العودة من جديد إلى الصورة الاتحادية، وهذه العملية هي ما يسمى التآكل، أي التآكل هو الطريق الذي تستعيد به الطبيعة ما اغتصبه منها الإنسان من فلزات.[16]

الشكل (1–1) يوضح دورة تصنيع المعادن وتآكلها.



الشكل (1–1): دورة تصنيع المعادن وتآكلها

2.1 أنواع التآكل:

هناك أنواع عديدة للتآكل نتيجة الأكسدة وهي تصنف:

1- حسب طبيعة الوسط الآكل:

يمكن تقسيم التآكل حسب طبيعة وسط التآكل إلى نوعين: **جاف ورطب.**

وحسب التسمية فإنه يكون من الضروري وجود سوائل أو رطوبة لكي يحدث التآكل من النوع الرطب، والمثال الشائع على هذا النوع هو تآكل الفولاذ في الماء.

بينما لا يستوجب النوع الجاف وجود سوائل أو رطوبة. ويحدث عادة عند درجات الحرارة المرتفعة، أي بين الغازات والفلزات، كما يحدث في بعض المداخن.

2 - حسب ميكانيكية عملية التآكل:

أي حسب المسلك الذي تسلكه عملية التآكل، وبهذا الخصوص ينقسم التآكل إلى نوعين:

أ – تآكل كيميائي: ويتميز هذا النوع من التآكل باهتراء المعدن وتفتته نتيجة تفاعله المباشر مع الوسط المحيط وغير المتشرد كهربائياً.

ب – تآكل كهر وكيميائي: ويتحقق هذا النوع في الأوساط المتأينة (المتشردة كهربائياً) الغامرة للمعدن كلياً أو جزئياً، وذلك نتيجة حصول تفاعلات كهر وكيميائية على سطح المعدن المغمور بالوسط المتأين كعمليات الأكسدة والإرجاع.

3 – حسب مظهر المعدن المتآكل:

وفي هذه الحالة يتم تقسيم التآكل إلى:

أ – تآكل متجانس: يحدث عند السطح المتآكل كله، أي أن معدل التآكل يكون متساوياً عبر السطح المعدني ككل.

ب – تآكل موضعي: أو مركز وفي هذه الحالة يتركز التآكل في مساحات محددة.

3.1 أشكال التآكل:

تتآكل الهياكل المعدنية بأشكال مختلفة حسب خواص المعدن ووسط التآكل وشروط العمل المطبقة (درجة الحرارة المتغيرة – وسط مشبع بالأوكسجين – الاهتزازات – التماس مع المعادن الأخرى).

وبسبب هذا التآكل تظهر على سطوح الهياكل المعدنية تقرحات أو تشققات (تصدعات) أو طبقة منتظمة نتيجة لاهتراء المعدن.

وتصنف أشكال التآكل المصادفة في الحياة التطبيقية حسب خواص سطوح الهياكل المعدنية ومواصفات تشققها وهذا ما يسهل عملية البحث عن أسباب حدوث التآكل ومعرفة هذه الأسباب، وبالتالي اختيار الطريقة الملائمة للمعالجة ،

استناداً إلى أشكال التشققات الناتجة عن عملية التآكل، نميز الأشكال التالية:

التآكل المنتظم، والتآكل الغلفاني، والتآكل الانتقائي، والتآكل التصدعي، والتآكل النقطي، والتآكل بين الحبيبات، والتآكل الاجهادي التحطمي، والتآكل الحتي.[16]

1.3.1 التآكل المنتظم:

يعد التآكل المنتظم من أكثر أشكال التآكل شيوعاً، وهو عبارة عن تفاعل كيميائي أو كهرو كيميائي يحدث على السطح المعرض للوسط التآكلي كاملاً، ليصبح المعدن بعدها ذا سماكة قليلة ومن ثم ينهار. وكمثال على هذا الشكل من التآكل نذكر تآكل قطعة من الفولاذ أو الزنك مغمورة في محلول ممدد لحمض الكبريت، حيث تتآكل هذه القطعة بمعدل منتظم وعلى كامل سطحها الخارجي. ولا يعد هذا النوع من التآكل ذا أهمية كبيرة من الناحية التقنية، وذلك لأنه يمكن تحديد عمر التجهيزات المعدنية الخاضعة لهذا الشكل من التآكل بدقة، وذلك عن طريق اختبارات مقارنة بسيطة، حيث يكتفى بغمس عينات معدنية من معدن هذه التجهيزات في الوسط المسبب للتآكل لتحديد معدل التآكل. ومن المهم التأكيد على أن تركيز المواد الآكلة في الوسط هو العامل الأكثر أهمية في تحديد معدل التآكل. ويمكن الحد من هذا النوع من التآكل باختيار المعادن المناسبة، واستخدام الدهان المناسب، وأيضاً باستخدام الحمايات الكاثودية والأنودية. [16]

2.3.1 التآكل الغلفاني :

يحدث هذا الشكل من التآكل عندما يوجد معدنان مختلفان من حيث النشاط الكهروكيميائي في حالة تلامس مع بعضهما البعض، أو تم توصيلهما بموصل كهربائي، أو تم تعريضهما لفعل محلول متشرد ما، فإنه وكنتيجة لذلك سوف تكتسب كل قطعة معدنية من هاتين القطعتين جهداً كهربائياً خاصاً بها يتوقف من حيث

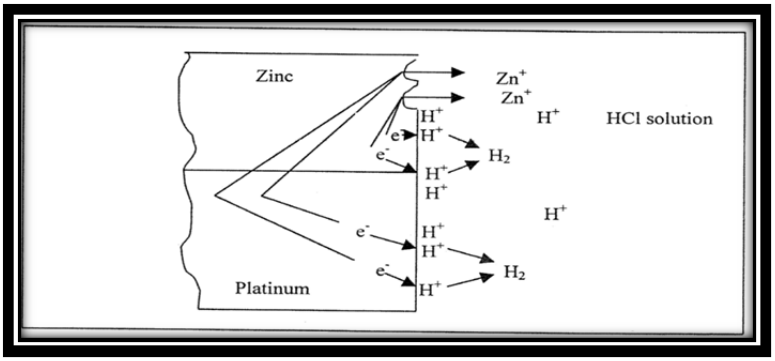
المقدار على نوع هذه القطعة المعدنية وموقعها في السلسلة الكهروكيميائية، إضافة إلى كل من تركيز المحلول الشاردي ودرجة الحرارة، وبناءً على ما تقدم ينشأ بين القطعتين المختلفتين فرق في الجهد كقوة دافعة لمرور التيار الكهربائي خلال الوسط الآكل. وتكون النتيجة الحتمية لمرور هذا التيار الكهربائي هو تآكل المعدن الأنشط في السلسلة الكهروكيميائية، إذ يتصرف كأنود وتحدث عنده عملية أكسدة أو تحرر إلكترونات في حين يتصرف المعدن الآخر ككاثود.

ويجب أن يكون معلوماً أنه كلما زاد الفرق في الجهد بين القطعتين المعدنيتين كانت الفرصة أكبر لحدوث التآكل الغلفاني وبمعدل أكبر.

والشكل (1-2) يوضح التفاعلات الكهروكيميائية للربط الغلفاني توتياء – بلاتين

ومن أهم الملاحظات بخصوص التفاعل الغلفاني أنه يتسبب بتآكل أحد المعدنين، وذلك يعني أن المعدن الأنشط سوف يتآكل بمعدل أكبر مما لو غمر بمفرده في الوسط الآكل. وأيضاً يجب الإشارة إلى أنه بينما يتآكل المعدن الأنشط بمعدل أكبر عندما يشترك في الازدواج مع معدن آخر، فإن هذا الأخير سوف يتآكل بمعدل أقل بكثير من معدل تآكله قبل الاشتراك في الازدواج المعدني، وتكون النتيجة النهائية لهذا الازدواج هو تآكل المعدن الأنشط بمعدل أكبر وتآكل المعدن الأنبل بمعدل أقل. وللمساحة النسبية بين المعدنين أهمية قصوى فعندما تكون مساحة المعدن الأنبل كبيرة مقارنة بمساحة المعدن الأنشط، فإن ذلك يعجل من تآكل المعدن الأنشط بمعدل أكبر والعكس صحيح. ويمكن تلافي هذا النوع من التآكل عن طريق عدم استخدام معدنين مختلفين في الإنشاءات الهندسية واستخدام مادة عازلة فاصلة بينهما عندما تكون هناك ضرورة تحتم استخدام معدنين مختلفين كما يفضل استخدام معدنين متقاربين في الجهد القياسي الكهربائي بحيث يكون فرق الجهد المتولد بين المعدنين – الذي يمثل القوة الدافعة – أقل ما يمكن.[21]

وهناك طريقة أخرى للحد من التآكل الغلفاني وهي عدم استخدام مساحات كبيرة من المعدن الأنبل في حال تلامس مع مساحات محدودة من المعدن الأنشط. [21]

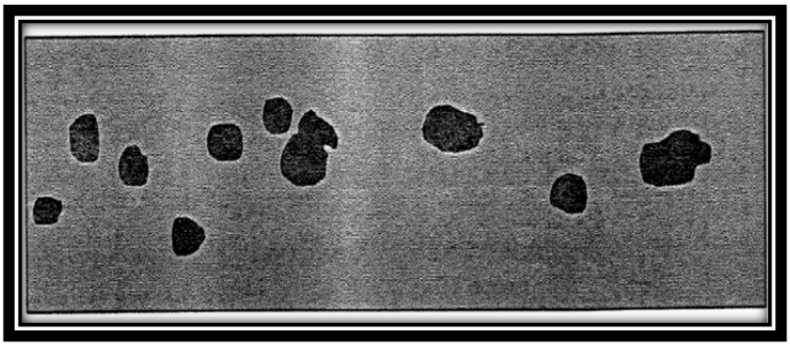


الشكل (1–2): التفاعلات الكهروكيميائية للربط الغلفاني توتياء – بلاتين

3.3.1 التآكل الانتقائي :

يقصد بالتآكل الانتقائي ذوبان أحد أطوار السبيكة مع بقاء الآخر. والمثال على ذلك هو إزالة التوتياء من سبيكة النحاس والتوتياء ذات التركيب (70% Cu + 30 % Zn). وتترك السبيكة ذات تركيب مسامي وخواص ميكانيكية ضعيفة.

ويوضح الشكل (1–3) تآكل التوتياء بشكل انتقائي. وتكون المعالجة في هذه الحالة باستخدام سبائك لا تتعرض لمثل هذا النوع من التآكل.

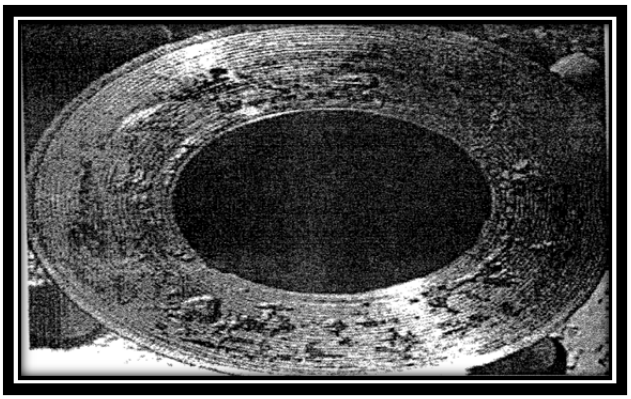


الشكل (1–3): التآكل الانتقائي للتوتياء

4.3.1 التآكل التصدعي :

هذا النوع من التآكل يشبه التآكل الغلفاني لكن تركيز المادة الآكلة فيه أقل، وهو يحدث بسبب الحجوم الصغيرة الراكدة من المحلول، فالتصدعات والسطوح غير المنتظمة كالنتوءات والتجاويف وحلقات الإحكام وحشوات منع التسرب هي مسرح لتآكل محلي شديد نتيجة تداخلها أو تماسها مع الوسط الآكل. [22]

والشكل (1–4) يوضح أثر عملية التآكل التصدعي على حلقات الإحكام لأنبوب مصنوع من الستانلس ستيل.

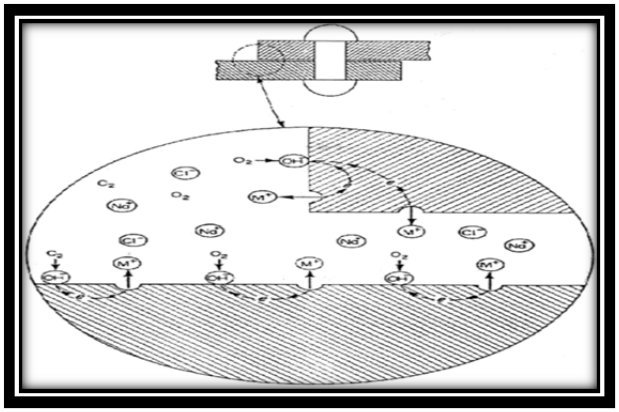


الشكل (4–1) التآكل التصدعي لحلقات أنبوب مصنوع من الستانلس ستيل

ويعزا التآكل التصدعي إلى واحد أو أكثر من الأسباب التالية:

- التغير في درجة الحموضة داخل الشقوق.
- نقص الإمدادات بالأكسجين داخل هذه الشقوق.
- نقص كميات معوقات التآكل داخل هذه الشقوق.
- تراكم أنواع معينة من هذه الأيونات داخل هذه الشقوق.

ويمكن تحسين المقاومة للتآكل التصدعي بالتصميم الجيد للحد من آلية تكون الشقوق، وبالصيانة المستمرة بهدف جعل السطوح نظيفة دائماً والحد من إمكانية تراكم الأوساخ عليها. يوضح الشكل **(1–5)** التآكل في نقاط التماس بين معدنين مختلفين ومثبتين بالبرشمة. [22]



الشكل (1–5) التآكل في نقاط التماس بين معدنين مختلفين ومثبتين بالبرشمة

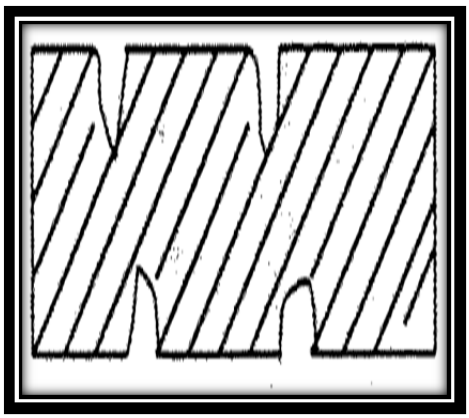
5.3.1 التآكل النقطي (النقري)

التآكل النقطي هو شكل من أشكال التآكل المحلي الشديد الذي يؤدي إلى إحداث ثقوب أو حفر في المعدن. وهذه الحفر قد تكون واسعة أو ضيقة، ولكن في معظم الحالات

هـي صـغيرة نسـبيا (القطـر الخـارجي للحفـر أقـل أو يسـاوي العمـق)، وتبـدو بشـكل منفـرد أو قريبة من بعضها وكأنها سطح خشن.

ويوضـح الشـكل (1–6) التآكـل النقطـي لأنبـوب يسـتخدم فـي اسـتخراج الـنفط مـن آبـار الـنفط. ويعـد التآكـل النقطـي أحـد أشـكال التآكـل الأكثـر خطـورة، فهـو يـؤدي إلـى انهيـار وثقب المعدن خلال مدة قصيرة من الزمن. [21]

ويصـعب عـادة اكتشـاف الحفـر نظـراً لصـغر حجمهـا ولأنهـا مغطـاة بمنتجـات التآكـل، كمـا يصـعب قيـاس أبعادهـا ومقارنـة اتسـاعها نظـراً لتغيـر أعماقهـا وكثـرة أعـدادها، وغالبـاً مـا تنمو الحفرة باتجاه الثقالة من السطح الأفقي نزولاً إلى الأسفل الشكل (1–7)



الشكل (1–7)
التآكل النقطي

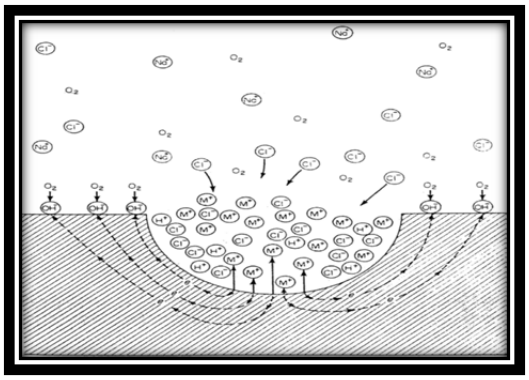


الشكل (1–6)
التآكل النقطي لأنبوب استخراج النفط

يعـد التآكـل النقطـي نموذجـاً متميـزاً لتفاعـل الأنـود، فهـو تفاعـل وسـيطي ذاتـي داخـل الحفـر حيث تتوفر الشروط الضرورية اللازمة لاستمرار التفاعل وانتشاره الشكل (1–8).

فـالانحلال السـريع للمعـدن داخـل الحفـرة يعمـل علـى زيـادة نسـبة الشـوارد الموجبـة فـي المنطقـة وهـذا يـدفع بشـوارد الكلـور الموجـودة فـي الوسـط الخـارجي للهجـرة باتجـاه الحفـرة للحفـاظ علـى التعـادل الكيميـائي ويسـتمر التفاعـل حتـى انعـدام انحـلال الأوكسـجين فـي المحلـول المركـز، ويقـف تفاعـل الإرجـاع علـى الكـاثود، وعلـى سـطوح المعـادن المجـاورة. وهكذا فالكاثود هو الذي يكبح تفاعل التآكل ويحمي الباقي من سطح المعدن.[21]

يحصل التآكل النقطي عادةً في المساحات ذات التخريب الميكانيكي، والتي لم تتخرب فيها القشرة بالكامل، أو حيث تتراكم التوضعات في الشقوق والتصدعات.
وللحد من التآكل النقطي فإن السطح يجب أن يكون نظيفاً ومتجانساً باستمرار.



الشكل (1-8) عملية الوساطة الذاتية في التآكل النقطي

6.3.1 التآكل بين الحبيبات :

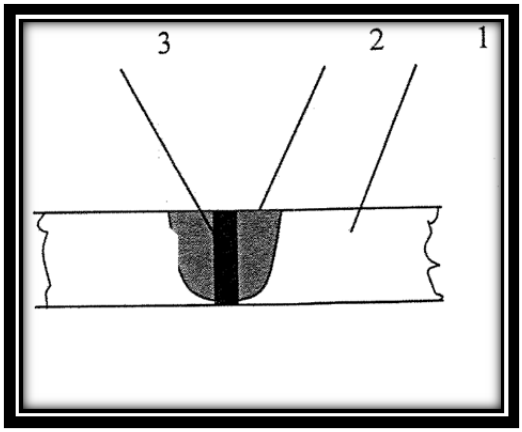
إذا أردنا تفهم هذا النوع من التآكل فإنه يتحتم علينا العودة إلى بعض أساسيات علم المعادن. فعندما يتم قولبة معدن منصهر فإنه يبدأ بالتجمد عند بعض أنوية التبلور الموزعة توزيعاً عشوائياً داخل المعدن المنصهر.

حيث تنمو كل من هذه الأنوية في الاتجاهات المختلفة عن طريق انتظام ذرات المعدن في تناسق هندسي محدد يتفق ونوع نظام التبلور الذي تخضع له ذرات المعدن لتكون ما يسمى بالحبيبات، ويجب أن يكون معلوماً أن انتظام الذرات في كل حبة والمسافات فيما بينها يكون ثابتاً في الحبيبات كافة. ولكن كنتيجة لعشوائية توزيع أنوية التبلور فإن مستويات الذرات التي تقع في الجوار بين الحبيبات لا يمكنها أن تخضع لنظام أي من الحبيبات. وكنتيجة لذلك فإنها تتخذ تناسقاً وسيطياً، وتسمى هذه المنطقة بمنطقة حدوالحبيبات. ويلاحظ أن حدود الحبيبات هذه تكون أنشط في التعامل مع الوسط الآكل من الحبيبات نفسها، ويرجع السبب في ذلك إلى أن ذرات المعادن في هذه المنطقة تتخذ موقعاً وسيطياً بين حبيبتين مختلفتين دون أن تكون قد اتخذت موضع التوازن كباقي ذرات الحبيبات. ومن ثم فإنها تكون في مستوى طاقي أعلى يجعلها

أنشـط، وهـذا بالإضـافة إلـى أنـه وكنتيجـة لبنـاء الحبيبـات مـن ذرات النـوع نفسـه فـإن الشـوائب تتـراكم عنـد حـدود الحبيبـات، الأمـر الـذي يهيـئ الفرصـة لحـدوث تآكـل غلفـاني على المستوى الذري.

ويوضـح الشـكل (1–9) مقطعـاً عرضـياً لحـدود الحبيبـة فـي الفـولاذ المقـاوم للصـدأ (316/304)

فعنـد تسـخين هـذه السـبيكة فـإن كربيـدات الكـروم $Cr_{23}C_6$ المترسـبة بـالقرب مـن حـدود الحبيبـة تتـرك المنطقـة علـى طـول الحبيبـة فيسـتنزف الكـروم مـن المنـاطق المحيطـة بهـذه الكربيـدات وتصـبح مقاومتهـا للتآكـل أقـل، كمـا فـي الشـكل (1–10). ولا يمكـن ملاحظـة التآكـل فيمـا بـين حـدود الحبيبـات فـي مراحلـه الأولـى بـالعين المجـردة، ولكـن إذا مـا تقـدم فقـد يؤدي إلى انخلاع الحبيبات نفسها تاركة خلفها سطحاً خشنا.



الشكل (1–10) الكربيدات المنفصلة عن الفـولاذ المقـاوم

1 – حبيبة 2– المعدن المنحل 3–كربيد



الشكل (1–9) مقطع عرضي يبين حـدود الحبيبـة فـي الفـولاذ المقـاوم للصـدأ

7.3.1 التآكل الاجهادي التحطمي :

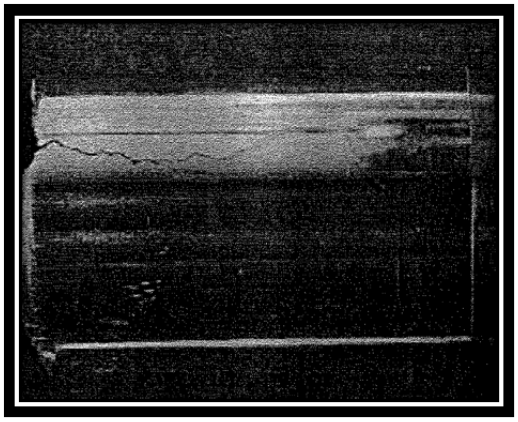
ويحـدث هـذا النـوع مـن التآكـل كنتيجـة للفعـل المشـترك لكـل مـن إجهـاد الميكـانيكي والوسـط الآكل، وهو يؤدي تحت ظروف معينة إلى تصدع وتشقق المعدن أو السبيكة[21]

ويبـين الشـكل (1–11) عمليـة تآكـل مخـرج مضـخة عـمتكـون مخزونـة فـي أثنـاء تشـكيله علـى البـارد وفـي أثنـاء عمليـات اللحـام، أو المعالجـات الحراريـة، أو نتيجـة إجهـاد يـاً فـي

أثنـاء خدمـة المعـدن أو السـبيكة. يحـدث التآكـل الإجهـادي التحطمـي علـى العمـوم دون سـابق إنـذار أو تغيـر فيزيـائي فـي حجـم أو شـكل المـادة وهـذا النـوع مـن التآكـل لا يمكـن إصلاحه.

ومن الطرق المستخدمة في الحد من هذا التآكل:

- تحرير الإجهادات المتولدة داخل المعدن باستخدام المعالجة الحرارية المناسبة.
- إزالة المادة الآكلة في وسط التشغيل.
- استبدال السبيكة المعدنية بأخرى أكثر مقاومة لهذا الشكل من التآكل. [22]



الشكل (1-11) تآكل مخرج مضخة عمودية

8.3.1 التآكل الحتي :

هذا التآكل عبارة عن زيادة معدل تخريب المعدن نتيجة لحركة المائع الملامس لسطح المعدن. فإذا كانت هذه الحركة سريعة تحدث تأثيرات حت ميكانيكية في المعدن تقشط الحركة السطحية عليه، والتي تكون على شكل أيونات منحلة، أو منتجات تآكل صرفة تنجرف ميكانيكياً.

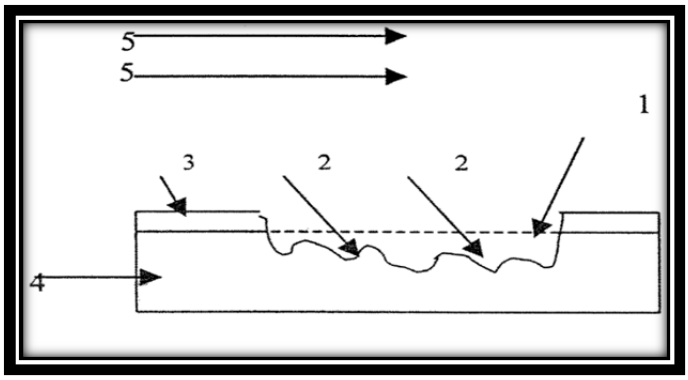
والشكل (1-12) يبين آلية التآكل الحتي .

ويتميز هذا الشكل من التآكل بالتموجات والحفر المدورة والوديان.

وعموما يحدث التخريب خلال مدة قصيرة وغير متوقعة نظراً لأن اختبارات تقدير معدل التآكل تتم تحت الشروط الساكنة دون أن تؤخذ تأثيرات الحت بالحسبان.

تعد كل الغازات والتحاليل المائية والمواد العضوية والمعادن السائلة والمواد الصلبة المعلقة من أهم الأوساط التي تحدث التآكل الحتي .

ويمكن تجنب هذا الشكل من التآكل عن طريق اختيار مواد الإنشاء والتشييد بحيث تكون ذات مقاومة عالية لعوامل الاحتكاك، أو باستخدام الشحوم لتسهيل عملية الانزلاق.



الشكل (1-12) التآكل الحتي لجدار أنبوب مكثف

1-السطح الأصلي 2-التآكل الحتي 3-طبقة التآكل 4-جدار

الفصل الثاني

قياس التآكل ومراقبته

Chapter 2

MEASUREMENT AND CONTROL OF CORROSION

الفصل الثاني

1.2 مقدمة:

لكي نفهم عملية التآكل بشكل أفضل، فإنه يسمح لهذه العملية بالحدوث بمعدل معروف وبنتائج متوقعة، ويكون هذا ممكناً عن طريق تفهم نتائج الاختبارات التي تجري في المعمل أو في الوحدة الصناعية، والاستفادة من البيانات المنشورة في الدوريات العلمية.

وقبل اختيار تقنية قياس التآكل ومراقبته فإنه من المهم جداً تحديد السبب الذي من أجله نقوم بهذا الاختبار لأن ذلك سيزيد من فرص اختيار الطريقة الأفضل، ويعطينا ميزة إضافية وهي المقدرة على معرفة تلك الاختبارات التي لسنا بحاجة للقيام بها.

أما الأهداف الرئيسة للقيام باختبار قياس التآكل فهي:

- قياس معدل التآكل كما يحدث في الوحدة الصناعية.
- تقييم المواد والعوامل البيئية والعوامل المؤثرة عليها والاستفادة من هذا التقييم في الاستخدامات المستقبلية لهذه المواد.
- دراسة آلية عملية التآكل.

2.2 أقسام اختبارات التآكل:

تنقسم اختبارات التآكل إلى ثلاث مجموعات:

1.2.2 الاختبارات الخدمية:

هي الاختبارات التي تجري على الوحدات الصناعية في أثناء التشغيل العادي لها ، أو التي تجري في الأوساط الطبيعية.

2.2.2 الاختبارات الخدمية المحاكة:

وهي الاختبارات التي تجري في شروط قريبة قدر المستطاع من الشروط المتوقعة ومثال ذلك الاختبارات التي تجري في الوحدات التجريبية.

3.2.2 الاختبارات المعجلة:

وهي تلك الاختبارات التي تجري في أوساط اختبار لا تتعلق بظروف الخدمة التي تعمل بها المنشأة.

3.2 طرائق وتجهيزات قياس مراقبة التآكل:

توجد طرائق عدة لقياس التآكل ومراقبته ولكل طريقة تجهيزاتها الخاصة:

1.3.2 اختبارات فقد الوزن:

تعد اختبارات فقد الوزن من أكثر الطرق شيوعاً لقياس التآكل أو لتحديد معدله.

وتتلخص هذه الطريقة بوزن قطعة معدنية نظيفة معروفة الأبعاد، ثم تعريضها لوسط آكل لمدة زمنية محددة، وبعد ذلك يتم إخراجها من الوسط الآكل وتنظيفها من منتجات التآكل ومن ثم نعيد وزنها مرة أخرى، ويكون الفرق في الوزن عبارة عن مقدار المادة المتآكلة. عندئذ يمكن تحديد معدل التآكل من العلاقة التالية: [20] [19]

$$R = K\,W / A\,T\,D$$

حيث:

R: معدل التآكل

K: ثابت

W: مقدار الفقد بالوزن (تصحح هذه القيمة عند حدوث أي فقد بالوزن في أثناء التنظيف).

A: سطح القطعة المعدنية المعرض لوسط التآكل.

T: زمن تعريض القطعة المعدنية لوسط التآكل.

D: الكثافة.

2.3.2 تقنية المقاومة الكهربائية:

إذا كانت القطعة المعدنية المعدة لإجراء اختبار التآكل تتخذ شكل شريحة أو سلك فإن المقاومة الكهربائية لتلك القطعة تزداد عندما ينقص سطح مقطعها بفعل التآكل.

وبناء على ذلك يجري قياس دوري ومستمر للمقاومة الكهربائية بين طرفي القطعة المعدنية، وبالتالي يمكن قياس التآكل ومراقبته بمعرفة مقدار الزيادة بالمقاومة الكهربائي. [11]

ويحسب معدل التآكل من العلاقة التالية : [11]

$$\text{Corrosion Rate (MPY)} = \Delta R / T \times 0.365 \times pf$$

حيث:

Δ R: مقدار التغير في قيمة المقاومة.

T: الزمن المستغرق لحدوث التغير.

Pf: معامل خاص بالمسبار.

3.3.2 الاختبارات الكهروكيميائية:

تعد طرق الاختبار الكهروكيميائي مفيدة جداً في العمل المخبري وخصوصاً عند دراسة آلية عملية التآكل وعند إجراء الدراسات الخاصة بتطوير السبائك.

وتفيد أيضاً بإجراء القياسات الخاصة بتآكل الوحدات الصناعية التشغيلية.

وتعتمد هذه الطريقة على التآكل ذي الطبيعة الكهروكيميائية، حيث يتم قياس قيمة التيار الخارجي الذي يجب تسليطه على العينة المعدنية المعرضة للتآكل وذلك من أجل تغيير قيمة جهد تآكلها بما مقداره عدة ميلي فولتات.

ويرتبط هذا التيار بتيار التآكل، وبالتالي فإنه يرتبط بمعدل تآكل العينة المعدنية، وإذا ما تآكلت العينة المعدنية سريعاً فسوف نحتاج إلى تيار خارجي كبير لتغيير جهدها، والعكس بالعكس.

وفي هذه الطريقة يتم الحصول على معدل التآكل خلال دقيقة واحدة وبدون القيام بأية قياسات مسبقة.

أما أجهزة القياس والتسجيل التي تعطي قراءات مباشرة لمعدل التآكل فهي متوفرة. [11]

4.3.2 طريقة مسبار الهيدروجين:

يتألف مسبار الهيدروجين من حلقة فولاذية محاطة بغلاف ومرتبطة بعداد ضغط، فعندما تتحرر ذرات الهيدروجين على السطح الخارجي للأنبوب فإنها ترحل عبر الجدار وتصل إلى حيز الحلقة حيث تتخذ وتشكل جزيئات غاز الهيدروجين. لذا فإن تراكم جزيئات الهيدروجين يؤدي إلى زيادة الضغط، وهذا ما يسجله عداد الضغط. [21]

5.3.2 التحاليل الكيميائية:

تعد التحاليل الكيميائية الجزء الأساسي والأهم في عملية مراقبة التآكل حيث يتم في هذه التحاليل قياس تراكيز الشوارد الناتجة عن تفاعلات التآكل.

كما إن إعادة إجراء التحليل عند النقطة نفسها يساعد على معرفة مقدار التغيرات التي تحدث في النظام. [12]

وتقاس مقدار هذه التغيرات خلال مدة زمنية محددة. إن إجراء التحاليل عند نقاط مختلفة من النظام، سوف يقيس مقدار تفاعل مركبات السائل مع سطح المعدن.

وللحصول على نتائج مفيدة لا بد من إجراء سلسلة من التحاليل بشكل مستمر وبأوقات مختلفة ومتقاربة وعند نقطة محددة، وذلك لكي يتم قياس تأثير تغير درجة الحرارة الخارجية على المكونات الكيميائية للسائل المتدفق.

يمكن أن يبدو هذا معقداً لكن في أثناء التطبيق العملي فإنه يمكن الحصول على تقارير جيدة عن التحاليل الداخلية وفي عدة نقاط من النظام، وذلك بإجراء التحليل بشكل جيد وخلال عدة أيام. لقد تم الافتراض ولعدة سنوات ماضية أن الكثير من التحاليل الحقلية تجري عند شروط ثابتة للنظام، أو بعبارة أخرى لا يمكننا التنبؤ بشروط النظام بشكل كامل.

في الواقع إن دراسة تحليلية أولية شاملة تتبعها قياسات دقيقة لشوارد محددة كل شهر أو شهرين سوف تستغرق زمناً أقل وستعطي نتائج مفيدة دون الحاجة إلى إجراء عدد كبير من الاختبارات التي تخضع لمحض الصدفة. [12]

6.3.2 تحليل أماكن الضعف وتفتيشها:

طالما أن الهدف من مراقبة التآكل هو معرفة التغيرات التي تحدث في المنظومة لمنع انهيارها، فربما يصيب المنظومات عوامل غير متوقع حصولها تؤدي إلى انهيارها، لذلك فإن تحليل هذه المنظومة ومعرفة أماكن الضعف فيها ربما يحدد العامل غير المتوقع الذي يسبب انهيار المنظومة، ويمكن أن نستخدم بعض هذه التقنيات الحديثة في تحديد المناطق التي عليها إجهادات متبقية ناتجة عن سوء المعالجة. [12]

الفصل الثالث

حماية المعادن من التآكل

Chapter 3

PROTECT METALS FROM CORROSION

الفصل الثالث

1.3 مشاكل التآكل وأضراره:

يعرف التآكل بأنه انهيار المنشآت المعدنية نتيجة لتفاعلها مع الوسط المحيط.

وكثيراً ما يؤدي إلى توقف خطوط الإنتاج في العمليات الصناعية.

وهناك العديد من الأضرار الاقتصادية الأخرى والتي يمكن إيجازها فيما يلي:

1 – ضرورة استبدال الوحدات والمعدات المتآكلة بأخرى سليمة، وما يصاحب ذلك من فقد العديد من ساعات الإنتاج، إضافة إلى تكاليف الاستبدال.

2– فرط التصميم: ويقصد بفرط التصميم استخدام المزيد من مواد الإنشاء والتشييد عما هو مطلوب لتحمل الإجهادات الميكانيكية، تحسباً من عملية التآكل وما يترتب على ذلك من زيادة في كمية مواد الإنشاء و التشييد الذي يؤدي إلى ارتفاع تكاليف الأجهزة والوحدات كما يتطلب ذلك إقامة أساسات خاصة كي تتحمل هذه الوحدات الثقيلة وهذه بدورها تكون عالية التكاليف.

3 – ضرورة تطبيق الصيانات الدورية الضرورية، كالطلاء بالدهانات وهذا يتطلب تكاليف مستمرة.

4 – إيقاف الوحدات الصناعية بصفة دورية لإجراء الصيانات عليها.

5 – تداخل نواتج عملية التآكل مع المنتج الرئيس وهذا يؤدي إلى نقص في قيمة المنتج النهائي.

6 – نقص الكفاءة: لأن فرط التصميم وتراكم نواتج عملية التآكل على السطوح المخصصة لانتقال الحرارة يؤدي إلى تناقص في معدل التبادل الحراري في المبادلات الحرارية.

7 – الاحتياج إلى المزيد من الطاقة من أجل ضخ الموائع داخل الأنابيب نتيجة زيادة مقاومة الاحتكاك بسبب الزيادة في درجة خشونة سطح الأنابيب بفعل التآكل.

وهناك بعض المشاكل الاجتماعية التي قد تسببها عملية التآكل وأهمها:

1 – مـا يتعلـق بالأمـان والسـلامة: فـإن الانهيـار المباغـت للوحـدات الصـناعية والمنشـآت بفعـل التآكـل قـد يتسـبب فـي إشـعال النيـران وحـدوث الحرائـق ووقـوع الانفجـارات وإطـلاق الأبخرة والمواد السامة الذي يؤدي إلى وقوع العديد من الوفيات والإصابات.

2 – مـا يتعلـق بالصـحة: فـإن تسـرب المنتجـات مـن الوحـدات المتآكلـة يـؤدي إلـى تلـوث البيئة وتعرض الصحة العامة للخطر.

3 – مـا يتعلـق بافتقـار المصـادر الطبيعيـة للمـواد الخـام والفلـزات: فإعـادة بنـاء وتشـييد وحـدات جديـدة بـدلاً مـن الوحـدات المتآكلـة يسـتوجب اسـتنفاد المصـادر الطبيعيـة لهـذه الفلزات كما يتطلب استهلاك كميات كبيرة من الوقود لتصنيع هذه الوحدات.[23]

2.3 السيطرة على التآكل:

يوجـد طـرق عديـدة للسـيطرة علـى التآكـل وإعاقتـه ولكـن مـن أجـل حالـة عمليـة خاصـة فإنـه يوجـد عـدد محـدد مـن الطـرق التـي يمكـن تطبيقهـا. لهـذا السـبب فـإن أول مـا يجـب علـى المهنـدس أن يقـوم بـه فـي هـذا المجـال هـو أن يحـدد كـل الطـرق التـي يمكـن تطبيقهـا لحالـة معينـة وبعـد ذلـك يختـار الطريقـة التـي تعطـي نتـائج فـي مجـال تخفـيض معـدل التآكـل مـع الأخذ بالحسبان الناحية الاقتصادية.

وأكثر الطرق شيوعاً لإعاقة التآكل والسيطرة عليه هي:

1 – التصميم الهندسي الجيد.

2 – الاختيار المناسب لمادة الإنشاء والتشييد.

3 – التغطية.

4 – الحماية الكاثودية والحماية الانودية.

5 – إضافة مثبطات التآكل.[13]

3.3 التصميم الهندسي الجيد:

يمكـن تـوفير الكثيـر مـن كلفـة التشـغيل فـي المصـانع الكيميائيـة بصـفة خاصـة، عـن طريـق التصـدي للتآكـل فـي أثنـاء خطـوة تصـميم خطـوط الإنتـاج والوحـدات الصـناعية وقبـل البـدء بخطـوة التشـييد والتنفيـذ. وإن كـلاً مـن التآكـل الإجهـادي التحطمـي والتآكـل الغلفـاني والتآكـل الحتـي يمكـن التصـدي لهـا والسـيطرة عليهـا بالتصـميم المناسـب للوحـدات الصـناعية.

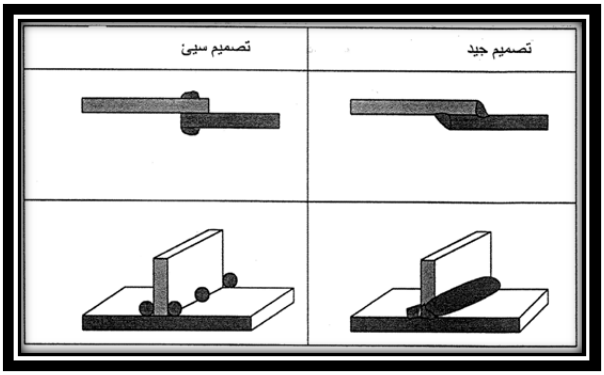
وهنـاك طـرق وحلـول مثـل اللحـام وتلافـي نهايـات الحبيبـات والحـرص علـى التفريـغ الجيـد للمواد الكيميائية يمكن تحقيقها بالتصميم المناسب. [14]

1.3.3 السيطرة على التآكل التصدعي:

لقـد تـم شـرح ميكانيكيـة التآكـل لهـذا الشـكل مـن التآكـل فيمـا سـبق وإن حـل مشـكلة هـذا التآكـل مـن الناحيـة الاقتصـادية يمكـن ببسـاطة عـن طريـق تلافـي وجـود الشـقوق والتصدعات في المعدن قدر الإمكان .

الشـكل **(3-13)** يوضـح بعضـاً مـن الترتيبـات المسـببة لمشـكلات هـذا النـوع مـن التآكـل وكيفية مقاومتها.

يصـبح وجـود الشـقوق فـي المنشـأة الهندسـية ذا أثـر ضـار إذا مـا تعرضـت هـذه الشـقوق لعمليـات البلـل والجفـاف بصـفة تبادليـة وذلـك لأن الوسـط الآكـل يمكـن أن يبقـى داخـل هـذه الشـقوق ويـزداد مـن حيـث التركيـز نظـراً لتبخـر المـذيب. ويمكـن حـدوث عمليـة التمـدد للأوسـاط الآكلـة المركـزة الموجـودة داخـل الشـقوق إذا تعرضـت مـن جديـد لعمليـات الغسـيل خلال دورات التنظيف. [23]



الشكل (3-13) اللحام الجيد يحد من التآكل

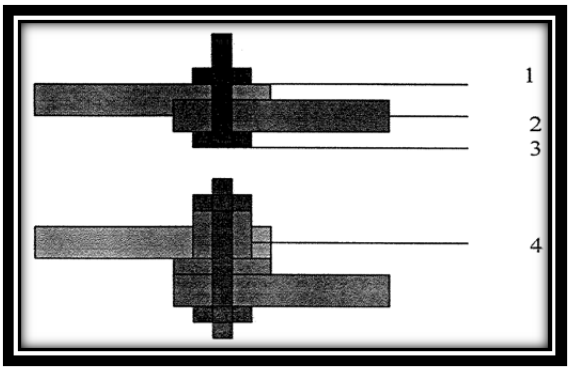
2.3.3 السيطرة على التآكل الغلفاني:

إذا كانـت مشـكلة التآكـل التـي يمكـن أن نتصـدى لهـا هـي مـن نـوع التآكـل الغلفـاني فـإن العلاج التصميمي يكمن في أي من الطرق التالية:

- إذا كـان مـن الضـروري اسـتخدام معـدنين غيـر متمـاثلين فيجـب اختيارهمـا بحيـث يكونـان متقـاربين فـي السلسـلة الغلفانيـة. وإذا كـان مـن الضـروري اسـتخدام معـدنين غيـر متمـاثلين

فيجب مراعاة أن تكون المساحة الأنودية كبيرة إذا ماقورنت بالمساحة الكاثودية لأنه إذا حدث العكس فإن كثافة التيار عبر المساحة الأنودية تكون كبيرة وهذا يؤدي إلى حدوث التآكل وبشكل أشد. وإذا كان من الضروري وجود معدنين غير متماثلين في المنشأة المعدنية فيجب استخدامهما بعد وجود عازل كهربائي بينهما الشكل (3-14). ويفيد هذا العازل في تحقيق عدم التلامس بين المعدنين ويعوق تشكل خلية غلفانية. [23]

- إذا كان من الضروري استخدام معدنين غير متماثلين فإنه يمكن استخدام معدن ثالث بينهما على أن يتم اختيار المعدن الثالث بحيث يكون أنشط من كلا المعدنين المشتركين في تكوين المنشأة المعدنية وهذا يؤدي إلى تآكله دونهم. [23]



الشكل (3-14) استخدام عازل لإعاقة تشكل خلية غلفانية

1- فلز أول 2- فلز ثانٍ 3- أجهزة تثبيت 4 – مادة عازلة

3.3.3 السيطرة على التآكل الحتي :

يعزا التآكل الحتي بشكل أساسي إلى كل من سوء التصميم ونوع البيئة التي سيعمل بها المعدن. ويزداد هذا التآكل بزيادة سرعة الوسط الآكل. وأيضاً فإن الاصطدامات والارتطامات والتيارات الدوامة للوسط الآكل تكون ذات أثر خطير على معدن الأنابيب التي يجري بداخلها الوسط. وعادة يكون الجريان الصفائحي (المنتظم) أقل خطراً من الجريان الدوام (المضطرب) وخصوصاً عند الأكواع والانحناءات. ولهذا فإن وجود عوارض داخل الأنابيب يخفف كثيراً من أثر التصادم والارتطام للوسط الآكل على السطح المعدني. ويجب الحد من توجيه فتحات الأنابيب باتجاه جدران الوحدات الصناعية قدر الإمكان. كما أن استخدام الأنابيب المصقولة خصوصاً عند مدخل خط الأنابيب يحد من مشكلة التآكل الحتي ويمكن حل مشكلة هذا التآكل في التعرف على

الأماكن المعرضة لمثل هذا النوع من التآكل، وذلك في أثناء خطوة التصميم بحيث يمكن تنفيذها بطريقة تسهل عملية استبدالها مع استهلاك أقل قدر ممكن من الوقت والجهد.

وفي الحالات الخاصة التي يحدث فيها تجاويف نتيجة التآكل فإن العلاج يكون بصقل السطح وجعله أملس تماماً ويقلل من مراكز تشكل الفقاعات الغازية، التي تكون السبب المباشر في مثل هذا النوع من التآكل.

وأيضاً يمكن الحد من التآكل الحتي بزيادة قطر الأنبوب بحيث يتحول نوع الجريان بداخله من النوع الدوامي إلى النوع الصفائحي، وبالتالي يقل الاحتكاك. وفي حالة تآكل سطحين معدنيين متلامسين نتيجة للحركة والانزلاق فإن العلاج في هذه الحالة يتلخص بتشحيم سطحي المعدنين بحيث يسهل تحركهما على بعضهما البعض.

وفيما يتعلق في التآكل الإجهادي التحطمي فإن للتصميم الجيد أهمية كبيرة في تفادي هذا النوع من التآكل لأن سوء التصميم يتيح الفرصة لتواجد الإجهادات العالية التي تنشط مثل هذا النوع من التآكل. ويمكن العلاج بمثل هذه الحالة بتجنب أو بتصريف هذه الإجهادات الموضعية العالية. وعموماً فإن السطوح النظيفة المصقولة المتحررة من الإجهادات تحد من فرص التآكل الإجهادي التحطمي. ويجب التنبيه إلى أن هناك أمراً هاماً أيضاً يقع تحت عنوان التصدي للتآكل بالتصميم الهندسي الجيد ألا وهو اختيار موقع المصنع، وعلى الرغم من أن فرص اختيار موقع المصنع تكون محددة إلا أنه من المهم معرفة تركيب الوسط المحيط بموقع المصنع المقترح. [24]

4.3 الاختيار المناسب لمواد الإنشاء و التشييد:

من وجهة النظر الفنية البحتة فإن حل مشكلة التآكل يكمن في استخدام مواد إنشاء وتشييد ذات مقاومة عالية للتآكل. وفي كثير من الأحيان يعد هذا الاتجاه بديلاً اقتصادياً عن استخدام مواد أقل مقاومة من تطبيق طرق الحماية المختلفة. إن مقاومة التآكل ليست العامل الوحيد الذي يجب أن يؤخذ بالحسبان عند اختيار مواد الإنشاء والتشييد، ولكنها تكون بالغة الأهمية وخصوصاً عند تشييد خطوط الإنتاج في الصناعات الكيميائية. وعادة يكون اختيار مواد الإنشاء والتشييد نتيجة لعدة دراسات باتجاهات مختلفة، فمثلاً من الناحية الفنية يكون اختيار سبيكة ما نتيجة التوافق بين

مقاومتهـا للتآكـل وبعـض الخـواص الأخـرى كالمتانـة وقابليـة اللحـام. إلا أن الاختيـار النهـائي يخضـع للجوانـب الفنيـة والعوامـل الاقتصـادية. وعنـد اختيـار مـادة الإنشـاء والتشـييد فإن العملية عادة تتطلب ثلاث مراحل رئيسة

- وضع الخواص المطلوبة.
- اختيار وتقييم مواد الإنشاء والتشييد المرشحة للتنفيذ.
- اختيار أفضل المواد من وجهة النظر الاقتصادية. [24]

1.4.3 المتطلبات الواجب تحقيقها عند اختيار مواد الإنشاء و التشييد:

- الخواص الميكانيكية التآكلية والطبيعية بالإضافة إلى المظهر الخارجي.
- القدرة على التشغيل وقابلية اللحام.
- المقدرة على المنافسة مع الوحدات المتواجدة فعليا.
- مدى توافر بيانات التصميم.
- مدى تغطية المواصفات المطلوبة.

2.4.3 معايير الاختيار:

- العمر المتوقع للخط الإنتاجي.
- مدى توفر المادة والزمن اللازم لاستيرادها.
- تكاليف مادة الإنشاء والتشييد.
- تكاليف الصيانة والفحص.
- المقارنة مع الطرائق الأخرى للسيطرة على التآكل.
- العمر الأدائي لمادة الإنشاء والتشييد المختارة.
- مدى الحاجة للاختبارات المستقبلية.
- تكاليف التشغيل.

3.4.3 متغيرات تتعلق بالوسط الآكل:

- المكونات الرئيسة من حيث الكمية والنوع.
- الشوائب من حيث الكمية والنوع.

- درجة الحرارة.
- الضغط.
- درجة الحموضة.
- سرعة التحريك.

4.4.3 نوع التطبيق:

- ما هو نوع العمل الذي سيجري في الوحدة المراد إنشاؤها.
- ما تأثير التآكل المتجانس على أداء الوحدة.
- هل التغير في الحجم أو المظهر أو نواتج عملية التآكل يسبب مشكلات.
- ما هو تأثير التآكل النقطي على مدى الاستفادة من الوحدة.
- هل توجد إجهادات وهل التآكل الإجهادي التحطمي ممكن الحدوث.
- هل التصميم متوافق مع الخواص التآكلية، وما هو العمر الأدائي المطلوب.
- هل تم استخدام هذه المادة استخداماً مماثلاً، وكيف كان أداؤها وما هو الفرق النوعي بين ظروف التشغيل القديمة وظروف الوحدة الحديثة.
- هل هناك معطيات عن اختبارات تآكلية لهذه المادة في أثناء التشغيل في المصنع.
- هل تم إجراء اختبارات مخبريه لتحديد معدل التآكل لها.
- ماهي المعلومات المتوفرة عنها في الكتب والمراجع العلمية.

5.3 مقاومة التآكل المعدني بالتغطيات :

تعد التغطيات المعدنية والعضوية وغير العضوية من التغطيات الشائعة للسيطرة على التآكل ويتوقف اختيار نوع التغطية على كل من الوسط الآكل وطريقة التطبيق ونوع المعدن المراد تغطيته إضافة إلى نوع الترابط بين المعدن المغطى والتغطية نفسها. ويتلخص عمل التغطيات في الحد من عملية التآكل الفلزي في أنها تقوم بعزل المعدن عن الوسط الآكل أو أنها تؤخر من حدوث التفاعل بين كل من المعدن المراد حمايته والوسط الآكل. وبصفة عامة فإن التغطيات لا تستخدم لحماية المعادن من أثر الكيماويات القوية ولكنها عادة تستخدم في الأوساط المعتدلة ولمقاومة التآكل الجوي أو التآكل داخل التربة أو التآكل في الماء. وحتى يكون في مقدور المرء أن يحدد إذا كانت التغطيات هي الحل الأمثل للتصدي لعملية التآكل وما هو أفضل نوع من هذه

التغطيات يمكن استخدامه فلا بد له أن يكون ملماً بما هو متاح من أنواع التغطيات المختلفة ومجال تطبيق كل منها. وتقسم التغطيات إلى ثلاثة أنواع مختلفة:

- التغطيات المعدنية.
- التغطيات اللاعضوية.
- التغطيات العضوية. [24]

1.5.3 التغطيات المعدنية:

يمكن تطبيق التغطية المعدنية على معظم المعادن والسبائك المعدنية بطرق عدة. وتقسم التغطيات المعدنية إلى نوعين مختلفين:

- التغطيات الأنودية (الأكثر نشاطاً) بالنسبة للمعدن المراد تغطيته.
- التغطيات الكاثودية (الأكثر نبلاً) بالنسبة للمعدن المراد تغطيته.

وإذا حدث خدش في التغطية وظهر من خلاله المعدن الأصلي وتعرض للوسط الآكل تتكون خلية تآكل غلفانية، ويتوقف الأداء في هذه الخلية على نوع التغطية المستخدمة وفيما إذا كانت أكثر نبلاً أو أكثر نشاطاً من المعدن المغطى. فإذا كانت التغطية من معدن أكثر نشاطاً فإن التغطية سوف تعمل كأنود وتتآكل، في حين يعمل المعدن ككاثود ويحمى من عملية التآكل، أما إذا كانت التغطية من معدن أكثر نبلاً فإن التغطية سوف تعمل ككاثود، ويعمل المعدن المغطى والظاهر عند الخدش كأنود ويتآكل.

ومن المهم ملاحظة أنه إذا كانت المساحة الكاثودية (مساحة التغطية) كبيرة جداً بالمقارنة مع المساحة الأنودية (مساحة الخدش) فتكون كثافة التيار منخفضة على المساحة الكاثودية، في حين تكون عالية على المساحة الأنودية، وهذا يؤدي إلى تآكل وذوبان منطقة الخدش بشكل أكبر وتتشكل حفرة في جسم المعدن ويصبح وجود التغطية في هذه الحالة أكثر خطورة من عدم وجودها. ومن أهم طرق التغطية المعدنية المستخدمة:

a : التغطية بالغمر الساخن:

وتتلخص التغطية في هذه الحالة بغمر الجسم المعدني المراد تغطيته في حوض يحتوي على المادة المراد استخدامها كتغطية على شكل مصهور. ويجب أن يكون معلوماً بأنه

يجب أن تكون نقطة انصهار مادة التغطية أقل من نقطة انصهار الجسم المعدني المراد تغطيته وذلك حتى لا ينصهر هذا الأخير. [15]

ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع من التغطية تغطية الفولاذ بالزنك للحصول على ما يعرف بالفولاذ المغلفن.

b : التغطية بالرش المعدني :

الرش المعدني أو الرش باللهب يعني رش قطرات من المعدن المنصهر على السطح المراد تغطيته. ويمكن استخدام العديد من الغازات في عملية الرش، وغالباً ما تكون التغطية في هذا النوع مسامية إلا أنه يمكن تحويلها إلى تغطية غير مسامية باستخدام طبقة مالئة من الدهان.

وتعد هذه الطريقة من الطرق الجيدة إذا كان من المخطط له إجراء تغطية ثانية فوق الأولى، لأن ذلك يسمح بترابط قوي بين المعدن المغطي والمتغطية نفسها.

وعلى أية حال فإن المسامية ليست ذات أهمية إذا كانت التغطية تتصرف بصفة أنودية بالنسبة للمعدن الجاري تغطيته، وذلك كما هو الحال في الفولاذ المغطى بطبقة من الألمنيوم. [15]

c: الإكساء المعدني:

تجري عملية الإكساء للسيطرة على عملية التآكل في الصناعات الكيميائية، فمثلاً إكساء الفولاذ بالفولاذ غير القابل للصدأ أو النحاس أو بسبائك النيكل أو التيتانيوم أو المعادن الثمينة أصبحت واسعة الانتشار.

يمكن مثلاً إكساء ألواح من الفولاذ بألواح من الفولاذ غير القابل للصدأ بسمك. وتكون النتيجة أن يقدم الفولاذ غير القابل للصدأ مقاومة عالية للتآكل، في حين يقدم الفولاذ بالسماكة العالية المتانة المطلوبة .

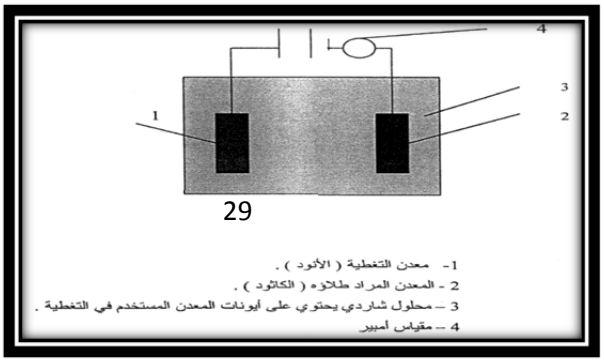
وتستخدم مثل هذه الازدواجات في تشييد أوعية الضغط والمراجل والمبادلات الحرارية وخزانات التخزين أما ربط المعدنين معاً فيجري بسحب المعدنين معاً على الساخن، حيث تتولد رابطة معدنية تربط بين المعدنين معاً. [15]

d: الطلاء الكهروكيميائي :

الطـلاء الكهروكيميـائي أو الترسـيب الكهروكيميـائي هـو إحـدى طرائـق التغطيـة المعروفـة منـذ زمـن بعيـد، ويتميـز الطـلاء الكهروكيميـائي بأنـه يعطـي تغطيـة متجانسـة مـن حيـث السماكة أما أساس عملية الطـلاء الكهروكيميائي فيمكن توضيحه بالمعادلـة التاليـة :

$$M^+ + 2e^- \rightarrow M$$

وتوضـح هـذه المعادلـة أن عمليـة الطـلاء الكهروكيميـائي هـي إحـدى العمليـات الكاثوديـة حيـث يجـري إرجـاع أيونـات المعـدن الموجـودة فـي المحلـول لتترسـب علـى شـكل ذرات معدنيـة متعادلـة علـى السـطح المـراد طـلاؤه. وعلـى ضـوء مـا تقـدم فإنـه إذا كـان المطلـوب إجـراء عمليـة الطـلاء الكهروكيميـائي لجسـم معـدني معـين فيجـب جعـل هـذا الجسـم يعمـل ككـاثود فـي خليـة تحليـل كهربـائي، أمـا المحلـول الشـاردي المسـتخدم فـي الخليـة فيجـب أن يحتـوي علـى أيونـات المعـدن المـراد اسـتخدامه كطـلاء. كمـا هـو مبـين فـي الشـكل(3-15) [15]



الشكل (3-15) خلية الطلاء الكهروكيميائي

2.5.3 التغطيات اللاعضوية:

تـتم عـادة بتغطيـة المعـدن بطبقـة مـن الخـزف أو الزجـاج عـن طريـق صـهرها علـى سـطح المعـدن لحمايتـه مـن التآكـل. أمـا التغطيـات بـالخزف فتطبـق علـى الفـولاذ والألمنيـوم وتسـتخدم هـذه التغطيـات فـي إنتـاج الأدوات والأجهـزة المنزليـة، كـذلك فإنهـا تلاقـي بعـض التطبيقات الصناعية، كما هو الحال في مصانع إنتاج الأغذية وخطوط تكييف الهواء.

أمـا التغطيـات الخارجيـة فإنهـا تتكـون بشـكل أساسـي مـن السـليكا . وتطبـق بصـفة أساسـية علـى الحديـد وعلـى السـبائك التـي تتكـون بشـكل أساسـي مـن النيكـل. كمـا تتميـز بقـدرتها علـى مقاومـة أنـواع مختلفـة مـن الكيماويـات بمـا فيهـا الأحمـاض القويـة. وهنـاك اتجـاه آخـر

للتغطيات اللاعضوية تسمى التغطيات المتحولة، وهي أغشية لاعضوية تتشكل نتيجة لتآكل سطح المعدن، ولكن عملية التآكل الحاصلة تكون واقعة تحت السيطرة حيث تتحول الذرات المعدنية عند السطح إلى فوسفات أو كرومات أو أكاسيد معدنية تشكل تغطية كلية مؤلفة من عدة طبقات، ومن أكثر التغطيات المتحولة شيوعاً: [11]

a: التغطية بالفوسفات:

تطبق التغطية بالفوسفات عادة على سطح الفلزات الحديدية وغير الحديدية. وأشهر التغطيات بالفوسفات هو ما يتم إجراؤه للفولاذ المستخدم في بناء هياكل السيارات. ومن أكثر أنواع الفولاذ المستخدم كتغطيات هي فوسفات كل من الحديد والمنغنيز والتوتياء. وتتميز فوسفات كل من الحديد والتوتياء بقابليتها للذوبان في الأحماض لكنها غير قابلة للذوبان في الماء أو المحاليل القلوية. فإذا غمرت قطعة من الفولاذ في حمض الفوسفور فإنها ستتآكل، ولكن نتيجة للتفاعل الكاثودي تحدث زيادة في قلوية الوسط عند سطح المعدن، وذلك نتيجة لتعادل شوارد الهيدروجين الموجبة عند المساحات الكاثودية وبقاء أيونات الهيدروكسيد الموجودة في المحاليل المائية دون تعادل. وإذا تواجد في المحلول فوسفات الحديد أو المنغنيز فإنها سوف تترسب على السطح المعدني. ويمكن تمثيل التفاعل الكلي الحادث بالمعادلة الكيميائية التالية. [11]

$$Fe + 3Zn(H_2PO_4)_2 \text{ ----- } Zn_3(PO_4)_2 + 3H_3PO_4 + FeHPO_4 + H_2$$

b: التغطية بالكرومات :

تطبق التغطية بالكرومات على العديد من الفلزات غير الحديدية مثل التوتياء والكادميوم والألمنيوم والنحاس والفضة. وتستخدم عادة كدهانات للتبطين أو كدهانات نهائية ولإجراء التغطية بالكرومات يتم وضع الجسم المراد تغطيته في محلول يحتوي على ملح للكروم يكون فيه الكروم سداسي التكافؤ مثل $Na_2Cr_2O_7$ بوجود حمض معدني مثل الكبريت فتتم التغطية بسرعة.

C: التغطيات الأكسيدية والأنودة:

تطبـق التغطيــة الأكسـيدية علــى العديـد مــن المعــادن، وذلــك بمعالجتهــا بمحاليــل مائيــة لقلويــات ســاخنة، أو بالأكســدة الحراريــة المــتحكم بهــا. وأكثــر التغطيــات الأكســيدية شــيوعاً هــي الأكســيد الأســود الــذي يطبــق علــى الفــولاذ لتحســين مظهــره ولزيــادة مقاومتــه لعوامــل الحـت. ويعـد الأكسـيد الأسـود مقاومـاً جيـداً لعمليـة التآكـل، ويمكـن زيـادة مقاومتـه بغمـره فـي الزيوت والشحوم.

ويتكـون الأكسـيد بصـفة أساسـية مـن أكسـيد الحديـد المغناطيسـي ويمكـن أن يكـون عاتمـاً أو لامعاً تبعاً لطريقة إنهاء سطوح الفولاذ.

ومـن الطـرق الشـائعة لتطبيـق التغطيـة الأكسـيدية هـي تلـك الطريقـة التـي يشـار إليهـا بعمليـة الأنودة. وتلقى هذه الطريقة إقبالاً واسعاً على معدن الألمنيوم.

فــي أثنــاء عمليــة الأنــودة يــتم تحويــل معــدن الألمنيــوم إلــى أكســيد الألمنيــوم عنــد الســطح المعـدني، وذلـك عـن طريـق جعلـه أنـوداً فـي خليـة تحليـل كهربـائي ،أمـا المحلـول الشـاردي المستخدم عادةً فهو حمض الكبريت. [17]

3.5.3 التغطية العضوية:

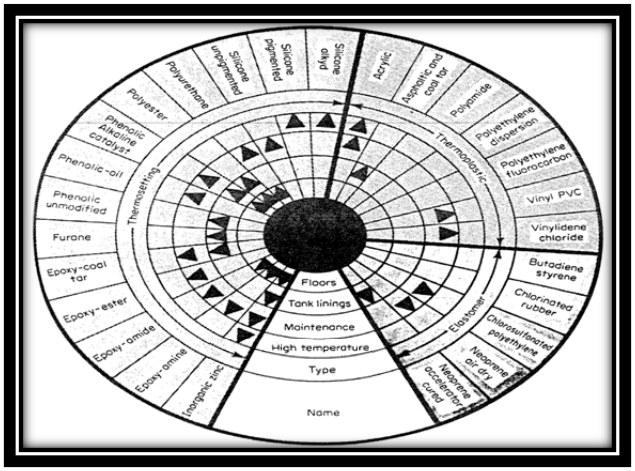
تهـدف هـذه التغطيـة إلـى تشـكيل طبقـة رقيقـة مـن الـدهان والـورنيش والمـواد اللامعـة، التـي تفصــل بــين المــادة الأساســية والوســط الآكــل. وتســتخدم هــذه التغطيــة بشــكل واســع فــي حمايــة المنشــآت الحديديــة الضــخمة مــن مخــاطر التآكــل. ولتطبيــق هــذه التغطيــة بالشــكل المناسب يجب أخذ العوامل التالية بالحسبان :

- تحضير سطح المعدن.
- اختيار التغطية الأولية (التمهيدية).
- اختيار التغطية النهائية (السطحية).

فـإذا لـم يـتم تحضـير سـطح المعـدن بشـكل جيـد فـإن التغطيـة يمكـن أن تتقشـر وتسـقط. وإذا لــم تكــن التغطيــة الأوليــة ملتصــقة بســطح المعــدن التصــاقاً محكمــاً، أو غيــر متوافقــة مــع التغطيــة الســطحية، فإنــه يمكــن أن يحــدث تخريــب مبكــر للتغطيــة. وفــي حــال كــان العــاملان الأول والثــاني غيــر منجــزين بشــكل صــحيح فــإن التغطيــة ســوف تتخــرب بصــرف النظــر عن العامل الثالث.

ومـن أجـل تطبيـق محـدد وشـروط معروفـة فـإن الشـكل (3–16) يسـاعد كثيـراً فـي اختيـار التغطية الأولية المناسبة.

وتعـد الراتنجـات مـن أفضـل مـواد التبطـين المسـتخدمة نظـراً لمقاومتهـا العاليـة للمحاليـل الكيميائية المختلفة.



الشكل (3–16) اختيار التغطية العضوية المناسبة كتغطية أولية

ومن أنواع هذه التغطيات:

a: التغطيـة الفينوليـة: تعـد مقاومتهـا للمـذيبات و الحمـوض المعدلـة والأمـلاح الطبيعيـة عالية. وتستخدم كثيراً في صناعات حفظ الأغذية والمشروبات.

b: التغطيـة الفينيليـة: يظهـر هـذا النـوع مقاومـة عاليـة للحمـوض اللاعضـوية والزيـوت والأملاح، كما أنها تعد مقاومة للكثير من الأوساط المؤكسدة.

c: التغطيـة الإيبوكسـية: ينصـح باسـتخدام هـذه التغطيـة للمعـدات المغمـورة فـي الأوسـاط الآكلة.

d: التغطيـة البوليسـتيرية: تعـد هـذه التغطيـة مـواد تبطـين جيـدة ، وتطبـق بسـماكات عـدة، وهـي مقاومـة جـداً للحمـوض اللاعضـوية والمـاء والمحاليـل الملحيـة ، كمـا أنهـا تعـد ذات مقاومة جيدة للحموض العضوية عند درجات الحرارة المعتدلة.

6.3 مقاومة التآكل بالحمايات الأنودية والكاثودية:

إن الحمايـة الكاثوديـة والحمايـة الأنوديـة همـا طريقتـان لتخفـيض معـدل التآكـل للمنشـآت المعدنيـة، وهـذا يحـد مـن تكـاليف الصـيانة والاسـتبدال، ويسـمح باسـتخدام مـواد أرخـص

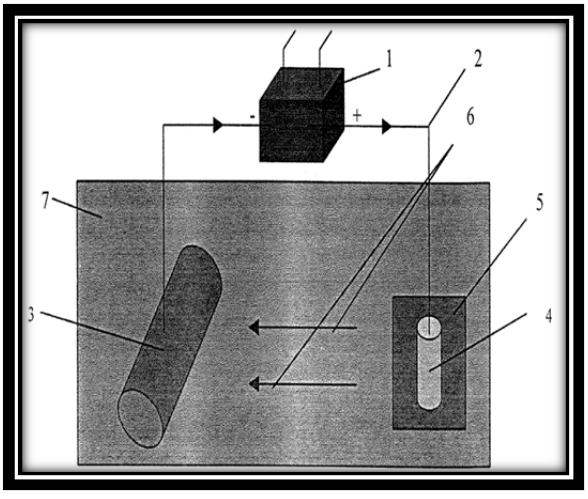
للإنشاء والتشييد، كما يمكن من استخدام مقاطع ذات سماكات قليلة من مواد الإنشاء والتشييد، وهذا يحد من كلفة أساسات المنشأة المعدنية. ومن المعروف أنه عندما يتآكل معدن فإن تياراً كهربائياً يمر بين المساحات الأنودية والمساحات الكاثودية الموجودة على سطح المعدن، وأنه كلما زادت قيمة هذا التآكل زاد معدل التآكل. وبناءً على ذلك إذا استخدمت دارة كهربائية خارجية، فإنه يمكن فرض تيار آخر إضافي على المعدن، وبالتالي تغيير معدل التآكل الذي يخضع له المعدن. [17]

1.6.3 أساسيات الحماية الكاثودية:

في حالة الحماية الكاثودية يربط المعدن بدارة كهربائية خارجية بحيث يتصرف ككاثود. وبالتالي لن تتوضع عليه أي مساحات أنودية وتبعاً لذلك فإنه لن يتآكل. وفي هذا النوع من طرق الحماية لابد أن يكون الوسط الآكل محلولاً شارياً. وأهم التطبيقات لهذه الحماية هو الوقاية من التآكل بفعل التربة (كخطوط الأنابيب المدفونة). وتستخدم الحماية الكاثودية عادة جنباً إلى جنب التغطيات. وهناك نوعان من الحماية الكاثودية. [17]

a : الحماية الكاثودية باستخدام التيار المسلط:

يمكن تعريف الحماية الكاثودية بأنها دفع التيار الكهربائي إلى داخل المعدن بمعدل أكبر أو يساوي معدل خروجه من المعدن عندما يتآكل. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق ربط المعدن المراد حمايته بمصدر خارجي للتيار المستمر وقضيب آخر ليؤثر كأنود. الشكل (3-17).



الشكل (3-17) الحماية الكاثودية للأنابيب المدفونة باستخدام تيار خارجي

1 – محولة. 2 – سلك نحاسي معزول. 3 – أنبوب مدفون تحت الأرض (الكاثود). 4 – قطب التضحية (الأنود). 5 – حشوة ذات ناقلية عالية للتيار الكهربائي. 6 – جهة التيار الكهربائي 7 – التربة.

يمكن أن يكون الأنود مصنوعاً من مادة خاملة أو من مادة نشطة وفي هذه الحالة يجب استبدالها دورياً وعلى مراحل زمنية محسوبة. ومن ضمن الأنودات شائعة الاستخدام الحديد، والحديد السيلكوني، والكربون والفولاذ غير القابل للصدأ، والبلاتين.

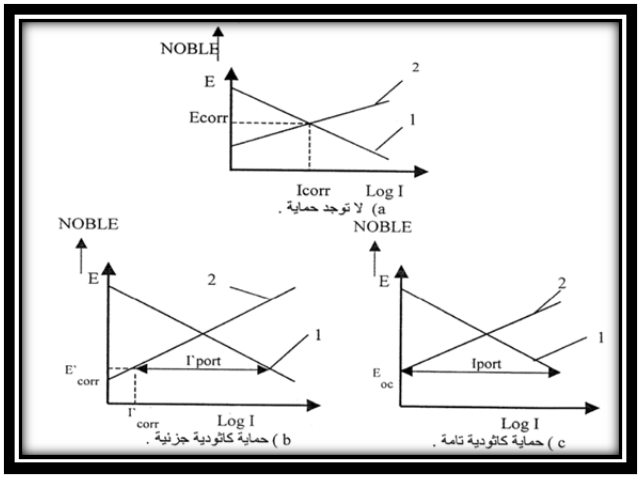
يدفن الأنود في وعاء خزفي أو وعاء مصنوع من الجبس من أجل تحسين التوصيل الكهربائي بينه وبين التربة المحيطة به. وفي التطبيقات البسيطة يمكن استخدام أنود واحد إلا أنه في خطوط الأنابيب الطويلة فإن ذلك سوف يتطلب العديد من الأنودات.

من المفيد توضيح كيفية تحديد كثافة التيار اللازم لتطبيق الحماية الكاثودية، وذلك باستخدام منحنيات الاستقطاب.

فعندما يتم تطبيق حماية كاثودية بتيار كهربائي كثافته (Icorr) فإن جهد التآكل في هذه الحالة يأخذ القيمة (Ecorr) ويصبح معدل التآكل متناسباً مع كثافة تيار التآكل (Icorr) .

أما إذا كان المطلوب تطبيق حماية كاثودية تامة على المنشأة المعدنية فإن ذلك يتطلب تطبيق تيار كثافته (Iport) وذلك حتى يمكن الوصول بقيمة جهد الأنود إلى قيمة مساوية إلى قيمة جهد الدارة المفتوحة (Eoc) ، وفي هذه الحالة لن يحدث تآكل على الإطلاق. [17]

الشكل (3–18) يوضح قيمة التيار المطبق أثناء في الحماية الكاثودية.



الشكل (3–18) قيمة التيار المطبق في أثناء الحماية الكاثودية

1 – منحني كاثودي 2 – منحني أنودي

b: الحماية الغلفانية:

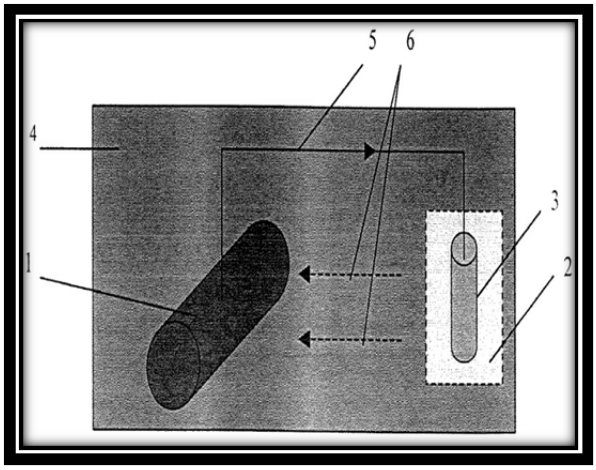
تستخدم الحماية الغلفانية معدناً أكثر نشاطاً من المنشأة المعدنية المراد حمايتها، وذلك من أجل التزويد بالتيار الكهربائي اللازم لإيقاف عملية التآكل.

وعلى هذا الأساس لاتوجد حاجة لاستخدام مصدر خارجي للتيار.

أما المعدن الأكثر نشاطاً فيسمى بالأنود المضحى. ويبين الشكل (3–19) كيفية استخدام خواص التآكل الغلفاني في السيطرة على عملية التآكل.

أما المعادن الشائعة الاستخدام كأنودات يضحى بها فهي كل من الماغنزيوم والتوتياء والألمنيوم وسبائكها، ويتميز الماغنزيوم بأنه المعدن الذي يملك الجهد الأكثر سلبية (أي يعطي أعلى معدل للتزويد بالتيار) ولذا فهو شائع الاستخدام في الإليكتروليات ذات المقاومة الكهربائية العالية كالتربة. أما التوتياء فهو الأنود الذي يستخدم في الإليكتروليات ذات التوصيل الكهربائي العالي مثل ماء البحر.

يستخدم الأنود عادة بحيث لا يكون له أي دور إنشائي أساسي يذكر، وبحيث يمكن استبداله بسهولة.



الشكل (3–19) الحماية الغلفانية للأنابيب

1 – خط أنابيب مدفون . 2 – حشوة ذات ناقلية عالية للتيار الكهربائي 3 – معدن نشيط (أنود) . 4 – التربة . 5 – سلك نحاسي معزول . 6 – جهة التيار الكهربائي .

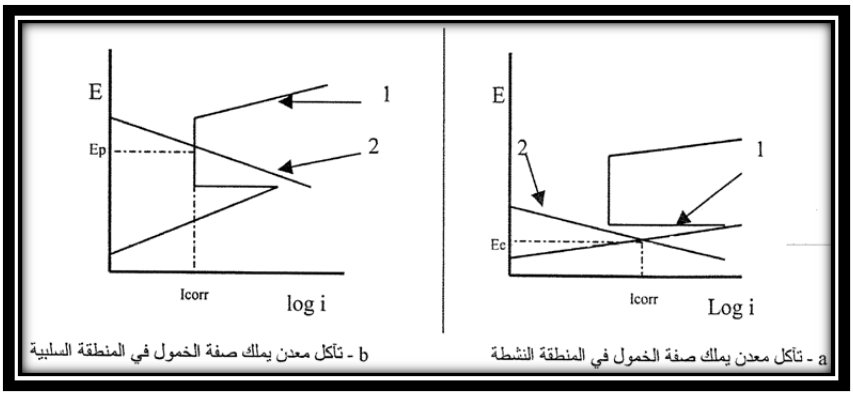
وأخيراً تعد الحماية الغلفانية الطريقة المفضلة للحماية عندما يكون التيار المطلوب لتطبيق الحماية صغيراً، وكذلك عندما يكون الإليكتروليت ذا مقاومة كهربائية منخفضة نسبياً.

2.6.3 أساسيات الحماية الأنودية:

يعد تخميل المعدن وسيلة فعالة لحماية هذا المعدن من التآكل، وذلك عن طريق تطبيق تيار كهربائي في الاتجاه الذي يجعل المعدن أكثر أنودية.

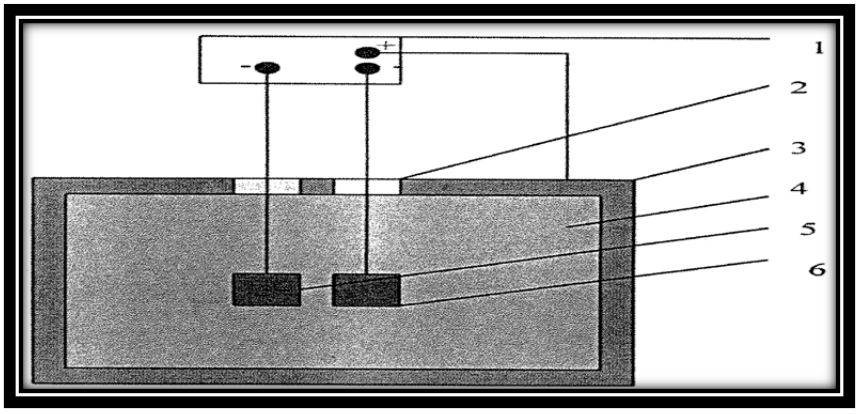
ويمكن تطبيق هذا النوع من الحماية على المعادن والسبائك التي تملك صفة الخمول مثل الحديد والفولاذ غير القابل للصدأ والتيتانيوم والألمنيوم والكروم. وكما هو الحال في الحماية الكاثودية، فإن الوسط الآكل لابد أن يكون إليكتروليكياً حتى يمكن تطبيق مثل هذا النوع في الحماية. ويوضح الشكل (3–20–a) منحني الاستقطاب لمعدن يتآكل وهو في حالة الخمول. في حين يبين الشكل (3–20–b) منحني الاستقطاب المعدن نفسه عندما يتآكل وهو في الحالة النشطة. ويتضح من المنحنيين أن معدل تآكل المعدن – المعبر عنه بكثافة تيار التآكل Icorr– وهو في حالة الخمول أقل بكثير من معدل تآكله وهو في الحالة النشطة. وبالتالي فإن الحماية الأنودية هي الطريقة التي يحث فيها المعدن على اكتساب صفة الخمول، وذلك باستخدام تيار كهربائي خارجي،

أو بعبارة أخرى بتغيير قيمة جهد التآكل من القيمة Ec وهي قيمة جهد التآكل إلى القيمة Ep وهي قيمة جهد الخمول. ويوضح الشكل (3–21) كيفية تطبيق الحماية الأنودية لخزان فولاذي يحوي حمض الكبريت. [17]



الشكل (3–20) حالة الخمول يرافقها معدل تآكل محدود

1 – المنحني الأنود 2 – المنحني الكاثودي



الشكل (3–21) الحماية الأنودية لخزان يحوي حمض الكبريت

1 – مقاوم تيار 2 – مادة عازلة 3 – جسم الخزان

4 – حمض الكبريت 5 – قطب إضافي 6 – قطب مرجعي

7.3 مقاومة التآكل باستخدام مثبطات التآكل : [18]

مثبط التآكل هو مادة يمكنها أن تقلل من معدل التآكل لأي معدن في وسط آكل، وذلك عندما تضاف هذه المادة بكميات ضئيلة إلى ذلك الوسط الآكل. يمكن تصنيف مثبطات التآكل بطرق عدة، وهي تقسم من حيث التركيب إلى مثبطات عضوية، ومثبطات لا عضوية. وتصنف من حيث ميكانيكية أدائها إلى مثبطات أنودية ومثبطات

كاثودية. كذلك فإنه يمكن تصنيفها حسب الطور الذي تعمل فيه إلى مثبطات تعمل في الطور السائل ومثبطات تعمل في الطور البخاري. ووفقاً لبعض المراجع تصنف المثبطات ضمن أربعة أصناف : [18]

- المثبطات الأنودية.
- المثبطات الكاثودية.
- مثبطات الامتزاز.
- المثبطات التي تعمل في الطور البخاري.

1.7.3 المثبطات الأنودية:

وهي المثبطات التي يتركز دورها في تثبيط التفاعل الأنودي، كما يظهر الشكل(3-22).

وهي عادة إما أن تكون:

- **عوامل مؤكسدة:** كالكرومات والنترات وأملاح الحديد والتي تعجل لإكساب المعدن صفة الخمول.

- أو **مكونات الأغشية** والتي تترسب على المساحات الأنودية بشكل غير قابل للذوبان (كالقلويات والفوسفات والسلكيات)، وعادة يقال للمثبطات الأنودية بأنها مثبطات خطرة (خصوصاً النوع المؤكسد منها) لأنه يكون مطلوباً منها في هذه الحالة أن تحمي المساحات الأنودية كلها وبطريقة فعالة، فإذا ما تواجدت مساحة أنودية صغيرة غير محمية فإن هذه المساحة سوف تتآكل بمعدل كبير (وقد يؤدي ذلك إلى ثقب المعدن) ويرجع السبب في ذلك إلى كبر المساحة الكاثودية مقارنة مع المساحة الأنودية.

وهناك مشكلة أخرى تواجه المثبطات الأنودية من النوع المؤكسد، وتتلخص هذه المشكلة في أن هذه المواد المؤكسدة يمكنها الحد من الاستقطاب الناتج عن التفاعل الكاثودي، وبالتالي تسريع عملية التآكل، وذلك قبل اكتساب المساحات الأنودية لصفة الخمول.

2.7.3 المثبطات الكاثودية:

وهي المثبطات التي تؤخر من التفاعل الكاثودي، كما يظهر الشكل (3-22).

وهي تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

- **كاسحات الأوكسجين:** وهي تعمل على إزالة الأكسجين الموجود في الوسط الآكل، وبالتالي تمنع عملية الاستقطاب الحادث عند الكاثود. ويعد كبريت الصوديوم والهيدرازين (N_2H_2) نموذجين شائعين لكاسحات الأكسجين من الوسط الآكل، ويحدث التفاعل بينهما وبين الأوكسجين بحسب المعادلتين التاليتين:

$$2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4$$

$$2N_2H_2 + O_2 \rightarrow 2N_2 + 2H_2O$$

وتكون هذه الكاسحات أكثر فعالية في الوسط المتعادل والأوساط ذات الحموضة الضعيفة، إلا أنها تكون غير فعالة في محاليل الحموض القوية، حيث يكون التفاعل الكاثودي الأساسي هو تصاعد الهيدروجين.

- **مثبطات تصاعد الهيدروجين:** كأنودات بعض المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والأنتموان والبزموت التي تؤخر من إزالة استقطاب الهيدروجين، أي أنها تؤخر التفاعل التالي:

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

وتكون هذه المثبطات فعالة في الأوساط ذات الرقم الهيدروجيني المنخفض، ولكنها تكون غير فعالة عندما يكون التفاعل الكاثودي الغالب هو تفاعل إرجاع الأكسجين، وفي بعض الأحيان يمكن أن تكون هذه المثبطات مؤذية خصوصاً إذا كان المعدن معرض للإصابة بما يسمى مرض الهيدروجين أو التهشش الهيدروجيني (HydrogenEmbrittlement) ، لأن مثل هذا النوع من المثبطات يزيد من فرص انتقال الهيدروجين إلى داخل المعدن لأنه يعوق انطلاق الهيدروجين بعيداً عن سطح المعدن

- **مكونات الأغشية غير القابلة للذوبان على الكاثود:** بحيث تنقص من المساحة الكاثودية الفعالة.

وتعد بيكربونات الكالسيوم مثالاً على هذا النوع من المثبطات، لأنه عند إضافتها إلى محلول متعادل أو قلوي خفيف موجود فيه معدن الحديد تتحول إلى كربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان، والتي تترسب على الحديد مكونة غشاءً واقياً.

والمثبطات الكاثودية مثبطات غير خطرة لأنها لا تسبب زيادة معدل التآكل إذا ما تواجدت بكميات غير كافية كما هو الحال في المثبطات الأنودية وتكون المثبطات الكاثودية عادة أقل فعالية من المثبطات الأنودية.

3.7.3 مثبطات الامتزاز:

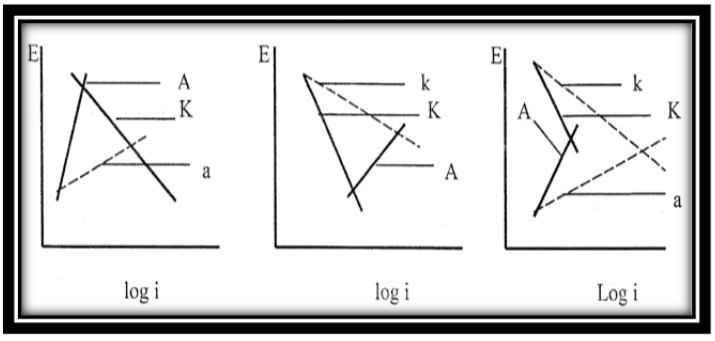
وتتحكم هذه المثبطات بمعدل حدوث التآكل عن طريق التأثير على التفاعل الكاثودي والتفاعل الأنودي أو على كليهما معاً، كما يوضح الشكل (3-22).

هي عبارة عن مركبات عضوية تمتز كيميائياً أو فيزيائياً على سطح المعدن وتثبط عملية التآكل

يتألف جزيء مثبط التآكل من:

- جزء قطبي غير محب للسائل يلتصق بسطح المعدن ويشكل غشاء واقياً لسطح المعدن.

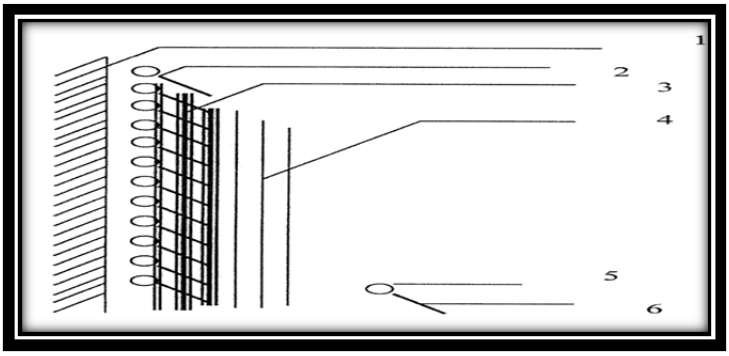
- جزء لا قطبي محب للسائل يتجه باتجاه السائل ويمنع وصوله إلى سطح المعدن نتيجة لذلك ينخفض معدل التآكل إلى أقل ما يمكن لأن الغشاء الذي تم الحصول عليه والمبين في الشكل **(3-23)** يشكل إعاقة قوية لتفاعلات التآكل.



الشكل (3-22) تأثير المثبطات على منحنيات الاستقطاب

A : استقطاب أنودي بوجود مثبط تآكل . a : استقطاب أنودي بدون وجود مثبط تآكل .

K : استقطاب كاثودي بوجود مثبط تآكل . k : استقطاب كاثودي بدون وجود مثبط تآكل .



الشكل (3-23) آلية تشكل طبقة واقية من مثبط التآكل تحمي سطح المعدن من التآكل.

1 – metal surface 2 – corrosion inhibitor 3 – oil film

4 –water 5 – apolar 6 – polar

4.7.3 المثبطات التي تعمل في الطور البخاري:

وهي تلك المثبطات التي تملك ضغطاً بخارياً مرتفعاً يمكنها من الانتشار في الجو المحيط، ثم يحدث لها بعد ذلك عملية امتزاز على السطوح المعدنية الموجودة في الجو القريب من مجال تأثيرها. وهي تماثل من حيث الخواص مثبطات الامتزاز. وتستخدم هذه المثبطات لتجنب التآكل في الأجواء المعتدلة والأماكن المغلقة كمخازن المنتجات المعدنية وفي أثناء عمليات الشحن. ومن أمثلة هذا النوع من المثبطات أملاح الأمينات والمورفلين وبنزوات الصوديوم.

8.3 متطلبات مثبط التآكل:

تتحدد المتطلبات التي يجب أن تحققها مثبطات التآكل بشكل رئيس حسب نوع العملية ونوع النظام الذي ستعمل فيه هذه المثبطات. وهناك بعض الجوانب المهمة التي يجب التأكد منها قبل استخدام مثبطات التآكل:

- قابلية الانحلال في الوسط الذي ستعمل فيه.
- أن تكون فعالة بوجود مواد كيميائية أخرى كمانعات الاستحلاب وقاتلات البكتريا.
- أن تكون فعالة في المستحلبات.

- أن تكون فعالة بوجود الرغوة.
- أن تكون مقاومة لدرجات الحرارة العالية.
- أن تكون قابلة للضخ عند درجات الحرارة المنخفضة.
- أن يكون لها فعل مثبط التآكل. [18]

في الوقت التي تستخدم فيه مثبطات التآكل لتخفيض معدل التآكل، وبالتالي تخفيض كلفة الصيانة وتحسين المردود، إلا أنه يجب الانتباه إلى الجوانب المؤذية لاستخدام هذه المثبطات منها:

التداخل مع المنتج المراد إنتاجه وخصوصاً في الصناعات الغذائية.

يمكن انتقالها إلى جزء آخر من الخط الإنتاجي حيث يمكنها زيادة معدل التآكل هناك.

الفصل الرابع

الدراسة المرجعية

Chapter4

LITERATURE REVIEW

الفصل الرابع

1.4 مقدمة:

يعد التآكل مشكلة مهمة في التطبيقات الصناعية مثل خطوط الأنابيب وخزانات التخزين والمراجل والمبادلات الحرارية لأنه يسبب خسارة في الخدمة والمواد.

ورغم أن هناك عدة طرق لتجنب التآكل مثل الحماية الكاثودية والدهانات واستخدام المثبطات...الخ كما مر معنا، إلا أنه ومع مرور الزمن يحصل انهيارات تبعاً للبيئة التي يعمل بها العنصر.

تخضع أنابيب المراجل للتآكل في أثناء مرور العصير بداخلها وبخار الماء الساخن من خارج انابيب المبادل الحراري.

وتستخدم المبادلات الحرارية في محطات الكهرباء، والمعامل الكيميائية، والبتروكيمياوية، ومصافي النفط، وإن أفضل طرق الحماية من التآكل في المبادلات الحرارية تتمثل في التصميم الجيد للنظام والاختيار الأمثل للمواد.

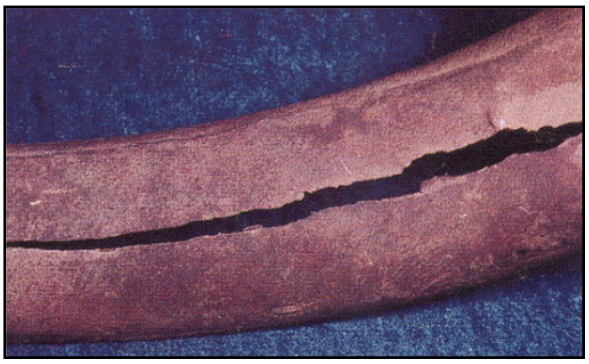
2.4 الدراسات المرجعية:

هناك عدة دراسات حول ظاهرة تآكل أنابيب المبادل الحراري وأسباب حدوثها:

الدراسة المرجعية الاولى:

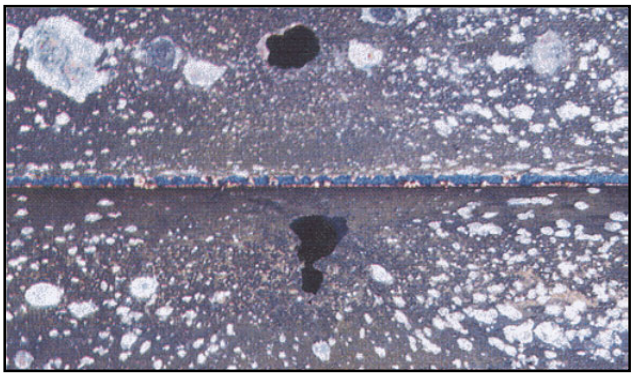
فقد قام الباحث (شورتز، م)بدراسة بعنوان: دراسة أربعة أنواع من فشل المبادلات الحرارية.[17]

إذ تتعرض أنابيب المبادلات الحرارية لتآكل منتظم ويعد التآكل المنتظم من أكثر أشكال التآكل شيوعاً، وهو عبارة عن تفاعل كيميائي أو كهرو كيميائي يحدث على السطح المعرض للوسط التآكلي كاملاً، ليصبح المعدن بعدها ذا سماكة قليلة ومن ثم ينهار.



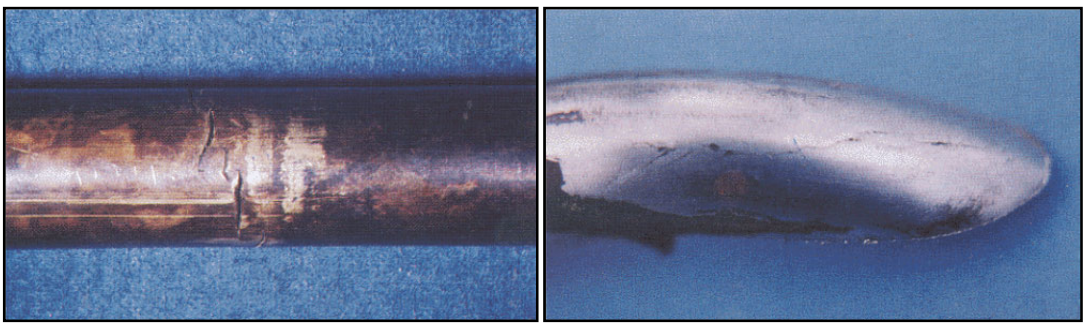
شكل (4-24) التآكل العام في أنابيب المبادلات الحرارية

تتعرض أنابيب المبادلات الحرارية لتآكل نقري ويحدث التآكل النقري بسبب الفعل الكهروكيمياوي الناتج عن الاختلافات في تركيز الأوكسجين داخل وخارج الحفرة. حيث يتصرّف المعدن غير المهاجم ككاثود ويتصرف الجزء الغني بالأوكسجين كأنود. إن وجود حفرة صغيرة جدا ووحيدة قد تسبّب انهياراً في المبادلات الحرارية. يحدث التآكل النقري في الغالب عندما يكون النظام مطفأ وعند وجود الرواسب أو عندما يكون سطح المعدن غير نظيف. ويحدث أيضاً في المعادن التي يظهر فيها ظاهرة الخمول أو التي تغطى بطبقة من الأكسيد.



شكل (4-25) التآكل النقري في أنابيب المبادلات الحرارية

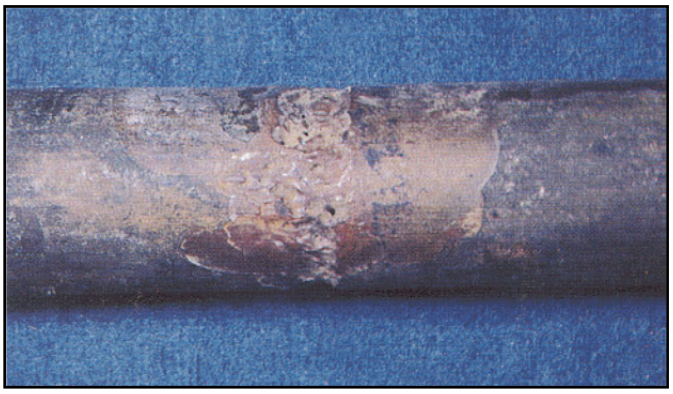
تتعرض أنابيب المبادلات الحرارية لتآكل إجهادي تصدعي بحيث يظهر تأثير هذا النوع من التآكل على حدود الحبيبات المعدنية عندما يعمل الجزء المعرض للوسط الآكل تحت الإجهاد. إن المبادلات الحرارية على الأغلب تحوي على إجهادات متبقية. وتتعرض معظم المعادن لهذا التآكل، والاجهادات التي تسبب شروخاً وشقوقاً في المعدن قد تكون مخزونة في أثناء تشكيله على البارد وفي أثناء عمليات اللحام، أو المعالجات الحرارية، أو نتيجة إجهاد مطبق خارجي في أثناء خدمة المعدن أو السبيكة.



شكل (4-26) التآكل التصدعي الإجهادي في أنابيب المبادلات الحرارية

يمكـن أن تتعـرض أنابيـب المبـادلات الحراريـة لتآكـل تشـققي يتكـون خصوصـا حـول المنـاطق المعزولـة، هـذه المنـاطق يمكـن أن تكـون بـين مـادة العـزل والأنابيـب. يظهـر التآكـل التشـققي عـادة فـي البيئـات التـي تحتـوي علـى:

$$NaBr - AlC_3 - CaCl_2 - MgCl_2 - NaCl$$



شكل (4-27) التآكل التشققي في أنابيب المبادلات الحرارية

الدراسة المرجعية الثانية :

فقـد قـام الباحـث كوزنيكـا عـام(2009) بدراسـة بعنـوان " تآكـل أنابيـب المبـادل الحـراري" [13] حيث أجرى عدة دراسات تبين عدة حالات للانهيار كان من أبرزها الدراسة التي تبين انهيار مبادل حراري بعد خمس سنوات من العمل نتيجة لانهيار أنابيبه، والانهيار كان متمثلا بوجود تآكل نقري على السطح الخارجي للأنبوب، ولدى إجراء فحص للماء تبين أن الماء يحوي على قساوة عالية (كلس) والـ ph كان بين 4 – 7 وكان غنياً بأيونات الكلوريد وكمية قليلة من أيونات السولفيد (الكبريت). [3]

Composition of the industrial water.

Determined component		Determined component	
Temperature (°C)	16.0	Chloride ions Cl^- (mg/l)	821
pH	6.7	Sulphates as SO_4^{2-} (mg/l)	56
Total hardness (mval/cm³)	15.9	Calcium ions Ca^{2+} (mg/l)	232.5
Conductivity (mS/m)	368.2	Ammonia nitrogen as NH_4 (mg/l)	2.558
Suspended solids (mg/l)	8	Nitrates NO_3^- (mg/l)	131.6

الجدول (4-1) مكونات الماء

أما عن مواصفات الأنابيب المستخدمة فتم إيجازها بما يلي:

1 – التركيب الكيميائي: حيث كان الأنبوب مؤلفاً من العناصر التالية

Cu 99.97 , Ag 0.001 , P 0.024 , Fe < 0.001 , Ni < 0.001 , Pb < 0.001, Sb < 0.001, Zn 0.001, Bi < 0.0005, As < 0.001, and S 0.001.

2 – القساوة: **53±8 HV** .

3 – بارامترات الماء: درجة حرارة الدخول **16**° ودرجة حرارة الخروج **4** ° التدفق **58.7m^3/h** التدفق الأعظمي **70.5 m^3/h** .

وبعد إجراء عدة فحوص و اختبارات عن طريق الفحص المجهري الدقيق بالإضافة الى أشعة **x– ray** و إجراء عملية مسح إلكتروني دقيق نستنتج ما يلي:

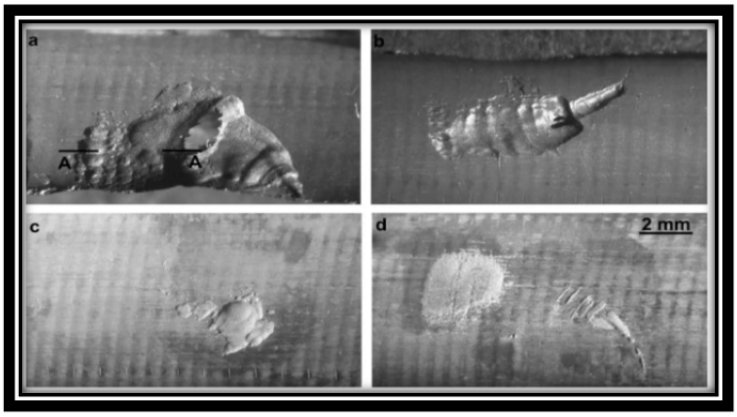
الانابيب النحاسية في المبادل الحراري انهارت بالتآكل والتعرية نتيجة لوجود عاملين:

1 – تدفق مضطرب للماء الحاوي على جزيئات صلبة ومواد عالقة.

2 – وجود مكونات كيماوية مثل أيونات الكلوريد التي قامت بتدمير طبقة الحماية السطحية .

لأن وجود مثل هذا التدفق عمل على زيادة انحلال النحاس في المحلول الإلكتروليكي وقاد ذلك في النهاية إلى حدوث تآكل نقري على جدران الأنابيب وانتهت العملية بحدوث ثقوب على هذه الجدران أخرجت الأنابيب عن العمل. [3]

والأشكال التالية تبين ذلك:



شكل (4–28)

أوصت الدراسة بما يلي:

1 – تخفيف سرعة الماء في المبادل، وخصوصاً بعد توقف العمل للإصلاح واستخدام فلاتر للماء من أجل تقليل عبور الجزيئات الصلبة إلى داخل الأنابيب.

2 – استبدال أنابيب المبادل المصنوعة من النحاس المشغول على البارد بأنابيب مصنوعة من سبائك الألمنيوم والنحاس والنيكل . لأن هذه السبائك أقل عرضة للتأثر بالتآكل النقري و التعرية.

الدراسة المرجعية الثالثة:

في دراسة أخرى للانهيارات الحاصلة في المبادلات الحرارية الأنبوبية في معمل (ahvaz) في إيران، إذ حدث انهيار في المبادل الحراري في هذا المعمل. [4]

في هذه الدراسة تبين وجود ثلاثة أنواع من المواد المستخدمة في أنابيب هذا المبادل الأنبوبي وهي:

خليطة لاتون – 68 .

خليطة النحاس الأصفر.

خليطة النحاس والنيكل (Cu – 5 Ni)

أما عن مواصفات الأنابيب فكانت: قطر الأنابيب 19 مم و طولها 3.42 م، أما عن هيكل المبادل الحراري فكان مصنوعاً من مادة الفولاذ الكربوني (ST—37).

Chemical composition and properties of the circulating water.

PH		TH (•)		Ca^{2+} (•)		Cl^- (•)		Na^+ (•)		Mg^{2+} (•)		SO_4^{2-} (•)		TDS		Temperature (°C)	
L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H
7.1	7.95	17	41	12	28	580	1450	340	925	72	161	731	1855	2065	5053	27	48

H = highest, L = lowest, TH = total hardness, TDS = total dissolved solids, (+) = Meg/L and (•) = mg/L

التركيب الكيميائي للماء المستخدم مبين في الجدول (4–2).

Chemical compositions of tubes used in heat exchangers.

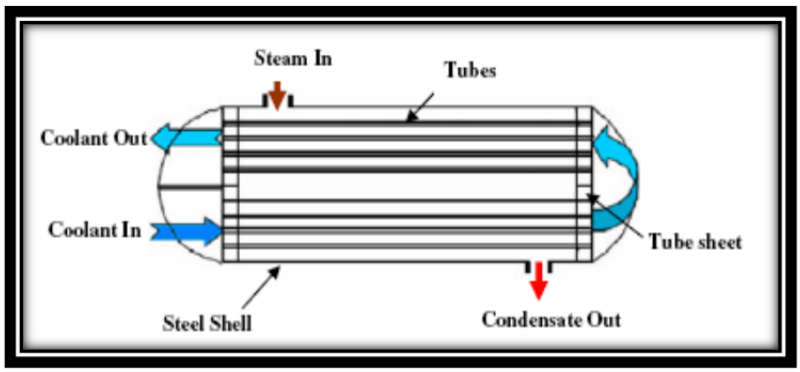
	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Mg	Al	As	Sb
A	64.46	35.45	0.02	0.01	<0.005	<0.010	0.03	0.011	0.005	0.006	0.001	0.01
B	64.7	35.21	0.02	0.01	0.005	<0.010	0.03	0.011	0.005	0.006	0.001	0.01
C	92.51	0.09	0.01	0.0	0.005	0.596	1.18	5.57	0.015	0.005	0.001	0.01

A = Laton-68, B = Admiralty brass, and C = copper–5%nickel.

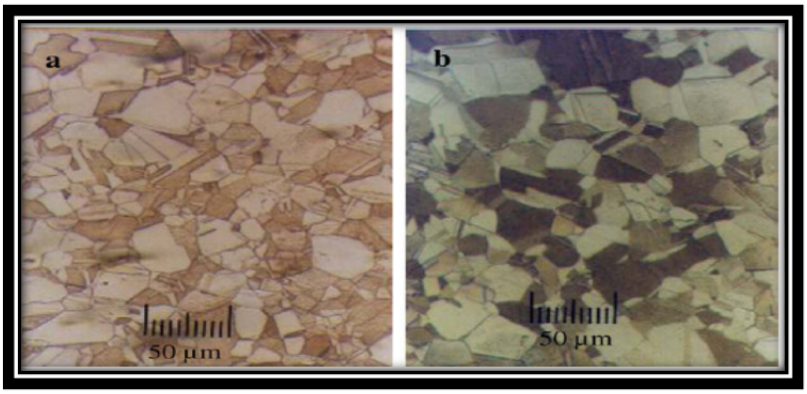
التركيب الكيميائي للمعادن المستخدمة في المبادل الحراري مبينة في الجدول (4–3)

بعد الدراسة والتحليل تبين أن سرعة الماء منخفضة وهذا بحد ذاته يسبب تراكم الرواسب على الأنابيب وبالتالي يحدث التآكل.

المبادل الحراري الأنبوبي موجود في الشكل (4–29).



شكل (4–29) المبادل الحراري الأنبوبي.



شكل (4–30)

a: خليطة لاتون – 68

b: خليطة النحاس الأصفر

الاستنتاجات:

1 – إن الماء الدائر كان يحتوي على مجموعة كبيرة من المواد العالقة والغريبة كبيرة الحجم، وعلى مواد صلبة ذائبة، وعلى مركبات الكالسيوم. كلها تتبلور وتتجزأ وتتراكم على جدران الأنابيب مسببة تآكلها.

2 – اختيار العنصر المعدني لمادة الأنابيب كان غير صحيح، لأن كل الخلائط التي تم استخدامها أصيبت بالتعرية والتآكل.

3 – سرعة الماء الدائر كانت منخفضة جداً، وهذا يؤدي إلى حدوث ترسبات داخل الأنابيب لذلك فإن التدفق المنخفض للماء كان سببا رئيسا للتآكل والتعرية.

من أجل تجنب الإصابة بمثل هذا النوع من التآكل فقد تبين ضرورة استخدام موانع الترسيب، بناءً على تركيزات العناصر المكونة للأملاح يتم اختيار أنواع خاصة من البوليمرات لكي تتعامل مع هذه العناصر و تمنع ترسيبها و تبقيها معلقة و مشتتة في الماء، وتبين أهم عناصر الترسيب هي مركبات الكالسيوم، فقد تم مزج أنواع كثيرة من الراتنجات مثل البولي اكريليك و البولي ماليك وهي تحوي على مجموعات أيونية تشتبك مع عنصر الكالسيوم و الحديد الذائب و تمنع ترسيبها على المعادن كما أنها تتدخل في التركيب البلوري للأملاح لأنها تعاكس تركيب وتشكيل البلورات وتحول الأملاح إلى الأنواع اللابلورية و بذلك لا تتماسك وتبقى ذائبة في الماء ويتم التخلص منها بواسطة عمليات التفوير في برج التبريد، و كل نوع من البولميرات يعمل حسب نظرية خاصة منها الأيوني و منها الكاتيوني.

من أهم أنواع هذه البوليمرات:

موانع ترسيب أيونية:

حامض بولي ماليك

حامض بولي أكريليك

موانع ترسيب كاتيونية:

أمين: $R__NH_2$

أملاح أمونيوم:

هناك أيضا أنواع من البولميرات الأيونية وهي تتعامل مع المواد العضوية (المواد العالقة) وتتعامل مع قوة شد سطح الماء مثل المنظفات والمواد التي تساعد على الاختراق والبلل وهي لمنع ترسيب الأوساخ الناتجة عن الطين والأتربة والزيوت والمواد العضوية والبكتريا والطحالب وتبقيها معلقة ومشتتة في الماء ويتم إزالتها بواسطة عملية التفوير.

يوجد بعض أنواع مضادات التآكل العضوية الحديثة:

الفوسفات العضوي: وهي موانع تآكل للحديد وأيضا موانع ترسيب كما أن النوع الكاربوكسيلي من الفوسفات العضوي يمنع تآكل النحاس والرابطة فيه بين الكربون والفوسفور هي رابطة قوية لا تتحلل بسهولة تحت ظروف التشغيل.

الدراسة المرجعية الرابعة:

قامت الباحثة مارزينا لاتشوفيتش في عام 2020 بدراسة بعنوان " دراسة حالة ميتالوجرافية للتآكل في الأنابيب النحاسية للمبادل الحراري "[1] وقدم هذا البحث الاختبارات الخاصة بأضرار التآكل التي حدثت على السطح الداخلي للأنابيب النحاسية للمبادل الحراري.

عندما يتدفق سائل عبر أنابيب نحاسية بقطر خارجي يبلغ 12mm، وسمك جدار يبلغ 0,8mm تحدث العديد من نقاط التسرب في الأنابيب النحاسية . تم إجراء اختبار الضغط باستخدام اختبار تسرب الهيليوم.[1]

تلخص هذه الدراسة ما يلي :

1. يتم انتقال التآكل من السطح الداخلي إلى السطح الخارجي لأنابيب النحاس حيث ترتبط بداية التآكل بتكوين أكسيد النحاس مع استمرار التآكل نلاحظ وجود فتحة حيث يتم نقل منتجات التآكل إلى السطح الخارجي على شكل بلورات.
2. يبدأ التآكل في مناطق الشوائب غير المعدنية الغنية بالفوسفور والتي تم العثور عليها داخل حبيبات النحاس .
3. إن وجود فجوات هيكلية تسهل تكوين التآكل لذلك يجب أن يكون سطح الداخلي للأنابيب الأملس.
4. تسبب الضغوط الداخلية المحلية الشقوق السطحية وتعزز من انتشار التآكل.

الدراسة المرجعية الخامسة:

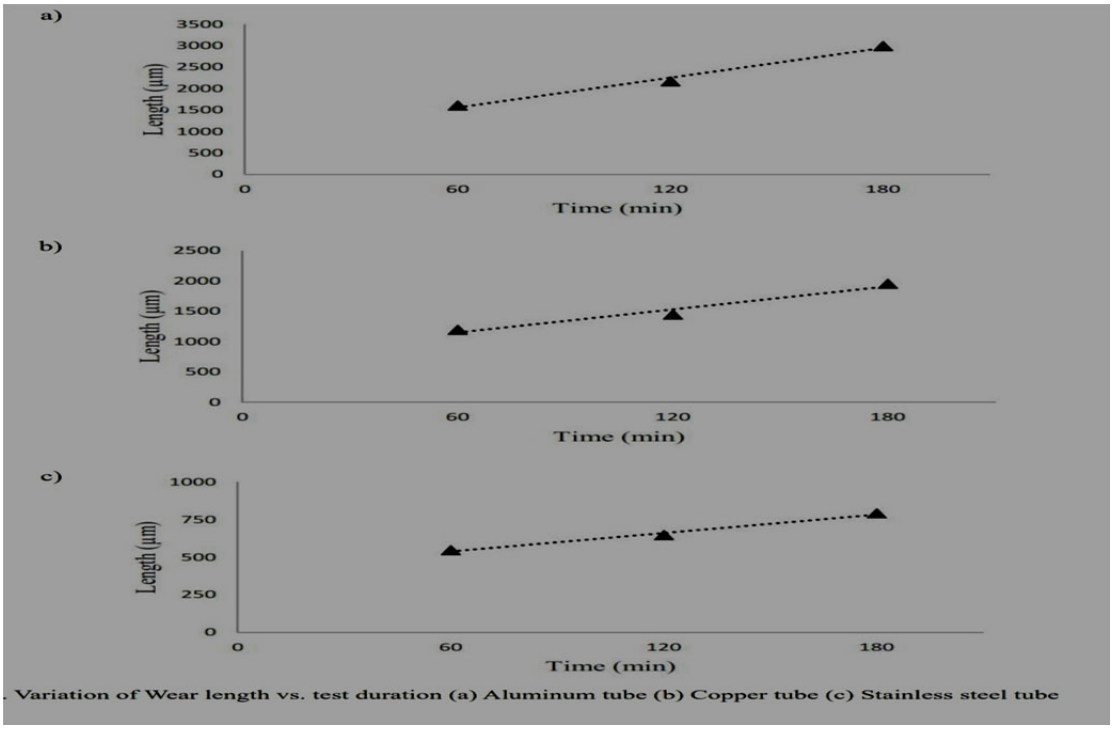
حيث قام الباحثون شهاب خشنو. ولقمان أحمد نظام. ومحمد عثمان .بتقديم مقالة في مجلة أبحاث العلوم والتكنولوجيا في عام (ديسمبر 2017)الصفحات

(123_133). بعـوان "تحليـل مـواد الأنابيـب المختلفـة المسـتخدمة فـي حزمـة أنبـوب المبـادل الحـراري " تعتمـد هـذه الدراسـة علـى تحليـل الاهتـراء النـاتج عـن مـواد الأنابيـب المختلفـة فـتم إجـراء اختبـارات التآكـل علـى الأنابيـب المصـنوعة مـن (الألمنيـوم، النحـاس، الفـولاذ المقـاوم للصـدأ)، فأجريـت اختبـارات لكـل مـادة أنبوبيـة لمـدة (60 دقيقـة–120 دقيقـة – 180 دقيقـة)، وبعـد إجـراء عـدة اختبـارات قطعـت الأجـزاء المصـابة بالتآكـل إلـى قطـع صـغيرة، وحضـرت عينـات، واسـتخدم المسـح الإلكترونـي (SEM) لتحليل وقياس الأحجام (طول، عرض ندبة التآكل). [1]

Table A: Specifications of tube bundle and test tubes

Tube material	Aluminum	Copper	Stainless Steel
Type of tube array	Parallel triangular	Parallel triangular	Parallel triangular
Mass of the tube	56.13 g	186.28 g	160 g
P/D ratio	1.45	1.45	1.45
Tube outer/inner diameter	12.7 / 11.5 mm	12.7 / 11.5 mm	12.7 / 11.5 mm
Tube length	228 mm	228 mm	228 mm
Modulus of Elasticity	69000 MPa	117000 MPa	180000 MPa
Tube density	2.7 g/cm³	8.96 g/cm³	7.7 g/cm³
Width of Baffle	0.6 mm	0.6 mm	0.6 mm
Baffle whole diameter	15 mm	15 mm	15 mm
Tube to baffle whole clearance	1.15 mm	2.3 mm	2.3 mm

يوضح هذا الجدول(4–4) مواصفات أنابيب الاختبار



. Variation of Wear length vs. test duration (a) Aluminum tube (b) Copper tube (c) Stainless steel tube

يوضح هذه الشكل (4–31) تباين الطول مع الوقت لثلاثة أنابيب اختبار.

يمكـن ملاحظـة أن طـول التآكـل يـزداد تـدريجيا مـع زيـادة وقـت الاختبـار، ويلاحـظ أيضـاً أن طول التآكل في حالة أنبوب الألمنيوم يزداد بمعدل معتدل.

فيـزداد طـول التآكـل إلـى قيمـة 1609,5ميكـرون لمـدة 60 دقيقـة، ويـزداد طـول التآكـل إلـى قيمـة 2176,04ميكـرون لمـدة 120 دقيقـة، ويـزداد طـول التآكـل إلـى قيمـة 2996.9 ميكرون لمدة 180 دقيقة.

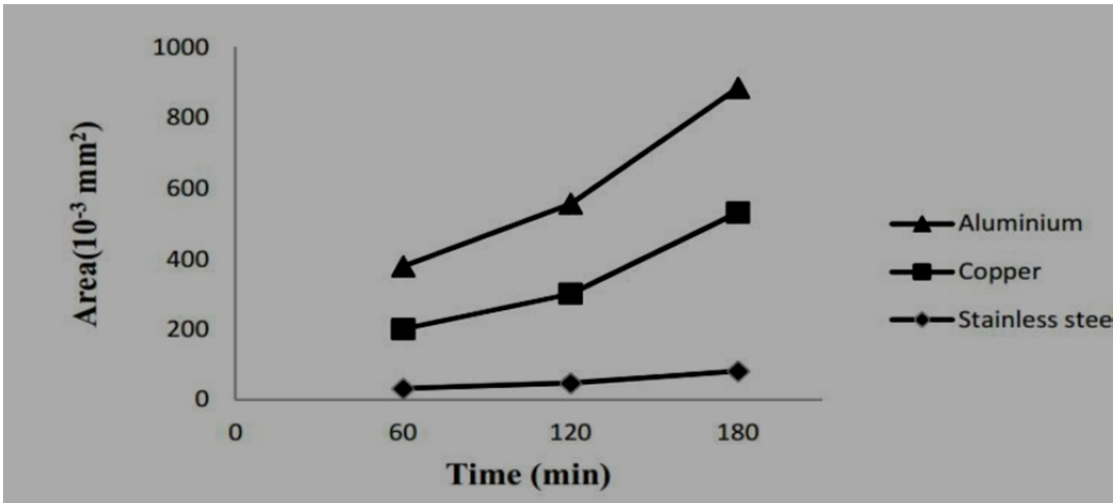


Figure 9. Wear area of tubes with increase in test duration

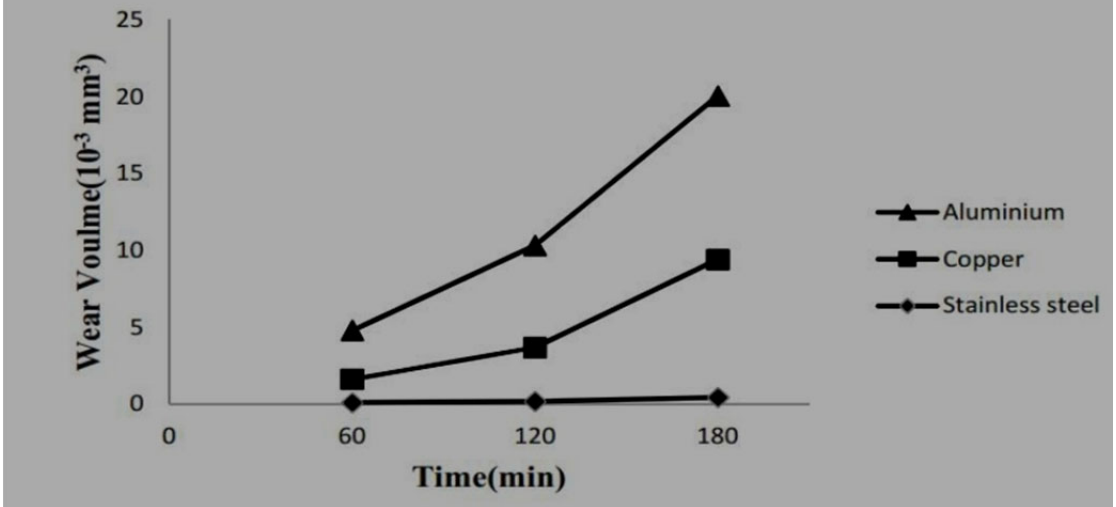


Figure 10. Wear volume of tubes with increase in test duration

يوضح هذا الشكل (4-32) : رقم (9) علاقة زمن الاختبار بمساحة منطقة التآكل.

رقم (10) علاقة زمن الاختبار بحجم منطقة التآكل.

فكانت نتيجة الدراسة :

أن الفاقد من التآكل في حالة أنبوب الألمنيوم هي الأعلى، وكانت في حالة أنبوب الفولاذ المقاوم للصدأ هي الأدنى.
يتميز معدن الألمنيوم بأنه مادة أكثر نعومة بين جميع أنابيب الاختبار لذلك هي أقل مقاومة للتآكل مقارنة بالنحاس والفولاذ المقاوم للصدأ.

الدراسة المرجعية السادسة :

حيث قام الباحثون: أثناسيوس، ف. و سبيروس ،ف. و صوفيا ،ب. في عام (2018) بدراسة بعنوان : "فشل أنابيب النحاس بسبب تآكل على شكل عش النمل (ant–nest) " [5] وقد أظهرت هذه الدراسة تآكلاً كان على شكل عش النمل: وهو نوع من الفشل المبكر والمحدد يتم ملاحظته في أنابيب النحاس بسبب وجود مادة عضوية، التي تؤدي إلى تلف خط الأنابيب والمعدات، كما تؤدي إلى انتشار حفرة من النوع النفقي وهذا يسبب حدوث ثقب سريع في الأنبوب المعدني. [5]

تم في هذه الدراسة:

1) فحص الأنابيب بعد مدة تشغيل قصيرة جدا لوحظ فيها تآكل على شكل أعشاش النمل.
2) إجراء الفحص البصري لأسطح العينات.
3) إجراء المراقبة المجسمة للأنابيب باستخدام مجهر مجسمNikon SMZ1500.

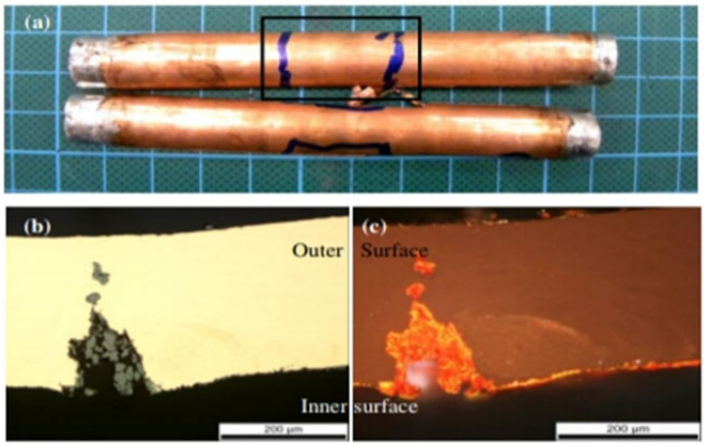
حيث لا تتعرض الأسطح الخارجية لتآكل خطير أو للتلف الميكانيكي الشديد في حين تعرضت الأسطح الداخلية للتآكل الشديد وهذا أدى إلى ظهور قنوات معقدة ومتفرعة مغطاة بمنتجات التآكل، والتي هي المركبات العضوية المستخدمة في أثناء التصنيع وربط الأنابيب النحاسية مثل (بقايا زيوت التشحيم الاصطناعية وزيوت السحب أو منظفات إزالة التشحيم إذا لم تتم إزالتها بالكامل).حيث يمكن أن تتحل إلى حمض الكربوكسيلية في وجود الرطوبة والهواء.

يحفـــز تعـــرض الأســـطح النحاســـية للأحمـــاض الكربوكســـيلية مثـــل (حمـــض الفورميـــك (HCOOH) حمـــــض الخليـــــك (CHCOOH)حمـــــض البروبيونيـــــك (C,H,COOH) حمض الزبد(C.H,COOH) تفاعل كربوكسيلات النحاس.

لدينا ثلاثة عوامل ضرورية لحدوث هذا التآكل وهي:

1. الرطوبة.
2. الهواء.
3. مركب عضوي (حمض كربوكسيل).

فيـــتم إنهـــاء هـــذا التآكـــل مـــن خـــلال اســـتهلاك أو إزالـــة أي مـــن هـــذه العوامـــل. يشـير وجـود الكربـون إلـى احتمـال وجـود مـادة عضـوية تـؤذي دوراً مهمـاً فـي تنشـيط آليـة التآكـل. حيـث يتركـز التآكـل بشـكل أساسـي علـى ظـروف التشـغيل لوحـدات المبـادل الحـراري الداخليـة لـذلك عنـد تطبيـق طريقـة المحاكـاة التجريبيـة سـوف تسـهل مـن عمليـة التحقـق مـن فعاليـة الإجـراءات التصـحيحية واختبـار البـدائل المحتملـة فيمـا يتعلق بالتركيب الكيمائي للنحاس لمكافحة مثل هذه الظواهر. [5]



يوضح الشكل (4-33) صورة مجهرية لمقطع عرضي لأنبوب يظهر فشل التآكل على شكل اعشاش النمل.

الفصل الخامس

خط إنتاج معمل المشروب الكحولي

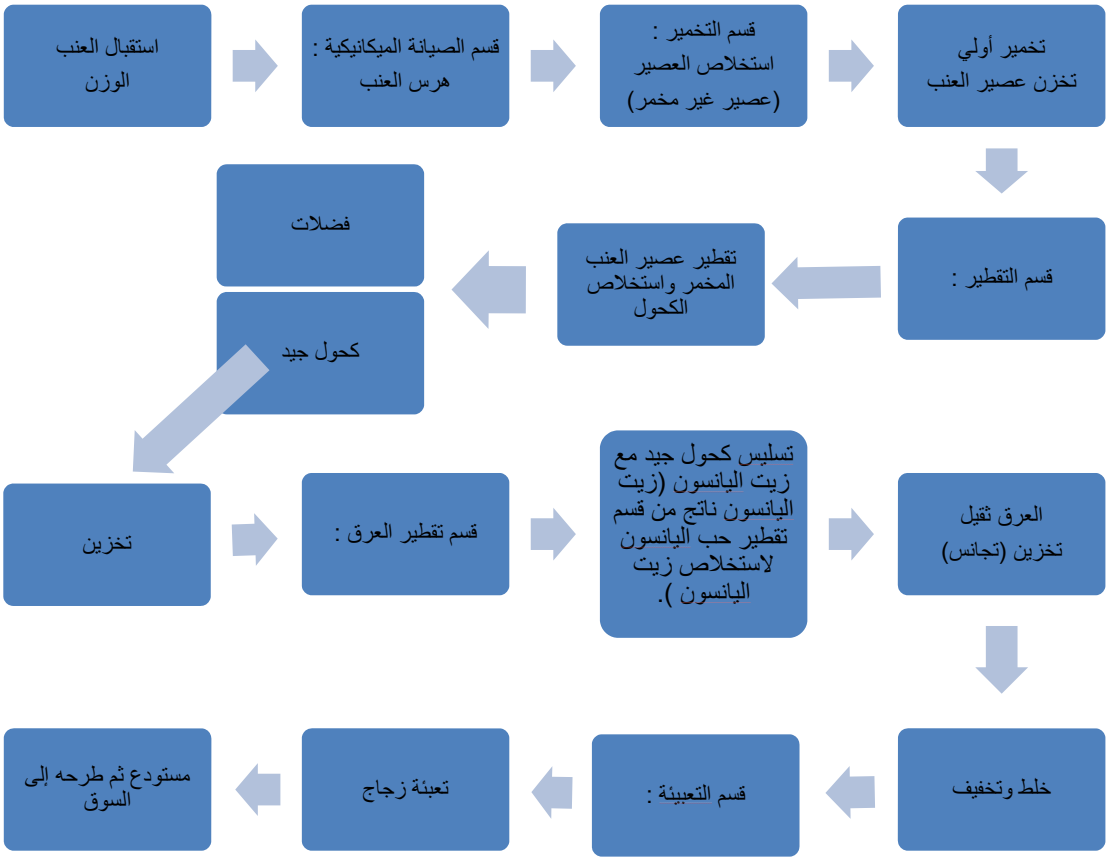
Chapter 5

PROTECT METALS FROM CORROSION ALCOHOLIC BEVERAGE PRODUCTION LINE

الفصل الخامس

5-1 تعريف العرق: هو مشروب كحولي مقطر ليس له لون يبلغ تركيز الكحول فيه 50-53%، المادة الأولية لتصنيعه هي عصير العنب المخمر كما تتعلق جودة المشروب الكحولي (العرق المنتج) **بعدة عوامل** وهي:

- ❖ الموقع الجغرافي والتضاريس.
- ❖ المناخ.
- ❖ التربة.
- ❖ أنظمة الري وإدارة الآفات.



(1-5) المخطط الصندوقي لخط إنتاج معمل المشروب الكحول.

5-2 خطوات صناعة المشروب الكحولي (العرق):

يتم تصنيع المشروب الكحولي (العرق) وفق عدة خطوات:

1.2.5 الخطوة الأولى:

تم في هذه المرحلة قطف العنب حيث يجب أن يكون العنب ناضجاً وطازجاً، وتتم عملية جمع المنتج بإحدى طريقتين:

إما عن طريق معدات الحصاد الميكانيكية.

أو الحصاد اليدوي.

يتيح الحصاد اليدوي اختيارا أكثر دقة وغالبا ما يقوم بعمل أفضل في حماية عصير العنب من الأكسدة بسبب تلف الأنسجة في حين يكون الحصاد الميكانيكي عملية أكثر كفاءة وفعالية من حيث التكلفة وهي مناسبة لكروم العنب الكبيرة التي تقع على أرض مستوية تماما.

بعد الانتهاء من عملية جمع العنب تأتي مرحلة عصر العنب (هرس العنب أي يتم فصله عن القشرة والبذور) تتم هذه العملية في مكبس من أجل عصر حبات العنب لاستخراج العصير وتترك خلفها قشر العنب ثم يتم نقل العصير النقي إلى الخزانات حيث تستقر الرواسب في قاع الخزان . يجب أن يبقى غطاء الخزان مغلقاً خلال مدة التخمير، و يمكن أن نترك العصير المخمر عدة أشهر قبل عملية التقطير.



الشكل (5-34) عملية جمع محصول العنب بعد عملية القطف.

2.2.5 الخطوة الثانية:

إضافة الخميرة لبدء عملية تخمير العرق:

إما أن تكون الخمائر (عبوة تجارية).

أو أن تكون الخمائر طبيعية تحدث تلقائيا في العصير (التخمير العفوي تستخدم الخميرة الموجودة بشكل طبيعي في العنب)

تستغرق عملية تخمير عصير العنب ما بين (14–7) يوماً ،وتتعلق مدة التخمير بحسب نسبة الخمائر الطبيعية الموجودة على حبات العنب وقشورها إذا كانت نسبة الخمائر مناسبة للتخمير سوف يبدأ التخمير بعد وضع العنب في الخزانات خلال أيام معدودة من ثلاثة إلى أربعة أيام ويبدأ التخمير ببطء في البداية وفي هذه الأثناء تعمل الخمائر على وظيفتين: تحويل السكريات إلى كحول من جهة والتكاثر والنمو من جهة أخرى. ثم ترتفع معدلات تفاعلات التخمير وتصبح في ذروتها خلال أربعة أو خمسة أيام أخرى ومن ثم تعود الخمائر بالتباطؤ من جديد حتى تتوقف نهائيا وهنا تتحول معظم السكريات الموجودة في العنب إلى كحول وتبدأ الشوائب وقشور العنب بالترسيب أسفل الخزان و يطفو النبيذ الصافي على السطح .

تستغرق هذه العملية عشرة أيام تقريبا أو أكثر بقليل حسب نسبة الخمائر وإذا كانت الخمائر نسبتها قليلة يمكن أن تستغرق العملية عشرين يوما. يجب وضع العصير في خزان مغلق من أجل تقليل التعرض للأوكسجين.

تكون وظيفة الخميرة هي تحويل السكريات الموجودة في العنب إلى الكحول (الكحول الإيثيلي) وثاني أكسيد الكربون.

3.2.5 الخطوة الثالثة:

التقطير لعصير العنب المخمر:

تـتم عمليـة التقطيـر فـي جهـاز يسـمى الكولـون فيسـتخلص الكحـول وفـق هـذا الجهـاز ، بـدخول عصـير العنـب ضـمن المبـادل الحـراري حيـث فـي هـذه المرحلـة يسـتخلص الكحـول. يتـألف هـذا الجهـاز مـن ثلاثـة أبـراج للعصـير وتسـعة مبـادلات حراريـة نحاسـية، حيـث يـدخل العصـير العنـب المخمـر مـن أعلـى بـرج العصـير فيصـطدم ببخـار المـاء السـاخن مـن أسـفل بـرج العصـير فيـؤدي ذلـك إلـى تطـاير الكحـول الإيتيلـي الـذي يكثـف فـي مبـردات خاصـة وتكـرر العمليـة عـدة مـرات مـن أجـل الحصـول علـى أكبـر قـدر ممكـن مـن الكحـول المستخلص من عصير العنب المخمر، ويكون لدينا ثلاثة أنواع من الكحول:

النوع الجيد BRANDY يكون تركيز الكحول فيه % 80.

النوع TAILS يكون تركيز الكحول فيه تحت 30%.

النوع الرأس (ثقيل) HEADS يكون تركيز الكحول فيه % 95-90 .



الشكل (5-35) تقسيم الكحول الناتج إلى: الذيل والجيد والرأس.



الشكل (5-36) المبادل الحراري النحاسي

المبادل الحراري المدروس E 30 :

- شكل المبادل الحراري عامودي
- يدخل بخار بين الأنابيب.
- مجموع عدد الأنابيب : 196

درجة حرارة بخار الماء فوق $70\ ^{O}C$.

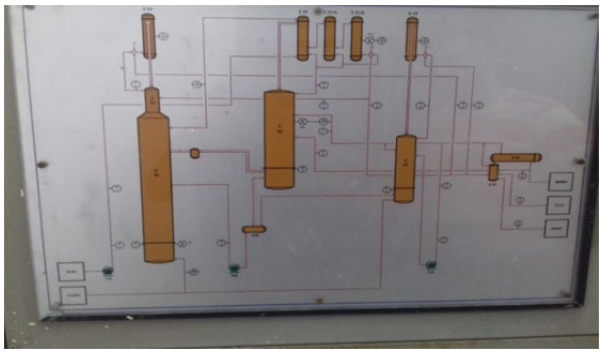
يكون عصير العنب المخمر بارداً.

إنتاجية جهاز الكولون 8 طن بالساعة.

مدة عمل الجهاز الكولون ثلاثة أشهر متواصلة.



الشكل (5-37) يوضح جهاز التقطير



الشكل (5-38) دارة التحكم جهاز التقطير



الشكل (5-39) يوضح أنبوب النحاس المستخدم في المبادل الحراري.

حيث يبلغ قطر أنبوب النحاس المستخدم في المبادل الحراري (3,3 cm)

وتبلغ سماكة أنبوب النحاس mm (2,5-3)



الشكل (5-40) يوضح نوعية جهاز التقطير.

4.2.5الخطوة الرابعة:

مرحلة تقطير زيت اليانسون:

يـتم فـي جهـاز خـاص يسـمى الأنبيـق حيـث يسـتقر الكحـول فـي خزانـات لمـدة قصـيرة ثـم يضاف له زيت اليانسون المقطر.

وبعـد ذلـك يمـزج الكحـول مـع زيـت اليانسـون المقطـر للحصـول علـى المشـروب كحـولي حيث يكون تركيز الكحول فيه نحو 88-68 %.

وبعـد ذلـك يخـزن هـذا المشـروب الكحـولي (العـرق) فـي خزانـات خاصـة، ويمكـن أيضـا تخفيض درجة كحوليته بحسب الطلب في السوق.



الشكل (5-41) يوضح المبادل الحراري المستخدم في تقطير اليانسون



يوضح الشكل (5-42) المبادل الحراري المستخدم في تقطير اليانسون.

5.2.5 **الخطوة الخامسة:**

تعبئة الكحول في عبوات خاصة به، ثم وضع العلامة المميزة عليه، يجب أن تتم هذه المرحلة في جو المغلق من أجل تقليل تعرض المنتج للأوكسجين.



يوضح الشكل (5-43) عملية تعبئة الكحول ضمن زجاجات

6.2.5 الخطوة السادسة:

تسويق المنتج وطرحه في الأسواق.



يوضح الشكل (5-44) عبوة المشروب الكحولي جاهزة للتسويق.

الفصل السادس

الدراسة العملية

مواد البحث وطرائقه

Chapter 6

MATERIALS AND METHODS

الفصل السادس

1.6 مكان تنفيذ البحث:

جمعت العينات النحاسية والفولاذ المقاوم للصدأ المأخوذة من معمل الريان للمشروبات الكحولية (العرق).

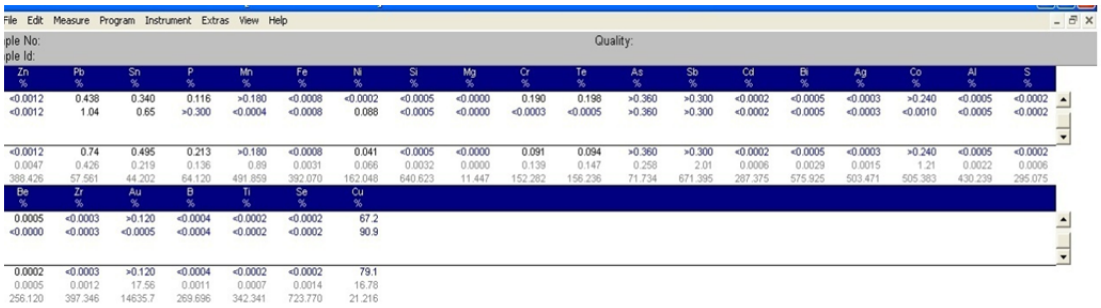
2.6 المبادل الحراري:

هذا المبادل موجود في معمل المشروب الكحولي حيث يمر البخار من محيط لأنابيب النحاسية فيتم تسخين بخار الماء حتى درجة حرارة وقدرها 70 درجة مئوية، هذا المبادل نفذته شركة إيطالية وبعد ثلاث سنوات من العمل انهار المبادل الحراري وخرج عن العمل.

3.6 تحليل عينة النحاس:

تم تحليل عينة النحاس المأخوذة من أنبوب المبادل الحراري التابع لجهاز التقطير في جامعة دمشق من أجل معرفة نسبة العناصر المعدنية للعينة المختبرة.

تبين من تحليل العينة أن نسبة النحاس تساوي Cu = 79,1



يوضح الشكل (6-45) نتيجة تحليل عينة النحاس المستخدمة في الاختبار

4.6 تحضير العينات:

تم اختيار عينات من أنابيب المبادل الحراري الخاص من جهاز التقطير المأخوذة من معمل الريان للمشروبات الكحولية وهي كالتالي:

1 – ثلاث عينات أنبوب مبادل حراري نحاسي.

2- ثلاث عينات أنبوب مبادل حراري فولاذي مقاوم للصدأ.

1.4.6 تجهيز العينات للاختبار:

تم تجهيز عينات من معدن النحاس المأخوذة من أنابيب المبادل الحراري التابع لجهاز الكولون وذلك باستخدام القطع والتنظيف، حيث تم تنظيف العينات بوساطة ورق السنفرة الناعم والخشن، وبعد الانتهاء من عملية التنظيف، تم قص العينات بشكل مستطيلات. ثم غسل العينات بالماء المقطر وجففت باستخدام المجفف الكهربائي. وبعد ذلك تم وزن كل عينة على حدة بواسطة الميزان الحساس. تمت دراسة العينات باستخدام طريقة الفقدان في الوزن لمعرفة معدلات التآكل.

الخطوات المتبعة لقياس معدل التآكل بطريقة فقدان الوزن:

تم استخدام طريقة فقدان الوزن لحساب معدل التآكل وهي الطريقة الأكثر استخداما وتدعى هذه الطريقة أحيانا بالطريقة الوزنية التي تستعمل بشكل واسع لإيجاد معدلات التآكل العام وخاصة تلك التي تسبب فقداناً محسوساً بالوزن، في حين يصعب استخدام هذه الطريقة لإيجاد معدلات التآكل الموضعي الذي يصعب التحسس بالوزن المفقود القليل أو المعدوم.

يتم إعداد العينات بأشكال هندسية معينة وأكثر هذه الأشكال استخداما هي المستطيلة. توزن العينات بميزان حساس ويحسب الوزن الأصلي لها W_0 بالميلي غرام في العينات الصغيرة. تحسب المساحة السطحية المعرضة للمحلول A بواحدة السم^2 ثم تغمر العينات في أوساط لمدة زمنية كافية(t)تقاس بالساعات. ثم ترفع العينات من الوسط الآكل.

توزن العينات بعد الغمر (W) ثم يحسب مقدار التغير بالوزن.



توضح الشكل (6-46) العينات المأخوذة من أنبوب النحاس.

2.4.6 أبعاد العينات:

1. أول عينة من النحاس تم غمرها في ماء البئر قياسها

$A = a*b = 2.8 * 2.8 = 7.84\ cm^2$

2. ثاني عينة تم غمرها في عصير العنب المخمر قياسها

$A = a*b = 3 * 3.4 = 10.8\ cm^2$

3. ثالث عينة تم غمرها في عصير العنب المقطر قياسها

$A = a*b = 3 * 3.6 = 10.2\ cm^2$







يوضح الشكل (6-47) وزن العينات قبل غمرها في أوساط آكلة.

بعد ذلك يتم غمر العينات في الوسط الذي نريد قياس التآكل فيه في المختبر وذلك لمدة زمنية محددة، وذلك بغمرها بشكل كامل في أوساط التآكل المختارة ومغمورة تماما في الحوض الزجاجي الذي يحتوي على أوساط التآكل والتي هي:

الوسط الأول: ماء البئر.

الوسط الثاني: عصير العنب المقطر.

الوسط الثالث: عصير العنب المخمر.



يوضح الشكل (6-48) الحوض الزجاجي الحاوي على العينات.

بعد إنهاء مدة التعرض لوسط التآكل تم رفع العينات المحددة، ثم تم تجفيفها بالمجفف الكهربي بعد ذلك تم إعادة وزن كل عينة لإيجاد الوزن النهائي وذلك من أجل حساب الوزن المفقود الذي هو عبارة عن الفرق بين الوزن الابتدائي (وزن العينة قبل إجراء اختبار التآكل) والوزن النهائي (وزن العينة بعد إجراء اختبار التآكل).

ثم تم غمرها في أوساط الآكلة مطابقة لوسط العمل لمدة عشرة شهور وكانت النتائج مبينة في الجدول :

(6-5) يوضح الجدول التالي قيم وزن عينات النحاس المغمورة في أوساط التآكل.

المدة الزمنية (يوم)	عصير العنب المقطر g	عصير العنب المخمر g	ماء البئر g
قبل الغمر	5.5	5.8	4.4
7	5.5	5.8	4.4
14	5.4	5.8	4.4
21	5.4	5.8	4.3
28	5.4	5.8	4.3
35	5.4	5.8	4.3
49	5.4	5.7	4.3
63	5.4	5.7	4.2
77	5.4	5.7	4.2
91	5.4	5.7	4.2
98	5.4	5.6	4.2
128	5.4	5.6	4.2
158	5.3	5.6	4.2
172	5.3	5.5	4.1
186	5.3	5.5	4.1
200	5.3	5.5	4.1

230	5.3	5.5	4.1
245	5.3	5.5	4
260	5.3	5.5	4
275	5.3	5.5	4
290	5.3	5.5	4
300	5.3	5.5	4

يـتم اسـتخراج عينـات بعـد كـل مـدة محـددة مـن أجـل وزن العينـات ثـم إعادتهـا إلـى الوسـط الآكـل، وبعـد إنتهـاء مـدة التعـرض لوسـط التآكـل تـم رفـع العينـات المحـددة، ثـم تـم تجفيفهـا بـالمجفف الكهربـي وبعـد ذلـك تـم حسـاب وزن كـل عينـة لإيجـاد الـوزن النهائي.

3.4.6 **حساب الوزن المفقود:**

الـذي هـو الفـرق بـين الـوزن الابتـدائي (وزن العينـة قبـل إجـراء اختبـار التآكـل) والـوزن النهائي (وزن العينة بعد إجراء اختبار التآكل).

$$\Delta Wi = WO - W$$

حيث:

Δwi *الوزن المفقود للعينة الموضوعة في وسط التآكل*

WO وزن العينة قبل الغمر

W وزن العينة بعد الغمر

الوزن المفقود للعينة في للماء

ΔW_{h2o}= 4.4 − 4.0

= 0.4 g = 400 mg

الوزن المفقود للعينة عصير العنب المخمر

ΔW_1= 5.8 − 5.5

= 0.3 g = 300 mg

الوزن المفقود للعينة عصير العنب المقطر

$\Delta W_{2=}$= 5.5 − 5.3

= 0.2 g = 200 mg

لحساب معدل التآكل نستخدم المعادلة التالية: (19−20)

$$\mathbf{CR} = \frac{K*\Delta W}{p*A*t}$$

حيث إن:

CR : معدل التآكل (mm/ y) .

K : قيمة ثابتة تساوى (87.6) .

ΔW : الوزن المفقود (mg).

p : كثافة النحاس ($8,96$ g/cm^3) .

A : المساحة السطحية المعرضة للتآكل (cm^2).

t: زمن التعرض للتآكل بالساعة

4.4.6 حساب معدل التآكل للعينة الموضوعة في الماء (19−20)

$$\mathbf{CR} = \frac{K*\Delta W}{p*A*t}$$

$$CR = \frac{87,6 * 400}{8.96*7.84*7200} = \frac{35040}{505774.08} = 0.069 \text{ mm/y}$$

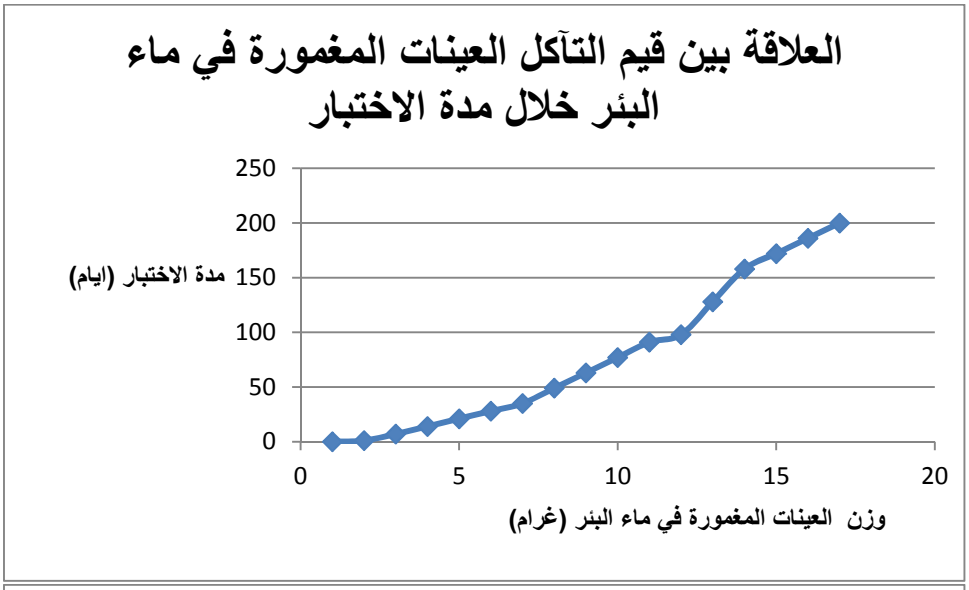
حساب معدل التآكل للعينة الموضوعة في العصير المخمر:

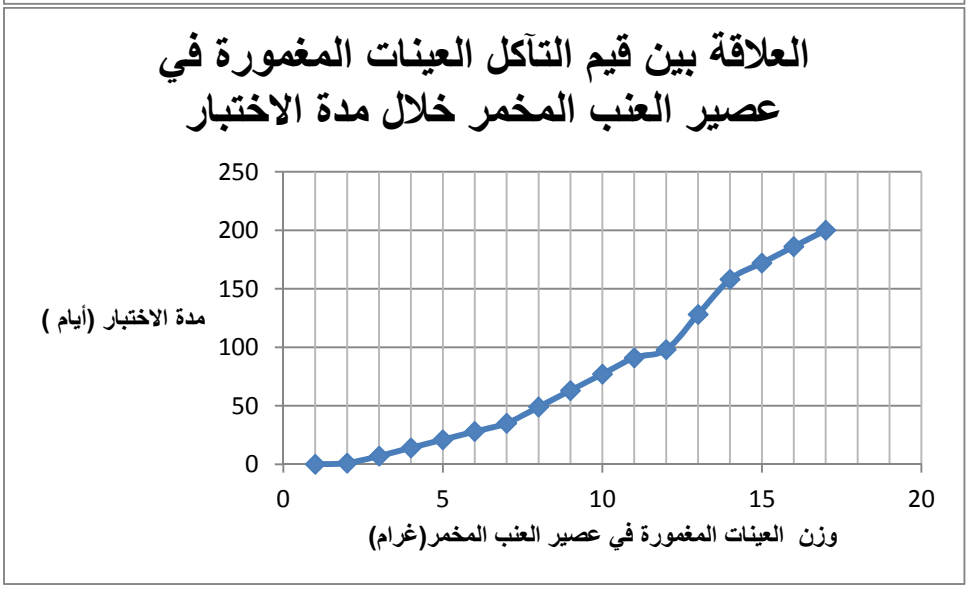
$$CR = \frac{87,6 * 300}{8.96*10,8*7200} = \frac{26280}{696729.6} = 0.038 \text{ mm/y}$$

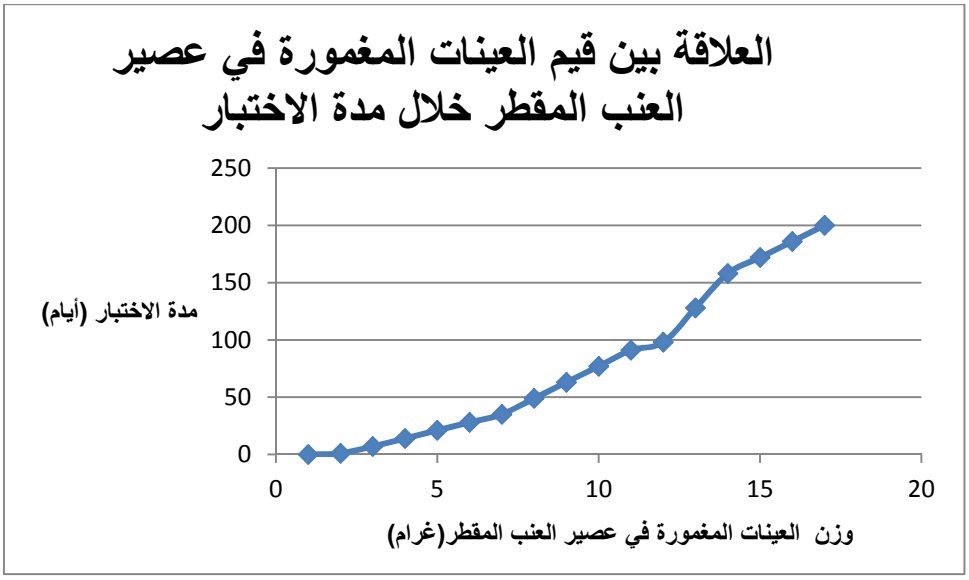
حساب معدل التآكل للعينة الموضوعة في العصير المقطر:

$$CR = \frac{87,6 *200}{8.96*10,2*7200} = \frac{17520}{696729.6} = 0.027 \text{ mm/y}$$

يوضح الشكل (6-49) علاقة تآكل معدن النحاس في الأوساط الآكلة (الماء، عصير العنب المخمر، عصير العنب المقطر) مع الزمن







5.6 اختبار PH الماء:

تم اختبار حموضة الماء في معمل الريان لعدة عينات من ماء البئر وخلال مراحل متفاوتة نتج لدينا أن قيمة حموضة ماء البئر ph =5

أدوات اختبار الحموضة:

أنبوب معياري

وعاء خلط

بودرة اختبار الحموضة

مشعر لوني لوجود الشوارد.

كل قطرة من المشعر تساوي درجة واحدة من الحموضة.

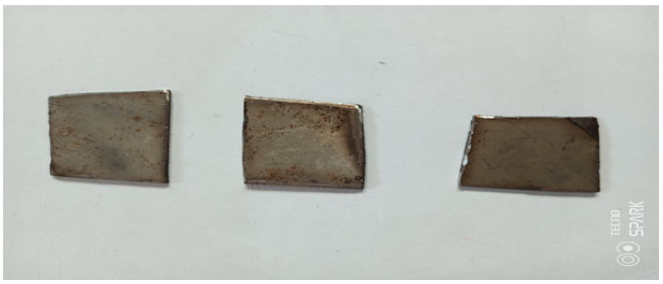


الشكل (6-50) يوضح أدوات اختبار القساوة.

6.6 دراسة معدل التآكل لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ:

تم إجراء عملية المقارنة مع عينة من أنبوب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ316 المأخوذة من جهاز تقطير العنب المستخدم في المبادل الحراري.

تم تجهيز العينات الثلاث وقصها بشكل مستطيلات كما هو موضح بالشكل:



يوضح الشكل (6-51) عينات الفولاذ المقاوم للصدأ.

تم وزن العينات الثلاث بواسطة ميزان حساس قبل إجراء الاختبار.







يوضح شكل (6-52) وزن عينات الفولاذ المقاوم للصدأ قبل إجراء الاختبار.

التركيب الكيمائي لفولاذ المقاوم للصدأ 316:

تتكون عينة الفولاذ المقاوم للصدأ المأخوذة من أنبوب المبادل الحراري التابع لجهاز التقطير من العناصر المعدنية التالية :

العناصر	Fe	N	S	P	MO	Ni	Cr	SI	Mn	C
نسبة العنصر	Bal	0.1	0.03	0.045	2 -3	10 -14	16 -18	0.75	2	0.08

جدول (6-6) التركيب الكيمائي عينة الفولاذ المقاوم للصدأ 316

أجريت اختبار التآكل لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 316 المعدة سابقا، وذلك بغمرها بشكل كامل في أوساط التآكل المستخدمة في هذا البحث وهي عبارة عن ماء البئر وعصير العنب المخمر وعصير العنب المقطر المأخوذة من معمل المشروبات الكحولية (معمل الريان). وبعد ذلك يتم غمر العينات الفولاذ المقاوم للصدأ في

الحـوض الزجـاجي حـاوي علـى الأوسـاط الآكالـة حتـى نـتمكن مـن قيـاس معـدل التآكـل وذلك لمدة زمنية محددة .



يوضح الشكل (6-53) الحوض الزجاجي المغمورة فيه عينات الفولاذ المقاوم للصدأ.

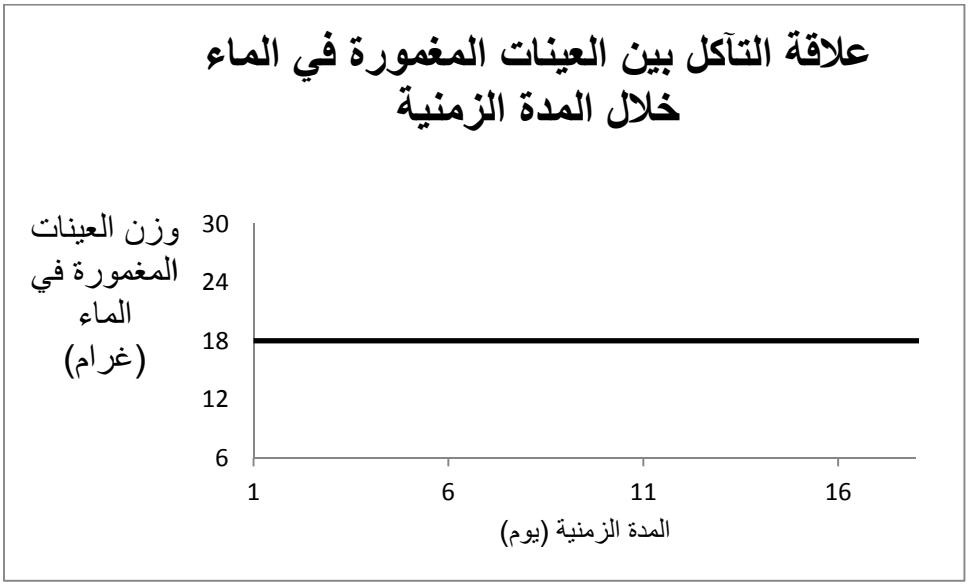
يوضح الجدول (6-7) قيم وزن عينات من الفولاذ المقاوم للصدأ المغمورة في أوساط التآكل.

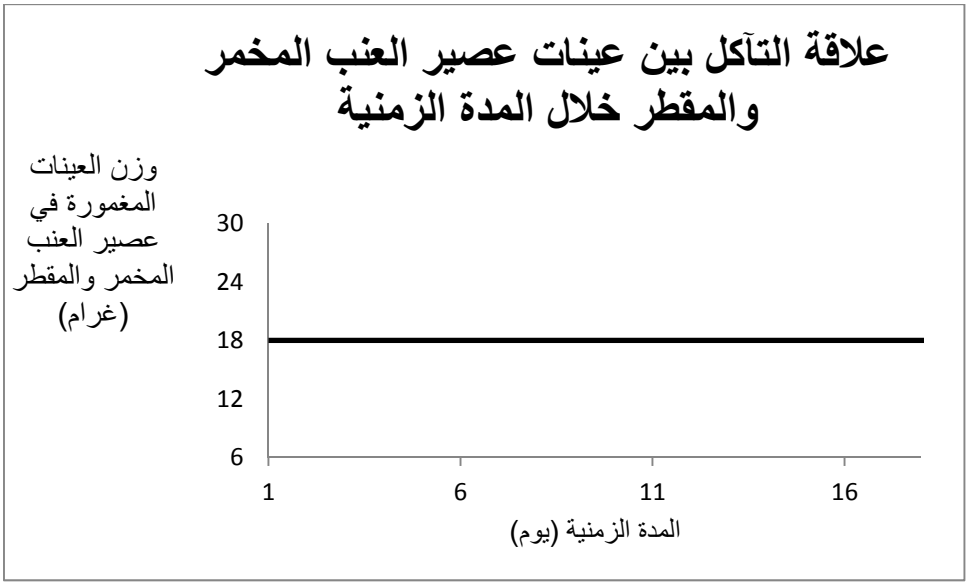
المدة الزمنية يوم	ماء البئر g	عصيرالعنب المخمر g	عصير العنب المقطر g
قبل إجراء الاختبار	18	17.9	17.9
7	18	17.9	17.9
14	18	17.9	17.9
21	18	17.9	17.9
28	18	17.9	17.9
35	18	17.9	17.9
49	18	17.9	17.9
63	18	17.9	17.9
77	18	17.9	17.9
91	18	17.9	17.9
98	18	17.9	17.9
113	18	17.9	17.9
120	18	17.9	17.9
127	18	17.9	17.9

17.9	17.9	18	150
17.9	17.9	18	180
17.9	17.9	18	210
17.9	17.9	18	225
17.9	17.9	18	240
17.9	17.9	18	255
17.9	17.9	18	270
17.9	17.9	18	285
17.9	17.9	18	300

نلاحظ أن عينة الفولاذ المقاوم للصدأ لا يحدث فيها التآكل خلال مدة الاختبار وهذا يجعلها صالحة للاستخدام في المبادل الحراري.

يوضح الشكل (6-54) علاقة التآكل بين العينات المغمورة في أوساط آكلة خلال المدة الزمنية.





الشكل (6-54) علاقة التآكل بين العينات المغمورة في أوساط آكلة خلال المدة الزمنية.

نقارن بين أنبوب مصنوع من النحاس وأنبوب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ316 المستخدمين في المبادل الحراري:[1]

الخواص	أنبوب مصنوع من النحاس	أنبوب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ 316
التوصيل الحرارية	أكبر بـ 20 مرة من الفولاذ	التوصيل الحراري أقل
التآكل	أكثر عرضة للتآكل	أقل عرضة للتآكل.
العمر الافتراضي	أقل	أكبر
السعر	أرخص	أغلى ثمنا

(6-8) جدول مقارنة بين أنبوب مصنوع من النحاس وأنبوب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ316 المستخدمين في المبادل الحراري

7.6 مناقشة النتائج (Discussion):

مـن خـلال اختبـار التـي أجـري علـى عينـات النحـاس نسـتنتج أن معـدل تآكـل النحـاس يتغيـر بـاختلاف وسـط التآكـل وقـد بينـت النتـائج أن معـدلات التآكـل فـي مـاء البئـر كانـت الأعلى مقارنة بمعدلات التآكل في عصير العنب المخمر والمقطر وذلك بسبب:

حموضة ماء البئر.

اتساخ الماء ووجود أجسام غريبة.

سرعة تدفق الماء.

اختلاف درجات حرارة الماء وعصير العنب في المبادل الحراري.

1- بعـد إجـراء اختبـار الحموضـة للمـاء نلاحـظ انخفـاض حموضـة المـاء PH فكـان لـدينا متوسـط قـيم الحموضـة لمـاء البئـر تسـاوي ph=5 وهـذا يـدل علـى أن الوسـط حامضـي وهـذا يسـبب زيـادة فـي سـرعة التآكـل ، بحيـث يكـون الوسـط معتـدل عنـدما تكون قيمة حموضة ماء ph=7.

2- نلاحـظ أن درجـة حـرارة المـاء المسـتخدم تسـاوي 70 درجـة مئويـة وهـذه الدرجـة مـن الحرارة للماء تعمل على تسريع عملية تآكل النحاس.

3- الـتحكم بسـرعة جريـان المـاء فـي الأنابيـب لأن زيـادة سـرعة تـدفق الميـاه تـؤدي إلـى تمزيـق الطبقـة الواقيـة لأنبـوب النحـاس. فكانـت سـرعة تـدفق المـاء تتـراوح بـين m^3/h (30-40)

4- نلاحـظ كلمـا ازدادت مـدة الغمـر للعينـات ازداد معـدل تآكـل النحـاس وبالتـالي قلـة مقاومـة النحـاس للتآكـل والصـدأ وذلـك بسـبب تشـكيل غشـاء أو طبقـات مـن مخلفـات التآكـل مثـل الأكسـيد بحيـث سـيبدأ أولا أنبـوب النحـاس بالتفاعـل مـع الأوكسـجين المـذاب فـي المـاء لتشـكيل طبقـة أكسـيد النحـاس علـى السـطح الـداخلي ثـم يتفاعـل سـطح الطبقـة الواقيـة مـع الغـازات والأمـلاح الموجـودة بالمـاء وهـذا يـؤدي إلـى تكـوين طبقـة إضـافية مـن كربونـات النحـاس بحيـث يختلـف لـون هـذه الطبقـة حسـب أنظمـة الماء الباردة أو الساخنة هذا ما يسمى بالزنجار.

8.6 الاستنتاجات (Conclusion):

1) تتعرض أنابيب المبادل الحراري إلى انهيارات بسبب حدوث التآكل الكيميائي.
2) حساب معدل التآكل لعينات النحاس .
3) كلما تزداد فترة غمر العينات النحاسية يزداد معدل التآكل .
4) يجب أن تكون قيمة حموضة ماء البئر تساوي ph = 7.

9.6 المقترحات والتوصيات (Recommendation).

1- استخدام طلاءات واقية لمنع حدوث التآكل في الأنابيب النحاسية المستخدمة في المبادل الحراري، ويعتمد اختيار الطلاء الواقي على ظروف البيئة المحيطة، ويجب أن تكون الطبقة الواقية شديدة الالتصاق حيث يعتمد حدوث التآكل على نوع الوسط وعلى الأيونات المحلية الموجودة به وتركيزها ومدة التعرض له، بحيث يمكن طلاؤه بطبقة نانوية من البلاتين أو من النيكل وهذا يزيد من مقاومة التآكل والحماية ضد التلف.
2- استخدام مثبطات التفاعلات الكيمائية حيث تحمي معدن النحاس المذاب في الأحماض المركزة.
3- تنظيف أنابيب المبادل الحراري بشكل دوري وذلك باستخدام الفرشاة أو الكسح بالبخار أو التنظيف بالماء.
4- ضرورة مراعاة قواعد السلامة وإجراء الصيانة اللازمة لأثره الكبير في استمرارية العمل، ودرء مخاطر الأعطال الطارئة في القطاع الصناعي.

References المراجع

1- Marzena, L. (Mar2020)." A metallographic case study of formicary corrosion in heat exchanger copper tubes "

2- Shahab,K.luqman ,a.Muhammad,U.(December 2017) ."Fretting Wear Analysis of Different Tube Materials Used in Heat Exchanger Tube Bundle"

3- Kuznicka, B. (2009). "Erosion-corrosion of heat exchanger tubes" Engineering Failure Analysis vol. 16 (2009) pp. 2382–2387.

4- Ranjabar, K. (2008)."Effect of flow induced and erosion failure of a tubular heat exchanger", Materials and design vol. 31 (2010) pp. 613_619.

5- Athanasios,V.Sofia,P.Spyros,P.(January2018)."Antnest corrosion failure of heat exchangers copper pipes"

6- -Luyanda,M." Corrosion Inhibition of Copper and Brass by Polyvinylpyrrolidone-2-Acrylamide-2-Methylpropensulphonate Composite in 1M Hydrochloric Acid" .December2019

7- Schwartz, M.P., (1981)"Four Types of Heat Exchanger Failures", Dun-Donnelley Corp.

8- -Chan,W. " A Critical Study on Corrosion and Corrosion Control Methods

9- for Piping Systems in Hong Kong".2003 Fontana G. Mars , (1965) "

10- Corrosion Engineering " , Third Edition , Mc Graw Hill Book Company.

11- Mc naughon j. Kenneth and The Staff of Chemical Engineering, (1980) "controlling Corrosion In Process Equipment", Materials Engineering II, McGraw – hill Publication Company.

12- Bridge C. E, and Clark M. A, (1997) " The Importance Of Corrosion Monitoring In Oilfield Systems ", Bahrain Hilton . Bahrain.

13- Petersen, R.P. (1992) " Improve corrosion control by computer simulation", Hydrocarbon processing.

14- Dilon , C.P. (1990) " Corrosion control in the chemical process industries ", McGrow – Hill, Book company .

15- Burns , R.M. and Bradley , W .W. (1967) " Protective coatings for Metals ", 3 rd ed , Reihold , New York.

16- Fontana G. Mars , (1965) " Corrosion Engineering " , Third Edition , Graw Hill Book Company.

17- Henthorne, M. (1971) " Control the process and control corrosion ", chem. . eng . , Oct . 18 , 1971.

18- Van Dijk , J. (1983) " Contact and reaction time to form aprotective film with corrosion inhibitor ".

19- Http://board.arabchemistry.net/showthread.php

20- WWW.arab-eng.org/vb/t48861-html

21- An Offical Nace Publication , " Corrosion Control Petroleum Production " , Publication No 5

22- Bradford A. Samuel , (1993) " corrosion Control " , Van Nostrand Reinhold, New York.

23- Symour , R.B. (1982) " Plastics vc corrosion " , Jun Wiley & Sons , Inc , New York.

24- Chemical engineering , (1970) " Engineering material " , Oct . 12 , 1970

25- منصور، أ. (1995) "هندسة التآكل والطرق الفنية في التصدي له"،دار الراتب الجامعية، بيروت

26- إبراهيم، أ. (1982) "هندسة التآكل". منشورات جامعة البعث.

27- محمد ،س. حاتم ، ع. نضال ،غ. (كانون الثاني -2016). " تأثير الإشعاع على تآكل الأنابيب النحاسية المستخدمة في المبادلات الحرارية وأنابيب نقل الحرارة".

28- مقاومة التآكل النحاسي الأنابيب النحاسية https:// lawtontubes.com

29- فوائد العنب للصحة - ويب طب https://www.webteb.com

30- مشروبات كحولية –المعرفة https : //m.marefa.org

Abstract

The copper tubes in the heat exchanger suffer from the problem of corrosion in the colon device for distilling grapes, which causes obstacles in the production process and high maintenance costs. Therefore، this research was studied to determine the causes of corrosion and ways to prevent them. The corrosion rate was calculated by the weight loss method by the age method in the corrosion media taken from the alcoholic beverages factory (Al-Rayyan Factory). Stainless steel also tested in the same media and the same time period. It was observed that the corrosion value of the copper sample immersed in water was higher compared to the two samples immersed in ferment and distilled grape juice. The corrosion rate was calculated for the copper sample immersed in water its value was 0،039 mm/y the corrosion rate for the copper sample immersed in distilled grape juice was 0.0126 mm/y. and the corrosion rate for the copper sample immersed in fermented grape juice was mm/y. The hardness of the water was tested during multiple periods and determined its value is ph =5. The chemical composition of a sample taken from the copper tube used in the heat exchanger was analyzed. 0.0024 mm/y the cause of corrosion was found to be due to the low hardness of the water، and the temperature difference between water and alcohol، the acidity of the grape juice. It was also found during the test period that the stainless steel samples did not corrode، while the copper sample do it.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of Mechanical Engineering Design
Materials science Master

" Addressing the Wear Problem in the Cologne Grape Distillation Heat Exchanger "

Thesis submitted for the degree of Master of Science MSc in Materials science Engineering (Mechanical Engineering Design Department)

Prepared By

Eng. Rami Saleh Salha

Supervision by

Dr. Eng. Hassan Hadla

2022 – 2023 A.M.