



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل / كلية الهندسة  
قسم هندسة المواد

# حماية المعلومات من التآكل بأستعمال مثبطات عضوية

رسالة تقدم بها

**أحمد راجح حسن الوطيفي**

إلى

مجلس كلية الهندسة / جامعة بابل

وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير علوم في هندسة المواد

**إشراف**

الأستاذ المساعد

الأستاذ الدكتور

**إقبال محمد سعيد**

**قحطان خلف الخزرجي**

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

﴿ وَلَقَدْ جِئْنَاهُمْ بِكِتَابٍ فَصَّلْنَاهُ عَلَىٰ

عِلْمٍ هُدًى وَرَحْمَةً لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العلي العظيم

﴿ الأعراف: 52 ﴾

# الإهداء

إلى العاشق المثير بنور آل محمد صلى الله عليه وآله وسلم . . .

إلى الفاني في محبة الذات الإلهية . . . . .

إلى الذائب في ولاية مولى العارفين عليه السلام . . . . .

إلى الموحّد الممتزج بالنفحات الربانية . . . . .

إلى صاحب النفس الروحانية . . . . .

إلى نور عيني الذي فاحت منه رائحة الحب الحسيني والعشق الإلهي

السيد علي الحسيني السيستاني

أهدي جهدي المتواضع

أحمد

# شكر وامتنان

## بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد وآل بيته الطيبين الطاهرين. يسرني وأنا أنجز بحثي هذا أن أتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى أستاذي الفاضلين الأستاذ الدكتور قحطان خلف الخزرجي والأستاذ المساعد إقبال محمد سعيد لأتاحتهما الفرصة لي للعمل بهذا البحث ولما قدماه لي من اهتمام علمي وجهد قيم في إنجازه فجزاهما الله عني خير الجزاء.

كما أتوجه بشكري إلى قسم هندسة المواد في كلية الهندسة / جامعة بابل على منحي هذه الفرصة، كما أتقدم بشكري إلى منتسبي الورش الهندسية وأخص بالذكر السيد حيدر عبد الله والسيد محسن يوسف حسن والسيد قاسم وهاب لما قدموه لي من مساعدة في أثناء العمل في الورش الهندسية، كذلك أتقدم بشكري إلى منتسبي مختبر المعادن لما أبدوه من مساعدة في العمل على الأجهزة المتوفرة في المختبر.

وأتقدم بالشكر والعرفان إلى الأخ محمد كاظم لما أبدى من مساعدة في إجراء التحليل الطيفي للمواد المثبطة المستخدمة قيد البحث ، وأخيراً أعبر عن شكري وامتناني إلى كل من ساعدني معنوياً بدعاء خالص وكلام طيب وكل من فاتني ذكره وقد ساهم في إظهار هذا البحث إلى الوجود.

أحمد

**Ministry of High Education and  
Scientific Research  
University of Babylon  
Department of Materials  
Engineering**



# **Protection Of Weldment against Corrosion By Using Organic Inhibitors**

A Thesis

Submitted to the Council of the College of Engineering/University  
of Babylon in Partial to Fulfillment of the Requirement for the  
Master Degree of Science in Materials Engineering

By

**Ahmed Rajih Hessen**

Supervised by

Prof. Dr.

Assistant Professor

**Kahtan Khalaf Al-Khazraji**

**Iqbal Mohammed Said**

**2008 A.D**

**1428 A.H**

## الخلاصة

تتناول هذه الدراسة موضوعاً لم يلق ما يستحقه من اهتمام علمي، هو حماية الملحومات من التآكل باستعمال مثبت عضوي جديد والاستعانة بالتعامل الحراري لحماية أكثر من معدن في أوساط أكالة متعددة.

إنّ المواد المستعملة في هذه الدراسة ذات أهمية تكنولوجية كبيرة وتشمل الفولاذ الكربوني والألمنيوم والنحاس، في أوساط شملت الماء الاعتيادي و محلول ( 3% NaCl )، ( 1M HCl ) ومحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ). أما المثبتات المستعملة فهي مستخلصات لنباتات طبيعية متوفرة بكثرة في العراق وسهلة التحضير وقليلة الكلفة وتخلو من السمية وهي من المواد العضوية. وقد أجريت اختبارات شتى لمعرفة قابلية المثبت في الحماية شملت طريقة الغمر البسيط وطريقة استكمال تافل واختبار تآكل التعرية، اختبار الخشونة ، اختبار الموصلية الحرارية وقياس الأس الهيدروجيني PH، اختبار الفحص المجهرى ودراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة المثبت.

وقد كان للتعامل الحراري تأثير فاعل في تقليل معدلات التآكل، فقد بلغت نسبة الزيادة في مقاومة التآكل ( 28.7% ) في عينة اللحام المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في الماء الاعتيادي وبلغت أيضاً ( 28.25% ) في عينة اللحام المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ).

وعند تراكيز ( 3% ) من المثبتات المستعملة في اختبار الغمر البسيط كانت كفاءة التثبيط قد بلغت ( 94.96% ) للمثبت ( A ) ماء الحنفية، بينما بلغت ( 90.21% ) للمثبت ( B ) في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) للفولاذ الكربوني.

أما في اختبار إستكمال تافل فقد انخفضت قيم تيار التآكل بمقدار ( 95% ) عند استعمال ( 3% ) من المثبت ( A ) في الفولاذ الكربوني في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) و ( 88.88% ) في الألمنيوم في محلول ( 1M HCl ) و ( 96.8 ) في النحاس في محلول ( 3% NaCl ).

أما درجة الحرارة فقد تسببت في انخفاض طفيف في كفاءة التثبيط فكانت % ( 40, 50, 63, 72 ) عند درجة حرارة ( 30 °C ) وأصبحت % ( 30.2, 38, 47.2, 57.1 ) عند درجة حرارة ( 60 °C ) لكل تراكيز المثبط % ( 0.25, 0.5, 1.5, 3 ) حجماً على التوالي. كما أبدت المثبطات مقاومة عالية في اختبار التآكل بالتعرية إذ بلغت كفاءة التثبيط في حماية ( 80.38% ) و ( 78.84% ) لكل من المثبط ( A ) والمثبط ( B ) على التوالي في حماية مناطق اللحام النحاس الغير معاملة حرارياً. ونلاحظ من اختبار الخشونة السطحية t للمعادن أن تغطية السطح من قبل المثبط كانت منتظمة وخالية من العيوب والتشققات التي قد تنتج من عملية التآكل. أما الموصلية الكهربائية فقد انخفضت بزيادة تركيز المثبط. ولم تظهر الفحوصات المجهرية تلفاً كبيراً على سطوح العينات بشكل عام مما يؤكد فاعلية المثبط.

# Abstract

This study deals with the subject that has not received the required attention, which is the protection of weldment against corrosion, by using organic Inhibitors and the use of the heat treatment to protect several metals in several corrosive medias.

The materials used in this study have a great importance in many application which is carbon steel, Aluminum and copper in medias included (3%NaCl), solution, (1MHCl) solution and (2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) solution.

These inhibitors were used extracted from natural plants available in Iraq widely easy to prepare, low cost and free of toxin.

Many tests were conducted to determine the inhibitor ability in protection included simple immersion method, Tafel extrapolation, erosion corrosion test, roughness test, thermal conductivity test, measuring pH, visual inspected, and study of the temperature affect on inhibitor efficiency.

Heat treatment had a important role in the reducing of corrosion rates, The increasing percentage in corrosion resistance was ( 28.7% ) in the heat treated weldment sample of carbon steel in tap water and also it was ( 28.25% ) in the heat treated weldment sample of carbon steel in ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) solution.

When the concentration ( 3 % ) of inhibitors used in the simple Immersion test the inhibiting efficiency was ( 94.96% ) for inhibitor (A) in the Tap water, while it was found ( 90.21% ) for inhibitor ( B ) in the solution ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) of Carbon steel. In Tafel extrapolation test the values of corrosion current has decreased with ( 95% ) when using ( 3% ) of the inhibitor ( A ) in carbon steel in the solution ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ), ( 88.88% ) of aluminum in solution ( 1M HCl ) and ( 96.8% ) of copper in solution ( 3% NaCl ).

And the temperature has resulted in a slighter decrease in inhibiting efficiency which was ( 40,50,63,72 )% at a temperature of ( 30 °C ), and became

( 30.2,38,47.2,57.1 )% at a temperature of ( 60 °C ) for all the concentrations of inhibitor ( 0.25,0.5,1.5,3 )% in size, respectively.

In addition inhibitors showed high-resistance to erosion corrosion test, where the inhibiting efficiency was found ( 80.38% ) and (78.84%) for each of the inhibitors ( A ) and ( B ) respectively in the protection of copper welding areas that had not treated thermally.

From the test of metals surface roughness it was noticed that the covering of the surface with the inhibitors have no defects or cracks may produced by corrosion. The electrical conductivity has decreased with an increase of inhibitor concentration. The visual inspected did not show a big damage on the samples surfaces generally which confirms the inhibitor effectiveness.

# المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
<b>الفصل الأول: المقدمة</b>		
1	المقدمة	1.1
4	أهمية الدراسة	1.2
5	الهدف من البحث	1.3
<b>الفصل الثاني: الجزء النظري</b>		
6	مقدمة عامة عن اللحام	2.1
7	طرق اللحام	2.2
7	اللحام الغازي	2.2.1
11	مزايا اللحام الغازي	2.2.1.1
11	عيوب اللحام الغازي	2.2.1.2
12	تطبيقات اللحام الغازي	2.2.1.3
12	لحام القوس الكهربائي	2.2.2
14	طرق لحام القوس الكهربائي	2.2.2.1
14	لحام القوس الكربوني	2.2.2.1.1
14	مزايا اللحام بالقوس الكربوني	2.2.2.1.1.1
14	عيوب اللحام بالقوس الكربوني	2.2.2.1.1.2
15	تطبيقات اللحام بالقوس الكربوني	2.2.2.1.1.3
15	اللحام بالقوس الكهربائي المغمور	2.2.2.1.2
15	مميزات اللحام بالقوس الكهربائي المغمور	2.2.2.1.2.1
16	عيوب لحام القوس الكهربائي المغمور	2.2.2.1.2.2

16	تطبيقات اللحام بالقوس الكهربائي المغمور	2.2.2.1.2.3
16	لحام القوس الكهربائي المعدني المغلف	2.2.2.1.3
17	مميزات لحام القوس الكهربائي المعدني المغلف	2.2.2.1.3.1
18	عيوب لحام القوس الكهربائي المعدني المغلف	2.2.2.1.3.1
18	اللحام بالقوس المحمي بالغاز الخامل	2.2.2.1.4
18	اللحام بقوس التنجستن المحمي بالغاز الخامل	2.2.2.1.4.1
19	اللحام بالقوس المعدني المحجب بالغاز	2.2.2.1.4.2
20	لحام الطرق	2.2.3
20	لحام المونة	2.2.4
21	لحام المقاومة	2.2.5
22	لحام النقطة	2.2.5.1
22	اللحام الخطي	2.2.5.2
22	لحام التتوء	2.2.5.3
23	اللحام الوميضي	2.2.5.4
24	طرق اللحام الحديثة	2.3
24	اللحام الانفجاري	2.3.1
24	اللحام بأشعة الليزر	2.3.2
25	اللحام بالحزمة الالكترونية	2.3.3
25	اللحام بالموجات فوق الصوتية	2.3.4
26	اللحام الاحتكاكي	2.3.5
27	ميتالورجيا اللحام	2.4
28	قابلية لحام المعادن والسبائك	2.5
28	الفولاذ الواطئ الكربون	2.5.1
29	سبائك الألمنيوم-سليكون-مغنيسيوم	2.5.2

29	النحاس	2.5.3
30	تآكل الملحومات	2.6
30	التآكل الكلفاني	2.6.1
30	التآكل التنقري	2.6.2
31	شقوق التآكل الأجهادي	2.6.3
32	التآكل ما بين الحبيبات	2.6.4
33	تآكل التعرية	2.6.4
35	طرق تقليل التآكل في الملحومات	2.7
35	اختيار المعدن والمعدن المالى	2.7.1
35	تحضير السطح	2.7.2
35	تصميم الملحومات	2.7.3
36	إسلوب اللحام	2.7.4
36	تغطية السطح	2.7.5
36	المعاملة الحرارية	2.7.6
36	إزالة مصدر الهيدروجين	2.7.7
36	مثبطات التآكل	2.8
38	أنواع مثبطات التآكل	2.8.1
38	المثبطات المسببة للخمول	2.8.1.1.1
38	مثبطات الطبقات المتحولة	2.8.1.1.2
38	المثبطات العضوية	2.8.1.1.3
39	كاسحات الأوكسجين	2.8.1.2
40	كاسحات الهيدروجين	2.8.1.3
40	طرق حساب معدلات التآكل	2.9
40	طريقة الغمر البسيط	2.9.1

41	الطرق الكهروكيميائية	2.9.2
43	مراقبة ورصد التآكل	2.9.3
45	البحوث السابقة	2.10
<b>الفصل الثالث: الجزء العملي</b>		
47	المقدمة	3.1
47	مرحلة تحضير وصلات اللحام	3.2
47	لحام الفولاذ الكربوني	3.2.1
48	لحام النحاس النقي	3.2.2
49	لحام الألمنيوم	3.2.3
49	مرحلة تحضير العينات لأختبارات التآكل	3.3
50	تحضير العينات	3.3.1
50	تهيئة سطوح العينات	3.3.2
50	تنظيف العينات بالمحلول الحامضي	3.3.3
52	اختبار FTIR	3.4
52	اختبارات التآكل	3.5
52	طريقة الغمر البسيط	3.5.1
53	استكمال تافل	3.5.2
54	اختبار تآكل التعرية	3.5.3
54	اختبار الخشونة	3.5.4
55	اختبار الموصلية الحرارية وقياس PH	3.5.5
55	تأثير درجة الحرارة على كفاءة المثبط	3.5.6
55	اختبار الفحص البصري	3.5.7
<b>الفصل الرابع: النتائج والمناقشة</b>		
56	المقدمة	4.1

56	نتائج إختبار FTIR	4.2
59	نتائج إختبارات التآكل	4.3
59	نتائج إختبار الغمر البسيط	4.3.1
59	الفولاذ الكربوني	4.3.1.1
89	الألمنيوم	4.3.1.2
102	النحاس	4.3.1.3
116	نتائج إختبار إستكمال تافل	4.3.2
116	الفولاذ الكربوني	4.3.2.1
123	الألمنيوم	4.3.2.2
126	النحاس	4.3.2.3
130	نتائج إختبار التعرية	4.3.3
130	الفولاذ الكربوني	4.3.3.1
132	للألمنيوم	4.3.3.2
133	النحاس	4.3.3.3
136	تأثير درجة الحرارة على كفاءة المثبط	4.3.4
137	نتائج إختبار الموصلية الحرارية وقياس PH	4.3.5
139	نتائج إختبار خشونة السطح	4.3.6
141	نتائج إختبار الفحص البصري	4.3.7
<b>الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات</b>		
145	الاستنتاجات	5.1
146	التوصيات	5.2
147	المصادر	

## قائمة المصطلحات

المصطلح	المعنى	المصطلح	المعنى
انعزال	Segregation	مستخلصات مائية	Extract Aqueous
معدل التآكل	Corrosion Rate	مثبطات عضوية	Organic Inhibitors
اللحام بالقوس الكهربائي المغمور	SAW	حز	Notch
اللحام بقوس التنكستن المحمي بالغاز الخامل	TIG	إجهادات متبقية	Residual Stress
اللحام القوس المعدني المحمي بالغاز	MIG	شق	Crack
التآكل الكلفاني	Galvanic Corrosion	لحام	Welding
التآكل التنقري	Pitting Corrosion	اللحام الغازي	Gas Welding
التآكل الأجهادي	Stress Corrosion	خط اللحام	Weld Line
التآكل ما بين الحبيبات	Intergranular Corrosion	المسامية	Porosity
التآكل التصدعي	Crevice Corrosion	زاوية التقدم	Employment Angle
التآكل بالتعرية	Erosion Corrosion	الخواص الميكانيكية	Mechanical Properties
تآكل الملحومات	Weldment Corrosion	الحدود الحبيبية	Grain Boundary
المعدن المائي	Filler Metal	اللحام بالقوس الكهربائي	Arc Welding
تصميم الملحومات	Welding Design	ثبات القوس	Arc fixity
التسخين المسبق	Preheating	لحام الحالة الصلبة	Solid State Welding
التسخين اللاحق	Post heating	الربط بالالتصاق	Adhesive Bonding
الغمر البسيط	Simple Immersing	غاز خامل	Inert Gas
التوصيل الكهربائي	Electrical Conductivity	المنطقة المتأثرة بالحرارة	HAZ
الخشونة	Roughness	المعدن الأساس	Base Metal

## الفصل الأول

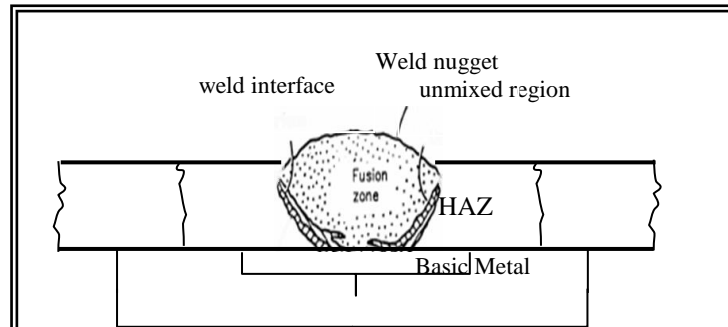
## المقدمة ومراجعة البحوث السابقة

## Introduction &amp; Literature Review

## 1.1 المقدمة Introduction

تُعرف عملية اللحام ( Welding ) بأنها عملية ربط قطعتين من المعدن بواسطة تسخينهما إلى درجة حرارة كافية لحدوث التليين أو الانصهار مع تسليط ضغط أو بدونه وباستعمال معدن مالى أو بدونه وتكون الوصلة الناتجة وصلة دائمة مع المعدن الأساس<sup>(2,1)</sup>. اقتصرت عملية اللحام سابقاً على إصلاح الأجهزة المعدنية والمعدات التالفة إلا إن التطبيقات الحديثة لأساليب اللحام والتي أحدثت تحسينات هائلة وتكاليف منخفضة وإنتاج أكثر جعلت من عملية اللحام مهمة لأغراض التصنيع والإنشاء<sup>(4,3)</sup>. ورغم التطبيقات الواسعة لعملية اللحام فإنها لا تخلو من العيوب والمشاكل، إذ إن التدرج الحراري ( Thermal gradient ) أثناء عملية اللحام يؤثر على بنية وخواص المعدن، وإعتماداً على عملية اللحام المستعملة والمعادن الملحومة فإن هناك فروقات واسعة في درجة حرارة المعدن السائل أو المنصهر وفي إنحدار منحنى التدرج الحراري للمعدن غير المنصهر. ويعتمد إنحدار التدرج الحراري على مقدار الحرارة المتولدة في أثناء عملية اللحام لكل وحدة حجم من المعدن في وحدة الزمن وعلى التوصيل الحراري لأجزاء المعدن الأساس، إن اختلاف التدرج الحراري يؤدي إلى اختلاف سرعة أو معدل التبريد ( Cooling Rate ) وهذا الاختلاف يؤدي إلى تكوين أربع مناطق في وصلة اللحام هي<sup>(5)</sup>:

- 1- منطقة اللحام ( Weld Region ) : حرارة هذه المنطقة عالية جداً والسطح يبرد بسرعة أما مركزها فيحتاج إلى فترات زمنية طويلة كي تبرد فتكون بنية السطح ناعمة Fine وتندرج للمركز الذي تكون بنيته خشنة Coarse .
- 2- المنطقة المجاورة لمنطقة اللحام أو ما تسمى بمنطقة التأثير الحراري ( Heat Affect Zone ) ( HAZ ) وتتعرض إلى نمو حبيبي نتيجة التسخين لفترات طويلة في درجات حرارة تتجاوز درجات حرارة إعادة التبلور للمعدن.
- 3- المنطقة المتأثرة بالحرارة الانتقالية ( Transition Heat Affect Zone ) ( THAZ ) وتكون مجاورة للمنطقة المتأثرة بالحرارة ( HAZ ) والتي تسخن إلى درجة حرارة إعادة التبلور أو أكثر منها بقليل.
- 4- المنطقة غير المتأثرة بالحرارة وفيها لا تحدث أية تغيرات في البنية. والشكل ( 1.1 ) يبين هذه المناطق الأربعة.



الشكل ( 1.1 ) يوضح المناطق الأربعة في الملحومات<sup>(6)</sup>

إن اختلاف هذه المناطق يسبب اختلافاً في خواصها وهذا بدوره يساعد على تعرض الوصلات الملحومة للتآكل إذ إن اختلاف التدرج الحراري ومعدلات التبريد وحدوث التمدد والتقلص للملحومات عند اللحام بسبب التسخين والانجماد تسبب توليد إجهادات في الملحومات

وتتركز هذه الأجهادات في منطقة اللحام وتعرف بالإجهادات المتبقية (Residual Stresses)، كما إن عملية تحضير وصلات اللحام من تقطيع وتحضير حافات وغيرها أو عمليات سابقة للمعدن كالسحب والدرفلة أو عند الاستعمال للمعادن والسبائك وتسليط الأحمال عليها أيضاً تخلف إجهادات في المعدن الأساس وإن هذه الإجهادات المتخلفة وعند وجود وسط تأكلي معين تسبب ما يسمى بتشققات التآكل الجهدية (Stress Corrosion Cracking). إن التأثير المترامن للإجهاد والتآكل ينتج مخاطر كافية لتلف المواد والمنشآت كما إن هذا التأثير يكون له تأثير سلبي بالغ جداً على الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties) للمعادن (9,8). يعتقد إن سبب الفشل Failure بتشققات التآكل الأجهادية تكون مناطق القطب الموجب على سطح المعدن وإن حوز التآكل تعزز إجهادات الشد (Tensile Stresses) السطحي إذ تعمل كرافعات للإجهاد وتسبب فشل أي طبقة خاملة قد تتكون، وعليه تستمر عملية التآكل ويحتمل أيضاً إن تساهم خلايا تركيز الأوكسجين في هذه العملية (11,10,9). إن التحضير غير الجيد لوصلات اللحام أو وجود الشوائب مثل الكبريت أو الفسفور في الفولاذ يكون حساساً (sensitive) بدرجة عالية لحدوث الشقوق على سطح منطقة اللحام وكذلك وجود الهيدروجين يسبب حدوث تشققات وهذه التشققات تعد عاملاً مساعداً لتآكل منطقة اللحام عند وجود وسط تأكلي معين (12,13). إن العيوب الأخرى في منطقة اللحام لها دور كبير في تآكل هذه المنطقة فمثلاً القطع السفلي الذي هو عبارة عن حز (Notch) يكون غير منتظم عند اتصال كرية اللحام بالمعدن الأساس أو في معدن اللحام المترسب فعند وجود هذا العيب مع توفر وسط معين رآكد يسبب تآكل هذه المنطقة ويسمى هذا النوع من التآكل بالتآكل الشقي أو التصدعي (Crevice Corrosion) خاصة عندما تكون هذه المنطقة مغطاة (2). كذلك تسبب الثقوب الصغيرة أو المسامية (Porosity) على سطح منطقة اللحام نوعاً من التآكل هو التآكل التنقري (Pitting Corrosion) الذي يحدث عند وجود هذه الثقوب الصغيرة مع أيونات من الكلوريدات أو البروميديات وبخاصة عند وجود وسط ساكن (6,2). إن أكثر العوامل التي تسبب التآكل في الملحومات تتمثل بأن المعدن المترسب في حوض اللحام الذي يكون مزيجاً من معدن قطب اللحام والمعدن الأساس يكون ذا تركيب كيميائي مختلف عن التركيب الكيميائي للمنطقة المجاورة لها (HAZ) والمناطق الأخرى بسبب اختلاف التركيب الكيميائي للقطب المستعمل في عملية اللحام عن التركيب الكيميائي للمعدن الأساس وهذا يسبب تكوين خلايا كلفانية وبالتالي يحدث نوع من التآكل هو التآكل الكلفاني (Galvanic Corrosion)، كما أن ترسيب بعض العناصر على الحدود الحبيبية (Grain Boundary) بعد انجماد منطقة اللحام مثل الفسفور والكبريت يسبب تآكل ما بين الحبيبات (Intergranular Corrosion) الذي يحدث في الحبيبية نفسها (17,16,15). إن الدراسات التي يقوم بها الباحثون في مجال الحماية من التآكل والتي تهدف إلى منع أو تقليل التآكل الذي تتعرض له المعادن لم تهتم بشكل كبير بحماية الملحومات من التآكل علماً بأن تآكل الملحومات يمثل مشكلة كبيرة من ناحية التآكل إذ إن معدلات التآكل تكون كبيرة جداً مقارنة مع المعادن غير الملحومة نتيجة تعرض منطقة اللحام والمنطقة المجاورة لها لأكثر من نوع من التآكل في الوقت نفسه وما يحدث من تغيرات في الخواص والبنية كما هو مذكور في أعلاه، لذا ارتأينا في هذه الدراسة البحث في هذا المجال عن طريق استعمال المثبطات (Inhibitors) التي هي عبارة عن مركبات كيميائية تتفاعل مع السطح المعدني أو مع الوسط الذي يتعرض له السطح المعدني فتكون غشاء (Film) على سطح المعدن فتحمي من التآكل بألية الامتزاز (Adsorption) (20,19,18) على السطح المعدني فتعمل على اختزال حركة وانتشار الأيونات إلى السطح المعدني وزيادة المقاومة الكهربائية (Electrical Resistance) إذ تعد طريقة الحماية من التآكل باستعمال المثبطات من أهم التقنيات لتقليل ومنع التآكل ولكن ثمة اعتبارات مهمة

يجب أخذها بنظر الاعتبار عند اختيار المثبط مثل الكلفة ( Cost )، والسمية ( Toxicity )، والتوفر ( Availability ) وعدم الإضرار بالبيئة<sup>(20,19)</sup>.

## 1.2 أهمية الدراسة A study Importance

تكتسب دراسة الحماية من التآكل أهمية كبيرة نظراً لتأثير مشاكل التآكل اقتصادياً وتأثيرها في البيئة وسلامة الإنسان، فالتآكل نزاه كثيراً في جميع المعدات والأدوات المصنوعة من المعادن وسبائكها وخاصة الأجزاء الملحومة مثل البراميل، والأوعية، والجسور والأرصفة البحرية، والإنشاءات المعمارية، ومعدات الحفر، والأفران ومراجل التسخين، والأنابيب.... وغيرها.

ونتيجة لهذه الاستعمالات يسبب الفشل بالتآكل خسائر متعددة منها :-

- 1- خسائر ناتجة عن توقف الإنتاج.
- 2- فقدان في المنتج جراء التسرب أو تلوثه.
- 3- تكاليف الإصلاح أو الصيانة.
- 4- تدني كفاءة التشغيل بسبب تراكم نواتج التآكل.
- 5- فقدان الأمن والسلامة.
- 6- تلوث البيئة.

وتمثل الخسائر الناتجة من التآكل جزءاً لا يستهان به من الناتج القومي للدول الصناعية فعلى سبيل المثال إن خسائر الولايات المتحدة الأمريكية ( طبقاً للأرقام المنشورة في عام 1995م ) تبلغ ( 300 ) بليون دولار سنوياً<sup>(19)</sup> أما في الدول النامية فلا يوجد اهتمام في هذا النوع من الدراسات مع العلم إن المتوقع أن تكون الخسائر أكبر فيها بسبب تدني أساليب الصيانة والمراقبة.

تتركز مشاكل تآكل الملحومات في العراق في المنشآت الصناعية ومنشآت استخراج البترول والتكرير ومصانع البتروكيماويات بالإضافة إلى الهياكل الأنشائية ومن البديهي إن تزايد مشاكل التآكل في هذه القطاعات نتيجة إرتفاع درجات الحرارة في فصل الصيف وهطول الأمطار في فصل الشتاء لذلك كان التآكل وما يزال ينال اهتماماً كبيراً في الأوساط العلمية والصناعية ولم يحظى تآكل الملحومات وطرق تقليله الاهتمام الكافي داخل العراق. لذلك فقد تم التركيز في البحث الحالي على استعمال مثبطات ( Inhibitors ) جديدة لحماية الملحومات من التآكل، وهذه المثبطات مستخلصة من نباتات متوفرة ورخيصة الثمن سهله التحضير وغير سامة. وقد تعرضت الدراسة إلى بحث تأثير التغيير في الأوساط التآكلية والتراكيز وكذلك درجات حرارة الوسط على كفاءة هذه المثبطات مما أدى إلى اغناء المعلومات في هذا المجال.

## 1.3 مراجعة البحوث السابقة Literature Review

- في عام 1984 درس الباحث Okorosary<sup>(53)</sup> تأثير مستخلص أوراق النباتات *DiphenylCarbazone ( DC)*, *Nypa Fruticans Wurmb ( NFW)* في تثبيط تآكل الخارصين في حامض HCl عند تراكيز مختلفة من الحامض وبدرجات حرارة مختلفة  $^{\circ}\text{C}$  ( 30 و 40 ) وقد توصل الباحث إلى أن كلا المثبتين استطاعا تقليل معدل التآكل للخارصين في حامض HCl بكفاءة تصل إلى 63.43% بالنسبة للمستخلص النباتي ( NFW )، و 40.70% بالنسبة للمستخلص ( DC ). ووجد أيضاً أن كفاءة المثبط تقل مع زيادة درجة الحرارة، عند جميع تراكيز الحامض المستعملة.
- في عام 1998 درس الباحثون *Abiola, Oforka & Ebenso*<sup>(52)</sup> تأثير عصير الليمون ( *Limon Juice* ) كمثبط عضوي طبيعي في تآكل الفولاذ المتوسط الكربون في حامض HCl وكذلك درسوا تأثير درجة الحرارة على عمل هذا المثبط بمدى يتراوح من  $^{\circ}\text{C}$  ( 30-

50)، وتوصلوا إلى أن هذه المادة تعمل كمثبط جيد للفولاذ وأن كفاءتها تزداد بزيادة تركيز المثبط، لكن كفاءة المثبط تقل بزيادة درجة الحرارة، ولم يدرس الباحثون اعلاه تأثير المثبط على تيار التآكل حيث أنهم لم يجروا اختبار تافل ولم يجروا اختبار التعرية لمعرفة مقاومة طبقة المثبط الممتازة على سطح العينة لحركة السائل وقوة التصاقها بسطح المعدن.

- في عام 2001 درس الباحث Nidhal<sup>(50)</sup> تأثير المادة العضوية (Hexamine) على تآكل الفولاذ واطىء الكربون في حامض HCl. وقد استعمل الباحث طريقة فقدان الوزن وطريقة الاستقطاب، واستنتج أن كفاءة المثبط تزداد بزيادة تركيز المثبط. ولم يجري اختباره على الملحومات والتي تكون مشاكل التآكل فيها أكبر، ولم يدرس تأثير درجة الحرارة على تركيز المثبط.
- في عام 2001 استعمل الباحثون Tuken, Yazici and Erbil<sup>(51)</sup> مادة (Nicotin Amino) العضوية كمثبطات للتآكل بأوساط من NaCl و Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> إذ أظهرت النتائج أنه يعمل كمثبط جيد في NaCl، لكنه ضعيف في Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- في عام 2004 قام الباحثان L.Larabi&Y.Harek<sup>(54)</sup> بدراسة تأثير مادة hydrazine Oxalic N-phenyl كمثبط في عملية تآكل الفولاذ المطوع في محلول حامض الهيدروكلوريك HCl وباستعمال طريقة الغمر البسيط، والاستقطاب واستقطاب المقاومة Polarization Resistance وقد وجد أن المادة المذكورة تقلل التآكل للفولاذ المطوع في محلول حامض HCl وأن كفاءة المثبط تزداد مع زيادة تركيز المادة المضافة لتصل إلى (93 %) عند تركيز (5\*10<sup>-4</sup> mol/dm<sup>3</sup>) من المثبط. أما بالنسبة لمنحنيات الاستقطاب فقد أشارت إلى أن هذه المادة ذات تأثير ثنائي على عملية التآكل (كاتودي وأنودي) وأن المثبط يمتاز على سطح الفولاذ. وكذلك بينت النتائج أن معدل التآكل يزداد بزيادة درجة الحرارة في مدى حراري بين (25-55) °C ووجد أن كفاءة المثبط تزداد بزيادة درجة الحرارة.
- في عام 2005 درست الباحثة نوال محمد<sup>(20)</sup> إمكانية استعمال المستخلص المائي لأحد أجزاء النباتات في تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في أوساط إلكتروليتيية مختلفة، إذ تم إجراء عدة اختبارات لتقييم أداء هذا المثبط منها، اختبار الغمر البسيط وطريقة الاستقطاب والفحص بمطياف الامتصاص الذري، كما تم إجراء اختبار الفحص المجهرى (Microscopic Examination) وقد تم استعمال تراكيز مختلفة من المثبط. أظهرت نتائج الاختبارات كفاءة عالية للمثبط فقد وصلت كفاءة التثبيط إلى (88.66 %) في ماء الحنفية و (78.94 %) في المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم و (98.47 %) في المحلول الحامضي لحامض الكبريتيك H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- كما تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة عمل المثبط، إذ أظهرت النتائج زيادة كفاء التثبيط بزيادة درجة الحرارة، فقد بلغت كفاءة المثبط (33 %) عند درجة حرارة (40) °C وبلغت كفاءة المثبط (90 %) عند درجة حرارة (60) °C.
- في عام 2006 درس الباحث أحمد فاضل<sup>(19)</sup> إمكانية استعمال المستخلص النباتي لأحد أجزاء النباتات في تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في أوساط إلكتروليتيية مختلفة، إذ تم إجراء عدة اختبارات لتقييم أداء هذا المثبط منها اختبار الغمر البسيط وطريقة الاستقطاب والتعرية، كما تم إجراء اختبار الفحص المجهرى (Microscopic Examination) وقد تم استعمال تراكيز مختلفة من المثبط واستعمال معادن مختلفة هي الفولاذ واطىء الكربون وسبيكة ألومنيوم ونحاس نقي. أظهرت نتائج الاختبارات كفاءة عالية للمثبط بالنسبة للفولاذ واطىء الكربون فقد وصلت كفاءة التثبيط إلى (78.13 %) في ماء الحنفية و (80.04 %) في المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم و (89.55 %) في المحلول الحامضي لحامض الكبريتيك (HNO<sub>3</sub>) و (93.1 %) في محلول حامض الهيدروكلوريك. أما بالنسبة لسبيكة الألومنيوم فقد وصلت كفاءة التثبيط

إلى ( 90.76 % ) في المحلول الملحي لكوريد الصوديوم و ( 81.33 % ) في محلول حامض الهيدروكلوريك. أما بالنسبة للنحاس النقي فقد وصلت كفاءة التثبيط إلى ( 93.2 % ) في المحلول الحامضي لحامض الكبريتيك  $HNO_3$ . إضافة إلى ذلك فقد درس ألباحث أعلاه تأثير درجة الحرارة على كفاءة عمل المثبط، إذ أظهرت النتائج زيادة كفاء التثبيط بزيادة درجة الحرارة، فقد بلغت كفاءة المثبط ( 69.77% ) عند درجة حرارة  $^{\circ}C$  ( 30 ) وبلغت كفاءة المثبط ( 72.85% ) عند درجة حرارة  $^{\circ}C$  ( 40 )، وبلغت كفاءة المثبط ( 76.31% ) عند درجة حرارة  $^{\circ}C$  ( 50 )، وبلغت كفاءة المثبط ( 77.33% ) عند درجة حرارة  $^{\circ}C$  ( 60 ) وبلغت كفاءة المثبط ( 78.42% ) عند درجة حرارة  $^{\circ}C$  ( 70 )، وبلغت كفاءة المثبط ( 81.81% ) عند درجة حرارة  $^{\circ}C$  ( 80 ).

#### 1.4 الهدف من البحث Objectives of the work

من مراجعة أبحاث أعلاه كان واضحاً ان العديد من الباحثين قد درس استخدام انواع متعددة من المثبطات والعوامل المؤثرة في عملية التثبيط ولم يتطرق الباحثون اعلاه الى تثبيط التآكل في الملحومات لما يحمله هذا الموضوع من تداخل بين الميتالورجيا من جانب والتآكل من جانب اخر، لذلك فقد تم التركيز في هذا البحث على الأهداف التالية:

- 1- تهيئة واستخلاص مثبطات مصنوعة من مواد طبيعية محلية سهلة المنال وقليلة الكلفة.
- 2- دراسة تأثير هذه المثبطات على سلوك التآكل لمناطق مختلفة من الملحومات ( منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة ) في أوساط تأكية مختلفة.
- 3- دراسة تأثير العوامل المؤثرة في عملية تثبيط التآكل كدرجة الحرارة، نوع وسط التآكل وتركيز المثبط، كذلك تمت ايضا دراسة تأثير المعاملة الحرارية للمحومات على استجابتها للمثبط.
- 4- مقارنة كفاءة المثبط قيد الدراسة مع كفاءة المثبط المستعمل من قبل الباحث احمد فاضل من خلال تمريره بجميع التجارب التي اجريت على المثبط قيد البحث<sup>(19)</sup>.

## الفصل الثاني الجانب النظري

### Theoretical Background

#### 2.1 مقدمة عامة عن اللحام Introduction

إن التطور الحقيقي لتكنولوجيا اللحام ( Welding Technology ) بدأ في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، عندما توفرت الطاقة الكهربائية على نطاق واسع. وأكثر الاكتشافات أهمية مما قاد إلى عمليات اللحام الجديدة مثل لحام القوس الكربوني ولحام الأوكسي - أستيلين ( Oxy-Astelin Welding ) وعمليات لحام المقاومة الكهربائية كانت بين عام ( 1880 م ) وعام ( 1900 م )، ثم أنتجت وبحود عام ( 1910 م ) أقطاب اللحام ( Welding Electrode ) المغطاة المستعملة في لحام القوس الكهربائي المعدني المغلف ( Shielded Metal Arc Welding )، وقد تم استعمال هذه التقنية لأول مرة خلال الحرب العالمية الأولى في إنشاء السفن، وكان استعمالها لأغراض التصليح فقط، وأول سفينة اعتمد إنشاؤها على عمليات اللحام بصورة كاملة كان في عام ( 1921 م )، تزايد بعد ذلك استعمال عمليات اللحام بشكل كبير في عام ( 1930 م )، إذ شهد العالم تطوراً غير اعتيادي للحام منذ ذلك التاريخ<sup>(4)</sup>، فكان النمو أسرع بكثير من النمو الصناعي العام. وبسبب الحاجة الملحة إلى عدد كبير من السفن في الحرب العالمية الثانية، شرعت الولايات الأمريكية المتحدة بوضع برنامجاً واسعاً وكبيراً لإنتاج السفن الملحومة بدل السفن المبرشمة ولأول مرة في التاريخ، ومنذ ذلك التاريخ برزت تقنية لحام صفائح الفولاذ بشكل واضح، وتطورت خلال السنوات الماضية مجموعة من طرق اللحام الجديدة مثل لحام القوس الكهربائي المحمي بالغاز الخامل، واللحام بالموجات فوق الصوتية، واللحام الاحتكاكي، واللحام بالحزمة الألكترونية، ولحام الليزر وغيرها. ويمكن تصنيف عمليات اللحام بعدة طرق، فعلى سبيل المثال، يمكن تصنيفها كما يأتي :

1- المصدر المستعمل في توليد الحرارة ( شعلة، قوس، ... الخ ).  
2- نوع التفاعل الحاصل، سائل مع السائل ( اللحام الانصهاري )، أو صلب مع صلب ( لحام الحالة الصلبة )<sup>(2)</sup>. إلا أن التصنيف الحديث لعمليات الربط هو كما يأتي:

**2.1.1 اللحام الانصهاري ( Fusion Welding )** وفيه تسخن الأجزاء المراد ربطها حتى تنصهر سوية، ولا تحتاج إلى أي ضغط لإتمام اللحام، مثل لحام القوس الكهربائي، ولحام الأوكسي - أستيلين، ولحام الحزمة الألكترونية ولحام الليزر.

**2.1.2 لحام المقاومة الكهربائية ( Electrical Resistance Welding )** ويتضمن تسخين الأجزاء المراد ربطها عند مرور التيار الكهربائي خلالها أولاً، ثم تسليط ضغط عليها مثل لحام النقطة .

**2.1.3 لحام الحالة الصلبة ( Solid State Welding )** وفيه يسلب الضغط وبدون حدوث انصهار للمعدن المراد ربطه ما عدا طبقة رقيقة جداً متاخمة للسطح المربوط، مثل اللحام الاحتكاكي.

**2.1.4 ربط الحالة السائلة - الصلبة ( Liquid-Solid State Welding )** وفيه تسخن الأجزاء المراد ربطها إلى درجة حرارة أقل من درجة انصهارها. ثم يضاف معدن منصهر مختلف لتكوين ربط صلب بعد التبريد. مثل لحام المونة، ولحام القصدير.

**2.1.5 الربط بالالتصاق ( Adhesive Bonding )** وفيه تتكون الوصلة نتيجة التجاذب الجزيئي بين السطوح المراد ربطها، ثم الالتصاق، مثل الأسمنت والأيبوكسي.

ومن الجدير بالملاحظة أن مصطلح اللحام يطلق فقط على العمليات المذكورة من ( 2.1.1 ) إلى ( 2.1.3 ). وتعد طرق لحام القوس الكهربائي أكثر طرق اللحام شيوعاً و انتشاراً في العالم، إذ تشغل بحود ( 70% ) من استعمالات اللحام في الوقت الحاضر . كما تعد طريقة اللحام بالقوس الكهربائي المعدني المغلف أكثر طرق لحام القوس الكهربائي انتشاراً<sup>(2)</sup> .

#### 2.2 طرق اللحام Methods Of Welding

## 2.2.1 اللحام الغازي Gas Welding

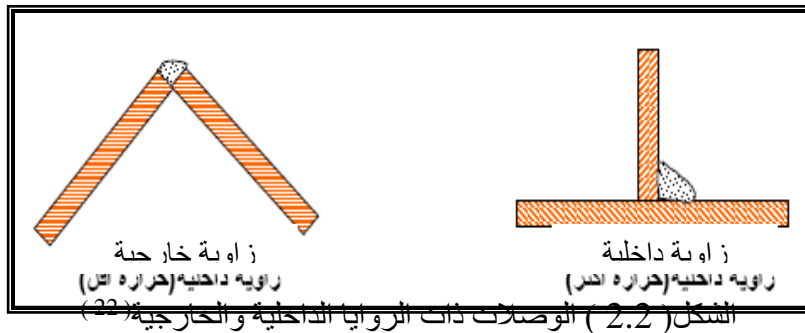
يشمل كافة العمليات التي تستعمل فيها الغازات Gases على شكل مخلوط للحصول على شعلة ساخنة كافية لصهر طرفي وصلي اللحام والسلك المستعمل كي يتم وصل المعادن مع بعضها. إن الغازات الشائعة الاستعمال كثيرة منها الأستلين  $C_2H_2$ ، والهيدروجين  $H_2$  والغاز الطبيعي الذي يحتوي على حوالي ( 94% ) ميثان  $CH_4$ ... وغيرها. وكل منها يعطي درجة حرارية معينة وكما هو موضح في الجدول (1)<sup>(22,4)</sup>.

الجدول (1) درجة حرارة غازات الوقود الشائعة الاستعمال<sup>(4)</sup>

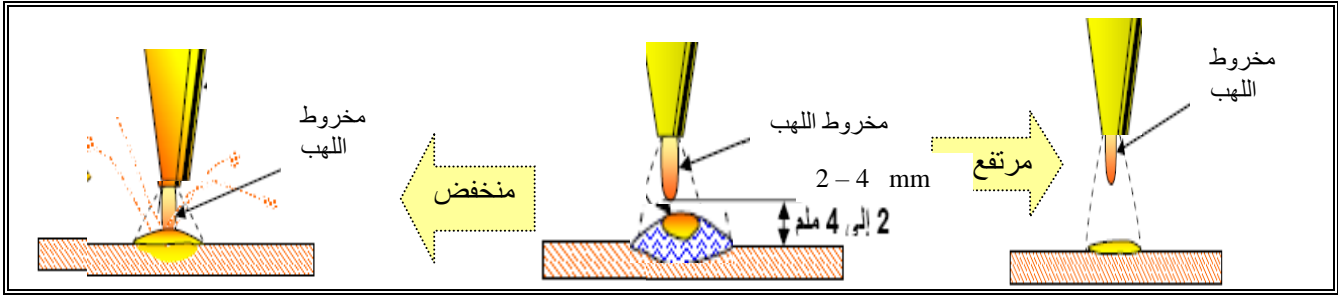
الغاز بوجود $O_2$	التركيب الكيميائي	درجة حرارة الشعلة الناتجة $^{\circ}C$
الأستلين	$C_2H_2$	3200
الهيدروجين	$H_2$	3000
البروبان	$C_3H_8$	2940
البيوتان	$C_4H_{10}$	3000
الغاز الطبيعي	$CH_4+H_2$	2790

ومعدات اللحام الغازي هي اسطوانة الأوكسجين، واسطوانة الغاز، ومنظمات الغاز، وخرطوم الغاز ومشعل اللحام.

ويمكن التحكم بمواصفات أو خواص الملحومات بهذه الطريقة بالتركيز على أربع نقاط مهمة هي:  
 أ- كمية الحرارة الناتجة من الشعلة ويجب أن تكون مناسبة للمعدن لحصول انصهار جيد بموضع اللحام إذ تزداد كمية الحرارة المطلوبة بزيادة سمك المعدن وكذلك شكل الوصلة فمثلاً إذا كانت الوصلة ذات زاوية داخلية احتجنا إلى حرارة أكبر مما لو كانت الزاوية خارجية وكما هو موضح بالشكل (2.2)<sup>(24,23)</sup>.

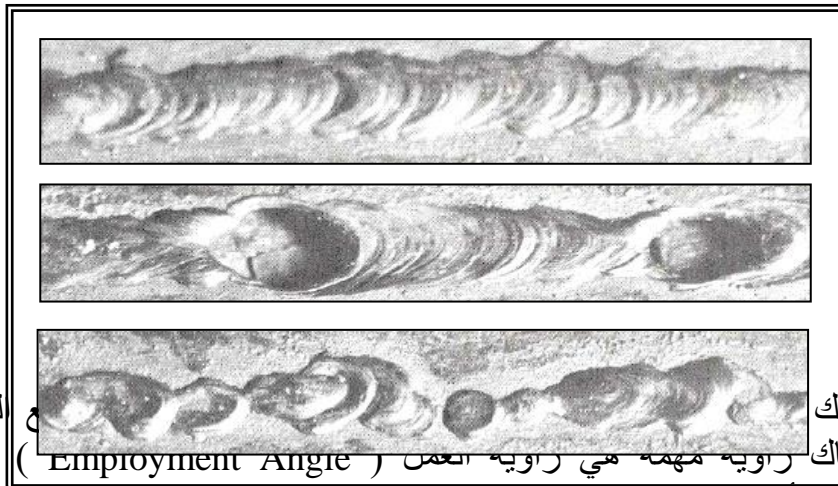


ب- المسافة بين الشعلة ومنطقة انصهار المعدن الأساس وتغير هذه المسافة بحسب سمك وصلة اللحام وحجمها، إذ إن المسافة الكبيرة تمدد وتنتشر الحرارة على المعدن والمسافة القريبة جداً تسبب ارتفاع حرارة المشعل وارتداد اللهب والتصاق ذرات المعدن على فوهة الرأس فيسبب ذلك تناثر المعدن المنصهر خارج منطقة الانصهار كما في الشكل (2.3)<sup>(22,4,3)</sup>.

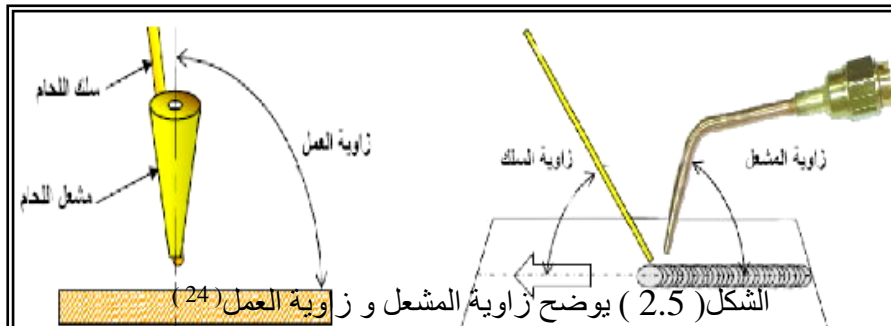


الشكل ( 2.3 ) المسافة بين الشعلة ومنطقة انصهار المعدن الأساس (22)

ج- حركة المشعل ( سرعة الانتقال ) وهي حركة أو سرعة سير المشعل فوق وصلي اللحام أثناء عملية اللحام فإذا كانت الحركة صحيحة والسرعة مناسبة حصلنا على انصهار واندماج جيد لمعدن السلك المائي ( Filler Metal ) مع المعدن الأساس ( Base Metal ) وبالتالي تنتج درزات لحام جيدة ومتناسقة التموج، أما إذا كانت السرعة عالية فستؤدي إلى نقص في كمية المعدن المترسب من السلك وهذا ينتج درزات لحام ضعيفة وقليلة الحجم مع تموجات غير منتظمة وكذلك إذا كانت السرعة بطيئة فستؤدي إلى زيادة المعدن المترسب فينتج درزات عريضة ومرتفعة بالإضافة إلى حدوث ثقب نافذة خاصة عند لحام المعادن الرقيقة (25,22)، كما هو موضح في الشكل ( 2.4 ).

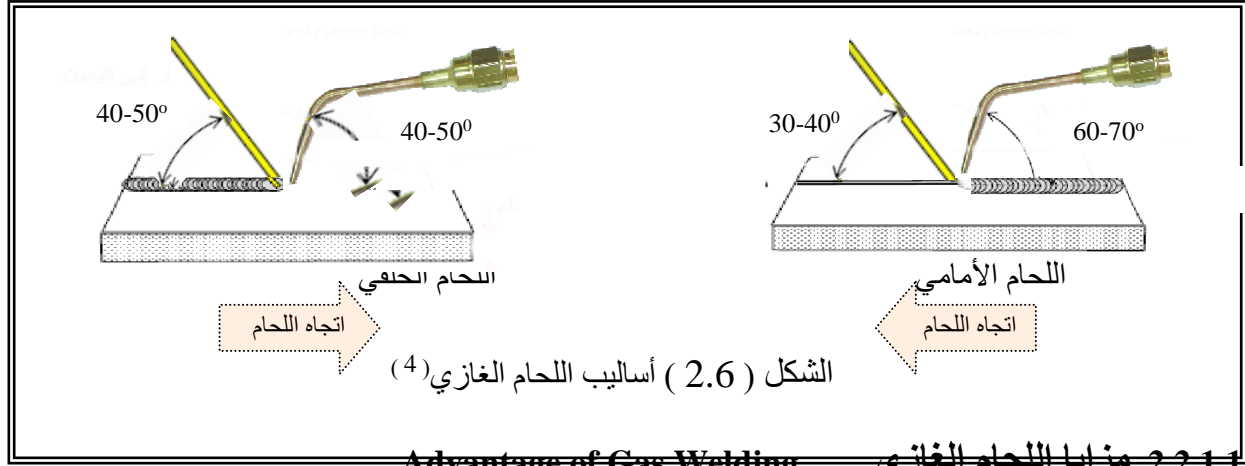


د- زاوية المشعل وسلك للوصلة الناتجة، وهناك زاوية مهمة هي زاوية العمل ( Employment Angle ) وتمثل الزاوية المحصورة بين محور رأس اللحام ( المشعل ) وبين المحاور العرضية للوصلة وتختلف هذه الزوايا باختلاف شكل الوصلة واختلاف وضعية اللحام والفائدة العملية لها هي تركيز الحرارة على وصلة اللحام وسلك اللحام بشكل صحيح والشكل ( 2.5 ). يوضح زاوية المشعل وزاوية العمل (24)



تتم عملية اللحام في اللحام الغازي بإسلوبين الأول يتحرك فيه مشعل اللحام خلف سلك اللحام في اتجاه اللحام ويسمى هذا الإسلوب باللحام التقدمي أو الأمامي ( Progressive Welding ) ويكون حجم المعدن المنصهر عند وصلة اللحام صغيراً، فنتج عنه وصلة ناعمة وتستعمل هذه الطريقة في لحام الألواح المعدنية الرقيقة التي يقل سمكها عن ( 4 mm ). ومن مزاياه سرعة توزيع الحرارة، وعدم تسخين اللوح

المعدني أكثر من اللازم. لذا فإنه يصلح في لحام الألمنيوم، والأسلوب الثاني يتحرك فيه مشعل اللحام أمام سلك اللحام باتجاه اللحام وتكون حركة المشعل في اتجاه مستقيم وحركة سلك اللحام في اتجاه دائري وهذا الأسلوب يعطي سرعة لحام أعلى وبقاء درزة لحام ساخنة وأينة لفترة طويلة وتستخدم في لحام الألواح المعدنية التي يزيد سمكها على ( 4 mm )، ويسمى اللحام الخلفي ( Retrogressive Welding ) والشكل ( 2.6 ) يوضح مواصفات الأسلوبين.<sup>(4,3)</sup>



#### Advantage of Gas Welding

#### 2.2.1.1 مزايا اللحام الغازي

- يعد أكثر أنواع اللحام تنوعاً بالتطبيق، إذ يمكن استعماله في مدى واسع من أعمال الصيانة والتصنيع.
- يستطيع عامل اللحام السيطرة على درجة حرارة المعدن في منطقة اللحام.
- معدلات التسخين والتبريد بطيئة نسبياً.
- يستطيع عامل اللحام السيطرة على معدلات الترسيب ( Deposition Rates ) للمعدن المائي لأن مصدر الحرارة منفصل عن مصدر المعدن المائي، والحرارة يمكن تسليطها على المعدن الأساس أو المعدن المائي<sup>(2)</sup>.
- معدات اللحام الغازي متعددة الاستعمال ورخيصة الثمن وقابلة للنقل من مكان إلى آخر بالإضافة إلى أنه يمكن استعمالها في عمليات التسخين الأولي ( Preheating ) والتسخين اللاحق ( Post heating )، كما يمكن استعمالها كوسيلة قطع بالأوكسجين.
- كلفة صيانة معداتها منخفضة مقارنةً مع بعض طرق اللحام الأخرى<sup>(4)</sup>.

#### 2.2.1.2 عيوب اللحام الغازي Disadvantages of Gas Welding

- تعد عملية لحام المقاطع السمكة بهذه الطريقة غير اقتصادية.
- تكون درجة حرارة الشعلة أقل من درجة حرارة القوس الكهربائي فتستغرق شعلة الغاز فترة زمنية أطول مما هي عليه في لحام القوس الكهربائي، وأن التسخين المطول لوصلة اللحام ينتج مساحة متأثرة بالحرارة أكبر. وهذا يؤدي غالباً إلى زيادة النمو الحبيبي وبالتالي زيادة التشوهات وإلى فقدان مقاومة المعدن للتآكل<sup>(22,2)</sup>.
- لا يمكن استعمال اللحام الغازي في لحام المعادن الحرارية ( Refractory Metals ) مثل التنجستن.
- غازات الأوكسجين والأسنتلين مكلفة نوعاً ما.
- التغطية الناتجة من مساعدات الصهر في اللحام الغازي ليست بكفاءة تغطية أو غلاف الغاز الخامل المستعمل في طرق اللحام الأخرى التي تستعمل غازات خاملة مثل لحام TIG و لحام MIG<sup>(24,2)</sup>.

### 2.2.1.3 تطبيقات اللحام الغازي Applications of Gas Welding

- ربط المعادن الرقيقة.
- ربط معظم المعادن الحديدية وغير الحديدية مثل الصلب الكربوني والصلب السبائكي وحديد الزهر والألمنيوم والنحاس والنيكل والمغنيسيوم وسبائكها.
- ربط المعادن التي تؤدي درجات الحرارة العالية جداً أو التسخين والتبريد السريعين لها إلى حصول تغيرات ضارة أو غير مرغوب فيها في المعدن.
- ربط المعادن التي تؤدي درجات الحرارة العالية جداً فيها إلى تطاير بعض العناصر في المعدن إلى المحيط الخارجي.
- في صناعة السيارات والطائرات، وفي قطع المعادن كالصفائح والأنابيب وكذلك قطع الأشكال الهندسية المختلفة (4,2).

### 2.2.2 لحام القوس الكهربائي Arc Welding

ظهرت فكرة استعمال القوس الكهربائي في عمليات اللحام في نهاية عام 1881 م وتم إختراع اللحام بالقوس الكهربائي باستعمال قطب من الكربون من قبل العالم برناردوس ( Bernardos ) وكان في عام 1886 م لكن وجد أنه أثناء اللحام ينتج خط لحام ( Weld Line ) فيه نسبة كربون عالية مما يؤدي إلى كسر خط اللحام. ثم جرت محاولات من قبل علماء على قطب معدني فنجح في ذلك العالم الروسي كوفن ( Kovin ) في عام 1889 م (27,3)

يحدث القوس الكهربائي عند البدء باللحام عند ملامسة قطب اللحام المعدن الأساس فتتولد حرارة عالية كافية لصهر المعدن، أما معدات اللحام بالقوس الكهربائي فتشمل ماكينة اللحام التي تعمل باستعمال تيار متناوب ( AC ) أو تيار مستمر ( DC )، ماسك قطب اللحام، ماسك أرضي، كابلات و طاولات (27,26).

ثمة أمور يجب مراعاتها للحصول على ملحومات جيدة في هذا النوع من اللحام أهمها:

أ- إشعال القوس ويتم بملامسة طرف قطب اللحام مع سطح الشغلة ثم يسحب إلى الأعلى لمسافة قصيرة لا تتجاوز المسافة اللازمة لإبقاء القوس التي تساوي قطر قطب اللحام وتشبه هذه الحركة إشعال عود الثقاب، وبعد إشعال القوس يجب أن يكون القوس قصيراً جداً في أثناء اللحام لأن القوس الطويل ينتج عنه لحام ضعيف لوصلة اللحام (5,1).

ب- استقرار القوس ( Arc Fixity ) إذ يتم استمرار القوس واستقراره بعد إشعاله وذلك بتحريك قطب اللحام حركة تقدمية مستمرة ومنتظمة في اتجاه سير اللحام بما يناسب الترسيب ( Precipitation ) المنتظم لمعدن القطب على الشغلة والوصول إلى أفضل نتائج في عمليات اللحام بالقوس الكهربائي ويجب أن يكون القوس مستقراً أو متزناً وثابتاً ليتمكن إنتاج ملحومات ناعمة وجيدة، ومن العوامل المهمة التي تؤثر على استقرار القوس طبيعة الدائرة التي تغذي التيار ونوعية قطب اللحام والأداء الخاطئ لعملية اللحام (28,1).

ج- زوايا اللحام إن التحكم في ميل القطب على سطح الشغلة بزوايا معينة في أثناء استمرار عملية اللحام مهم جداً إذ إن ذلك له تأثير كبير في تكوين وتحديد حجم وشكل درزات اللحام بالإضافة إلى ترسيبها بالمكان الصحيح في الشغلة وخاصة في اللحام الزاوي ( تراكبي، زوايا داخلية ). وعموماً توجد زاويتان لأقطاب اللحام أحدهما هي زاوية التقدم ( Progress Angle ) وهي زاوية ميل القطب عن المحور الرأسي وتتراوح بين  $0^{\circ}$  ( 70-80 ) عن سطح الشغلة في اتجاه سير اللحام والزوايا الأخرى تسمى زاوية العمل ( Employment Angle ) أو الزاوية الجانبية، إن استعمال زوايا غير صحيحة قد يسبب حدوث القطع السفلي أو قد يؤدي إلى انحراف القوس الكهربائي (27,24).

### 2.2.2.1 طرق لحام القوس الكهربائي Methods of Arc Welding

يشمل لحام القوس الكهربائي مجموعة من العمليات التي يتم الربط فيها بواسطة التسخين بالقوس الكهربائي وأهم هذه الطرق هي:

### 2.2.2.1.1 لحام القوس الكربوني Carbon Arc Welding

يتكون القوس الكهربائي بين قطبين أو بين قطب من الكربون والأجزاء المراد لحامها وإذا كانت منطقة اللحام تتطلب معدناً مائلاً فإنه يمكن استعمال قطب معدني لهذا الغرض وتستعمل عدد من المواد لعزل وتغطية القوس عن الجو المحيط على هيئة مسحوق أو مواد مساعدة للصهر ( Flux ) أو عجينة من مواد كيميائية لها صفة الاختزال<sup>(22,4)</sup>.

يمكن استعمال تيار متناوب أو مستمر في هذا النوع من اللحام وفي حالة استعمال تيار مستمر نجد أن القطب الموجب يتآكل بسرعة أكبر من القطب السالب نتيجة تكوّن كمية أكبر من الحرارة عند القطب الموجب، أما في التيار المتناوب فإن القطبين يتآكلان بالمعدل نفسه، ومن عيوب القوس الكربوني ازدياد نسبة الكربون في وصلة اللحام وخاصةً إذا كان المعدن الأساس من الفولاذ وينتج عن ذلك نقص وضعف وصلة اللحام<sup>(22)</sup>.

#### 2.2.2.1.1.1 مزايا اللحام بالقوس الكربوني Advantages of Carbon Arc Weld

- يمكن التحكم بالحرارة الداخلة للشغلة بسهولة عن طريق التحكم بطول القوس.
- يمكن استعمال هذه الطريقة في اللحام بسهولة، كما يمكن اكتساب مهارة جيدة في اللحام خلال فترة قصيرة.
- كلفة اللحام الإجمالية أقل مقارنةً بعمليات اللحام الأخرى.
- معداتها المطلوبة بسيطة ويمكن توفرها بسهولة.

#### 2.2.2.1.1.2 عيوب اللحام بالقوس الكربوني Disadvantages of Carbon Arc Weld

- من المحتمل أن ينتقل الكربون من القطب إلى معدن اللحام وهذا يؤدي إلى راسب لحام أصلد عند لحام المواد الحديدية.
- في حالة لحام الزوايا والأماكن الضيقة يحدث دفع القوس ( Arc Blow )، وهذا يعطي لحاماً سيئاً مع فجوات غازية ومسامية.
- المعدن المائي منفصل لذا تكون عملية اللحام بطيئة<sup>(22,1)</sup>.

#### 2.2.2.1.1.3 تطبيقات اللحام بالقوس الكربوني Applications Of Carbon Arc Weld

- يمكن استعمالها في لحام الصلب والألمنيوم والنيكل والنحاس وعدد من السبائك الأخرى.
- يمكن استعمالها لتصليح المسبوكات<sup>(4)</sup>.

### 2.2.4 لحام المونة Brazing

يستعمل لحام المونة في عمليات التوصيل الدائمة للقطع الخفيفة مثل وصل قطعتين من النحاس ولا يحتاج لحام المونة إلى درجة حرارة عالية جداً ويجب أن تكون هناك ثغرة هوائية بسيطة بين الوصلتين المراد لحامهما لتسمح بدخول المعدن المنصهر بين القطعتين ليحصل التماسك التام بينهما، ويستعمل لحام المونة في لحام الأجزاء المعقدة الشكل والصغيرة الحجم ويمكن لحام المعادن غير المتشابهة مثل البراص مع الفولاذ والنحاس مع الفولاذ المقاوم للصدأ. وللحام الجيد شروط عدة كما يأتي:-

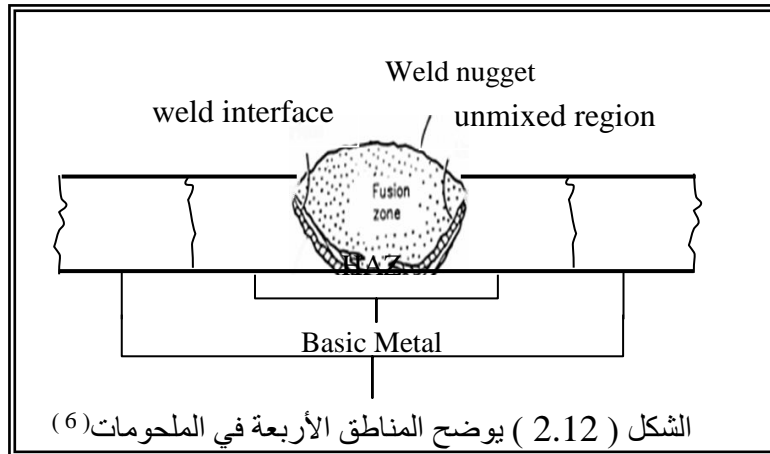
1- يجب أن تكون أسطح المعادن المطلوب لحامها خالية من الشوائب، إذ تعوق المواد الدهنية وطبقات الأوكسيد اتصال سبيكة اللحام بأسطح المعدن.

2- يساعد التسخين على تكوين الأكاسيد، ويجب أن تذيب مساعدات الصهر أو أكسيد المعدن المتكون وأن يمنع إعادة تكونها في أثناء التسخين.

3- يجب أن تصل درجة حرارة الشغلة وسبيكة اللحام في منطقة اللحام إلى درجة حرارة التشغيل اللازمة. وتتوقف درجة الحرارة على النسب الكيميائية لتركيب سبيكة اللحام<sup>(36,4,1)</sup>.

## 2.4 ميتالورجيا اللحام Welding Metallurgy

ثمة ميزات أو ملامح في البنية المجهرية يمكن عن طريقها فهم التآكل في الملحومات. وأهم هذه الملامح اختلاف المكونات المجهرية، واختلاف البنية في أربعة مناطق من الملحومات هي: منطقة الانصهار ( Fusion Region )، والمنطقة غير الممتزجة ( Unmixed Region )، والمنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ والمنطقة غير المتأثرة ( Unaffected Region ) التي تسمى منطقة المعدن الأساس ( Base Metal Region ) وهذه المناطق موضحة في الشكل ( 2.12 ) (4,1).



إن المنطقة غير الممتزجة هي جزء من المنطقة المنصهرة والمنطقة المتأثرة بالحرارة إذ تنجم بسرعة وبنيتها تكون مشابهة لبنية المعدن الأساس. إن هذه المناطق قد لا تظهر جميعها في الملحومات وهذا يعتمد على نوع المعدن وطريقة اللحام المستعملة، فمثلاً لا تظهر المنطقة غير الممتزجة بدون استعمال معدن مائل في طريقة اللحام الغازي. ومنطقة الانصهار عبارة عن مزيج من المعدن الأساس والمعدن المائل فتكون هذه المنطقة ذات تركيب كيميائي يختلف عن التركيب الكيميائي للمعدن الأساس، إن هذا الاختلاف يسبب تكون خلايا كلفانية مما يسبب التآكل في هذه المنطقة. كما أن منطقة الانصهار نفسها تعاني من تكون خلايا كلفانية مجهرية بسبب الانعزال ( Segregation ) لبعض العناصر أثناء الانجماد. والمنطقة المتأثرة بالحرارة تعاني بعض التغيرات في الحالة الصلبة أي بدون أن تنصهر. وإن هذه التغيرات تؤثر في مقاومة التآكل لهذه المنطقة، إذ يحدث تغير في حجم البنية بحسب البعد عن منطقة الانصهار. وتتكون منطقتان ذواتا بنى مختلفة الحجم الحبيبي ( القريبة من منطقة الانصهار تكون ذات حجوم حبيبية كبيرة والمنطقة الأبعد تكون ذات حجوم حبيبي صغيرة ). وهذا الاختلاف بالحجم الحبيبي يسبب تشققاً في هذه المنطقة وهذه التشققات يمكن أن تحدث في منطقة اللحام نتيجة التجمد السريع للسطح الملامس للهواء. وإن هذه التشققات في الحالتين تتأثر بشكل كبير بوجود الهيدروجين الذي يسرع من توسعها. أما المنطقة الأخيرة وهي المنطقة غير المتأثرة بالحرارة أو منطقة المعدن الأساس، فلا يحدث فيها أية تغيرات ميتالورجية (11).

عند تمدد وتقلص المعدن الملحوم تتغير بنية المعدن بسبب تغير درجة الحرارة يحدث عادةً تجمع الذرات والتحول من أحد أنواع النسق البلوري إلى نوع آخر فيزداد الحجم أو ينقص وهذا يسبب تولد إجهادات داخلية كبيرة تؤدي غالباً إلى تشكيل الشقوق (11,4).

### 2.4.1 الفولاذ الكربوني

يتعرض الفولاذ الكربوني إلى تحولات طورية نتيجة التبريد والتسخين والنتاج من عملية اللحام وتكون بنية منطقة اللحام بعد التبريد عبارة عن بلورات طويلة كبيرة الحجم، أما المنطقة المتأثرة بالحرارة تتكون من بنية كبيرة البلورات من الفرايت والبرلايت (  $\alpha + p$  ) تكونت نتيجة تبريد الأوستنايت (  $\gamma$  ) من درجات حرارية تتجاوز (  $A_3$  ) بكثير. أما المنطقة الأخرى وهي المنطقة المتأثرة بالحرارة الانتقالية

فتتكون من عدة مناطق الأولى والمجاورة للمنطقة المتأثرة بالحرارة مباشرةً تتكون من بلورات صغيرة من  $(\alpha + p)$  تكونت نتيجة التبريد من درجات حرارية فوق  $(A_3)$  مباشرةً، أما المنطقة المجاورة للمنطقة الأولى من المنطقة المتأثرة بالحرارة الانتقالية تتكون من بنيتها من المارتنسايت والفرايت  $(\alpha + M)$  تكونت نتيجة التبريد السريع من درجات حرارية بين  $(A_1)$  و  $(A_3)$ . أما المنطقة البعيدة فيحدث فيها إعادة تبلور ونمو حبيبي اعتماداً على درجة الحرارة التي تصل إليها. أما المنطقة الغير متأثرة بالحرارة فلا يحدث أي تغيير بالخواص والبنية.

#### 2.4.2 الألمنيوم وسبائكه

السيبكية المستخدمة في البحث الحالي هي سيبكية  $(Al - Si)$  وهي من السبائك القابلة للأصلاد بالتشكيل على البارد وعند لحام هذه السيبكية تكون منطقة اللحام ذات بنية مسبوكة. أما المنطقة المتأثرة بالحرارة فتتعرض لإعادة التبلور والنمو حبيبي وتفقد خواصها المكتسبة نتيجة التشكيل على البارد. أما المنطقة الغير متأثرة بالحرارة فلا تتغير خواصها أو بنيتها.

#### 2.5 قابلية لحام المعادن والسبائك Weldability of Metals and Alloys

تُعرّف قابلية اللحام بأنها قابلية المعدن أو السيبكية على اللحام تحت ظروف التصنيع المختلفة، فنتج بنية ملحومة ذات خواص مناسبة لظروف الاستعمال الطويلة<sup>(68)</sup>. وثمة تغيرات فيزيائية وميتالورجية وكيميائية تحدث خلال دورة التسخين التي تصاحب عملية اللحام، وفي حالة كون الخواص الفيزيائية والكيميائية والميتالورجية للمعدن غير مرغوب فيها بما يخص قابلية لحام هذا المعدن فإن من الضروري تصحيح هذه الخواص وذلك باستعمال محيط حامٍ مناسب أو مادة مساعدة على الصهر مناسبة أو معدن مائل مناسب أو أسلوب لحام مناسب. وسيتم في هذه الفقرة التطرق إلى قابلية لحام المعادن والسبائك المستعملة في البحث الحالي<sup>(4,2)</sup>.

#### 2.5.1 الفولاذ الكربوني Low Carbon Steel

يمكن لحام الفولاذ الكربون بنجاح بواسطة كافة أساليب اللحام الشائعة والملحومات الناتجة تمتاز بمواصفات عالية جداً وأهم الطرق المستعملة في لحام الفولاذ المتوسط الكربون هي:

- 1- اللحام الغازي: وتستهمل شعلة الأوكسي-أستلين لأن بقية أنواع الغازات الأخرى المستعملة في هذا النوع من اللحام لا تعطي كميات كافية من الحرارة.
- 2- اللحام بالقوس المعدني المحمي: يمكن لحام الفولاذ المتوسط الكربون بهذه الطريقة إذا كان بالإمكان ضمان الاختراق الملائم والانصهار الجيد استناداً إلى سمك الملحومات.
- 3- اللحام بالقوس المغمور: ثمة صعوبات تواجه هذه الطريقة في لحام الفولاذ المتوسط الكربون لأن الجزء الأعظم من المعدن المنصهر يتكون من المعدن الأساس وبذلك فإن الخواص الفيزيائية لمنطقة اللحام تقارب خواص المعدن الأساس.
- 4- اللحام بالقوس الكربوني: يجب أن تستعمل مادة مساعدة على الصهر أو استعمال محيط حامٍ لأن عدم استعمالها يسبب تقصف منطقة اللحام.
- 5- لحام المقاومة: يمكن استعمال جميع أساليب لحام المقاومة للفولاذ المتوسط الكربون<sup>(27,4,1)</sup>.

#### 2.5.2 سبائك الألمنيوم-سليكون-مغنيسيوم Al-Si-Mg Alloys

تعامل هذه السبائك عادةً حرارياً لتحسين الخواص الميكانيكية لذا فإن حرارة اللحام قد تؤدي إلى خفض هذه الخواص. بالإمكان إنتاج ملحومات خالية من العيوب وذات مقاومة مقبولة في هذه السبائك بواسطة اللحام الغازي، إلا أن إعادة المعاملة الحرارية ضرورية بعد اللحام لتحسين الخواص الميكانيكية. يستعمل لحام المقاومة بأنواعه وبكثرة للحام هذه السبائك، إذ يمكن تحقيق مقاومة عالية وتكون المقاومة ضد التآكل في منطقة اللحام قريبة للمعدن الأساس. ويمكن استعمال لحام القوس الكربوني ولحام المونة في لحام هذه السبائك.

#### 2.5.3 النحاس Copper

يمكن لحام النحاس بعدة طرق أهمها:

- 1- اللحام الغازي: تواجه ملحومات النحاس مشكلة التقصف الهيدروجيني ويمكن الحصول على أفضل أنواع الملحومات للنحاس باستعمال معدن مالى مختزل بالسليكون. ويفضل استعمال شعلة مؤكسدة قليلاً لتكوين طبقة الأوكسيد التي تحمي المعدن المنصهر.
- 2- اللحام بالقوس المعدني المغمور: ملحومات النحاس الملحومة بهذه الطريقة تعاني من المسامية المجهرية وافنقارها إلى المطيلية، ويمكن التقليل من هذه المشاكل باستعمال أقطاب مغطاة بسبائك برونزات الألمنيوم ويفضل التسخين الأولي بحوالي  $^{\circ}\text{C}$  ( 430-540 ) بسبب ارتفاع التوصيل الحراري للنحاس.
- 3- اللحام بالقوس المعدني المحمي بالغاز الخامل: يكون اللحام بهذا الأسلوب مصحوباً بشيء من المسامية ويفضل التسخين الأولي بدرجات حرارية  $^{\circ}\text{C}$  ( 200-215 ).
- 4- اللحام بالقوس الكربوني: يفضل استعمال سلك لحام من النحاس - سليكون لهذا النوع من اللحام إذ إن سرعة اللحام البطيئة والمستعملة مع هذا النوع من الأسلاك يساعد على اختزال كميات كبيرة من النحاس المتأكسد الذي يسبب التقصف.
- 5- لحام المونة: يمكن لحام النحاس بسهولة بهذا الأسلوب دون فقدان المقاومة التي قد ينتج عنها التقصف بسبب التأكسد باستعمال معدن مالى من سبائك (النحاس- فسفور ) أو (نحاس-فسفور-فضة ) دون الحاجة إلى مساعدات الصهر، لكن عند استعمال مساعدات الصهر تنتج منطقة لحام ناعمة ذات مظهر حسي (24,22).

## 2.6 تآكل الملحومات Welding Corrosion

يظهر هذا الفشل في منطقة اللحام ( Weld Region ) والمنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ والمعدن الأساس ( Base Metal )، وأكثر هذه المناطق عرضة للتآكل هي منطقة اللحام الناتجة من إنجماد المعدن الأساس مع المعدن المالى، وهما غالباً ما يكونان مختلفين بالتركيب الكيميائي لذا يمكن أن ينجز اللحام بعدم استعمال معدن مالى لتقليل معدلات التآكل في هذه المنطقة، بالإضافة إلى ذلك فإن ثمة عوامل أخرى تؤثر في مقاومة تآكل الملحومات منها تصميم الملحومات ( Welding Design )، وطريقة اللحام، والرطوبة، وطبقة الأوكسيد المتكونة، والخبث، والمسامية، والتشققات، والإجهادات المتبقية، والاختيار الخاطى للمعدن المالى والأنهاء السطحي (12,36).

إن الملحومات يمكن أن تتعرض إلى جميع أنواع التآكل المعروفة ( ينظر للملحق (1) ) لكنها تتعرض بشكل كبير إلى أنواع خاصة مثل التآكل الكلفاني، التنقري، الإجهادي والتآكل ما بين الحبيبات. إن التآكل الانتقائي ( Selective Corrosion ) هو أمر حتمي في الملحومات نتيجة للمحيط المؤدي إلى اختلاف في البنية الناتجة والانعزال أو اختلاف مكونات السبيكة مقارنةً بالمعدن الأساس، مثال ذلك ملحومات الفولاذ الكربوني ا لماء البحر لأنها أما تصدأ في منطقة اللحام أو المنطقة المتأثرة بالحرارة، لكن عندما يكون الوسط المحيط من  $\text{CO}_2$  الرطب فإن التآكل يكون عادةً في المنطقة المتأثرة بالحرارة. كذلك فإن وجود ملحومات الفولاذ الكربوني في حامض HF يتسبب بمهاجمة الحامض للخبث المتكون على سطح الملحومة. إن الألمنيوم هو معدن مقاوم لمحيط يحتوي على حامض النتريك  $\text{HNO}_3$ ، ويحدث التآكل الانتقائي للألمنيوم بسبب الانعزال الذي يحصل في البنية.

عند تعريض الملحومات لدرجات حرارية عالية فهذا ممكن أن يسبب هجوم الهيدروجين لمنطقة اللحام خصوصاً الفولاذ المنخفض السبائك وعند درجات حرارية تتجاوز  $^{\circ}\text{C}$  250، وإن الفولاذ الحاوي على Cr-Mo ممكن أن يكون أكثر مقاومة للتعرض للهيدروجين. وفيما يلي استعراض لهذه الأنواع من التآكل وأهم أسباب حدوثها في الملحومات بشكل خاص (7,13).

### 2.6.1 التآكل الكلفاني Galvanic Corrosion

إن غالبية طرق اللحام التي تستعمل معدناً مائلاً ( Filler Metal ) يكون فيها التركيب الكيميائي للمعدن المائى مختلفاً عن التركيب الكيميائي للمعدن الأساس. وهذا الاختلاف يسبب اختلافاً في الجهود الكهروكيميائية في منطقة اللحام نفسها وبين منطقة اللحام والمنطقة القريبة وبقية مناطق الملحومة فيجعل بعض المناطق فعالة (37,28,10).

### 2.6.2 التآكل التنقري Pitting Corrosion

هو نوع من الهجوم الموضعي بسبب حدوث توقف في طبقة الأوكسيد النحيفة الخاملة التي تحمي المعدن من عمليات التآكل. إنَّ النقر هي ناتج من تركيز الخلايا التي تتكون من اختلاف مكونات المحلول الملامس للمعدن أو السبيكة كما هو موضح في الشكل ( 2.13 ) (16,14). إن اختلاف المكونات في المحلول ينتج عند عدم انتظام السطح. وإنَّ النقر تحتاج إلى زمن طويل لتتكون وتنمو. وإن النقر غالباً ما تظهر في الملحومات وتتكون عندما يصل المعدن /المحلول إلى الجهد الحرج لتكوينها ويسمى هذا الجهد بجهد التنقر ( Pitting Potential ) (14,6,31). تتطور النقر بسرعة في حالة عدم وجود تجانس ميتالورجي، وبهذا فإن احتمالية حدوث هجوم موضعي فيها أكبر بسبب حدوث انعزال مجهري في البنية، وإن المعدن المائى يختلف عن المعدن الأساس وهذا مفضل لتكوين النقر وإن أكثر المناطق عرضة لحدوث النقر هي المنطقة الغير ممتزجة (43,42,34).



### 2.6.3 شقوق التآكل الإجهادي Stress Corrosion Cracking

يمكن أن تتعرض الملحومات إلى شقوق التآكل الإجهادي (scc) كما موضح في الشكل ( 2.14 ) تحت ظروف محيطية خاصة وهذه الظروف تتطلب وجود وسط تأكلي، إجهاد شد. كما أن عدم تجانس البنية المجهرية يمكن أن يسبب هذه الشقوق. إن الإجهادات المتولدة يمكن أن تكون ناتجة من تحميل المعدن أو تصنيع وصلات اللحام وهذا يسبب إجهادات متبقية ( Residual Stress ) في الملحومات (29,27,10)، كما أن تغير درجات الحرارة يؤدي إلى تغير الحجم خلال عملية اللحام وعند التسخين غير المنتظم لا يستطيع المعدن - في الأجزاء المعرضة لدرجات حرارة أكبر - أن تتمدد بحرية بسبب مقاومة الأجزاء الأبرد من وصلات اللحام المجاورة لها وهذا يستدعي نشوء إجهادات داخلية وتشوهات في المعدن (49,17,9)، وإن عملية اللحام تسبب إجهادات حرارية ناتجة من تغير درجات الحرارة. إن الإجهادات المتبقية تعد عاملاً مهماً جداً لتكوين وتوسيع الشقوق بحالة وجود وسط مساعد للتآكل. وعندما تكون كمية معدن اللحام المترسب صغيرة، فإن هذا يساعد على تقليل تأثير الملحومات بالمحيط، حتى تتحسن مقاومة المعدن لهذا التشقق (28,16). إن إجراء معاملات حرارية لإزالة الإجهادات للملحومات يقلل من هذا النوع من التآكل عن طريق إعادة توزيع الحمل المسلط وهذا يقلل بشكل كبير من إجهادات الشد المسببة لهذا النوع من التآكل كذلك (31,9).



الشكل ( 2.14 ) شقوق التآكل الأجهادي<sup>(1)</sup>

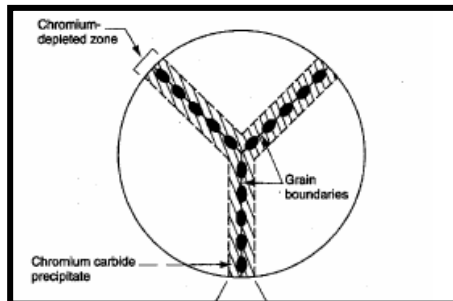
#### 2.6.4 التآكل ما بين الحبيبات Intergranular Corrosion

ينشأ التآكل ما بين الحبيبات في المعادن والسبائك التي تكون فيها الحدود الحبيبية نشطة نسبةً إلى باقي مساحة الحبيبات. وهنا تتكون خلايا كلفانية بين هذه الأجزاء النشطة ( تمثل منطقة أنود ) وباقي أجزاء المساحة ( التي تمثل في هذه الحالة كاثود ) فتؤدي إلى معدل تآكل ما بين الحبيبات عالٍ كما هو موضح في الشكل ( 2.15 )<sup>(44,33,18)</sup>. خلال عملية لحام المعادن وعندما يحتوي المعدن على شوائب مثل الكبريت في الفولاذ ووجود الحديد في الألمنيوم والزنك في النحاس الأصفر ( سبيكة البراص ) فإن هذه الشوائب تترسب على حدود الحبيبات فتجعلها نشطة فتسبب التآكل في الحبيبة نفسها<sup>(23)</sup>. كما أن زيادة أو نقصان تركيز أحد عناصر السبك يجعل الحدود الحبيبية نشطة مسبباً التآكل ما بين الحبيبات. في حالة الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي نوع 304 ( 8 Ni-18Cr ) فإنه يعاني من نضوب الكروم ( Chromium Depletion ) عند درجة حرارة التحسس التي تتراوح بين  $^{\circ}\text{C}$  ( 505-785 )<sup>(40,1)</sup> كما هو موضح في الشكل ( 2.16 )، إذ يسبب ترسيب كربيد الكروم بسبب تفاعل الكروم مع الكربون فيسبب التآكل ما بين الحبيبات. ويحدث هذا النوع من التآكل بسرعة في الملحومات ويسمى بنخر أو تلف اللحام ( Weld Decay )، وثمة طرق للسيطرة على هذا النوع من التآكل في الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي هي:

1. إجراء معاملة حرارية بالتسخين إلى درجات حرارية تقدر بـ  $^{\circ}\text{C}$  ( 1060-1115 ) ثم تجري عملية الإخماد ( Quenching ) في الماء.
2. إضافة عناصر لها القدرة على تكوين كربيد قوي تسمى مثبتات الكربيد، إذ تتحد مع الكربون بدلاً من الكروم وبذلك يمنع نضوب الكروم، مثل التيتانيوم والكولومبيوم.
3. استعمال سبائك بأقل نسبة كربون ( أقل من 0.03% كربون )، هذه النسبة لا تكون كربيد الكروم<sup>(2,10,62)</sup>. وثمة نوع آخر من التآكل يعرف بالتآكل الشبيه بخط السكين ( Knife Line Attack ) يشبه تآكل نخر اللحام ويعد نوعاً من أنواع التآكل ما بين الحبيبات، يحدث بمنطقة ضيقة بجوار منطقة اللحام، ويحدث في الفولاذ الإنشائي والكولومبيوم التيتانيوم<sup>(4,1)</sup>.

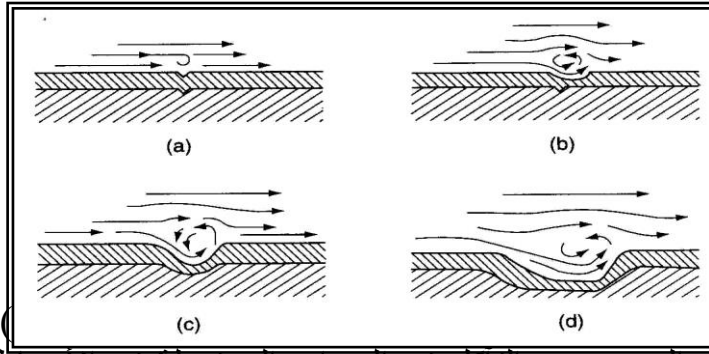


الشكل ( 2.15 ) التآكل ما بين الحبيبات<sup>(3)</sup>



## 2.6.4 تآكل التعرية Erosion Corrosion

هو التآكل المتسارع للمعادن والسبائك نتيجة السريان السريع لوسط التآكل على سطح المعدن أو السبيكة وينشأ عن ذلك البلى (Wear) مقترناً بالتفاعلات الكيميائية. وهذا يؤدي إلى إزالة بعض الأجزاء السطحية من المعدن أو من طبقة الأوكسيد الواقية، كما هو موضح في الشكل ( 2.17 ). وتعتمد مقاومة المعدن للتعرية على خواص طبقة الأوكسيد وتماسكها ومدى مقاومتها للتأثيرات الميكانيكية الناجمة عن حركة المائع ( Fluid ) السريعة (15,11).



يتميز هذا النوع من التآكل على سطح المعدن. وتشيع هذه الصورة من التآكل في المعدات المستعملة في الأوساط المالحة ذات السريان العالي مثل الأنحناءات ( Bends ) والمقاطع الانحائية ( Tees ) والفتحات ( Flanges ) وغيرها (38). ولا تتزايد معدلات تآكل التعرية كثيراً ما لم يصل المائع إلى سرعة معينة تسمى بالسرعة الحرجة critical والجدول ( 2 ) يوضح معدلات التآكل لبعض المعادن والسبائك عند سرعات متنوعة (44,38).

الجدول ( 2 ) يوضح معدلات التآكل لبعض المعادن والسبائك عند سرعات متنوعة (38).

معدلات التآكل عند سرعات مختلفة $10^{-3} \text{ g/cm}^2$			المعدن
8.1 m/sec	1.2 m/sec	0.3 m/sec	
254	72	34	الصلب
339	51	4	النحاس الأصفر
236	41	2	سبيكة نحاس ألومنيوم
199	29	5	70% نحاس-30% نيكل-0.5% حديد
280	45	5	سبيكة البرونز
3	1.3	Less than 1	الفولاذ المقاوم للصدأ

Less than 1	Less than 1	1	سبيكة المونل
----------------	----------------	---	--------------

ثمة أنواع متعددة من التعرية منها:

1. التعرية الدوامية ( Turbulent Erosion ): هذا النوع شائع الحدوث في مداخل أنابيب المكثفات والمبادلات الحرارية ويسمى أيضاً ( Inlet Tube Corrosion ) أي تآكل مدخل الأنبوب، فينحصر التآكل في عدة سنتيمترات عند مدخل الأنبوب.
2. التآكل الارتطامي ( Impingement Corrosion ): يحدث في المناطق التي تحول سريان المائع مثل الانحناءات والمقاطع التائية<sup>(69,1)</sup>.
3. التآكل التكهفي ( Cavitations Corrosion ): وهو ناتج من تكوين الفقاعات البخارية وانهارها قرب سطح المعدن بسبب الفرق في الضغط الهيدروديناميكي، مما يؤدي إلى تحطيم طبقة الأوكسيد الواقية. وهو شائع الحدوث في التوربينات الهيدروليكية.
4. التآكل الاحتكاكي ( Fretting Corrosion ): وينشأ نتيجة الاحتكاك الاهتزازي والانزلاقي بين السطوح المعرضة للأحمال في أوساط التآكل، مثل الأجزاء ذاتية الحركة والمكائن ويكون التآكل في هذه الحالة على هيئة نقر وأخاديد<sup>(30,18)</sup>.

### 2.7 طرق تقليل التآكل في الملحومات

#### Approach to minimize Corrosion in Weldments

هنالك بعض الطرق التي تستعمل لتقليل التآكل في الملحومات وأهم هذه الطرق:

#### 2.7.1 اختيار المعدن والمعدن المائي Metal and Filler Metal Selection

إن اختيار المعدن والمعدن المائي المناسب في عملية اللحام بشكل دقيق يعمل على تقليل التآكل الكلفاني، إذ إن الاختلاف في المكونات قليل عبر الملحومة بأكملها<sup>(45,42)</sup>.

#### 2.7.2 تحضير السطح Surface Preparation

إن اختيار طريقة التنظيف بشكل جيد يقلل من العيوب الناتجة على السطح التي غالباً ما تكون عرضة لهجوم تآكلي من الوسط المحيط، كما أن عملية تجليخ ( grinding ) وصقل ( polishing ) السطح قد تترك خدوشاً أو شوائب على السطح لذا فإن الاهتمام بهاتين العمليتين يقلل من التعرض للتآكل.

#### 2.7.3 تصميم الملحومات Welding Design

إن التصميم الخاطيء تنتج عنه تصدعات وفي حالة وجود محلول فإنه يكون راکداً مما يسبب نوعاً من التآكل المسمى بالتآكل التصدعي ( Crevice Corrosion ) وكذلك يسبب تآكلاً تنقريباً ( Pitting Corrosion )، وكذلك يسبب التصميم الخاطيء عدم انتظام الترسيب لمعدن اللحام وهذا يعرض الملحومات إلى جريان مضطرب ( Turbulent flow ) في حالة وجود سائل أو محلول متحرك وهذا ينتج عنه تآكل التعرية ( Erosion Corrosion ) لذا فإن الاهتمام بالتصميم والتقليل من الأخطاء فيه يقلل من تعرض الملحومات للتآكل<sup>(49,40)</sup>.

#### 2.7.4 أسلوب اللحام Welding Practice

إن التغلغل التام ( Complete penetration ) يقلل من وجود الثغرات أو الفجوات ( gaps ) داخل منطقة اللحام. ومن المهم أيضاً إزالة الخبث في كل شوط لحام في حالة اللحام المتعدد الأشواط. في حالة وجود مواد مساعدة للصهر يجب أن يسمح شكل الملحومة نفسها بإزالتها. إن السيطرة على هذه العوامل وإتباع أفضل أسلوب للحام يقلل من تعرض الملحومات للتآكل<sup>(23,4)</sup>.

#### 2.7.5 تغطية السطح Surface Coating

يمكن استعمال التغطية لحماية الملحومات من التآكل ويجب أن تتم التغطية لجميع مناطق الملحومة بما فيها المعدن الأساس<sup>(52)</sup>.

### 2.7.6 المعاملة الحرارية Heat Treatment

إن المعاملة الحرارية تزيد من مقاومة الملحومات للتآكل وذلك عن طريق تقليل الإجهادات المتبقية فيها وتدرج هذه الإجهادات في الملحومة أي جعل الإجهادات موزعة بشكل متقارب على طول الملحومة وهذا يقلل تعرض الملحومة إلى شقوق التآكل الإجهادي ( SCC ). ويمكن أيضاً للمعاملة الحرارية أن تقلل من وجود الهيدروجين وبالتالي يقلل من حساسية أو تأثير الملحومات للتشققات الناتجة بسبب وجود الهيدروجين<sup>(52,43)</sup>.

### 2.7.7 إزالة مصدر الهيدروجين Removing source of Hydrogen

من الممكن إزالة أو التقليل من وجود الهيدروجين عن طريق استعمال أقطاب منخفضة الهيدروجين ويجب أن تجفف هذه الأقطاب<sup>(17,9)</sup>.

## 2.8 مثبطات التآكل Corrosion Inhibitors

مثبطات التآكل هي مواد كيميائية عند إضافتها بكميات قليلة لوسط معين فإنها تعيق أو تقلل من قساوة ذلك الوسط على المعادن وسبائكها<sup>(42,19)</sup>. ويمكن أن تعرف بأنها مواد عضوية أو لا عضوية تضاف بكميات قليلة إلى المحيط الأكل فتؤدي إلى تخفيض سرعة التآكل بشكل ملحوظ فتحمي المعدن من التآكل<sup>(46)</sup>. تتميز مثبطات التآكل على سطح المعدن فتكون طبقة حامية فتعزله عن المحيط وبذلك تحميه من التآكل<sup>(47,46)</sup>. كما أنها قد تعمل على رفع جهد المعدن أو تخلصه من العوامل المحفزة للتآكل مثل إزالة الأوكسجين أو الكلور<sup>(20)</sup>. يعتقد أن المثبطات تعمل على تخفيض تآكل المعادن أو السبائك عن طريق زيادة المقاومة الكهربائية ( Electrical Resistance ) للسطوح المعدنية أو أنها تقلل حركة وانتشار الأيونات على السطح أو عن طريق زيادة السلوك الأستقطابي الأنودي والكاثودي<sup>(20,19)</sup>، لكن معظم المثبطات تم تطويرها تجريبياً كما أن المعلومات المتوفرة عنها ناقصة وتعد كيفية تأثيرها كمانع للتآكل غير معروفة بدقة<sup>(12)</sup>. تستعمل مثبطات التآكل في كثير من الأنظمة مثل أنظمة التبريد، خطوط الأنابيب، مولدات البخار، حماية المكائن تجاه التآكل الجوي باستعمال مثبطات الطور البخاري<sup>(39,18)</sup>. ثمة شروط يجب توفرها في المادة التي يتم استعمالها كمثبط مثل التوفر ( Availability ) وهو عامل مهم في تحديد كلفة المثبط التي تعد العامل الآخر الذي يجب تحقيقه لاستعمال المثبط. كذلك يجب أن يكون المثبط غير سام<sup>(48,37)</sup>.

يمكن حساب كفاءة المثبط بعدة طرق اعتماداً على طريقة قياس معدلات التآكل وهي كالآتي:

- عندما يقاس معدل التآكل بطريقة الغمر البسيط فإن كفاءة المثبط تحسب بالعلاقة الآتية:

$$IE \% = \frac{W_{un} - W_{in}}{W_{un}} * 100\% \dots\dots\dots(1.2)$$

إذ إن IE = كفاءة المثبط

$W_{un}, W_{in}$  = الوزن المفقود للمساحة السطحية للعينات المستعملة في حالة وجود المثبط وفي

حالة عدم وجود المثبط على التوالي.

- عندما يقاس معدل التآكل بالإعتماد على طريقة الأستقطاب فإن كفاءة المثبط تحسب بالعلاقة الآتية:

$$IE \% = \frac{Ic(un) - Ic(in)}{Ic(un)} * 100\% \dots\dots\dots(1.3)$$

إذ إن: IE = كفاءة المثبط و Ic(un), Ic(in) = تيار التآكل في حالة وجود المثبط وفي حالة عدم وجود المثبط على التوالي (19).

ويمكن حساب درجة تغطية السطح المعدني ( Degree of Surface Coverage ) (  $\theta$  ) بواسطة المثبط الممتز بواسطة العلاقة الآتية:

$$\theta = 1 - \frac{R_{in}}{R_{un}} \dots\dots\dots(1.4)$$

or

$$\theta = 1 - \frac{I_{in}}{I_{un}} \dots\dots\dots(1.5)$$

إذ أن: Rin, Run = معدل التآكل في حالة وجود المثبط و Iin, Iun = تيار التآكل في حالة وجود المثبط و عدم وجود المثبط.  
وتعتمد (  $\theta$  ) على حركة الوسط الأكل ودرجة الحرارة ونوعية المثبط (19,20).

### 2.8.1 أنواع مثبطات التآكل Corrosion Inhibitors Types0

تصنف مثبطات التآكل إلى عدة مجاميع رئيسية اعتماداً على التركيب الكيميائي وطريقة عملها وأهم الأصناف الرئيسية للمثبطات هي (20):

- 1- مكونات الأغشية Barrier layer form
- 2- كاسحات الأوكسجين Oxygen Scavengers
- 3- كاسحات الهيدروجين Hydrogen Scavengers

#### 2.8.1.1 مكونات الأغشية Barrier layer form

هذه المواد تترسب على سطح المعدن وبذلك تعمل على تقليل معدلات التآكل، وثمة أنواع متعددة منها أهمها:

##### 2.8.1.1.1 المثبطات المسببة للخمول Passivator Inhibitors

هي مواد لا عضوية تؤثر في جهد التآكل عندما تضاف، إذ ترفع جهد المعدن فتحوله إلى حالة الخمول ( passive ). إن هذه المثبطات تقوم بإزاحة المعدن المتحلل فيتكون أوكسيد أو هيدروكسيد مستقر غير ذائب فيحمي سطح المعدن مثل الكرومات، والنترات والنتريت التي تجعل سطح الفولاذ خاملاً بغياب الأوكسجين وتسمى بالمؤكسدة ( Oxidizing ). وثمة أيونات غير مؤكسدة مثل التنكستات والمولبيدات التي تحتاج إلى وجود الأوكسجين لتجعل الحديد خاملاً (20,37).

##### 2.8.1.1.2 مثبطات الطبقات المتحولة Conversion Inhibitors0

هذا النوع من المثبطات تجعل سطوح المعادن خاملة عن طريق تكوين أوكسيد غير ذائب على سطح المعدن وبذلك تحمي المعدن مثل السليكات والفوسفات وكثيراً ما تستعمل في أبراج تبريد المياه (20).

##### 2.8.1.1.3 المثبطات العضوية Organic Inhibitors

استعملت هذه المثبطات في القرن التاسع عشر عندما استعمال مسحوق الباطا في المراجل البخارية للقطارات في الولايات المتحدة. تمتاز هذه المثبطات على سطح المعدن وتكون أو اصر ثابتة فتمنع تحلل المعدن، ويمكن أن تثبط التفاعلات الأنودية والكاثودية اعتماداً على جهد المعدن، التركيب الكيميائي لجزيئات المثبط والتركيب الكيميائي للمحلول. إن الطبقة الممتزة تكون مستمرة فتعزل المعدن عن الوسط الأكل وهذا سيخفض معدلات التآكل بشكل واضح مثل بعض الأمينات الأروماتية وبعض مركبات النتروجين. إن هذه المواد تصبح فعالة بسبب توفر كثافة إلكترونية مناسبة على الجزيئة أو إحدى ذراتها، إذ تكون هذه الكثافة الألكترونية أعلى من الكثافة الألكترونية لذرة الأوكسجين في جزيئة الماء، تدخل هذه المثبطات تفاعلات تنافسية مع جزيئة الماء فتطردها عن السطح وتأخذ مكانها فتمنع التآكل الذي يسببه الماء، ومثل هذه المركبات أدهايد، والكيونات، والأمينات والأميدات. أما بالنسبة للتركيب الكيميائي للمثبطات العضوية (Chemical Composition) فإنه غني بالألكترون كما هو موضح في الجدول (3) (31,20):

الجدول (3) التركيب الكيميائي للمركبات العضوية

الصيغة الكيميائية	المجاميع الغنية بالإلكترون
-C=C-	ألكينات
RC-OH	كحولات
C-NR <sub>2</sub>	أمينات
C <sub>3</sub> N <sub>3</sub> RX	حلقات أروماتية ذات ذرات مغايرة
Ph-X-Ph	حلقات أروماتية مبلمرة

إن أهم العوامل المؤثرة على كفاءة المثبطات العضوية هي طريقة ترتيب الذرات في الجزيئة وطريقة إمتزازها على السطح، كذلك فإن كفاءة المثبطات العضوية تعتمد على مكوناتها الكيميائية ولهذا فهي تعتمد على مقدار الألفة بين جزيئاتها وسطح المعدن وبما أن الطبقة المتكونة ناتجة من عملية الامتزاز فإن درجة الحرارة والضغط في النظام سيكون له أهمية كبيرة<sup>(28)</sup>. والملحق (2) عبارة عن أمثلة لمثبطات التآكل المستعملة في نظم التآكل<sup>(31)</sup>.

### 2.8.1.2 قانصات الأوكسجين Oxygen Scavengers

إن الأوكسجين المذاب في الماء يسبب تآكلاً شديداً في الأنظمة التي تجهز بالماء مثل المراجل وعند تسخين هذه المياه تقل قابلية ذوبان الأوكسجين وتحريره خارج هذه الأنظمة ولكن لا يمكن طرد الأوكسجين بأكمله وإن هذه النسبة المتبقية تسبب تآكلاً ملحوظاً، ويمكن إضافة مواد كيميائية تتفاعل مع الأوكسجين الذائب فتزيله وبذلك فإنها تقلل معدلات التآكل مثل أيونات الكبريتيت (Sulfite Ions) وأيونات البيكبريتيت (Bisulfate Ions) التي تتفاعل مع الأوكسجين مكونة الكبريتات (Sulfate)، إن مثل هذه المواد تسمى كاسحات الأوكسجين. ولكي تعمل هذه المواد بشكل جيد يجب أن تتصف بأنها ذات سرعة تفاعل عالية مع الأوكسجين وأن تكون قابلية التطاير (Volatility) قليلة. إن أهم المواد المستعملة ككاسحات للأوكسجين هي الهيدرازين (Hydrazine)، وكبريتيت الصوديوم (Sodium Sulfite)<sup>(46,20)</sup>.

### 2.8.1.3 قانصات الهيدروجين Hydrogen Scavengers

إن منع وصول أيونات الهيدروجين إلى الكاثود يقلل استقطاب الكاثود أي أنه يمنع حصول التفاعل الاكثري، ثم يمنع استهلاك الإلكترونات عند سطح الكاثود حتى إيقاف التآكل وهذا يمكن تحقيقه عن طريق إضافة ما يسمى بكاسحات الهيدروجين وهي مواد عضوية أو لا عضوية تتفاعل مع أيون الهيدروجين قبل وصوله إلى الكاثود مثل مركبات الزرنيخ والانتيمون<sup>(20,37,45)</sup>.

## 2.9 طرق حساب معدلات التآكل Methods for Calculated Corrosion Rate

منذ أن إهتم الإنسان بتآكل المعادن والتحكم فيها تطلب ذلك وضع معيار لقياس معدل التآكل. وقد كانت الكتب القديمة تستعمل وحدات ( mg/des.day ) ولكنها لم تكن تعبر بشكل واضح عن التلف الحاصل، لاسيما وأن التلف الداخلي أو التعبير عن عمق التلف لم يكن واضحاً. ولكن الوحدات المستعملة اليوم تعبر بشكل أفضل عن عمق التلف الذي يحدثه التآكل في جدار إنبوب أو خزان من خلال الوحدات المستعملة حالياً وهي ( mm/year ) وهذا تعبير عن مدى تمكن التلف الذي يحدثه التآكل في عمق المادة. وسوف أتطرق في هذه الفقرة على أهم الطرق المستعملة لقياس معدلات التآكل<sup>(38)</sup>.

### 2.9.1 طريقة الغمر البسيط Simple immersion method

هي طريقة قديمة ما تزال مستعملة، وتتخلص بوزن العينات المراد حساب معدل التآكل لها قبل تعرضها لوسط التآكل، ثم تعرض لوسط التآكل مدة من الزمن بعدها تؤخذ من وسط التآكل ثم توزن، والفرق بالوزن مقسوماً على المساحة السطحية للعيينة المستعملة يعبر عن معدل التآكل. وهذه الطريقة موضحة بالعلاقة الآتية<sup>(12)</sup>:

$$Corr.Rate = \frac{\Delta W}{t A_s} \quad g/cm^2 \quad \dots\dots(1.6)$$

إذ إن  $\Delta W$  = التغير بالوزن.  $A_s$  = المساحة السطحية.  $t$  = الزمن

### 2.9.2 الطرق الكهروكيميائية Electrochemical Methods

هي طرق حديثة نسبياً وتعتمد على استعمال قانون فراداي والذي يستعمل معدل انتقال الألكترونات لقياس معدل التآكل. إن جهد القطب يعطي فقط مؤشراً لإمكانية تآكل المعدن أو السبيكة ولكنه لا يعطي مقياساً لمعدلات التآكل مثلاً الألمنيوم أكثر مصعدية من الحديد (  $E^\circ_{Al^{3+}/Al} = -1.67 V$  ،  $E^\circ_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44 V$  ) أي المتوقع أن يكون الألمنيوم أكثر ميلاً للتآكل من الحديد في الماء أو الهواء الرطب، ولكن الواقع أن مقاومة الألمنيوم للتآكل أعلى بكثير من مقاومة الحديد. يرجع ذلك إلى ترسب أكسيد الألمنيوم الناتج من التآكل على سطح المعدن مكوناً طبقة متماسكة وشديد الالتصاق بالسطح وهذه الطبقة شبه عازلة تعرقل كثيراً استمرار عملية التآكل، أي سريان أيونات المعدن والأكسجين والألكترونات. وعلى هذا فإن معدل تآكل المعادن والسبائك يرتبط بتيار التآكل ( Corrosion Current ) أي معدل ذوبان أيونات المعدن أو سريانها من خلال ما قد يتكون على السطح من مواد صلبة قد تتمتع بدرجة أو بأخرى من المقدرة على العزل، لذا فإن فعالية هذه الطبقة في تسهيل سير الأيونات والألكترونات أو عرقلتها لإتمام التفاعلين الأنودي والكاثودي تؤدي بالضرورة إلى تغيير في معدلات التآكل. وترتبط الكتلة الذائبة من فلز ما بتيار التآكل بالمعادلة الآتية<sup>(15,39)</sup>:

$$M I t = W_e n F \quad \dots\dots\dots(1.7)$$

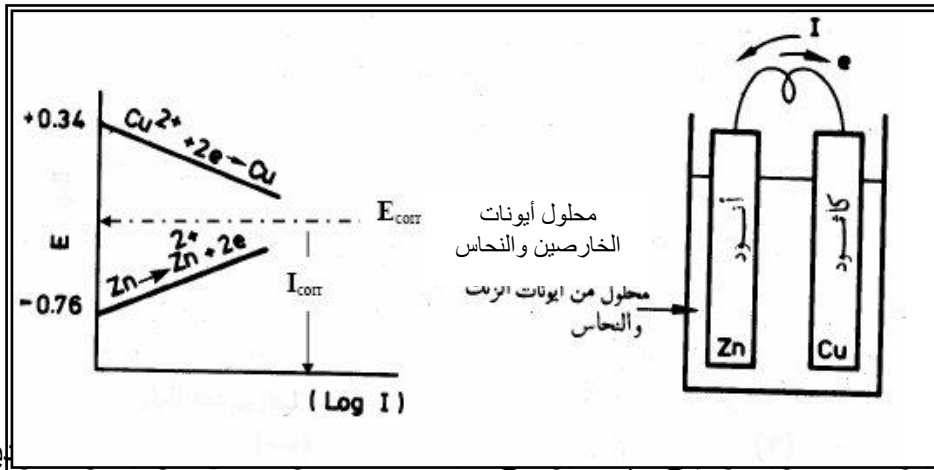
إذ إن:  $M$  = الكتلة الذائبة نتيجة التآكل في زمن مقداره  $t$ .

$I$  = تيار التآكل.

$N$  = عدد الألكترونات المنقلة.

$F =$  عدد فراداي  $W_e =$  الوزن الذري.

ويمكن الاستدلال على تيار التآكل من منحنيات تعرف بمنحنيات الاستقطاب (Polarization curves) عن طريق عمل خلية كلفانية من معدنين (مثل الخارصين والنحاس) في محلول قياسي إذ ينشأ فرق في الجهد للدائرة المفتوحة، ثم يتم التوصيل الكهربائي بين القطبين فيسري تيار بينهما، وحينئذٍ يميل جهد القطب لأحد المعدنين (النحاس) إلى أن يصبح كاثودياً، ويميل جهد القطب الآخر إلى أن يصبح أنودياً (الخارصين). كما هو موضح في الشكل (2.18 a) أي أن سريان التيار يؤدي إلى تغيير في جهد القطب لكل من الأنود والكاثود، إذ يتلاقى خطا الاستقطاب عند جهد يسمى جهد التآكل المختلط (Mixed Corrosion Potential) والمبين في الشكل (2.18 b) (39,38).



ويتحدد عنده التيار أو نتيجة تمرير تيار خارجي بالاستقطاب (Polarization) وثمة أنواع متعددة للاستقطاب في خلايا التآكل منها:

- 1- الاستقطاب التركيزي ( Concentration Polarization ) الذي ينشأ عن تراكم نواتج التفاعلات الأنودية ( أيونات المعدن المتحركة باتجاه القطب السالب) وهذه الأيونات تتحرك ببطيء داخل المحلول مما يسبب زيادة في تركيزها في المنطقة المجاورة للقطب الموجب فيسبب إضعافه نتيجة عرقلة إتمام هذا التفاعل واستمراره.
- 2- الاستقطاب التنشيطي ( Activation Polarization ) الذي ينشأ عن تحكم بعض الخطوات الوسيطة في التفاعلات الأنودية والكاثودية، أي أن بطيء انتقال الشحنة من القطب أو إليه أو بطيء تراكم ذرات الغاز لتكوين الجزيئات التي تتجمع لتكوين الفقاعات التي تبعد عن سطح القطب يؤدي إلى حدوث ظاهرة استقطاب التنشيط (38).

3- الاستقطاب الخطي للمقاومة ( Linear Polarization Resistance ) هي إحدى الطرق الكهروكيميائية المستعملة في تحديد معدل التآكل، وهي طريقة سريعة وسهلة في الاستعمال بوجود أنظمة الحاسوب المتطورة. ويتم حساب تيار التآكل في ضوء عمل مسح للجهد مع التيار للعيونة المراد تقدير معدل تأكلها حول جهد التآكل بحدود (  $\pm 20$  mV ) ويمكن أن يكون أكبر من ذلك في بعض الحالات. ويتم رسم التيار الناتج مقابل الجهد كما في الشكل ( 2.19 ) فيكون ميل المستقيم حسب المعادلة الآتية (38,13):

$$\frac{\Delta E_{applied}}{\Delta I_{applied}} = \left\{ \frac{1}{2.303 I_{corr}} \right\} \left\{ \frac{\beta_a \beta_c}{\beta_a + \beta_c} \right\} \dots\dots\dots (1.8)$$

إذ إن:  $\frac{\Delta E_{applied}}{\Delta I_{applied}}$  = ميل استقطاب المقاومة عند  $E_{0Cr}$

$$I_{0Cr} = \text{تيار التآكل } (\mu A/Cm^2)$$

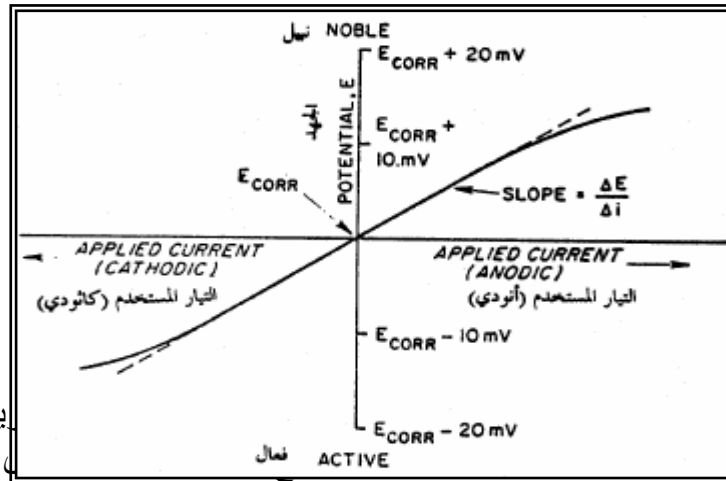
$\beta a, \beta c$  = ثوابت تافل. والملحق (3) يعطي بعض قيم هذه الثوابت لبعض المعادن. بعد إعادة الترتيب للمعادلة (1.8) ستكون بالشكل الآتي:

$$I_{corr} (1.9) = \left\{ \frac{\beta a \beta c}{2.303(\beta a + \beta c)} \right\} \left\{ \frac{\Delta I_{applied}}{\Delta E_{applied}} \right\}$$

ويعبر التيار عن معدل التآكل بالعلاقة الآتية:

$$CorrosionRate (1.10) = 0.13(I_{corr}) \left( \frac{e}{\rho} \right)$$

إذ إن:  $e$  = المكافئ الكيميائي الوزني للمعدن = الوزن الذري  
 $\rho$  = كثافة المعدن.



### 2.9.3 مراقبة ورصد

تزداد الحاجة في المنشأة الصناعية وأنظمة

يعد عن مواقع التآكل في الطرق غير الإتلافية

المرتبطة بأنظمة الحاسوب يكون من اليسير الكشف عن التآكل في وقت مبكر قبل تسببه في حدوث أضرار كبيرة في المنشأة. الشكل (9) يوضح مجسات الاستقطاب الكهروكيميائية (Electrical Resistance Probes) (38).

وتعتمد هذه الأجهزة في عملها على نظرية المقاومة الكهربائية بإستعمال المعادلة الآتية:

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots\dots\dots(1.11)$$

إذ إن:  $\rho$  = المقاومة Resistivity.

$L$  = الطول.

$A$  = مساحة المقطع للموصل.

وثمة طرق كثيرة لرصد وكشف التآكل الخارجي لكنها لا تعني عن الكشف المباشر على المنشأة في ضوء الزيارات الميدانية وتفحص الأجزاء المختلفة للمنشأة، وتضع بعض الأنظمة جدولاً دورياً للفحص وكشف التآكل كما هو مبين في الجدول (4) (38).

الجدول (4) دورية الكشف عن التآكل في المنشأة الصناعية

دورية الكشف بالسنة	نوع الكشف
1	حرجة
3-5	روتينية
10	طويلة الأمد

## الفصل الثالث

## الجانب العملي

## Experimental Work

## 3.1 المقدمة Introduction

يتضمن هذا الفصل ثلاث مراحل مرحل هما:

- 1- مرحلة تحضير واستخلاص المادة المثبطة.
- 2- مرحلة تحضير وصلات اللحم، ثم إجراء عملية اللحم.
- 3- مرحلة تحضير عينات التآكل، ثم إجراء الاختبارات عليها.

والشكل ( 3.1 ) يبين مخطط للمراحل والخطوات المتبعة في الدراسة الحالية. لقد تم في هذا البحث استعمال مثبطين جديدين وهما عبارة عن مستخلصات نباتية. المثبط الأول والذي سيرمز له بالرمز ( A ) تم تحضيره في هذا البحث ويستعمل لأول مرة في هذا البحث، أما المثبط الثاني والذي سيرمز له بالرمز ( B ) والذي تم تحضيره من قبل الباحث أحمد فاضل في تثبيط التآكل في الفولاذ الكربوني، سبيكة الألمنيوم ونحاس نقي في أوساط مختلفة<sup>(19)</sup>.

## 3.2 مرحلة تحضير المثبط

تم تحضير المثبطين بالخطوات التالية

- 1- تنظيف وتقطيع المثبط
- 2- التسخين إلى درجات حرارية بحدود ( 60 °C ) لمدة نصف ساعة بوجود الماء المقطر حتى تنحل المادة المثبطة في الماء الساخن.
- 3- يترك المحلول الناتج حتى يبرد في الهواء.
- 4- تصفية المحلول الناتج بواسطة قماش خاص للتصفية.
- 5- يحفظ ليستخدم كمثبط. والشكل ( 3.2 ) بين صور فوتوغرافية للمثبط ( A ) والمثبط ( B ).

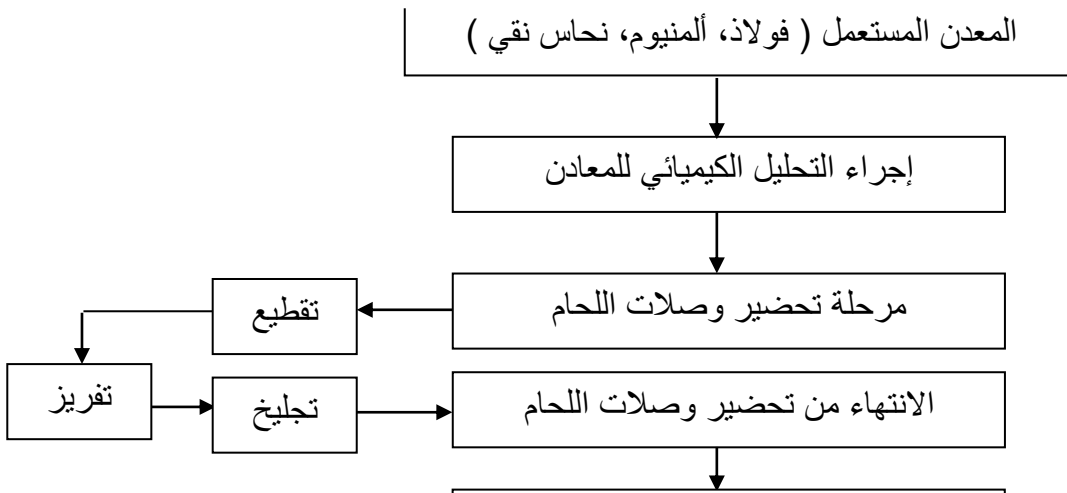


( B ) = المثبط b



( A ) = المثبط a

والشكل ( 3.2 ) صور فوتوغرافية للمثبط ( A ) والمثبط ( B ).



### 3 3 مرحلة تحضير وصلات اللحام.

الشكل ( 3.1 ) يبين مخطط للمراحل والخطوات المتبعة في الدراسة الحالية.

- 2- تفريز سطحي كل وصلة بماكنة التفريز العامة لتعديل السمك ثم ضبطه بماكنة التنعيم السطحي للحصول على الأبعاد المطلوبة.
- 3- تأشير أبعاد وصلة اللحام ثم شطب حافاتها بموجب التأشير بواسطة ماكنة التفريز العامة وبزاوية ( $30^0$ ) مع المحور العمودي لكل حافة.
- 4- تنظيف القطعتين المشطوبتين من الزيوت، والدهون، وزوائد التشغيل، وبقايا النحاتة والشوائب الأخرى بواسطة التنظيف الميكانيكي والكيمياوي. بعد الانتهاء من تحضير الوصلات تم إجراء عملية اللحام بطرق مختلفة بحسب نوع المعدن وكما يأتي:-

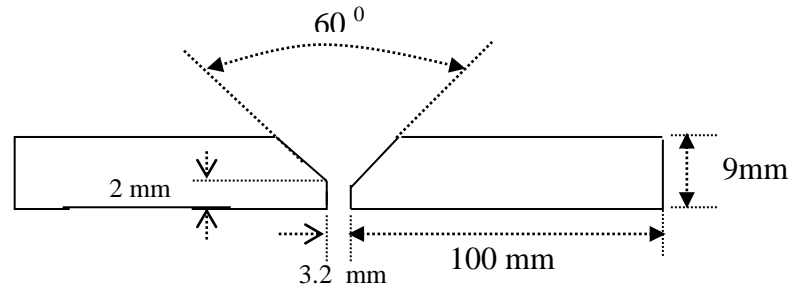
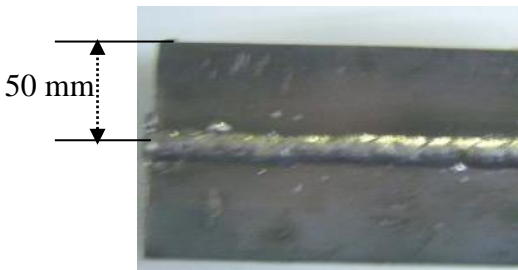
## 3.3.1 لحام الفولاذ الكربوني

إن التركيب الكيميائي للفولاذ المستعمل موضح في الجدول ( 3.1 ) حيث تم اجراء التحليل في الشركة العامة للصناعات الميكانيكية:

الجدول ( 3.1 ) التركيب الكيميائي للفولاذ الكربوني المستعمل

Composition	C	Si	S	Mn	V	Mo	Fe
%Wt	0.3	0.26	0.02	0.052	0.03	0.01	Rem.

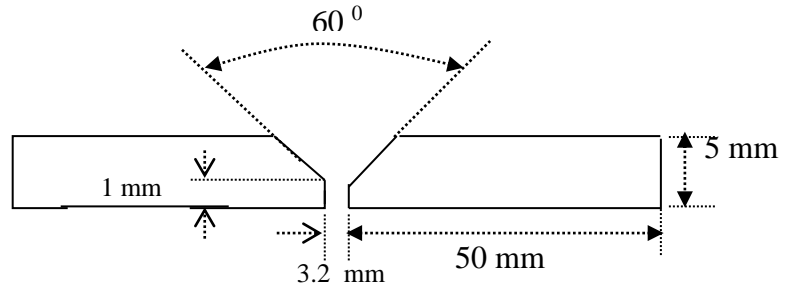
- تثبيت وصلتي اللحام ذات الأبعاد ( 9×50×100 ) mm بواسطة ماسكة Clamp مع ضبط المسافة على بعد ( 3.2 ) mm بين وصلتي اللحام وحسب الشكل (3.3).
- ربط وصلتي اللحام من نهايتهما بنقاط لحام صغيرة، أما طريقة اللحام المستعملة هي لحام القوس الكربوني وقد تمت على منضدة حديدية كبيرة مهياة خصيصاً للحام باستعمال قطب لحام ( E6013 ) الموضح خواصه وتركيبه في الملحق ( 4 )، وكانت قيمة التيار ( 100 A )، أما إزالة الخبث فقد تمت بواسطة مطرقة ذات رأس مدبب وفرشاة سلكية بعد كل شوط لحام، ثم تركت الملحومة على المنضدة الحديدية حتى تبرد إلى درجة حرارة الغرفة. بعد ذلك تم تنظيف العينات وإزالة الزوائد، وبعد الانتهاء بشكل نهائي من عملية اللحام تم تقسيم الملحومات على مجموعتين الأولى تم معاملتها حرارياً لأزالة الإجهادات بدرجة حرارة ( 600 °C ) في الفرن لمدة ( 2hr ) ثم تبريدها تبريداً بطيئاً في الفرن<sup>(4)</sup>، والثانية لم تعامل حرارياً.



الشكل ( 3.3 ) يبين شكل وصلات لحام الفولاذ الكربوني المستعمله  
 a = مخطط تصميم وصلة اللحام  
 b = صورة فوتوغرافية لوصلة اللحام

## 3.2.1 لحام النحاس النقي: نفاوة النحاس المستعمل فيد البحث هي % ( 99.99 ) وقد تم تحضير

وصلات النحاس النقي بالأبعاد ( 5×25×50 ) mm والشكل ( 3.4 ) يبين وصلات لحام النحاس المستخدمة في الحث الحالي والتي تم لحامها بطريقة لحام المونة بإستعمال شعلة الأوكسجين وسلك مالى من سبيكة ( نحاس - فسفور - فضة ) - والملحق ( 5 ) يوضح التركيب الكيميائي للسلك المالى - ومادة مساعدة للصهر بشكل مسحوق. وقد وضح تركيبها الكيميائي في الجدول ( 3.2 ).



الجدول ( 3.4 ) يبين شكل وصلات لحام سبيكة الألمنيوم المستعملة

a = مخطط تصميم وصلة اللحام  
b = صورة فوتوغرافية لوصلة اللحام

Potassium Chloride	7
Sodium Chloride	20
Zinc Chloride	< 20
Zinc	< 0.2
Silicon	11
Copper	< 0.03
Iron	< 008
Manganese	< 0.15
Magnesium	< 0.1
Lithium Fluoride	< 15
Aluminum	Rem.

لحام النحاس تركت  
الهواء بعدها تم تنظيفها

بعد الانتهاء من عملية  
الملحومات تبرد في  
وإزالة الزوائد والخبث، وكذلك تم تقسيم الملحومات على قسمين أحدهما تركت كما هي بدون معاملة  
حرارية، والقسم الآخر تم فيه معاملتها حرارياً لإزالة الإجهادات بدرجة ( 400 °C ) لمدة ( 1 hr ) ثم  
تركت لتبرد تبريداً بطيئاً في الفرن (4).

### 3.2.2 لحام الألمنيوم:

إن التركيب الكيميائي للألمنيوم المستعمل في البحث الحالي موضح في الجدول ( 3.3 ) حيث تم  
التحليل في الشركة العامة للتعدين والمسح الجيولوجي.

الجدول ( 3.3 ) التركيب الكيميائي للألمنيوم المستعمل.

Composition	Si	Mn	Mg	Zn	Cu	Al
%Wt	0.81	0.5	0.45	0.01	0.19	Rem.

وتم تحضير وصلات لحام سبيكة الألمنيوم بنفس الطريقة التي حضرت فيها وصلات لحام الفولاذ  
الواطيء الكربون والنحاس وكانت أبعاد وصلات لحام الألمنيوم هي أبعاد وصلات لحام النحاس النقي  
نفسها. وتم لحامها بطريقة اللحام الغازي بإستعمال شعلة الأوكسي- أستلين وسلك مالى من سبائك  
الألمنيوم ( والملحق ( 6 ) يوضح التركيب الكيميائي للسلك المالى ). بعد الانتهاء من عملية لحام

تركت الملحومات لتبرد في الهواء بعدها تم تنظيفها وإزالة الزوائد والخبث وكذلك تم تقسيم الملحومات على قسمين أحدهما تركت فيه كما هي بدون معاملة حرارية، والقسم الآخر تم فيه معاملتها حرارياً لإزالة الإجهادات بدرجة ( 300 °C ) لمدة ( 1 hr ) ثم تركت لتبرد تبريداً بطياً في الفرن<sup>(4)</sup>.

### 3.3 مرحلة تحضير العينات لاختبارات التآكل.

تتضمن هذه المرحلة الخطوات الآتية:

- تحضير العينات.
- تهيئة سطوح العينات.
- إجراء الاختبارات اللازمة لتقييم كفاءة المثبط.

#### 3.3.1 تحضير العينات

بعد الانتهاء من عمليات اللحام والمعاملات الحرارية تم تقطيع الملحومات وأخذ عينات من منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة وتحضير عينات مختلفة الأبعاد منها لكل معدن والحالتين المعاملة حرارياً وغير المعاملة حرارياً لمعرفة تأثير المعاملة الحرارية لغرض إزالة الإجهادات على معدلات التآكل في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة وتم تقطيع العينات باستخدام القطع اليدوي بواسطة المنشار.

#### 3.3.2 تهيئة سطوح العينات

تمت عملية تحضير السطوح للعينات كافة بتنعيمها ( Grinding ) بأوراق التجلخ الخاصة وبالتدرجات ( 1200, 1000, 800, 400, 180 ) بالنسبة لعينات الفولاذ الكربوني. أما بالنسبة لعينات النحاس النقي و الألمنيوم فكانت التدرجات ( 2000, 1200, 1000, 800, 400 ) بعدها تمت عملية الصقل لكل عينة من المواد المستعملة باستعمال محلول مادة الألومينا الخاص بعمليات الصقل وقد تمت عملية التجلخ والصقل باستعمال جهاز الصقل والتجلخ العام نوع ( Hergon- mp 200V ). بعد الانتهاء من عمليتي التجلخ والصقل تم غسل العينات بالماء المقطر والكحول ثم التجفيف.

### 3.4 اختبار FTIR Fourier Transform Infrared

تم تحليل المسحوق النباتي باستعمال اختبار FTIR في جامعة الكوفة في كلية العلوم قسم الكيمياء لغرض معرفة المجاميع والمركبات الفعالة الموجودة في المثبط والتي يعزى إليها التأثير التثبيطي.

### 3.5 اختبارات التآكل

شملت اختبارات التآكل في هذه الدراسة كل مما يأتي:

1. على طريقة الغمر البسيط Simple Immersion.
2. ، وطريقة إستكمال تافل Tafel Extrapolation.
3. ، واختبار تآكل التعرية Erosion Corrosion.
4. واختبار الخشونة Roughness Test.
5. واختبار الموصلية الحرارية Electrical Conductivity Test وقياس الأس الهيدروجيني pH.

6. واختبار الفحص المجهرى ( التصوير السطحي ) ودراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة المثبط.

### 3.5.1 طريقة الغمر البسيط Simple Immersion

تعد من أبسط الطرق لقياس معدلات التآكل، إذ تغمر العينات في المحاليل الألكتروليتية المعدة لهذا الاختبار وقد تم استعمال أوساط مختلفة بحسب المعدن المستعمل كالآتي:

1. الفولاذ الكربون تم استعمال الأوساط الآتية:
  - ماء الحنفية Tap Water الموجود في جامعة بابل في قسم الهندسة المواد في مختبر التآكل .
  - المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم وبتركيز ( 3% ) وزناً من الملح.
  - محلول حامض الكبريتيك بتركيز ( 2 M ).
  - محلول حامض الهيدروكلوريك وبتركيز ( 1 M ).
- 2- الألمنيوم وتم استعمال الأوساط الآتية لهذا الاختبار:
  - المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم وبتركيز ( 3% ) وزناً من الملح.
  - محلول حامض الهيدروكلوريك وبتركيز ( 1 M ).
- 3- النحاس واستعملت الأوساط الآتية:
  - المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم وبتركيز ( 3% ) وزناً من الملح.
  - محلول حامض الكبريتيك بتركيز ( 2 M ).

تم اختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة بحالتين, حالة وجود المثبط وحالة عدم وجوده وبتراكيز مختلفة للمثبط هي ( 3% - 1.5% - 0.5% - 0.25% ) حجماً وكلاً على حدة. تم أولاً قياس أوزان العينات بواسطة الميزان الحساس وحساب المساحة السطحية لكل عينة قبل غمرها في المحاليل. وبعد فترة زمنية تستخرج العينة من المحلول وتغسل بالماء المقطر والكحول وتجفف وتوزن مرة أخرى وهكذا لفترات زمنية مختلفة لكل محلول، بعدها يتم حساب التغير بالوزن نسبة إلى المساحة السطحية (  $\frac{\Delta W}{A}$  ) ولجميع القراءات لكل عينة ثم ترسم العلاقة بين (  $\frac{\Delta W}{A}$  ) مقابل الزمن ( زمن الغمر ).

### 3.5.2 استكمال تافل Tafel Extrapolation

تم إجراء هذا الاختبار في المحاليل الألكتروليتية المذكورة أزاء كل معدن وبحالتين هما حالة وجود المثبط وحالة عدم وجوده وبتركيز واحد هو ( 3% ) حجماً للمثبط في درجة حرارة الغرفة يتكون الجهاز المستعمل في هذا الاختبار من خلية مصنوعة من الزجاج سعة لتر واحد وتشمل الخلية ثلاثة أقطاب هي القطب العامل ( Working Electrode ) وهو العينة المستعملة، والقطب المساعد ( Auxiliary Electrode ) وهو مصنوع من البلاتين والقطب المرجع ( Reference Electrode ) وهو مصنوع من الكالوميل المشبع. يوجد مع الجهاز فولطمتر رقمي لقياس فرق الجهد بين القطب العامل والقطب المرجع وأميتير يقيس التيار المار بين القطب العامل والقطب المساعد. في هذا الاختبار يتم تغيير فرق الجهد بمعدل (  $\frac{mV}{min}$  ) 10 ) فيقاس التيار المار المقابل لكل قيمة من الجهد المسلط في مدى ( 250 mV ) عند نقطة جهد الدائرة المفتوحة والشكل ( 3.5 ) يوضح جهاز اختبار تافل.

Digital  
Multimeter



الأقطاب المستخدمة  
في الاختبار



**3.5.7 اختبار التصوير السطحي**

تم فحص عينات الاختبار في المحاليل الألكتروليتية المثبطة وغير المثبطة باستعمال المجهر الضوئي من نوع ( union ME-3154 ) وبقوة تكبير ( 400X ) لملاحظة السطح للعينات المستعملة وكيفية تغيرها في حالة وجود المثبط وحالة عدم وجوده.

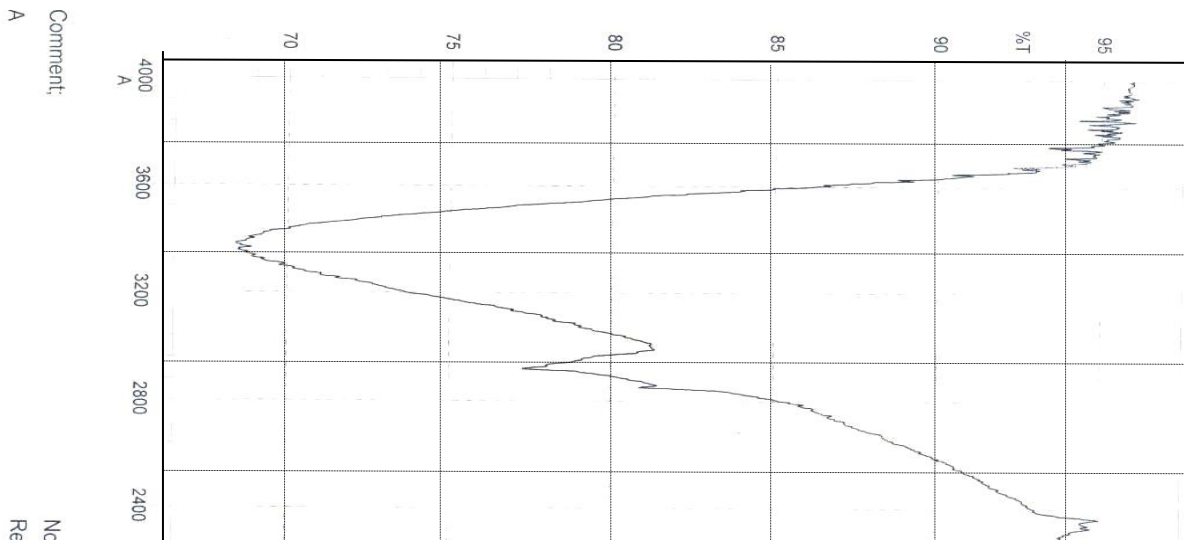
## الفصل الرابع النتائج والمناقشة Results and Discussion

### 4.1 المقدمة Introduction

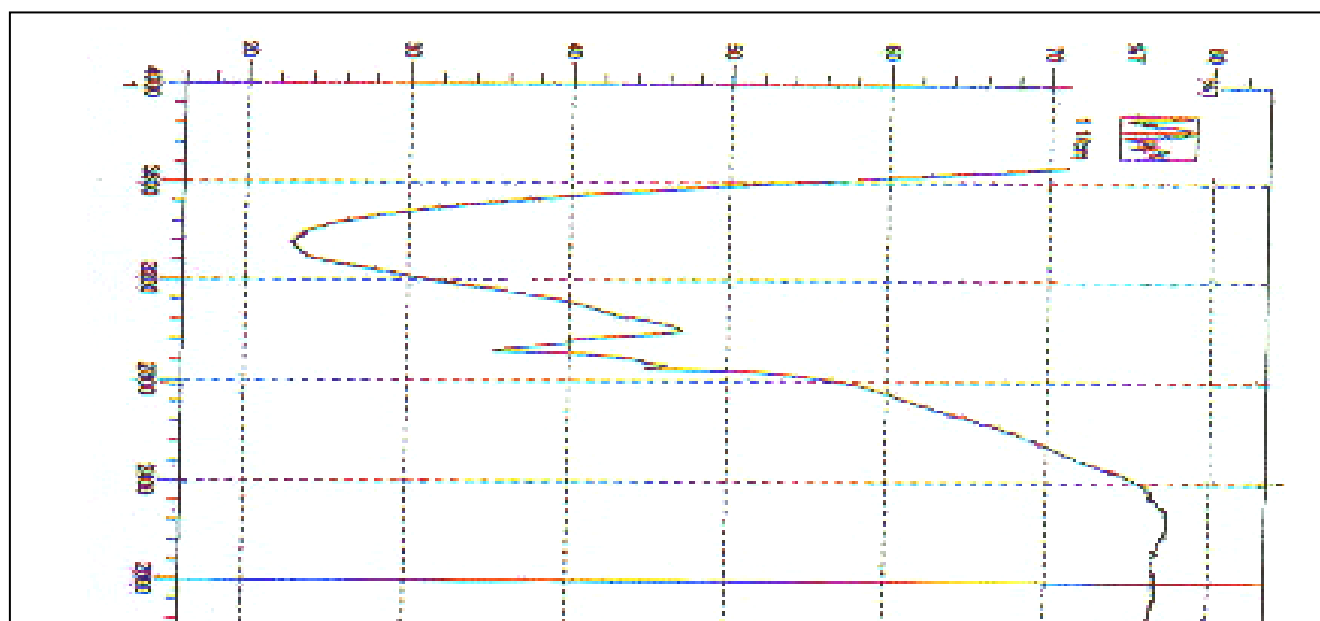
تعرض هذه الدراسة لموضوع في غاية الأهمية لم يلق ما يستحق من كثير من الباحثين وبالعالم العلمي الشامل المناسب، هو مشاكل التآكل في الملحومات عند تباين أوساط الاستعمال وتغير قساوتها وتعاملاتها الحرارية. ويتضمن هذا الفصل النتائج التي تم الحصول عليها في الجزء العملي لجميع الاختبارات التي تم إجراؤها، ومناقشة هذه النتائج، ويشتمل هذا الفصل على نتائج ومناقشة اختبار ( FTIR ) للمادة المثبطة أو التحليل الكيميائي للمثبط، ونتائج اختبار الغمر البسيط، نتائج اختبار استكمال تافل، ونتائج اختبار التعرية، نتائج اختبار خشونة سطوح العينات، ونتائج اختبار الموصلية الكهربائية والأس الهيدروجيني pH، ونتائج اختبار تأثير درجة الحرارة على كفاءة المثبط ونتائج التصوير السطحي.

### 4.2 نتائج اختبار FTIR Fourier Transform Infrared

يمثل هذا الاختبار تحليلاً للمكونات الفعالة في المثبط والشكلان ( 4.1 ) و ( 4.2 ) يبينان نتائج هذا الاختبار للمثبتين ( A & B ) على التوالي، والجدول ( 4.1 ) يبين المجاميع الفعالة والأعداد الموجبة المقابلة لها في المسحوق النباتي. ونلاحظ من هذه النتيجة أن المساحيق النباتية للمثبتات المستعملة في هذا البحث تحتوي على العديد من المجاميع الفعالة هي: مركبات ألديهايد، كيتونات، أمينات، أميدات، كحولات أو مركبات أروماتية أو فينولات<sup>(55)</sup>. إن جميع هذا المركبات تمتلك خصائص تثبيطة يرافقها زيادة في فاعلية المثبط في حماية المعدن، وهي تختلف في نسب هذه المجاميع الفعالة وليس في نوعيتهما بين المثبتين ومع باحثين آخرين<sup>(20,19)</sup> وكان التغير في مكونات المثبط يسبب زيادة في المقاومة ضد التآكل.



الشكل ( 4.1 ) أطياف FTIR للمسحوق النباتي ( A )



الشكل ( 4.2 ) أطياف FTIR للمسحوق النباتي ( B )

جدول ( 4.1 ) الأعداد الموجبة والمجاميع الفعالة المقابلة لها في المثبطات ( A & B ) ( 55 )

الأعداد الموجبة ( $\text{Cm}^{-1}$ )	المجاميع الفعالة	نوع الرابطة
3200-3600	O-H N-H	- فينولات حرة مرتبطة بروابط هيدروجينية وكحولات. -أميدات و أمينات أولية وثانوية.
2800-3200	C-H	-ألكانات، ألدهيد ومركبات أروماتية.

1600-1800	C=O C=N C=C	-إنهريدي، أميد، أستر، كيتون و ألدهيد. -أكزيمات أمينات. -ألكينات.
1300-1500	C-O	-كحولات، إيثرات، أسترات
1000-1200	( O-H ) <sub>2</sub>	كحولات ثانوية

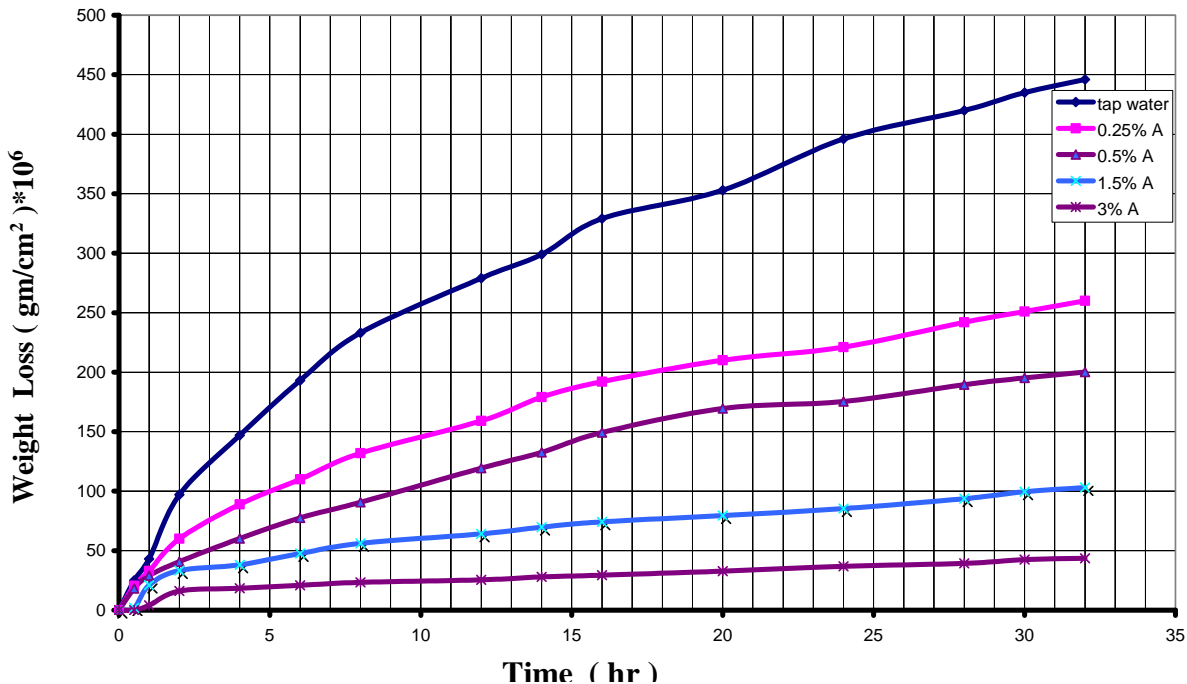
### 4.3 نتائج اختبارات التآكل

#### 4.3.1 نتائج اختبار الغمر البسيط

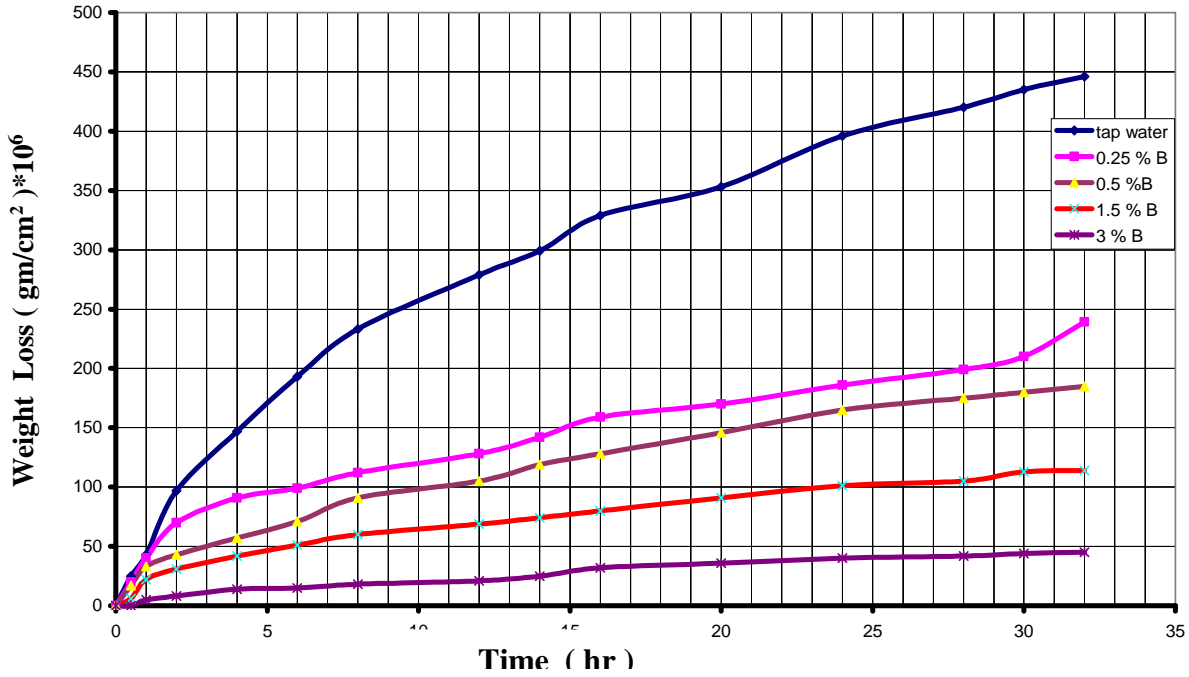
#### 4.3.1.1 الفولاذ الكربوني

#### Tap Water ماء الحنفية

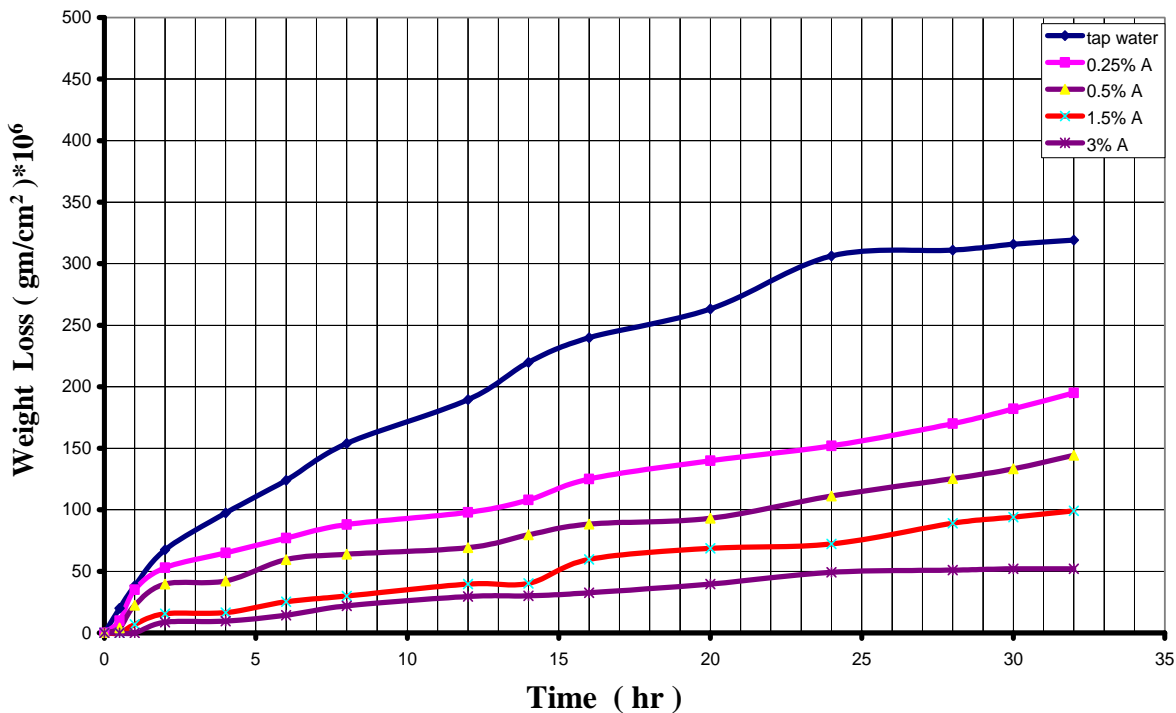
أجري هذا الاختبار في درجة الحرارة الاعتيادية عند درجة حرارة الغرفة في ماء الحنفية لكل من منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة وغير المعاملة حرارياً، إذ تم حساب التغير في الوزن لوحدة المساحة لفترات تعرض زمنية، والأشكال ( 4.3 - 4.10 ) تبين تأثير فترة التعرض لماء الحنفية في الوزن المفقود لوحدة مساحة لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني لكل من منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة والمعاملة حرارياً بوجود وغياب كل من المثبتين ( A ) و ( B ).



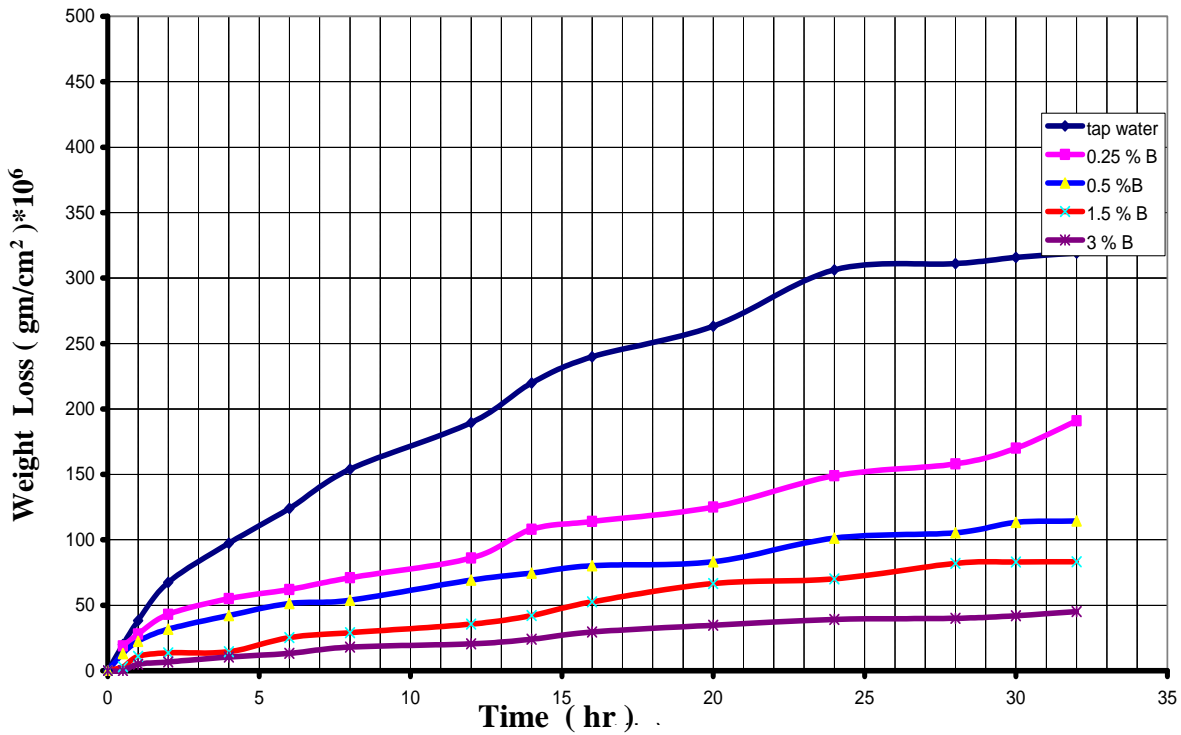
الشكل ( 4.3 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وغياب المثبت ( A )



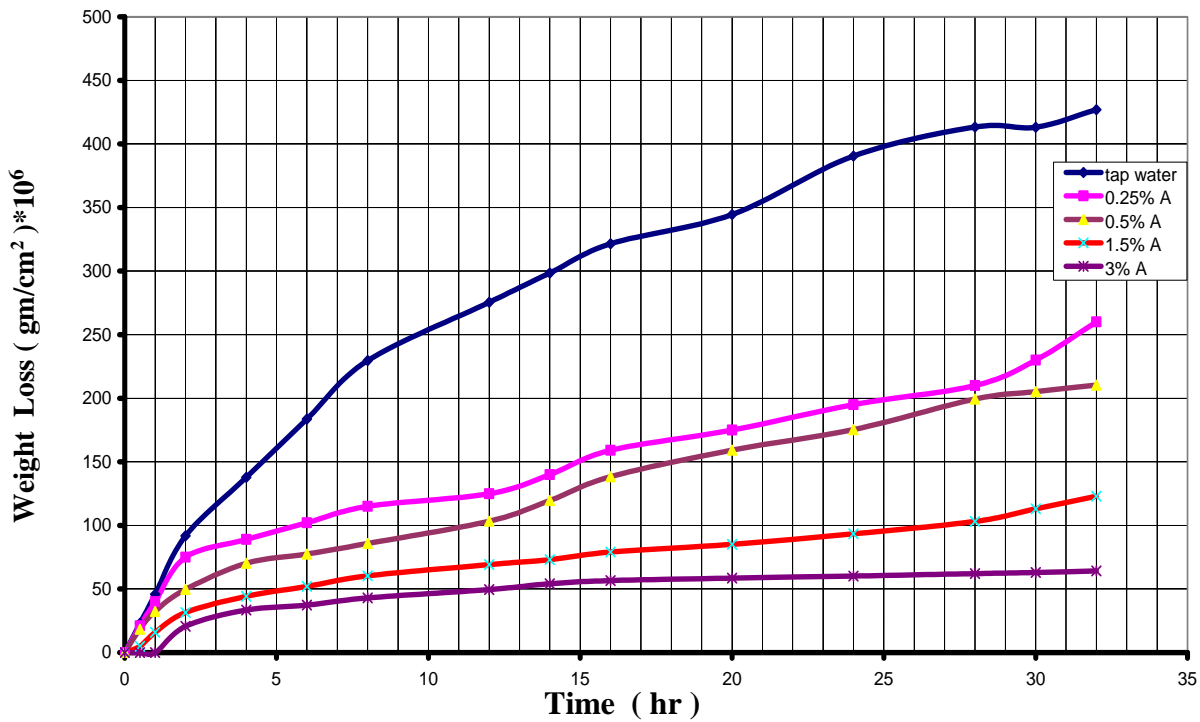
الشكل ( 4.4 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B )



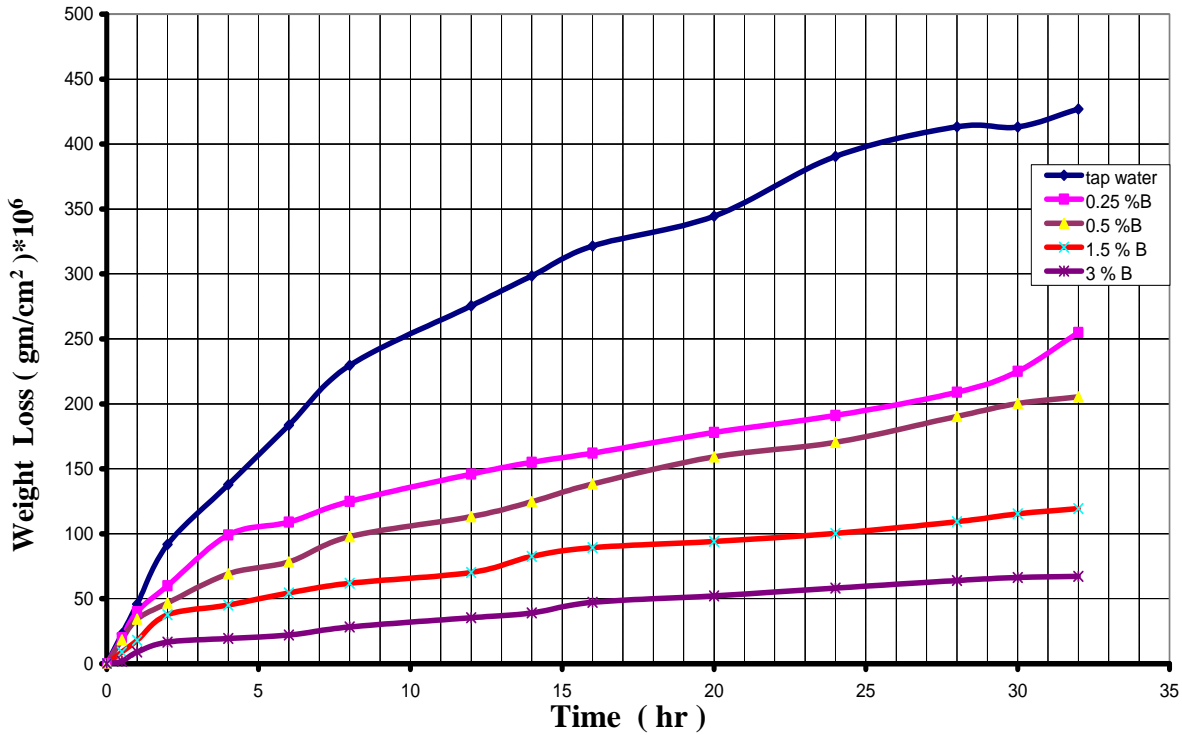
الشكل ( 4.5 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A )



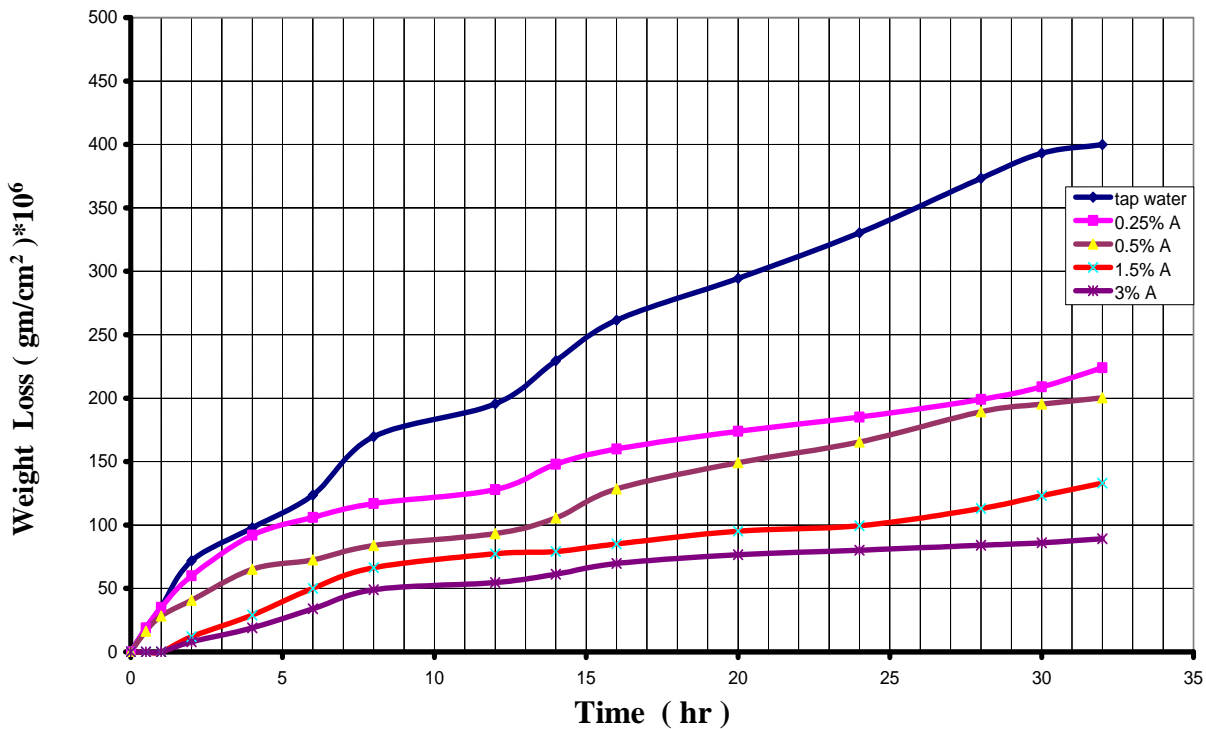
الشكل ( 4.6 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B )



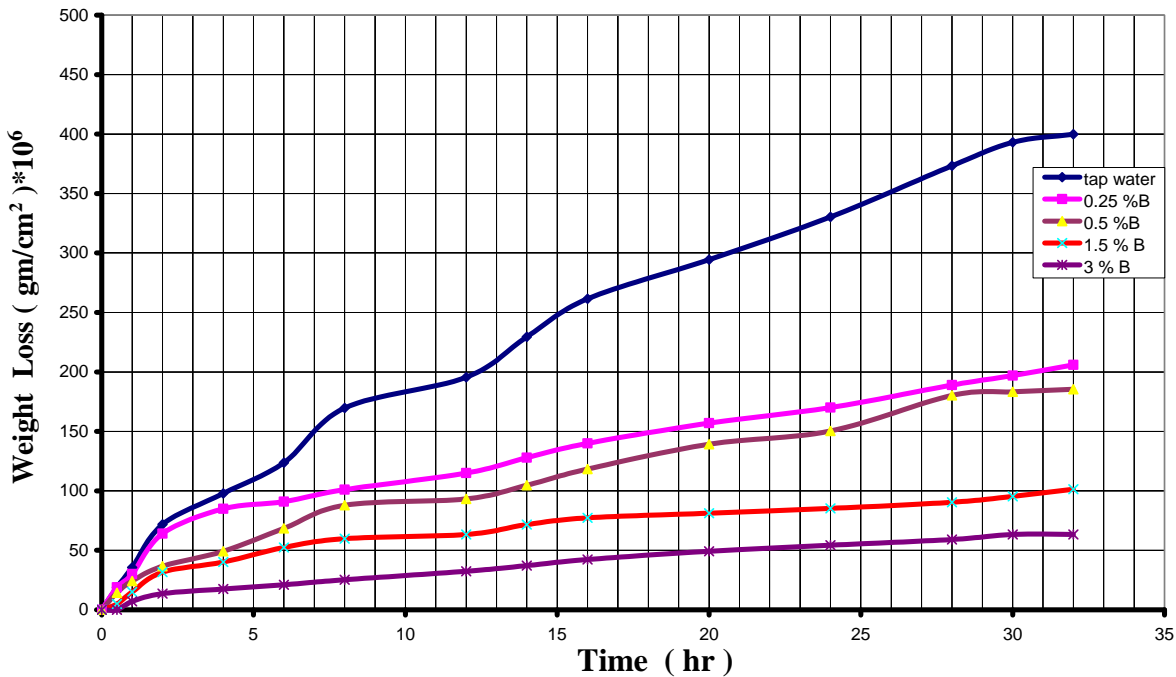
الشكل ( 4.7 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة وغير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A )



الشكل ( 4.8 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة وغير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).



الشكل ( 4.9 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).



الشكل ( 4.10 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).

من الأشكال السابقة نلاحظ أن عينات الفولاذ أبدت تناقصاً في الوزن مع زيادة زمن التعرض في ماء الحنفية، وهذا يعود إلى طبيعة طبقة الأكاسيد المتكونة على سطح الفولاذ، إذ تكون سميكة ومسامية وغير حامية للمعدن وضعيفة التلاصق، لذا فهي لا توفر الحماية الكافية للمعدن كما أن الفولاذ في ظروف يميل إلى تكوين هيدروكسيدات يذوب قدر كبير منها بالماء ولا يوفر الحماية المطلوبة وهذا قد أشار إليه باحثون آخرون (20,19).

الأشكال ( 4.3 – 4.10 ) تظهر جلياً التأثير الفعال للمثبط. مقارنةً مع السلوك التآكلي للملحومات الفولاذية في الماء الاعتيادي بوجود المثبط وعدم وجوده، إن نسبة التحسن في مقاومة التآكل وصلت إلى حوالي ( 95% ) محسوبة بدلالة النقصان في الوزن المفقود. ويبدو واضحاً تأثير زيادة تركيز المثبط في مقاومة التآكل في الأشكال كافة إذ تزداد مقاومة التآكل بزيادة تركيز المثبط. ثمة نظريات عديدة تفسر آلية عمل مثبطات التآكل ويبدو أن أكثرها شيوعاً هي تلك التي تفترض حدوث الأمتزاز (Adsorption) ابتداءً، وهذه النظريات تعتمد على حقيقة وجود ميل لجزيئات المثبط بالالتصاق على سطح المعدن أكثر من جزيئات الماء. وفي غياب هذه الحقيقة لا نتوقع فعلاً تثبيطاً لهذه الجزيئات. ويعتمد أداؤها بشكل أساسي على شدة ميلها إلى التلاصق بسطح المعدن. ويؤثر المنحني ( 3% A ) في الشكل ( 4.3 ) فاعلية المثبط في منع استمرار النقصان بالوزن ويبين قدرته على الحماية من ابتداء الغمر وهذا شيء يمكن توقعه إذ إن زيادة التركيز توفر قدرأ أعلى من الجزيئات المنتشرة نحو سطح المعدن وتسهل تغطيته. وقد بلغت كفاءة التثبيط لهذا المثبط حوالي ( 95% ).

أما الشكل ( 4.4 ) فيشمل تأثير مثبط آخر في عملية تآكل الملحومات الفولاذية إذ يظهر هذا الشكل أن تأثير هذا المثبط في مرحله الأولى أكثر تأثيراً لكن فاعليته لا تتبعد كثيراً عن نظيره ( A ) خاصة في قيم

الكفاءة التي بلغت حوالي ( 90 % ). إن الملحومات الفولاذية في الشكلين ( 4.3 ) و ( 4.4 ) لم تعامل حرارياً وتم تحضيرها من منطقة اللحام.

أما الأشكال ( 4.5 ) و ( 4.6 ) فيبينان تأثير المعاملة الحرارية في منطقة اللحام، إذ ازدادت مقاومة التآكل بنسبة ( 28.7 % ) ويمكن أن يعزى ذلك إلى التخلص من الإجهادات المتخلفة (Residual Stress) في منطقة اللحام. إن هذه الإجهادات الداخلية تمثل طاقة مخزونة تزيد من ميل المعدن نحو التآكل لأن ذرات المعدن تحمل طاقة عالية تأهلها على التآكل وبهذا يكون ميل الفولاذ لفقدان الوزن وقابليته العالية للتآكل المتسببة عن اللحام تعاكس فعل المثبط. وعلى الرغم من هذا تغلب المثبط على هذا الميل علماً أن المثبط مادة غير سامة ومتوفرة وسهلة التحضير وذات كلفة منخفضة.

أما المنطقة المتأثرة بالحرارة ( HAZ ) فموضحة في الأشكال ( 4.9 ) و ( 4.10 ) وكانت نسبة الزيادة في مقاومة التآكل ( 6.4 % ). ويمكن أن يعزى إلى الفرق في الزيادة بين المنطقة المتأثرة بالحرارة ومنطقة اللحام عن الحالة السابقة بكون الإجهادات الداخلية في هذه الحالة أقل. أما تأثير التعامل الحراري في أداء المثبط فمبين في الجدولين ( 4.2 ) و ( 4.3 ) وبصورة عامة فإن التعامل الحراري تسبب في نقصان الوزن المفقود وهذه الجداول تبين أيضاً درجة التغطية (  $\theta$  ). وفي هذه الجداول نتائج تثير تساؤلاً مفاده أن التعامل الحراري قد تسبب في تقليل كفاءة التثبط، إن هذا - في الحقيقة - تناقض ظاهري لا يمثل واقع ما يحصل في عمل المثبط، ولأدراك ذلك نرجع مرة أخرى إلى معادلة حساب كفاءة المثبط ( 1.2 ) التي تنطوي على الفرق بين معدل التآكل بغياب المثبط مطروحاً منه المعدل ذاته بوجود المثبط مقسوماً على المعدل بغياب المثبط. وبما أن معدل التآكل مرتفع في النماذج غير المعاملة حرارياً بسبب ميل المعدن أساساً للتآكل إضافة لأحتوائه على إجهادات داخلية تسرع من عملية التآكل وبذا تكون كفاءة المثبط المحسوبة من المعادلة ( 1.2 ) عالية. لكن عند تطبيق المعادلة نفسها على الفولاذ المعامل حرارياً والذي أصبح ميله للتآكل أقل بسبب خلوه من الإجهادات الداخلية لذا فإن الكفاءة تبدو وكأنها قد قلت. وكان لزيادة تركيز المثبط تأثير إيجابي بعد التعامل الحراري.

إن تسخين الفولاذ في حدود (  $600^{\circ}\text{C}$  ) ولنموذج سمكه ( 9mm ) لا نتوقع حدوث تغيرات جوهرية في البنية المجهرية<sup>(6)</sup>.

الجدول ( 4.2 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه وفي ماء الحنفية لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

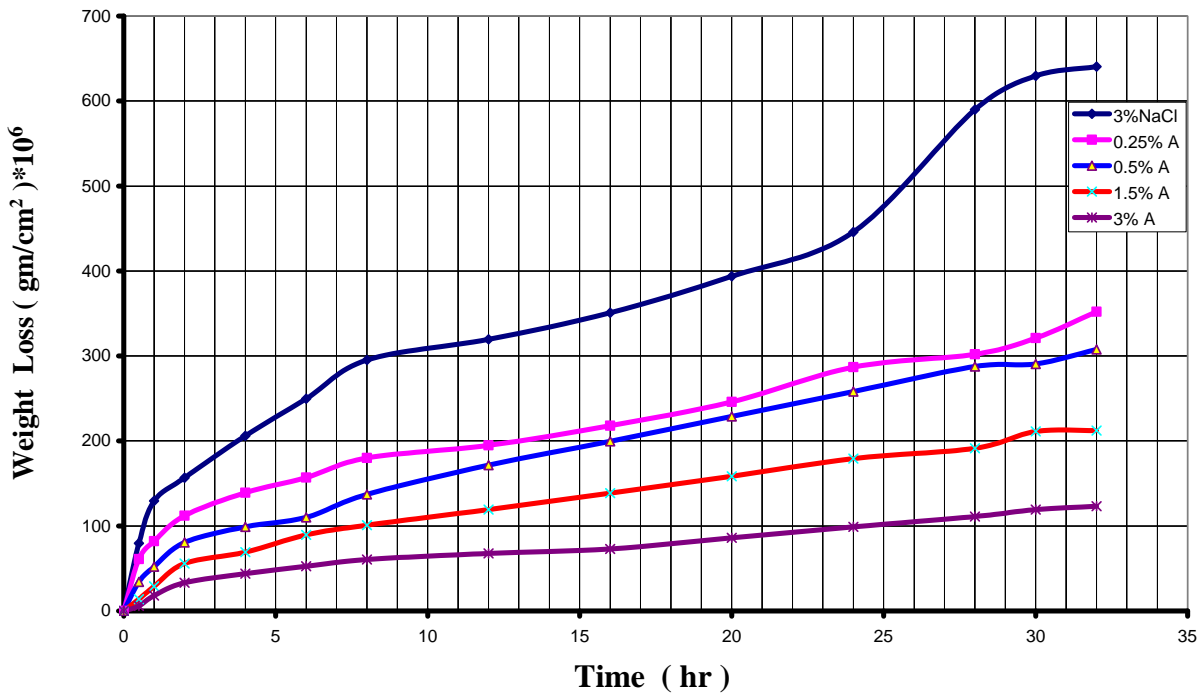
درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v ) %	العينة
0.44	44.19	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.57	57.07	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.77	77.88	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.94	94.98	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.38	38.87	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.54	54.76	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.69	69	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.83	83.75	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.39	39.09	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.5	50.74	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.71	71.21	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.85	85	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.43	43.39	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.49	49.87	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.66	66.77	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.77	77.74	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

الجدول ( 4.3 ) كفاءة المثبط ( B ) عند تراكيز مختلفة منه وفي ماء الحنفية لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

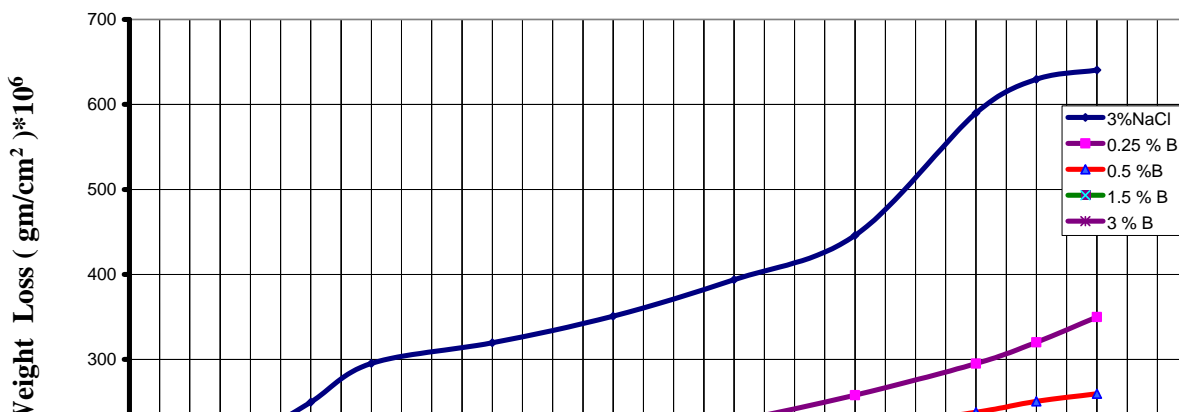
درجة التغطية ( $\theta$ )	الكفاءة %	تركيز المثبط (v/v) %	العينة
0.46	46.3	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.58	58.41	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.74	74.43	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.89	89.92	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.4	40.13	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.64	64.19	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.74	74.02	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.85	85.85	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.4	40.26	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.51	51.94	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.72	72.03	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.84	84.25	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.48	48.45	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.53	53.64	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.74	74.69	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.84	84.22	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

Salt Solution      المحلول الملحي

أجري هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة في المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم بنسبة ( 3% NaCl ) وزناً وهذه النسبة معتمدة محلياً وعالمياً بحيث تعطي تأثيراً مقارباً لماء البحر لكل من منطقة اللحم والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة وغير المعاملة حرارياً، إذ تم حساب التغير في الوزن لوحدة المساحة لفترات تعرض زمنية، والأشكال ( 4.11 - 4.18 ) تبين تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) في الوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني لكل من منطقة اللحم والمنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة والمعاملة حرارياً بوجود وغياب كل من المثبتين ( A ) و ( B ) .

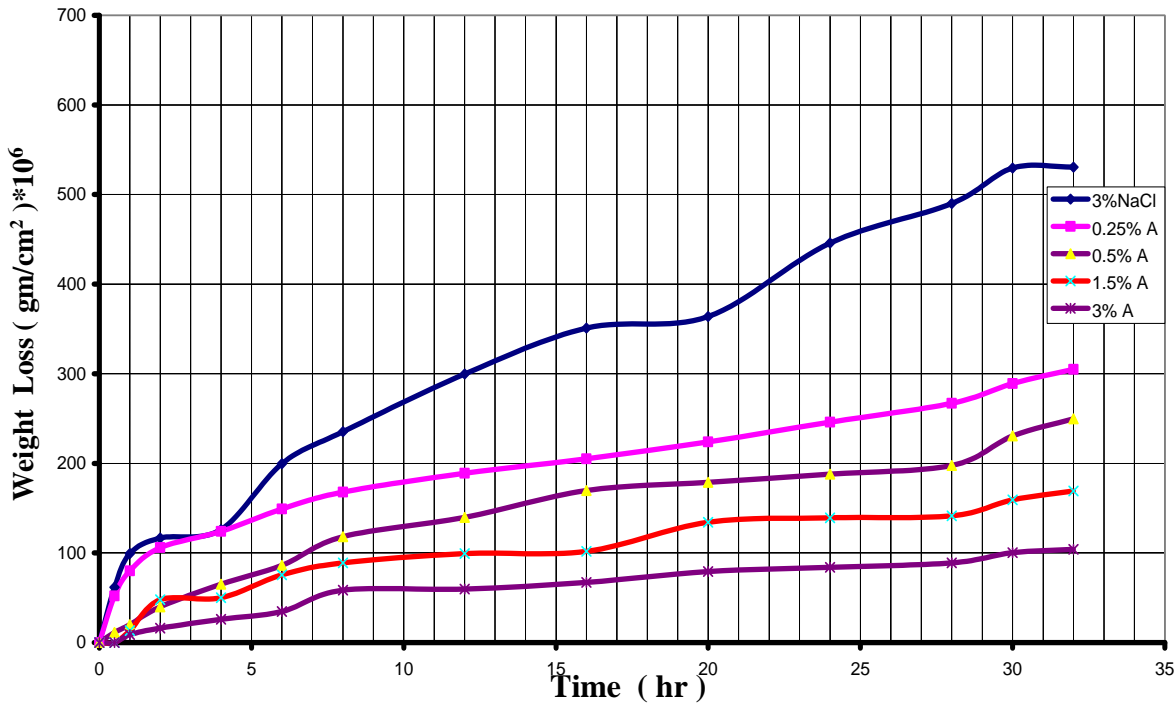


الشكل ( 4.11 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وغياب المثبت ( A ) .

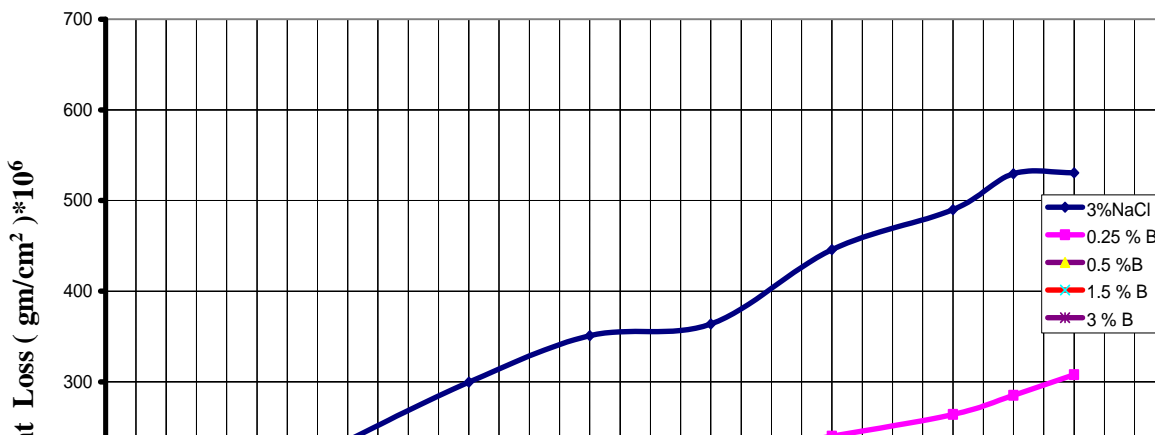


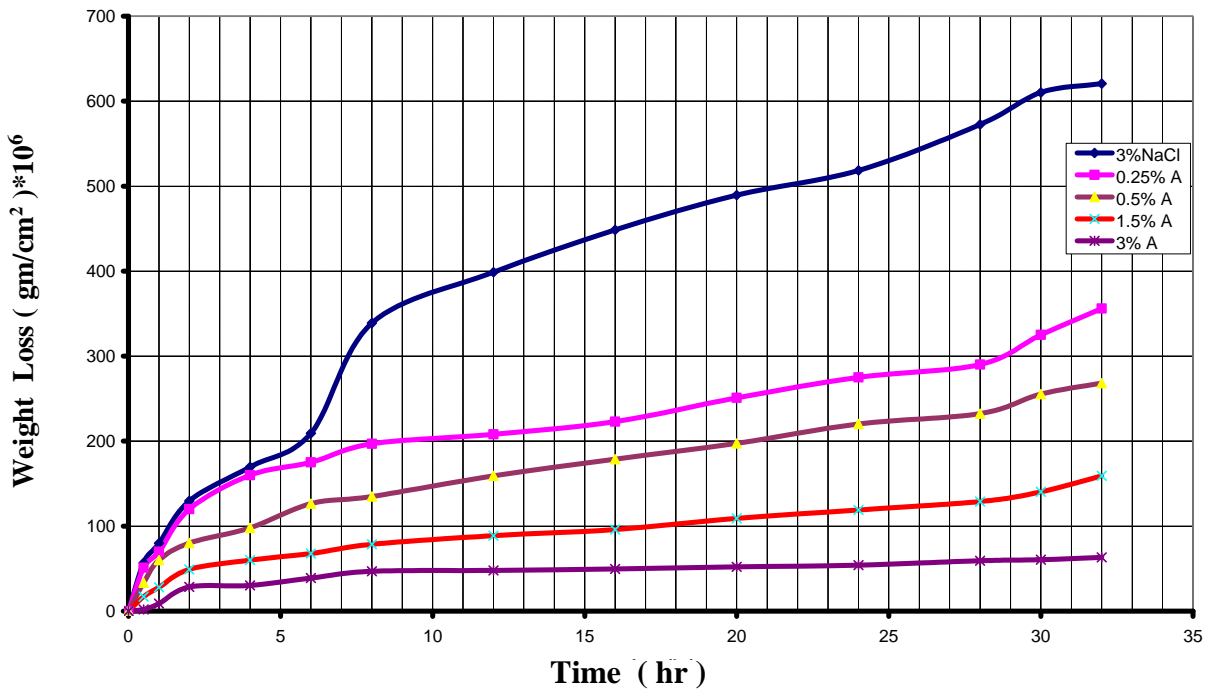
Time ( hr )

الشكل ( 4.12 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ) .

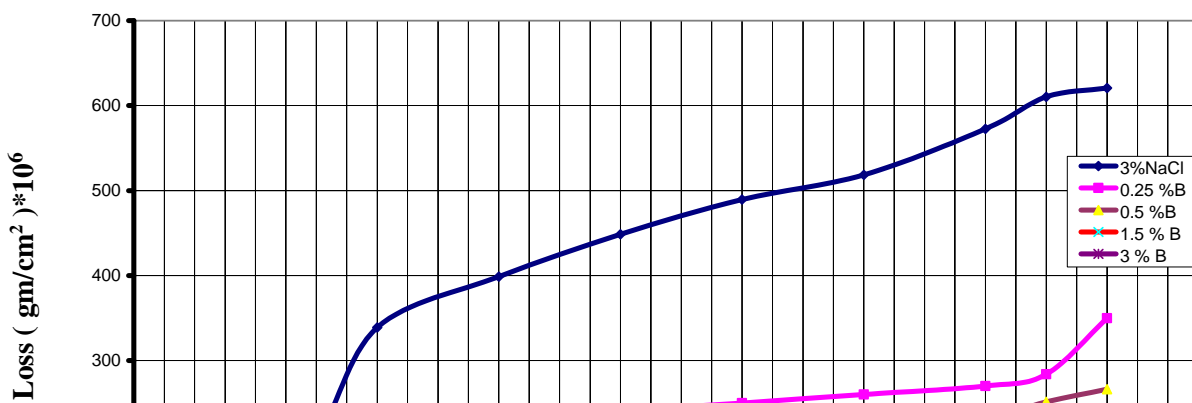


الشكل ( 4.13 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ) .

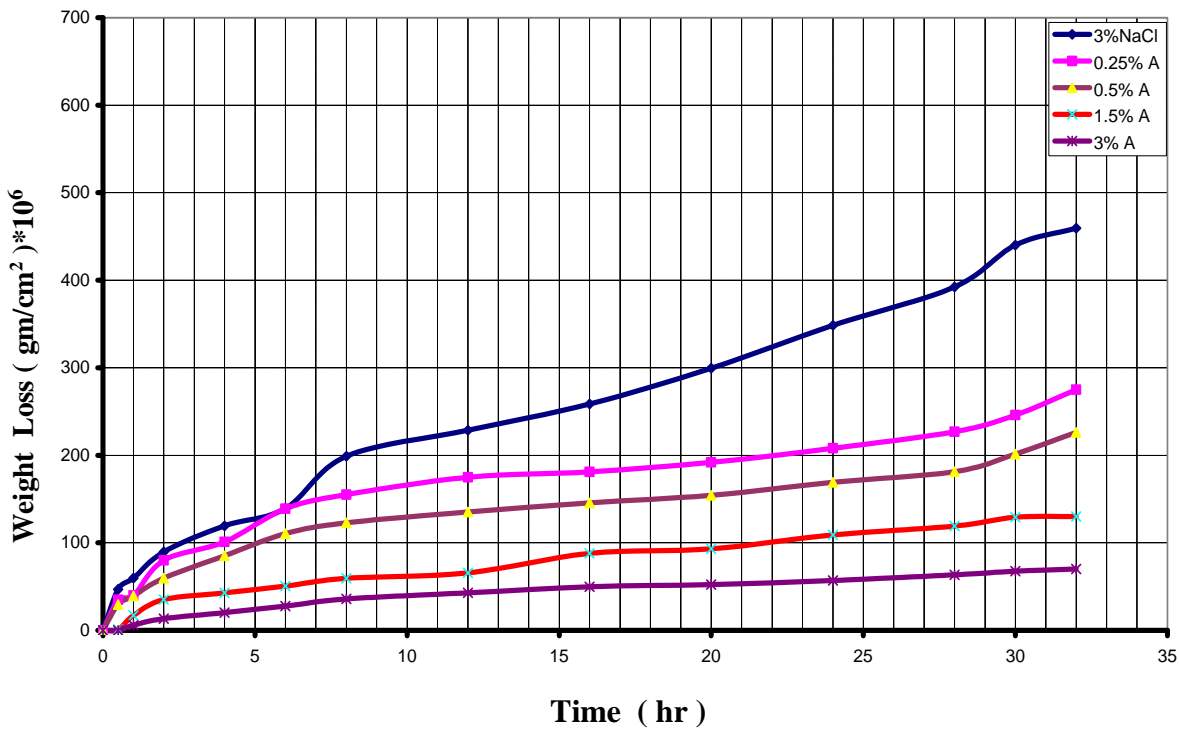




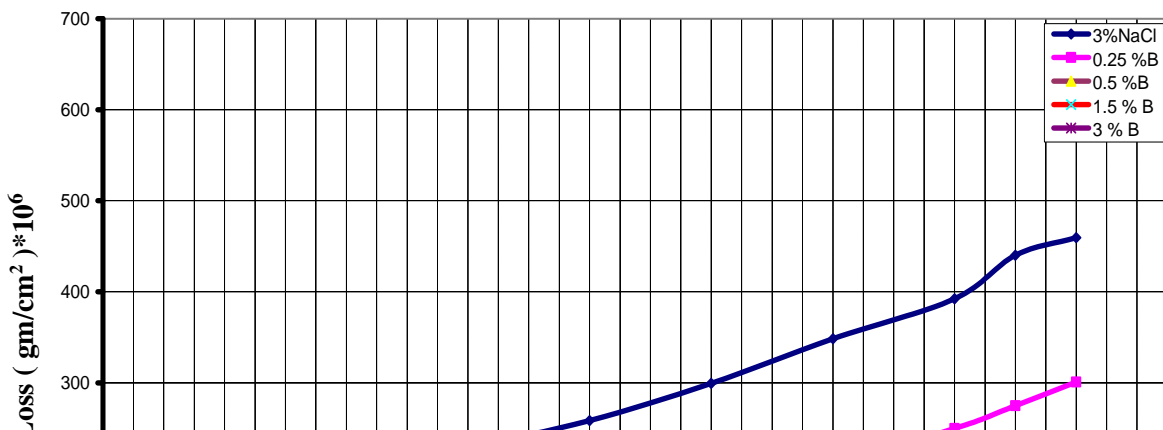
الشكل ( 4.15 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).



الشكل ( 4.16 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



الشكل ( 4.17 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



## Time ( hr )

الشكل ( 4.18 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).

الشكل ( 4.11 ) يظهر زيادة في الوزن المفقود مع زيادة زمن التعرض للمحلول الملحي. هذه الزيادة أكثر من نظيراتها في الماء الاعتيادي ويمكن أن يعزى ذلك إلى وجود أيون الكلور الذي يعجل من عملية التآكل ويترك آثاراً ضارة على سطح الفولاذ وهذا ما أشار إليه باحثون آخرون<sup>(21)</sup> ، وقد بلغت نسبة الزيادة في الوزن المفقود حوالي ( 30% ) مقارنةً بالماء الاعتيادي لنفس الفولاذ غير المعامل حرارياً. أما بوجود المثبط فإن نسبة التحسن بلغت حوالي ( 83% ) وبزيادة تركيز المثبط فإنه تزداد كفاءة المثبط. أما الشكل ( 4.12 ) فيبين تأثير المثبط ( B ) في السلوك التآكلي للملحومات الفولاذية غير المعاملة حرارياً، يظهر الشكل زيادة طفيفة في مقاومة التآكل مقارنةً بنظيره المثبط ( A ) ويرجع سبب ذلك إلى تباين في ميل جزئيات المثبتين إلى التلاصق مع المعدن. الشكل ( 4.13 ) يمثل تأثير التعامل الحراري في مقاومة التآكل، الفرق في الوزن المفقود واضح في الحالتين فمثلاً نسبة التحسن مقاسة بالتغير في الوزن المفقود المتسببة عن المعاملة الحرارية تبلغ في حدود ( 10.2% ) بدون وجود المثبط، هذه الزيادة يمكن إرجاعها للتخلص من الإجهادات المتبقية. أما في المنطقة المتأثرة بالحرارة فإن تأثير التعامل الحراري تظهره الأشكال ( 4.15 – 4.18 ) وفيها يبدو أن الزيادة في مقاومة التآكل تبلغ حوالي ( 21.3% )، قيم التحسن هذه قد يمكن إعتبارها مقياساً لحجم الإجهادات الداخلية. الأشكال ( 4.14 – 4.18 ) تبين كسابقاتها زيادة المقاومة بارتفاع نسبة تركيز المثبط، وتُظهر فاعلية أكثر في الحماية عند القيم العالية من تراكيز المثبط ( 3% )، فمثلاً مقارنةً بالأشكال ( 4.11 – 4.13 ) تبلغ فاعلية هذا التركيز بالأشكال ( 4.14 – 4.18 ) حوالي ( 50% ) أعلى من نظيراتها في الأشكال ( 4.11 – 4.13 )، ويمكن فهم هذا السلوك اعتماداً على مقدار الإجهادات الداخلية فيها أولاً وإلى كون منطقة اللحام تمثل في سلوكها وحركياتها عند تجمدها تصرفات المنصهر المعدني في إمكانية حدوث تجمعات للشوائب وعيوب السباكة العديدة مما يُولد أقطاب تآكلية تسرع من معدل التآكل. والجدولان ( 4.4 ) و ( 4.5 ) يبينان كفاءة التثبيت لكل تركيز من المثبتين ( A ) و ( B ).

الجدول ( 4.4 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه في محلول ( 3% NaCl ) وزناً لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في اختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

العينة	تركيز المثبط ( v/v )%	الكفاءة %	درجه النعطي ( θ )
منطقة لحام غير معاملة حرارياً	0.25	45	0.45

0.51	51.97	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.66	66.86	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.8	80.08	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.42	42.51	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.52	52.95	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.68	68.15	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.80	80.39	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.42	42.62	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.56	56.78	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.74	74.36	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.89	89.84	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.4	40.97	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.51	51.44	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.72	72.11	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.84	84.95	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

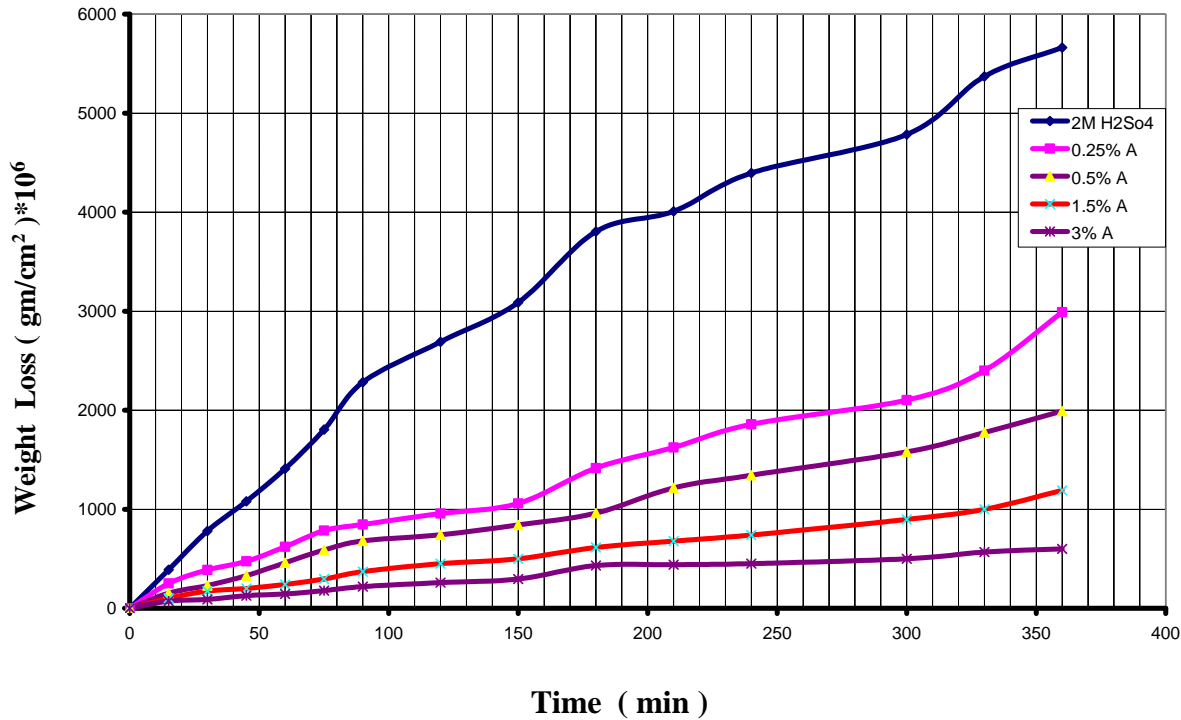
الجدول (4.5) كفاءة المثبط (B) عند تراكيز مختلفة منه في محلول (3% NaCl) وزناً لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية (θ)	الكفاءة %	تركيز المثبط (v/v) %	العينة
0.45	45.3	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.59	59.47	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.75	75	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.85	85.51	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.41	41.94	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.56	56.75	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.71	71.71	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.85	85.88	3	منطقة لحم معاملة حرارياً

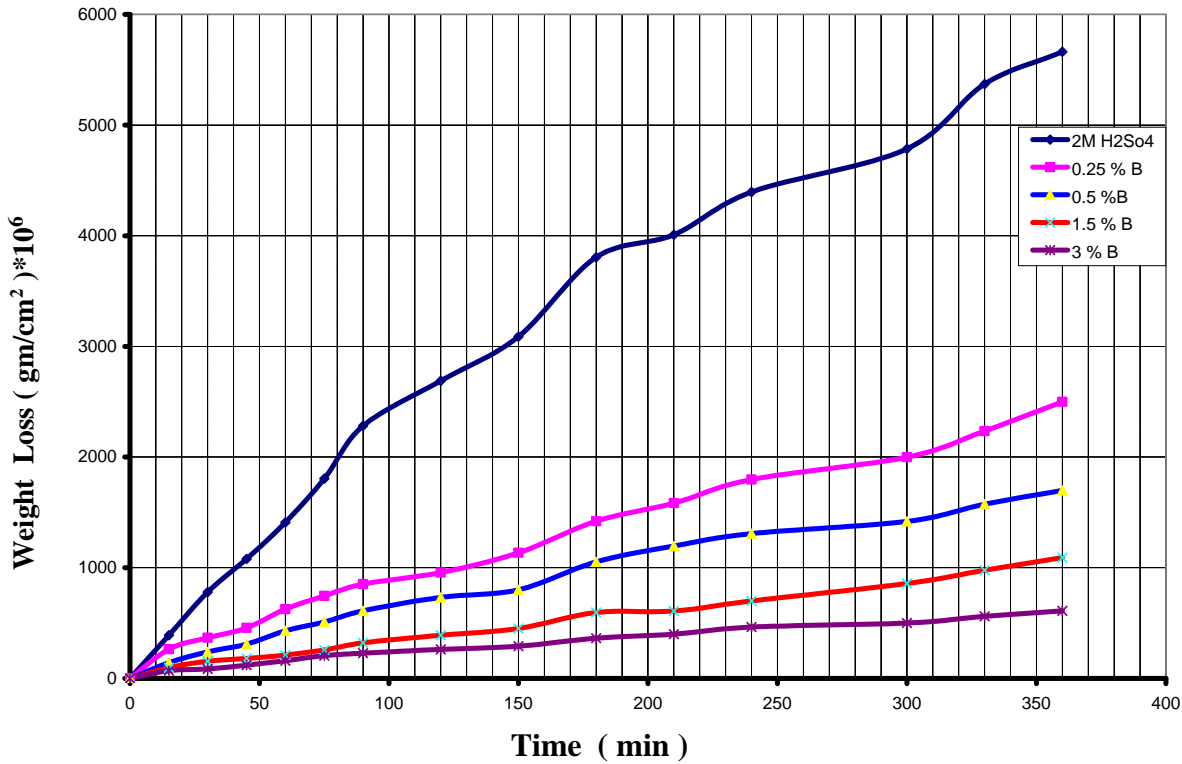
0.43	43.63	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.57	57.09	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.74	74.36	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.86	86.48	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.34	34.49	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.50	50.34	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.65	65.38	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.83	83.14	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

### H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solution محلول H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ➤

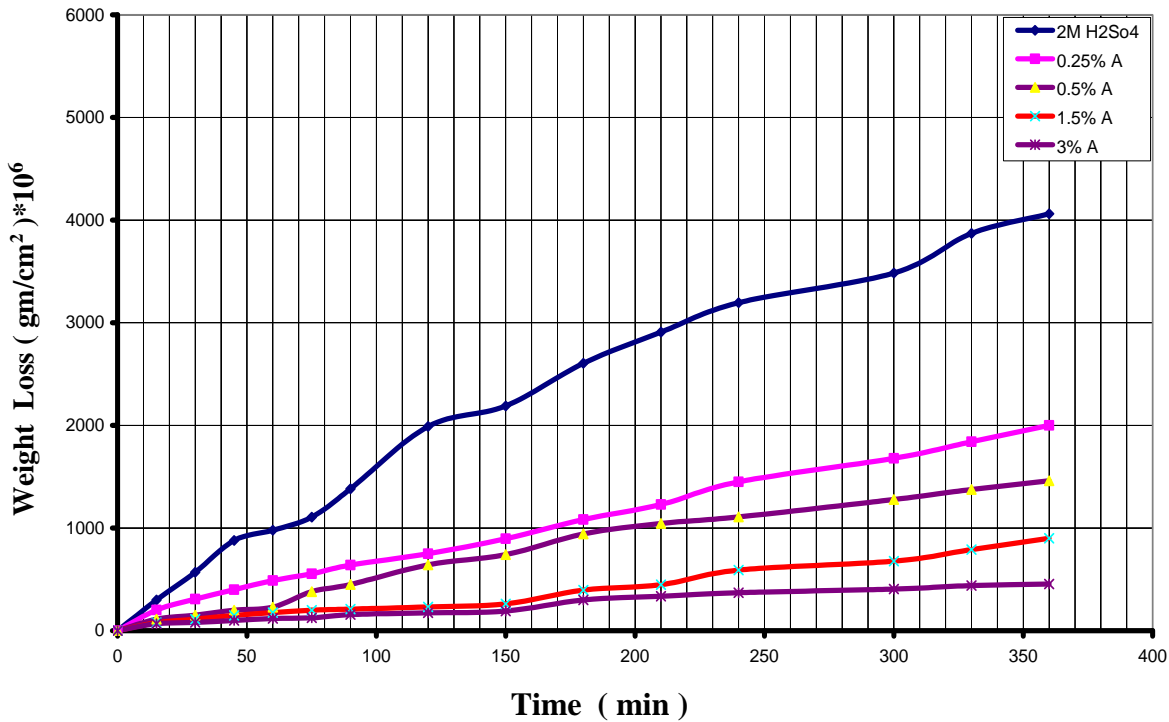
أجري هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وباستعمال محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO ) والأشكال ( 4.19 - 4.26 ) تبين تأثير فترة التعرض على الوزن المفقود لكل عينة من العينات المذكورة في محلول حامض الكبريتيك بوجود وغياب كل من المثبتين ( A & B ).



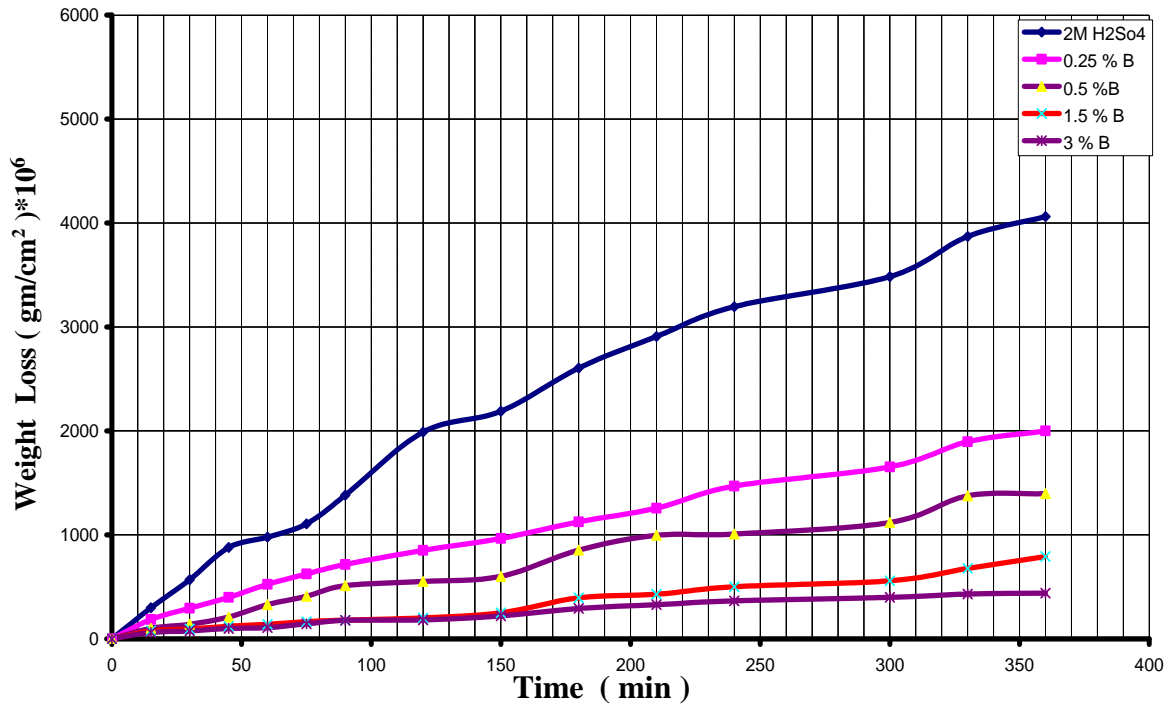
الشكل ( 4.19 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وغياب المثبت ( A ).



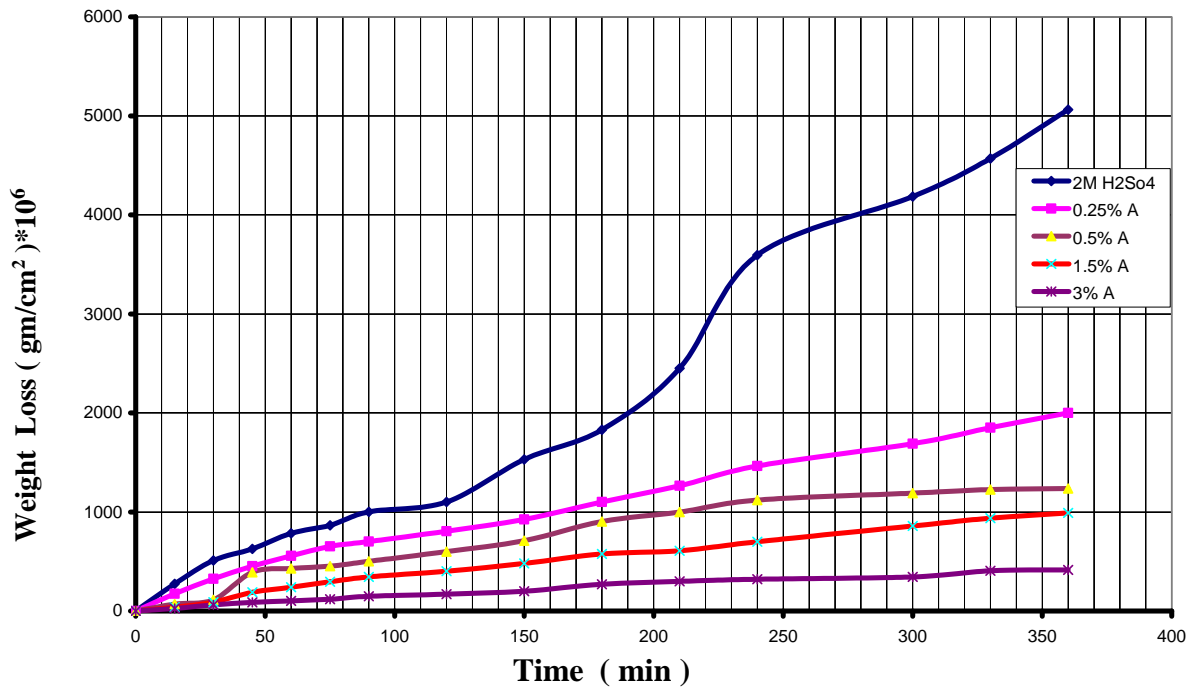
الشكل ( 4.20 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



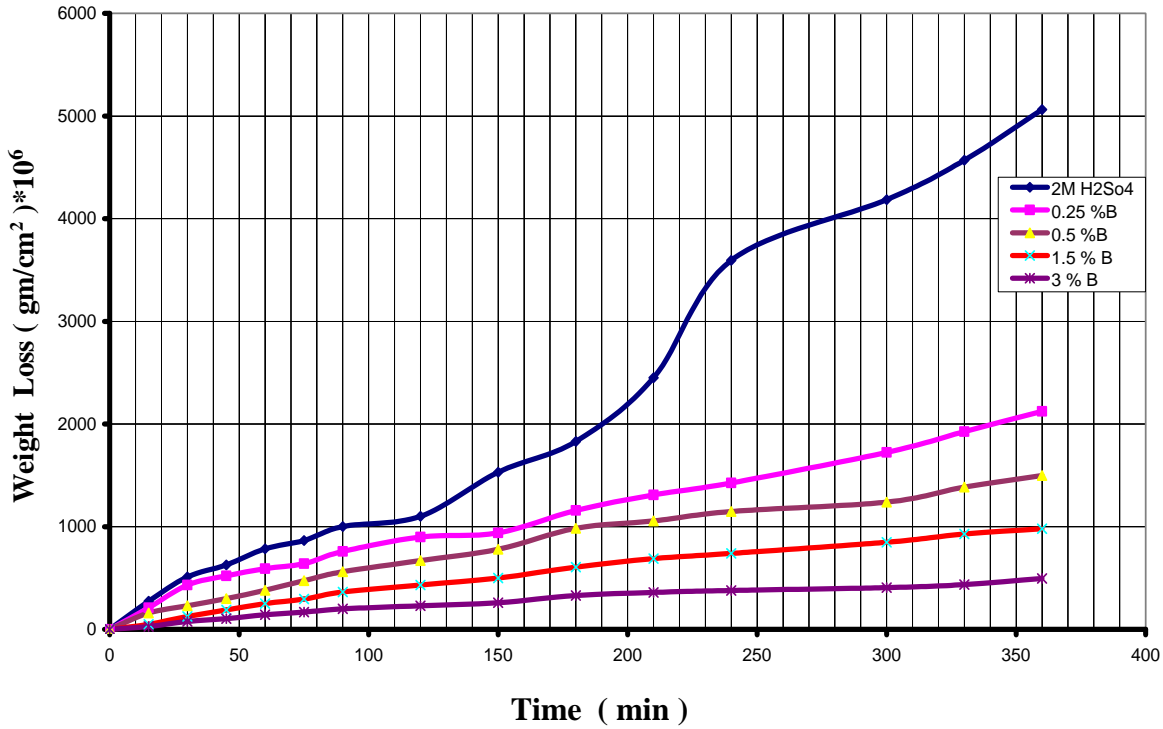
الشكل ( 4.21 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



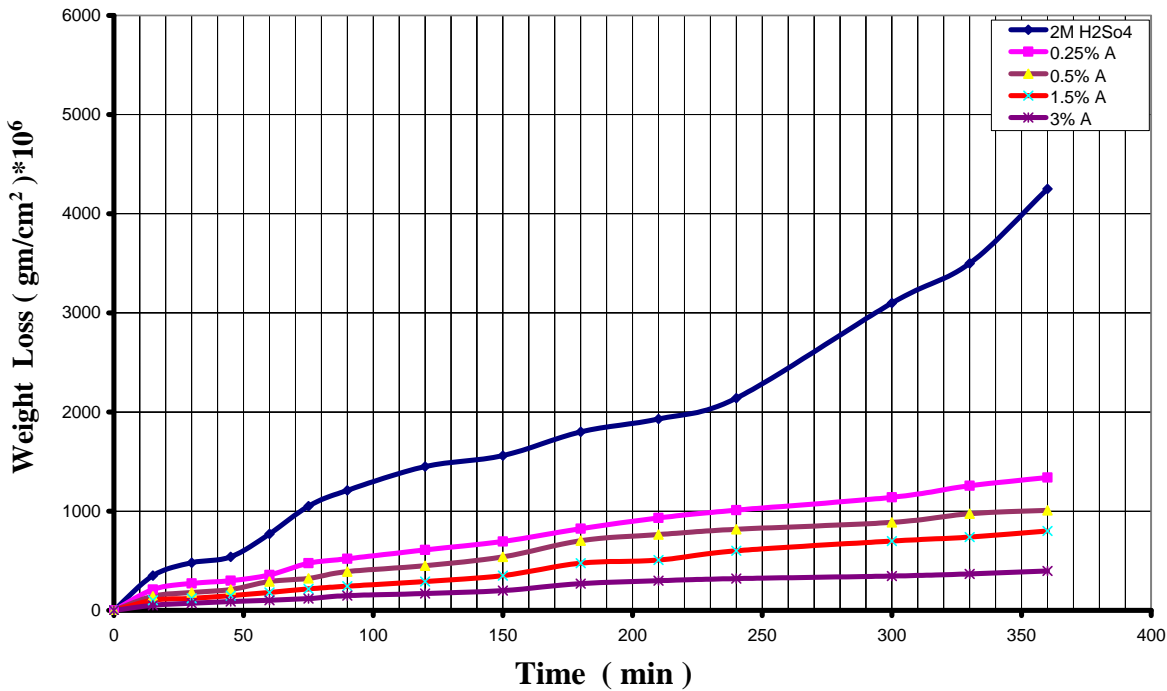
الشكل ( 4.22 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).



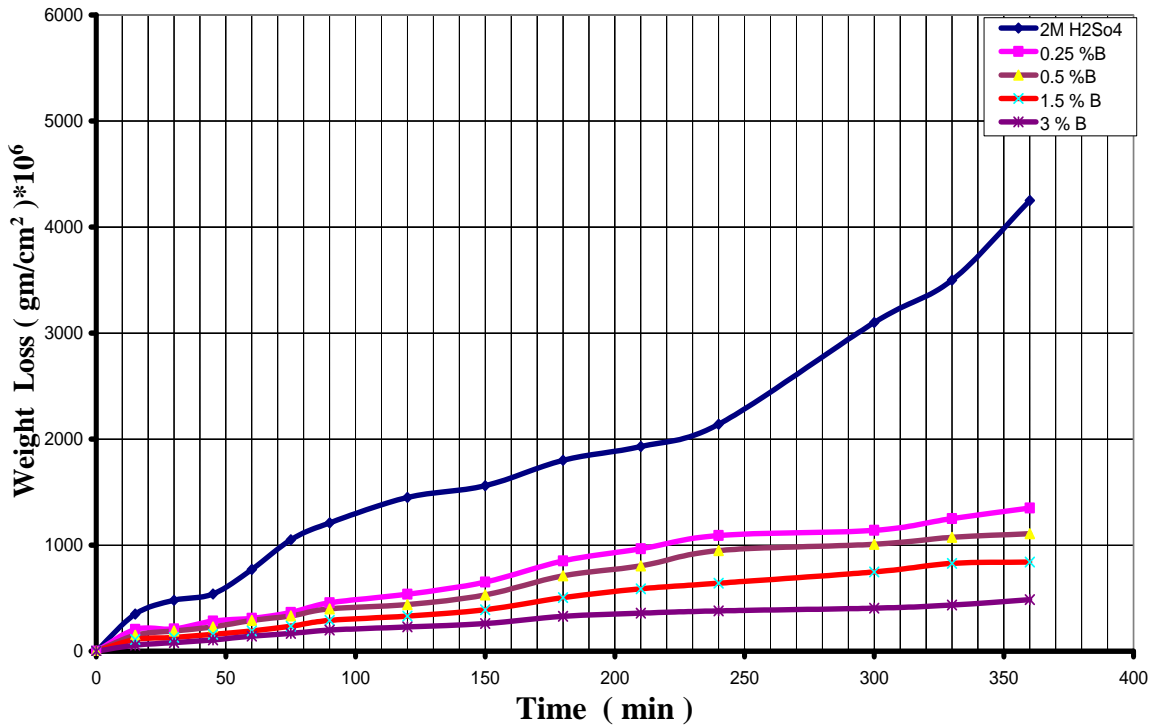
الشكل ( 4.23 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).



الشكل ( 4.24 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).



الشكل ( 4.25 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة معاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).

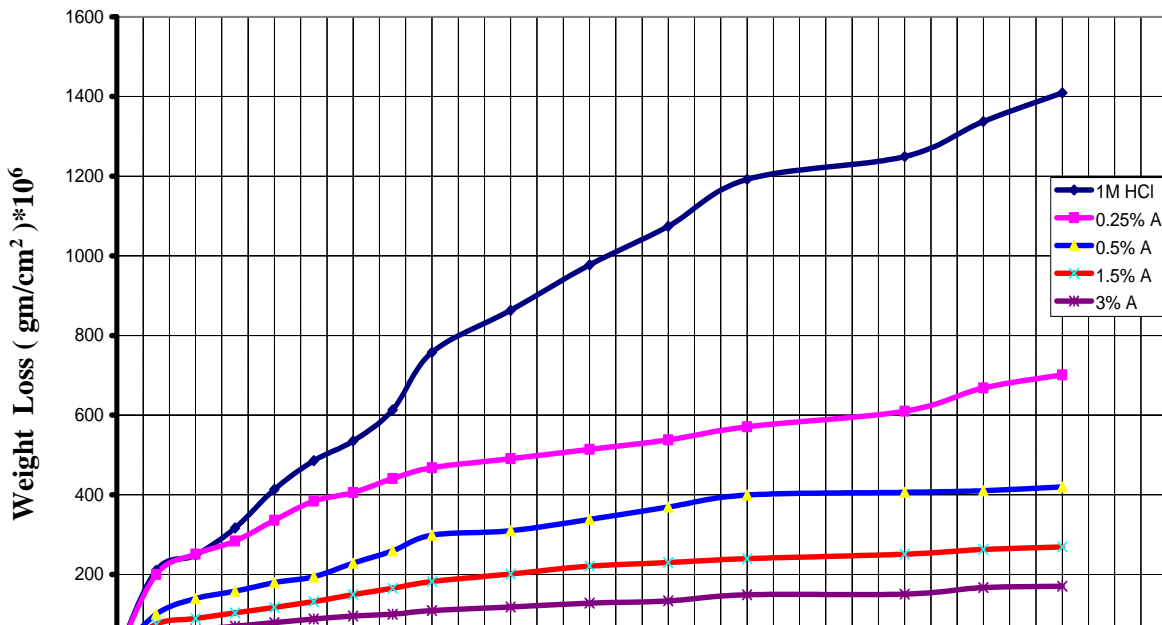


الشكل ( 4.26 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة معاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وغياب المثبط ( B ).

### HCl Solution

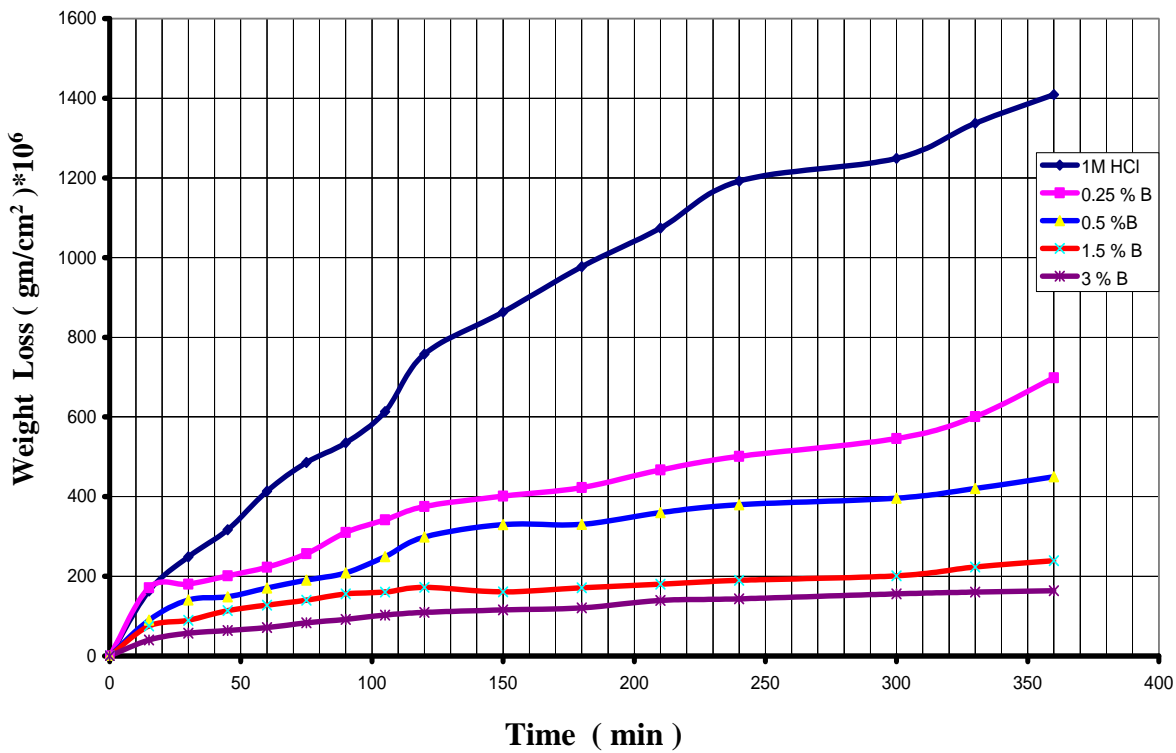
### محلول HCl ➤

أجري هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وباستعمال محلول ( 1 M HCl ) والأشكال ( 4.27 - 4.34 ) تأثير فترة التعرض لكل عينة من العينات المذكورة في محلول حامض الهيدروكلوريك بوجود وغياب كل من المثبتين ( A & B ).

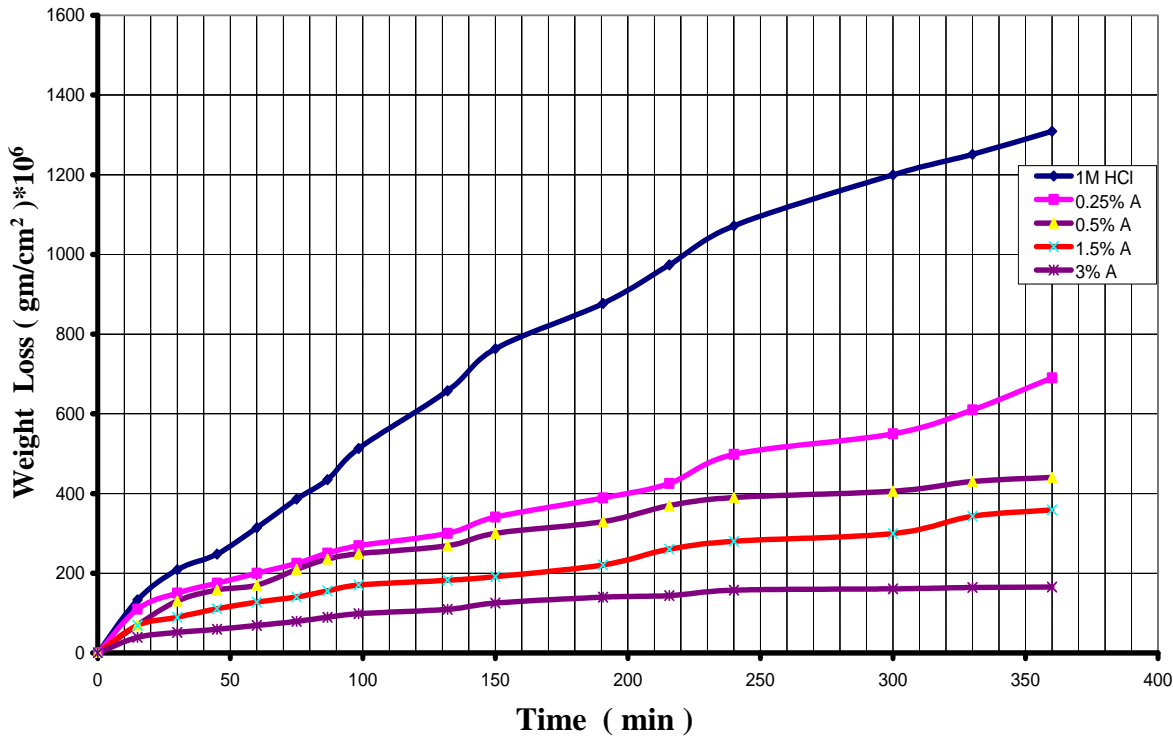


Time ( min )

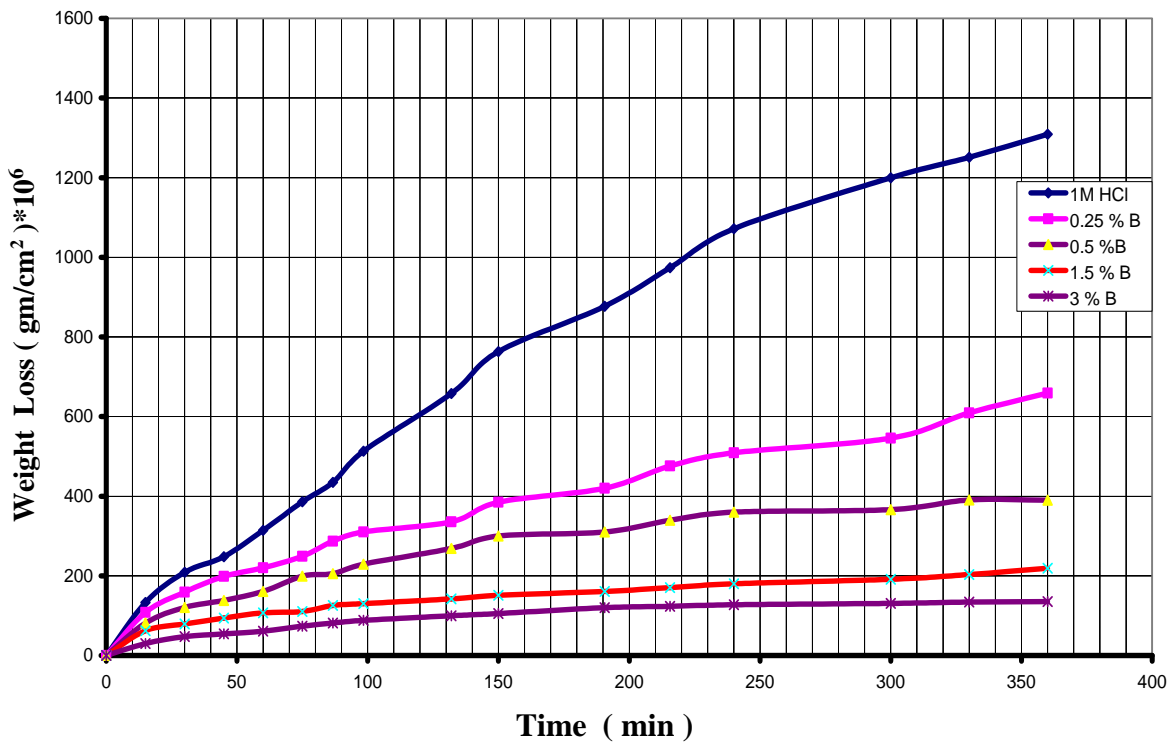
الشكل ( 4.27 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).



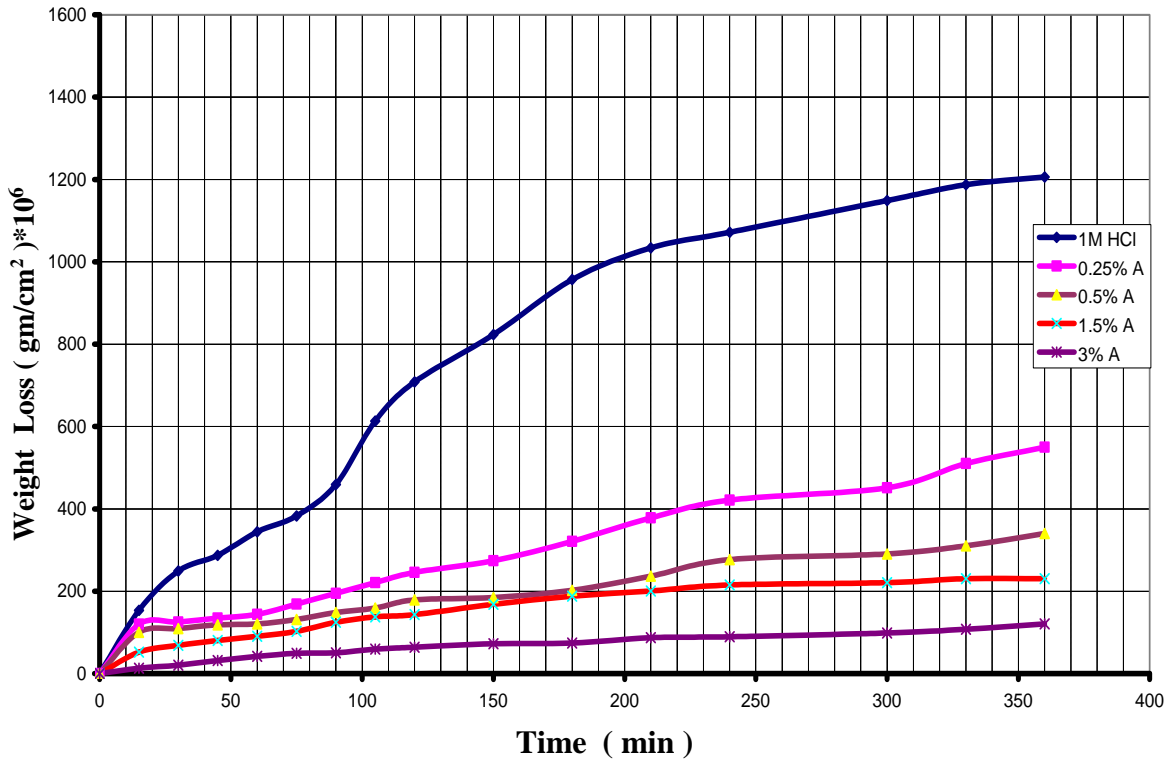
الشكل ( 4.28 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).



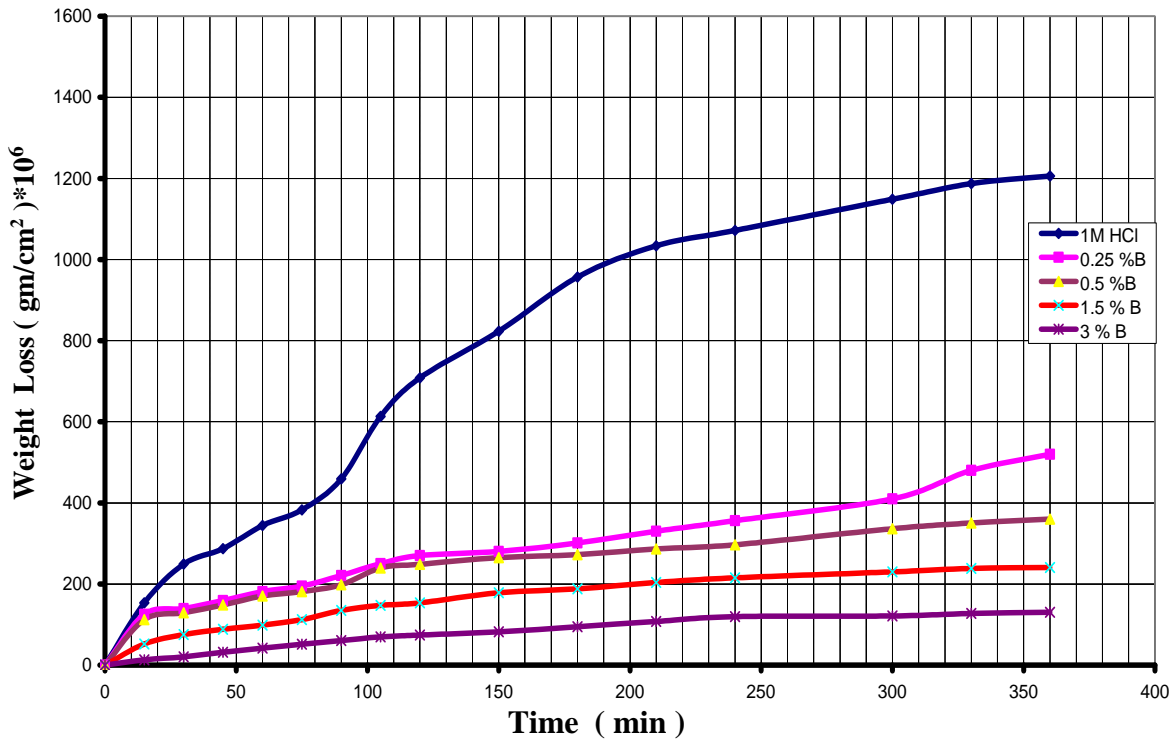
الشكل ( 4.29 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



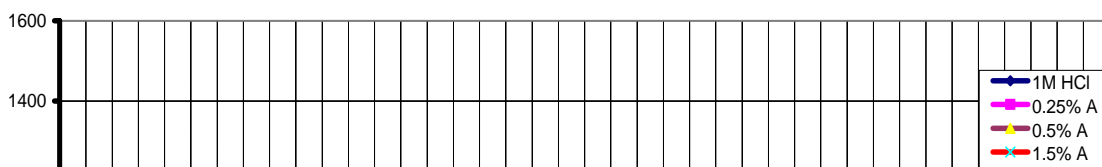
الشكل ( 4.30 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



الشكل ( 4.31 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).



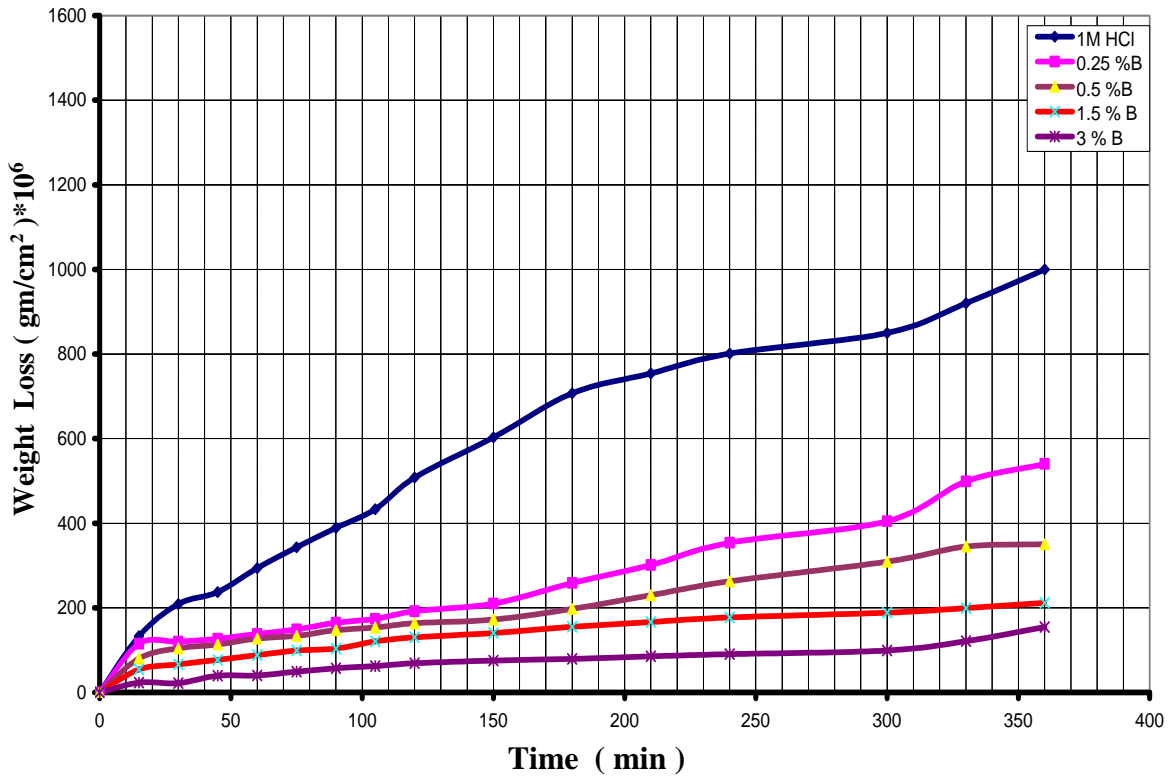
الشكل ( 4.32 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).



Weight Loss ( gm/cm<sup>2</sup> ) \* 10<sup>6</sup>

Time ( min )

الشكل ( 4.33 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( A ).



الشكل ( 4.34 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني بوجود وبغياب المثبط ( B ).

الأشكال ( 4.19 – 4.26 ) تُظهر فاعلية المثبتين في هذا الحامض فالنموذج المغمور في حامض يخلو من المثبت كانت نسبة فقدان الوزن فيه عالية مقارنةً بتلك المعرضة للحامض بوجود المثبت. فعند نسبة تركيز ( A 3% ) في الشكل ( 4.19 ) كان مقدار الزيادة في مقاومة التآكل حوالي ( 89.4% ). كما تُظهر هذه الأشكال زيادة كبيرة في الوزن المفقود مقارنةً بالماء الاعتيادي والمحلل الملحي وهذا أمر متوقع لسلوك الفولاذ في المحاليل المخففة من ناحية ومن ناحية أخرى يبدو أن لهذا الحامض تأثيراً في انتشارية وتلاصق جزيئات المثبت على سطح المعدن وربما في معدل نموها. وحقيقة ما يجري على سطح المعدن يمثل - كما تم التطرق إليه سابقاً - نوعاً من المنافسة بين ميل جزيئات المثبت للتصاق بسطح المعدن وحمايته من التآكل ( عزله عن المحلول ) وبين الميل الطبيعي لهذا النوع من الفولاذ للتآكل ( فقدان الوزن وعدم القدرة على بناء طبقة من نواتج التآكل على سطحه للحماية )، هذه الحقيقة يمكن إدراكها بألقاء نظرة على القيم العالية للفقدان لكن المثبت ظلّ فعالاً. كان ينبغي أن تكون فترات الاختبار أطول حتى يتم تحديد مناطق الأستقرار. والشكل ( 4.20 ) يبين أن المثبت ( B ) أكثر قابلية على الحماية في هذا المحلول الحامضي والجدولان ( 4.6 )، ( 4.7 ) يبينان كفاءة التثبيط لكلا المثبتين في محلول (  $2M H_2SO_4$  ) ولعل ذلك يرجع إلى اختلاف في نسبة مكونات المجاميع الفعالة في كلا المثبتين كما يُظهره التحليل لنوع المجاميع. أما التعامل الحراري فيظهره الشكل ( 4.21 ) والشكل ( 4.22 ) وحتى في هذا المحلول الحامضي كان للمعاملة الحرارية تأثيراً إيجابياً انعكس بشكل انخفاض في قيم الوزن المفقود ولأسباب مشابهة لما ورد سابقاً. الشكلان ( 4.23 )، ( 4.24 ) يمثلان السلوك التآكلي للمنطقة المتأثرة بالحرارة، الوزن المفقود في هذه النماذج أقل من نظيراتها في منطقة اللحام لأسباب مذكورة سابقاً. ويتقارب تأثير المثبت ( A ) من تأثير نظيره المثبت ( B ). والشكلان ( 4.25 ) و ( 4.26 ) يظهران تأثير التعامل الحراري على الوزن المفقود للعينات المأخوذة من المنطقة المتأثرة بالحرارة.

الأشكال ( 4.27 – 4.34 ) تبين السلوك التآكلي للفولاذ المستعمل في حامض الهيدروكلوريك (  $1M HCl$  ) يبدو جلياً من هذه الأشكال أن الوزن المفقود أقل مما في حالة حامض (  $2M H_2SO_4$  )، إن لهذا الحامض (  $1M HCl$  ) تأثيراً كبيراً في تسارع عملية التآكل لهذا النوع من الفولاذ بسبب وجود أيونات (  $H^+$  ) التي تمثل وسيلة لتصريف الألكترونات مما يعجل من معدلات التفاعل لأنه عامل مختزل، لكنه على الرغم من ذلك كان تأثير محلول (  $2M H_2SO_4$  ) المخفف أعلى من تأثيره بسبب وجود نسبة أكبر من أيونات (  $H^+$  ) المختزلة والمعجلة لعملية التآكل والذي أشار إليه باحثون آخرون<sup>(2136)</sup>. والجدولان ( 4.8 )، ( 4.9 ) يبينان كفاءة التثبيط لكل من المثبتين ( A ) و ( B ) في حالات التعامل الحراري وبغياهما للنماذج المستعملة. إن نظرة متأنية لجدول ( 4.6 – 4.9 ) تُظهر سلوكاً غريباً جيداً وربما غاية في الأهمية في كفاءة التثبيط. إذ أن هذه الكفاءة تزداد بزيادة قسوة الوسط، ويمكن أن يعزى ذلك بشكل جزئي إلى قابلية الوسط الأقسى (  $2M H_2SO_4$  ) إلى وجود إمكانية ولو بسيطة لبناء طبقة أوكسيدية واقية نسبياً وقد يرجع جزئياً إلى تأثير هذا الحامض في انتشارية وتلاصق جزيئات المثبت على سطح المعدن.

الجدول ( 4.6 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.47	47.15	0.25	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.64	64.83	0.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.78	78.95	1.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.89	89.39	3	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.5	50.76	0.25	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.64	64.04	0.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.77	77.83	1.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.88	88.79	3	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.6	60.04	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.75	75.54	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.8	80.43	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.91	91.79	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.68	68.47	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.76	76.29	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.81	81.17	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.9	90.65	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

الجدول ( 4.7 ) كفاءة المثبط ( B ) عند تراكيز مختلفة منه و في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.55	55.8	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.7	70	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.8	80.73	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.89	89.22	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.5	50.07	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.65	65.61	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.8	80.52	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.89	89.15	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.58	58.80	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.7	70.41	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.8	80.06	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.89	89.21	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.68	68.23	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.73	73.93	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.8	80.22	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.88	88.58	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

الجدول ( 4.8 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 1M HCl ) لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في اختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.5	50.24	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.7	70.17	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.8	80.89	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.87	87.89	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.47	47.28	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.66	66.36	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.72	72.56	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.87	87.35	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.54	54.39	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.71	71.79	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.8	80.88	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.9	90.01	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.66	66	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.75	75.97	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.8	80.56	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.89	89.56	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

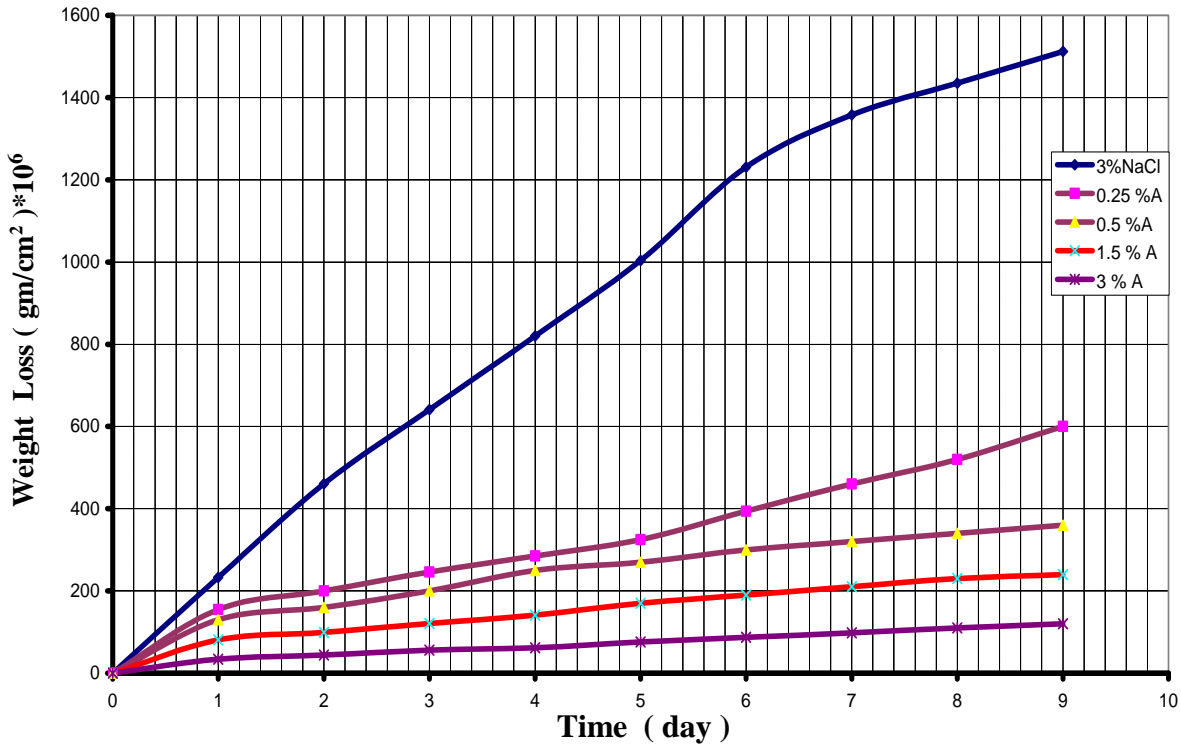
الجدول ( 4.9 ) كفاءة المثبط ( B ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 1M HCl ) لعينات ملحومات الفولاذ الكربوني المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( $\theta$ )	الكفاءة %	تركيز المثبط (v/v) %	العينة
0.5	50.04	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.68	68.04	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.83	83	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.88	88.39	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.49	49.6	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.7	70.18	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.83	83.25	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.89	89.64	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.56	56.88	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.7	70.12	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.8	80.05	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.87	87.19	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.44	44.61	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.64	64.97	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.78	78.84	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.84	84.56	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

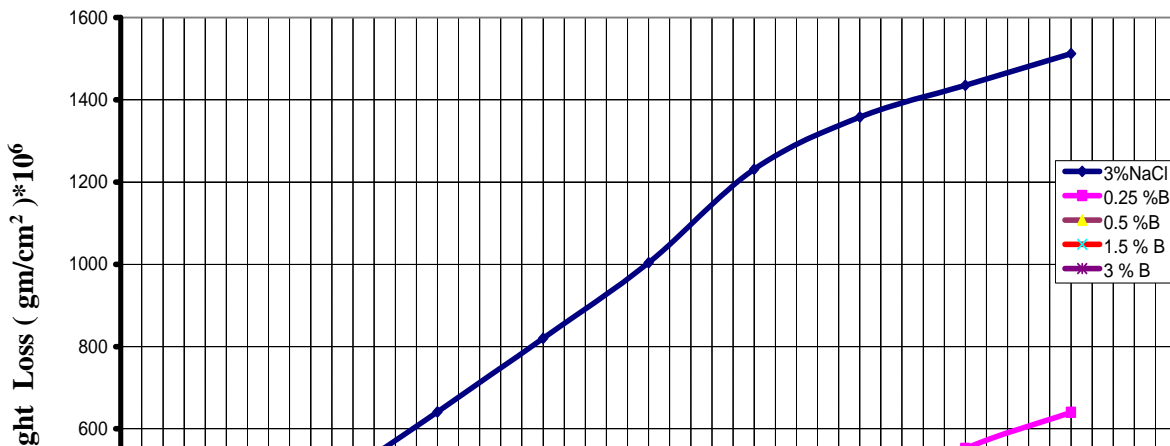
#### 4.3.1.2 الألمنيوم Aluminum

➤ المحلول الملحي Salt Solution

أجرى هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة في المحلول الملحي لكوريد الصوديوم بنسبة ( 3% NaCl ) وزناً لكل من منطقة اللحم والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة وغير المعاملة حرارياً، إذ تم حساب التغير في الوزن لوحدة المساحة لفترات تعرض زمنية، والأشكال ( 4.35 - 4.42 ) تبين تأثير فترة التعرض لكل عينة من العينات المذكورة في المحلول الملحي بوجود وغياب كل من المثبتين ( A & B ).

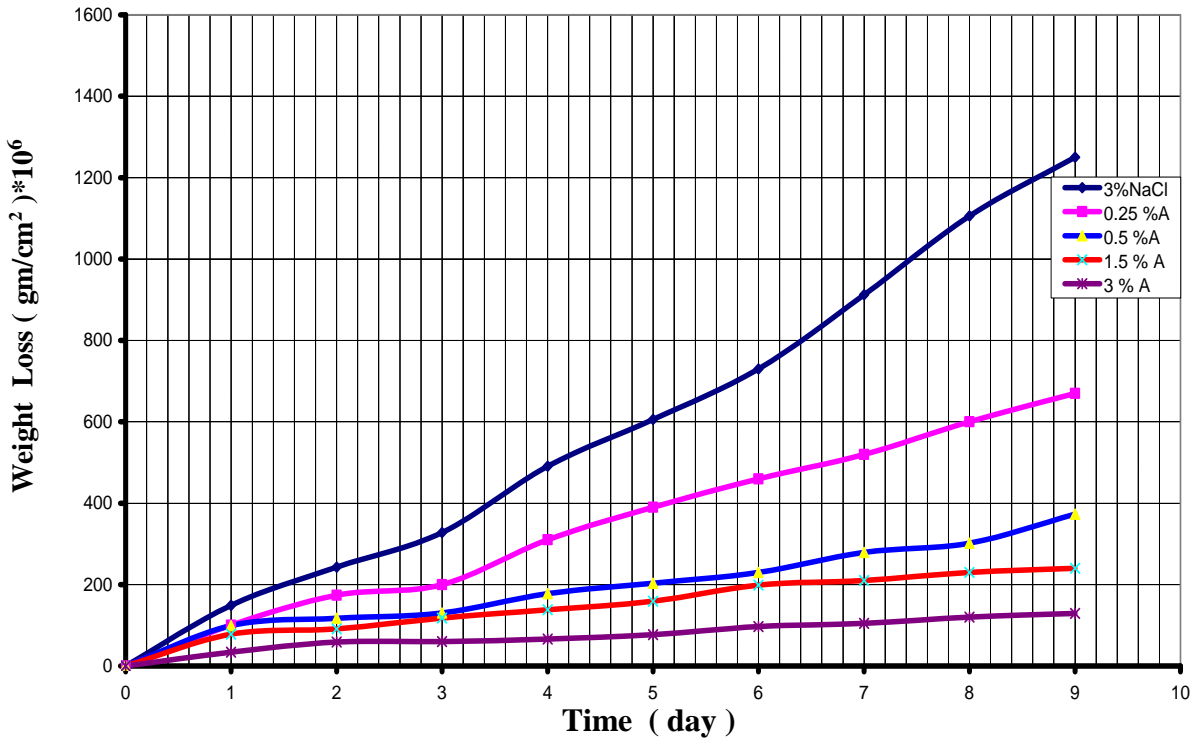


الشكل ( 4.35 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وغياب المثبت ( A ).

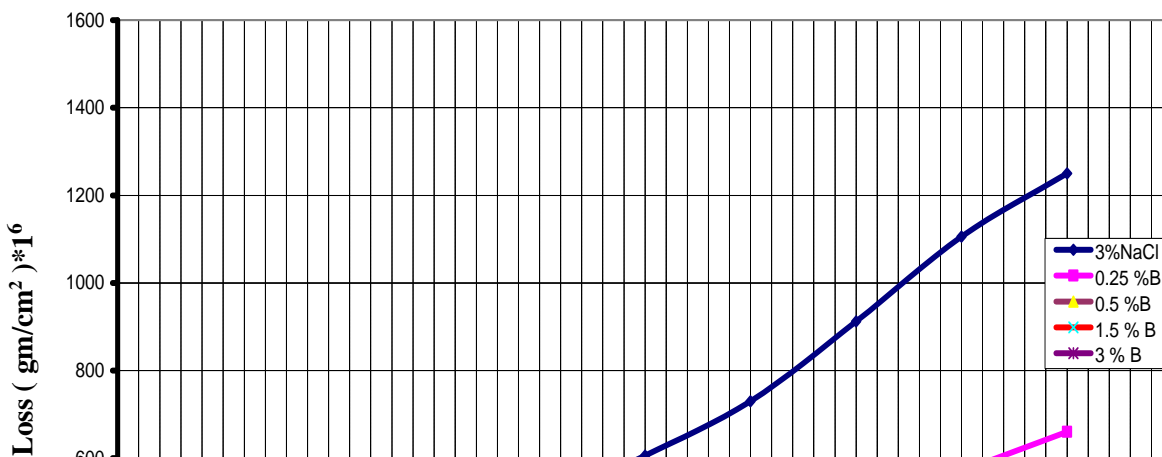


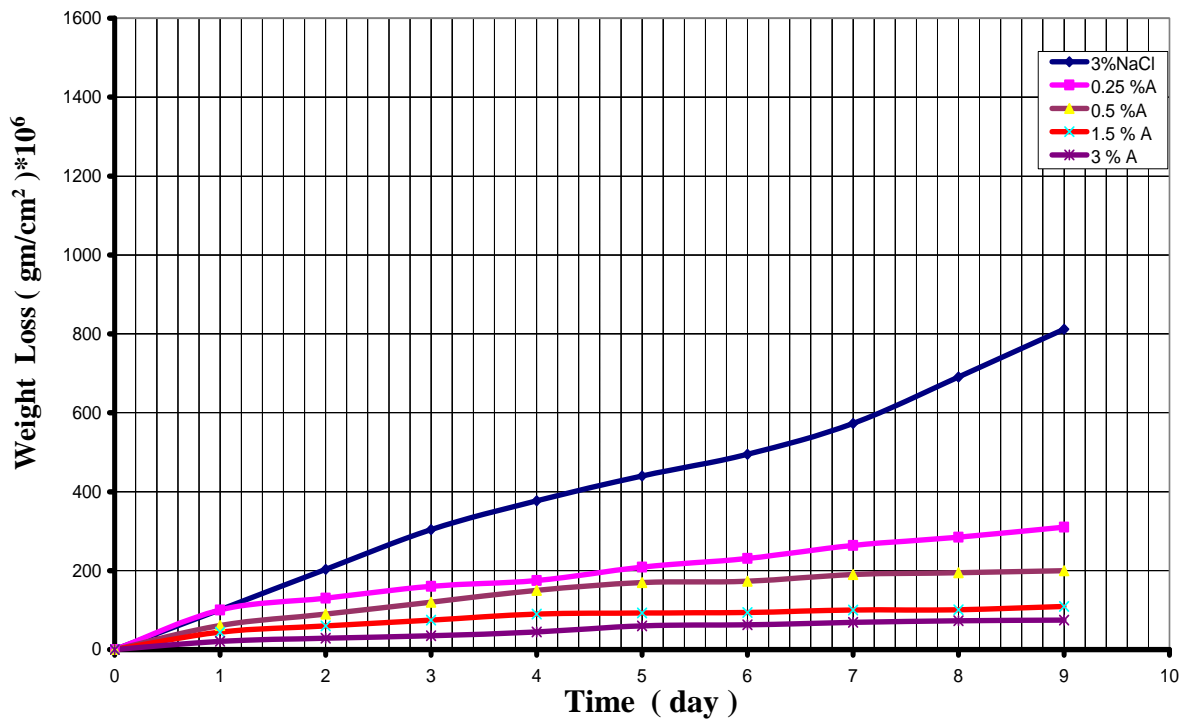
Time ( day )

الشكل ( 4.36 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( B ) .

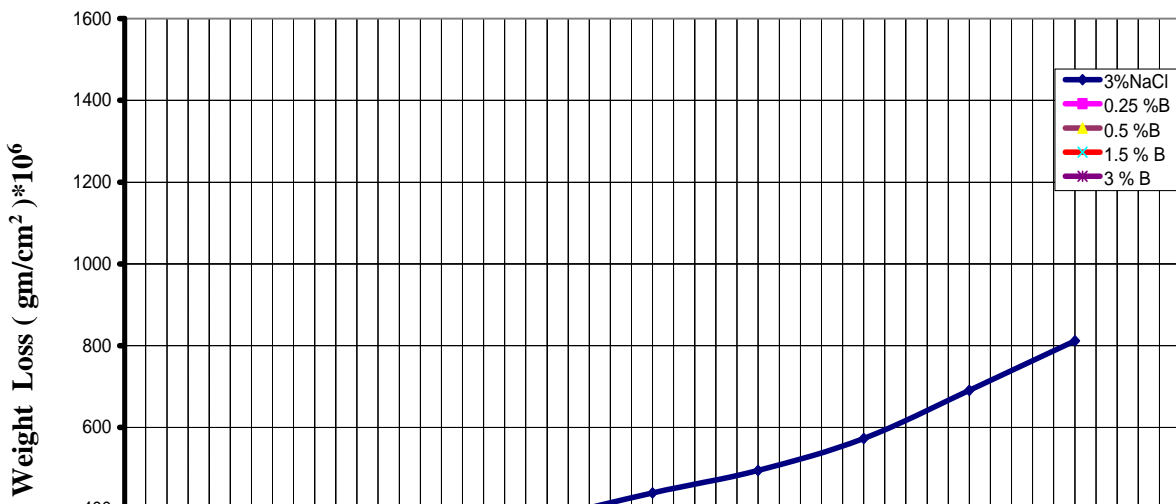


الشكل ( 4.37 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



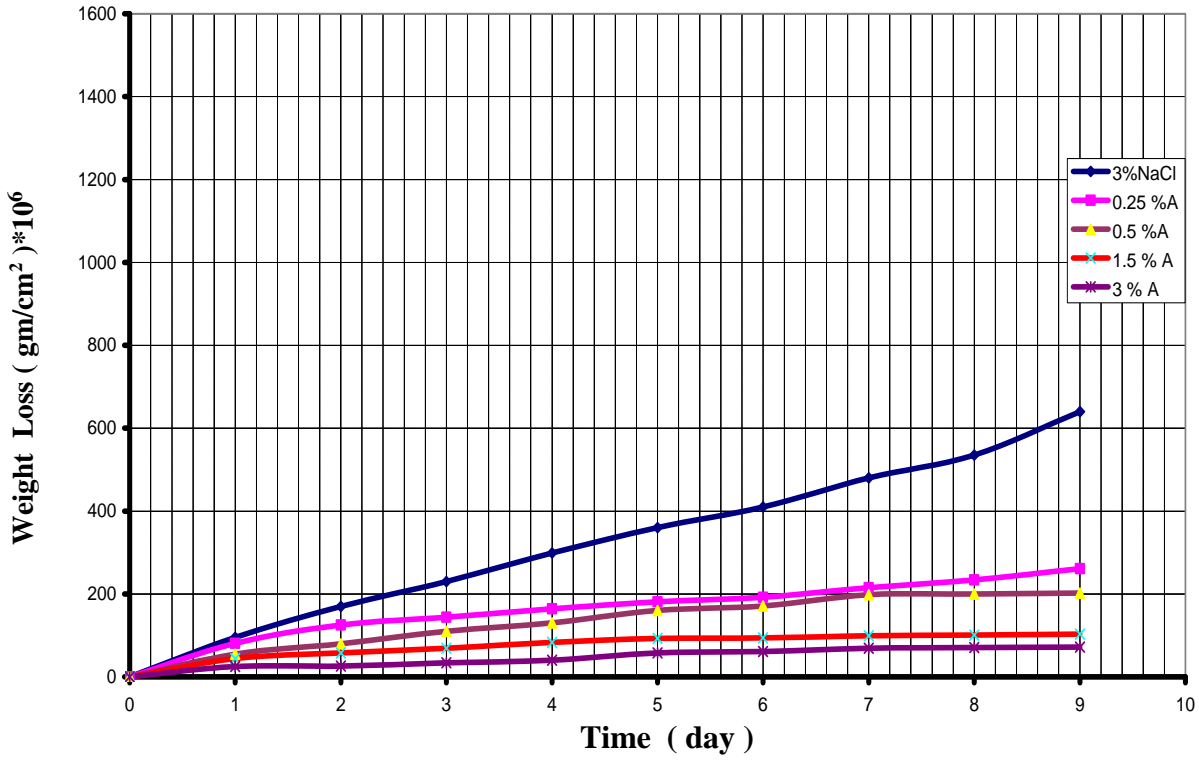


الشكل ( 4.39 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( A ) .

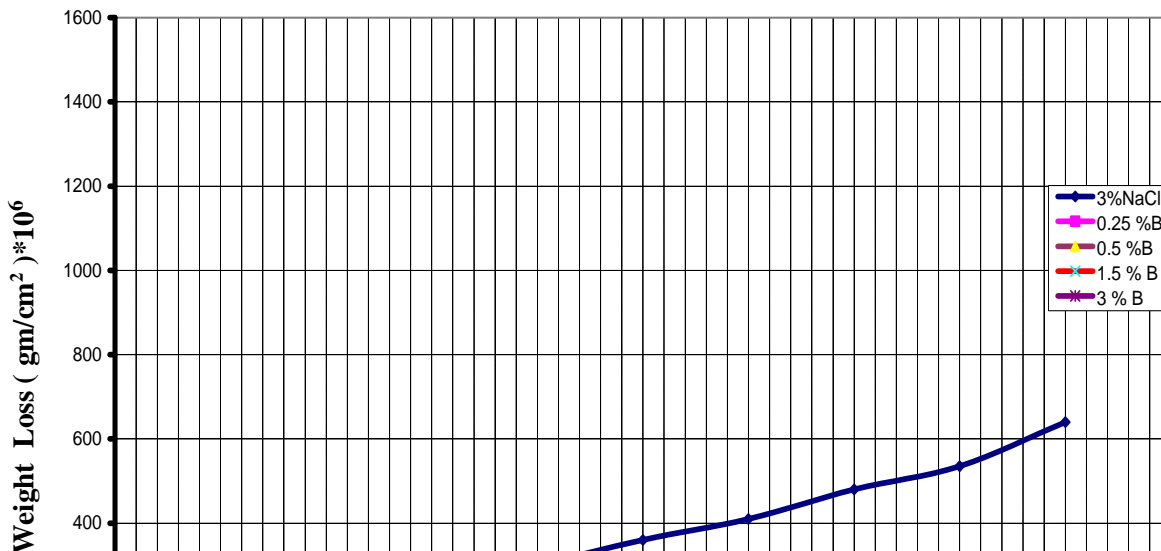


Time ( day )

الشكل ( 4.40 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



الشكل ( 4.41 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



لعل الألمنيوم من أكثر المواد التي تستطيع بناء طبقة أوكسيدية واقية ومستقرة ( $Al_2O_3$ ) على سطحه ويمكن أن تعمل كحاجز فعال بين المعدن والوسط الأكل (Corrosive Environmental) كما تكتنف عملية لحام هذا المعدن وكثير من سبائكه صعوبات شتى يدركها الاختصاصيون كما ذكرها باحثون آخرون (8,25). لكن نماذج هذا المعدن كان قد تم تحضيرها لعمليات الفحص المجهرية واختبارات التآكل، وبدا يمكن أن تكون هذه الطبقة قد أزيلت، ونمى بدلاً عنها هيدروكسيد الألمنيوم بشكل رئيسي، وحتى لو كان سطح الألمنيوم مغطى بطبقة من أوكسيده فإنها لا تقاوم تأثير الكلوريدات (40,63)، وهذه مشكلة تعاني منها حتى السبائك المقاومة للتآكل التي تعتمد على الأكاسيد المتكونة على سطحها لحمايتها، لأن أيونات الكلوريد لها القابلية على التغلغل وإلحاق التلف بهذه الطبقة على سطح المعدن وإن زيادة قابلية التآكل في المحلول الملحي ناتجة من تحفيز الذوبان الأنودي لسطح المعدن وهذا يتفق مع ما توصل إليه باحثون آخرون (20,19).

الأشكال السابقة تبين تأثير المثبط في تقليل معدلات التآكل والجدولان (4.11) و (4.12) تعطي قيماً لكفاءات التثبيط لكلا المثبتين. هذان الجدولان يظهران تأثيراً أكبر للمثبتين في حماية الألمنيوم في الوسط الملحي أكثر مما للفولاذ في نفس الوسط، ولعل هذه النتيجة تجعل من المثبط مرغوباً في حماية مشعات Radiators مكائن السيارات التي يمكن أن يستعمل الألمنيوم بدل النحاس في صناعتها. أما إذا كانت حماية المثبط للألمنيوم أكثر مما للفولاذ تحت الظروف نفسها فإنه يمكن أن يرجع أيضاً إلى ميل جزيئات المثبط في تحركها وإلتصاقها بسطح الفولاذ وانتشارها ونموها. هذا إضافة إلى فرق الجهد Potential different بين المعدن والوسط الأكالي كما أشار إليه باحثون آخرون (21,36). ويبقى تأثير تركيز المثبط مؤثراً كما هو مبين في الأشكال السابقة ويعود سبب ذلك إلى تنامي طبقة من المثبط العضوي على سطح العينة فتعمل على حماية المعدن من الذوبان في المحلول وهذا يقلل من معدلات التآكل للسيبكية، كما يلاحظ من الأشكال السابقة انخفاض الوزن المفقود بزيادة تركيز المثبتات. أما التعامل الحراري فتظهر تأثيره الأشكال (4.37)، و (4.38)، و (4.41) و (4.42) والنقصان في معدلات التآكل يؤشر إلى التخلص من الإجهادات الداخلية بشكل عام.

الأشكال (4.39 - 4.42) فتبين السلوك التآكلي في المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة وغير المعاملة حرارياً والفرق في كفاءة التثبيط واضحة. ويمكن أن يعزى ذلك كما مر في بنود سابقة، إلى التباين في الإجهادات المتولدة وحجم الحبيبات واختلاف طبيعة المنطقة، إذ إن منطقة اللحام تمثل منصهراً معدنياً وبجميع ما يمكن أن يحمله من عيوب السباكة وهذا ما أشار إليه باحثون آخرون (52).

والجدولان (4.10) و (4.11) يبينان كفاءة التثبيط للمثبتات لعينات منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارية وغير المعاملة حرارياً لكل تركيز من تراكيز المثبتات المستعملة للألمنيوم في محلول (3% NaCl) وزناً.

الجدول ( 4.10 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 3% NaCl ) وزناً لعينات ملحومات سبيكة الألمنيوم المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.6	60.31	0.25	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.76	76.19	0.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.84	84.12	1.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.92	92	3	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.46	46.39	0.25	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.7	70.16	0.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.8	80.80	1.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.89	89.68	3	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.61	61.82	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.75	75.37	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.86	86.57	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.9	90.76	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً

0.59	59.21	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.68	68.34	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.83	83.9	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.88	88.74	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

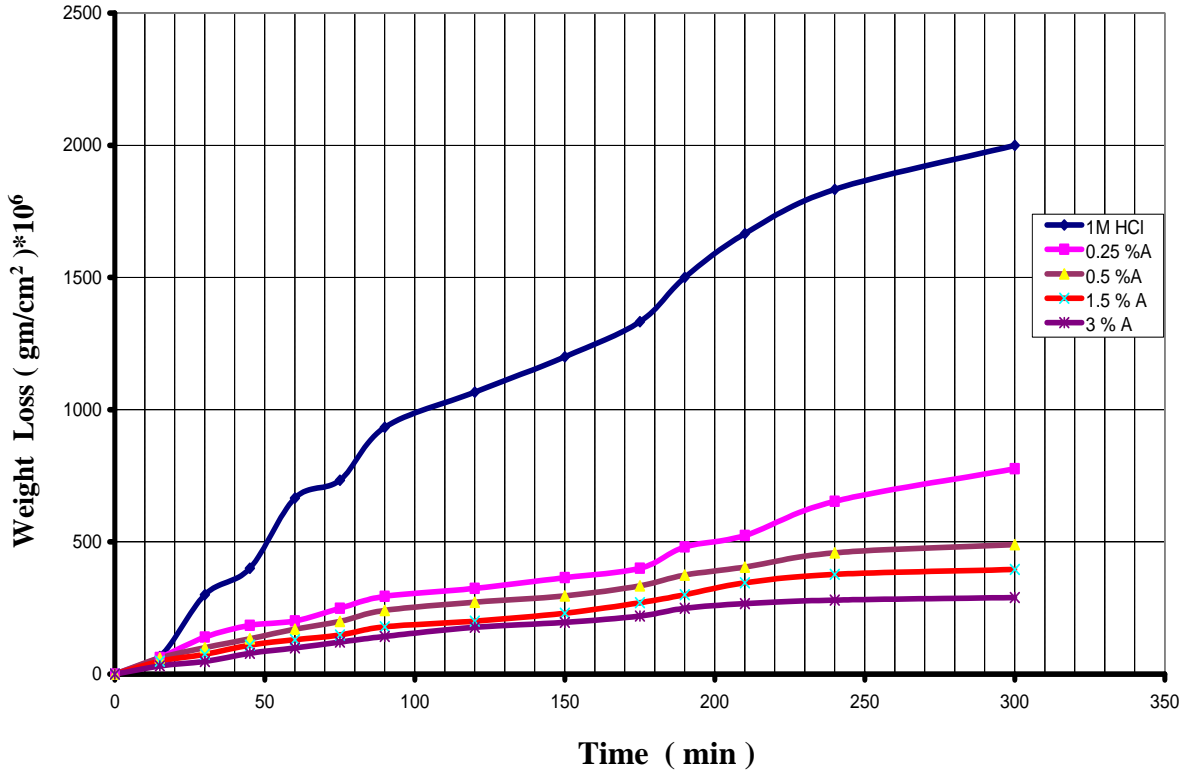
الجدول ( 4.11 ) كفاءة المثبط ( B ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( NaCl 3% ) وزناً لعينات ملحومات سبيكة الألمنيوم المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.57	57.67	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.69	69.5	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.8	80	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.88	88.75	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.53	53.38	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.68	68	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.78	78.39	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.88	88.96	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.63	63.05	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.73	73.77	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.8	80.42	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.89	89.04	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.6	60.93	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

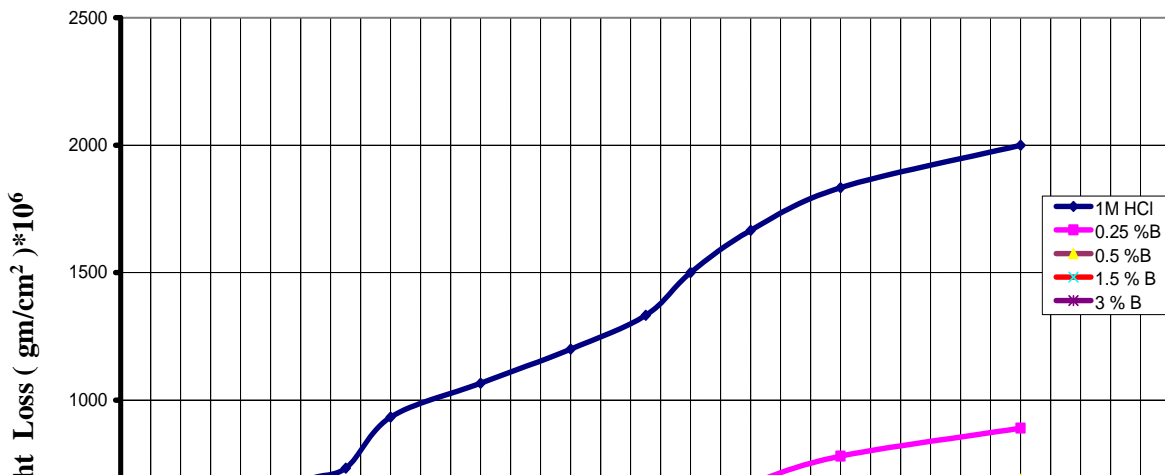
0.68	68.9	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.76	76.56	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.87	87.49	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

### HCl Solution HCl محلول ➤

أجري هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وباستعمال محلول ( 1M HCl ) والأشكال ( 4.43 - 4.50 ) تبين تأثير فترة التعرض لكل عينة من العينات المذكورة في المحلول الحامضي لحامض الهيدروكلوريك بوجود وغياب كل من المثبتين ( A & B ).

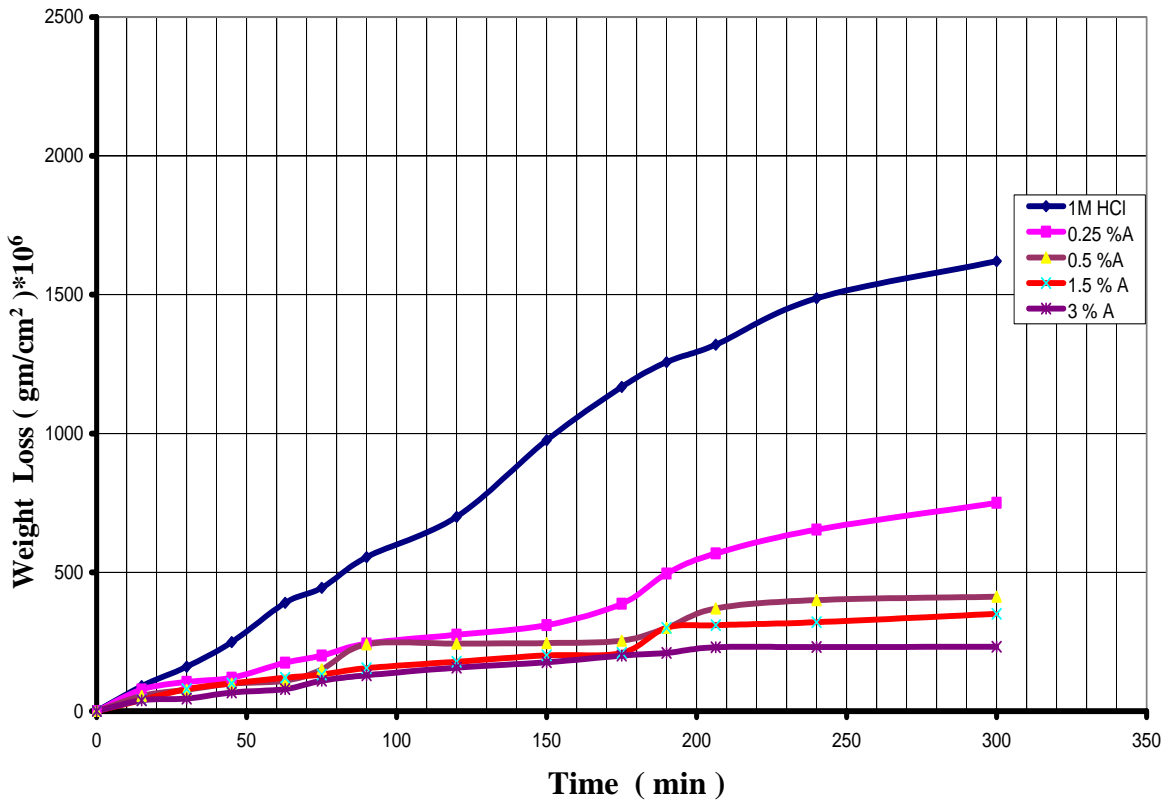


الشكل ( 4.43 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وغياب المثبت ( A ).

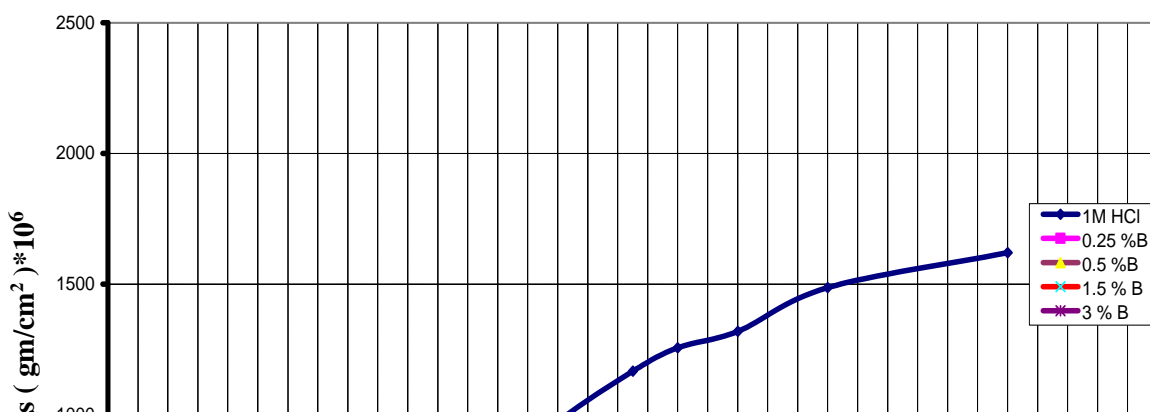


Time ( min )

الشكل ( 4.44 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( B ) .

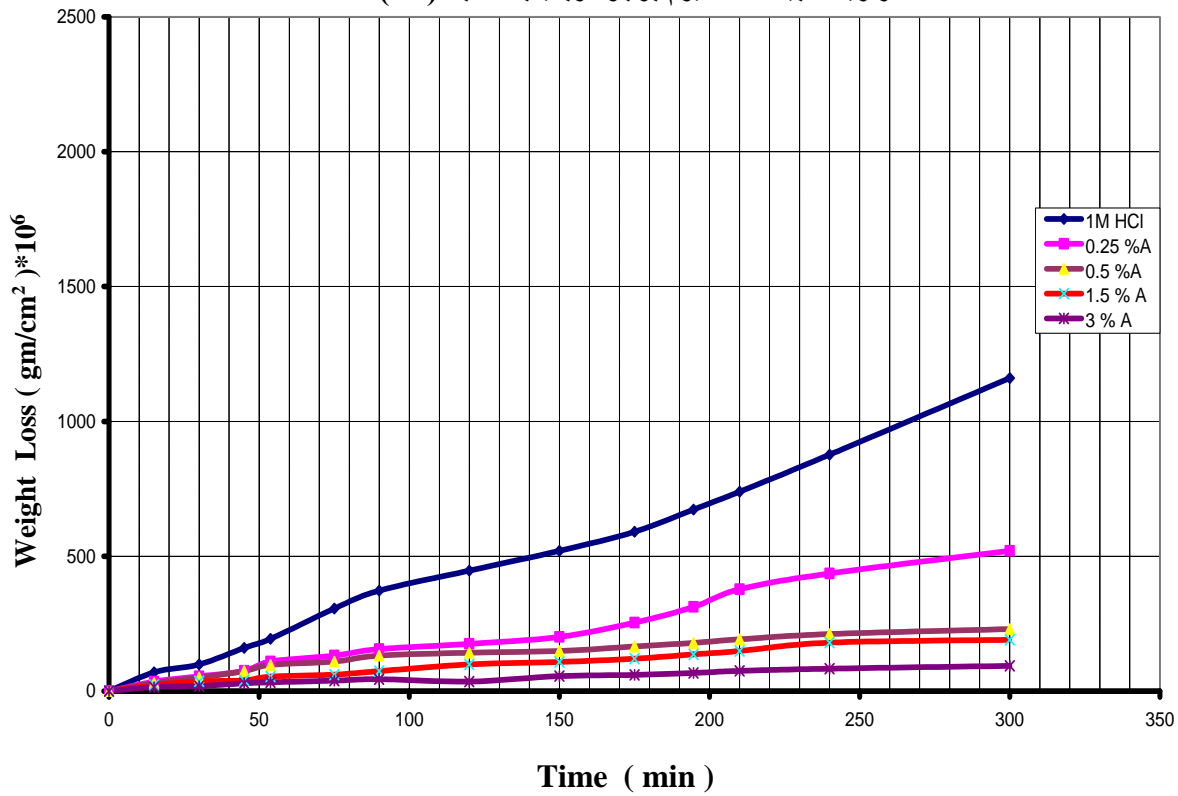


الشكل ( 4.45 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( A ) .

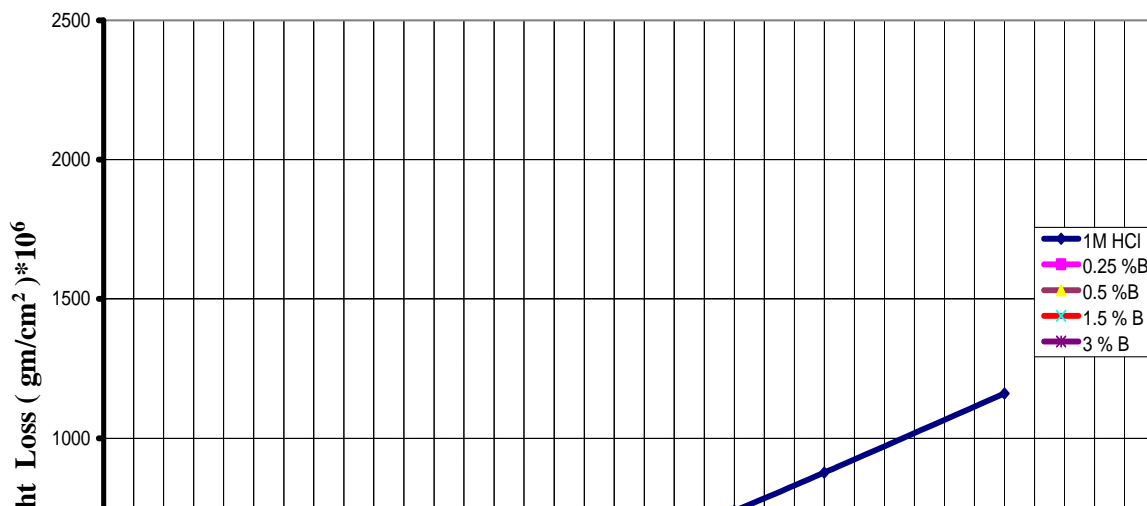


Time ( min )

الشكل ( 4.46 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( B ) .

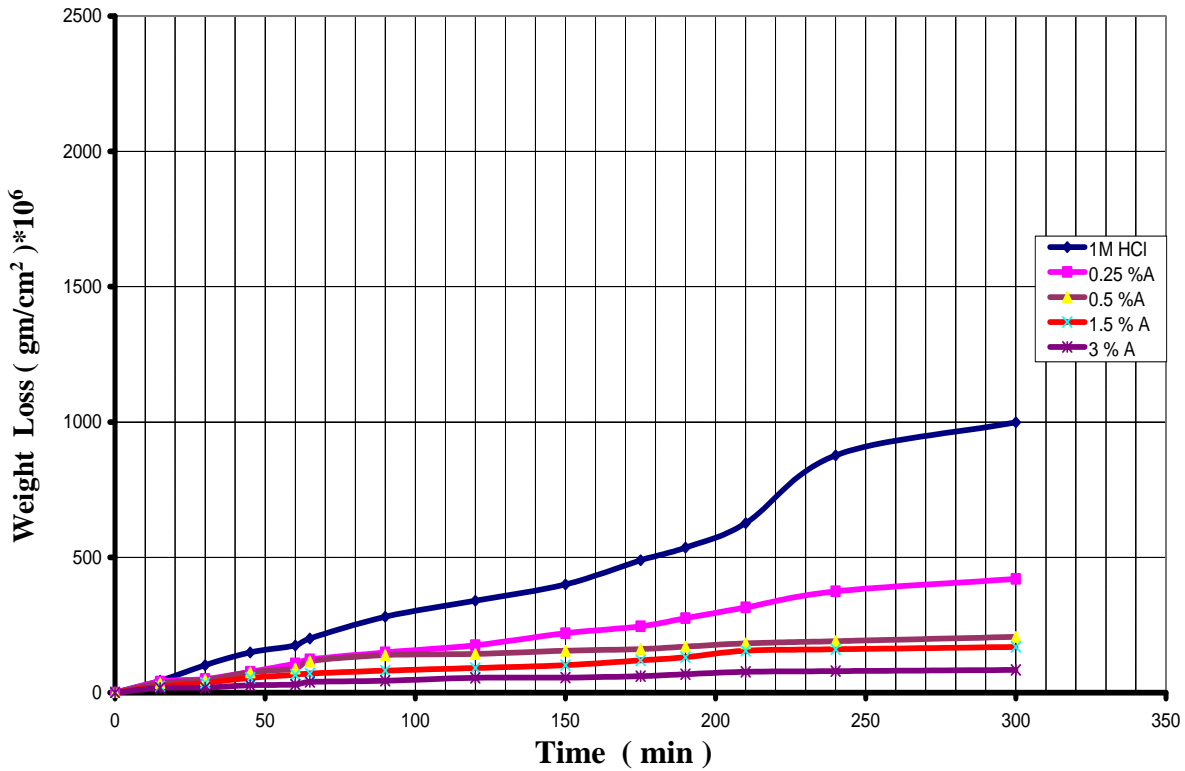


الشكل ( 4.47 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( A ) .

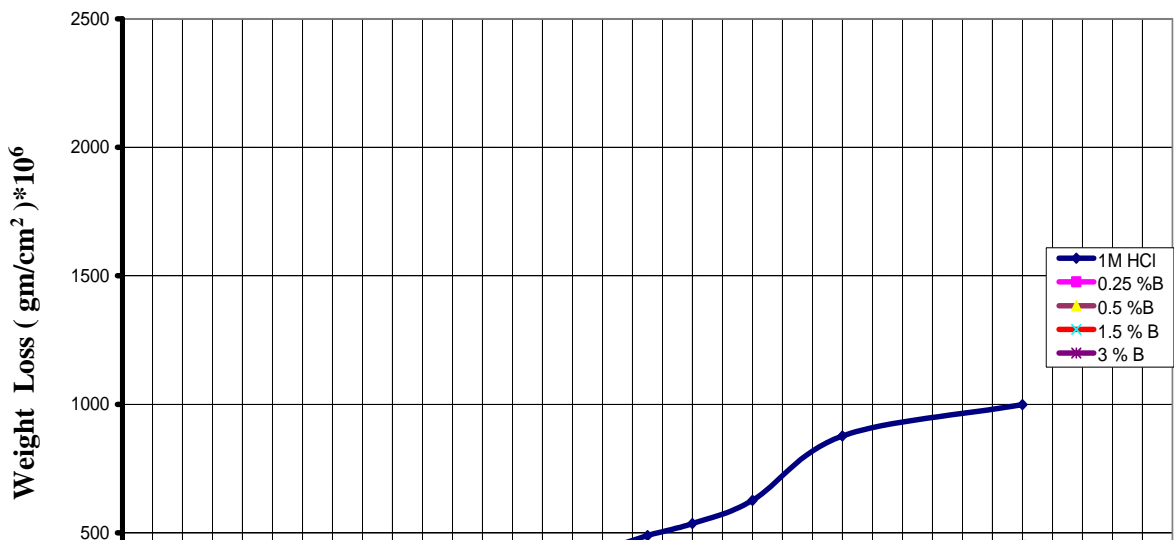


Time ( min )

الشكل ( 4.48 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( B ).



الشكل ( 4.49 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 1M HCl ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم بوجود وبغياب المثبط ( A ).



تمثل الأشكال السابقة معدلات التآكل للألمنيوم في محلول حامض (1M HCl)، وتظهر هذه المنحنيات فقداناً بالوزن أكثر مما في المحلول الملحي، وربما يرجع ذلك إلى وجود أيون الهيدروجين ( $H^+$ ) الذي يمثل وسيلة لتصريف نواتج التآكل ويسرّع من معدلات التآكل للمعدن. هذا إضافة إلى وجود أيون ( $Cl^-$ ) ذي التأثير المعروف في هذا المجال. والجدولان (4.12) و (4.13) يبينان كفاءة التثبيط للمثبطات لعينات منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارية وغير المعاملة حرارياً للألمنيوم في محلول (1M HCl) ولكل تركيز من تراكيز المثبطات المستعملة.

الجدول (4.12) كفاءة المثبط (A) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول (1M HCl) وزناً لعينات ملحومات سبيكة الألمنيوم المعاملة وغير المعاملة حرارياً في اختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة النعطي ( $\theta$ )	الكفاءة %	تركيز المثبط (v/v) %	العينة
0.55	55.21	0.25	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.80	80.19	0.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.83	83.63	1.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.91	91.90	3	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.57	57.95	0.25	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.79	79.38	0.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.83	83.08	1.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.91	91.59	3	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.61	61.14	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.75	75.49	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.8	80.19	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.85	85.49	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً

0.53	53.73	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.74	74.58	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.78	78.4	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.85	85.68	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

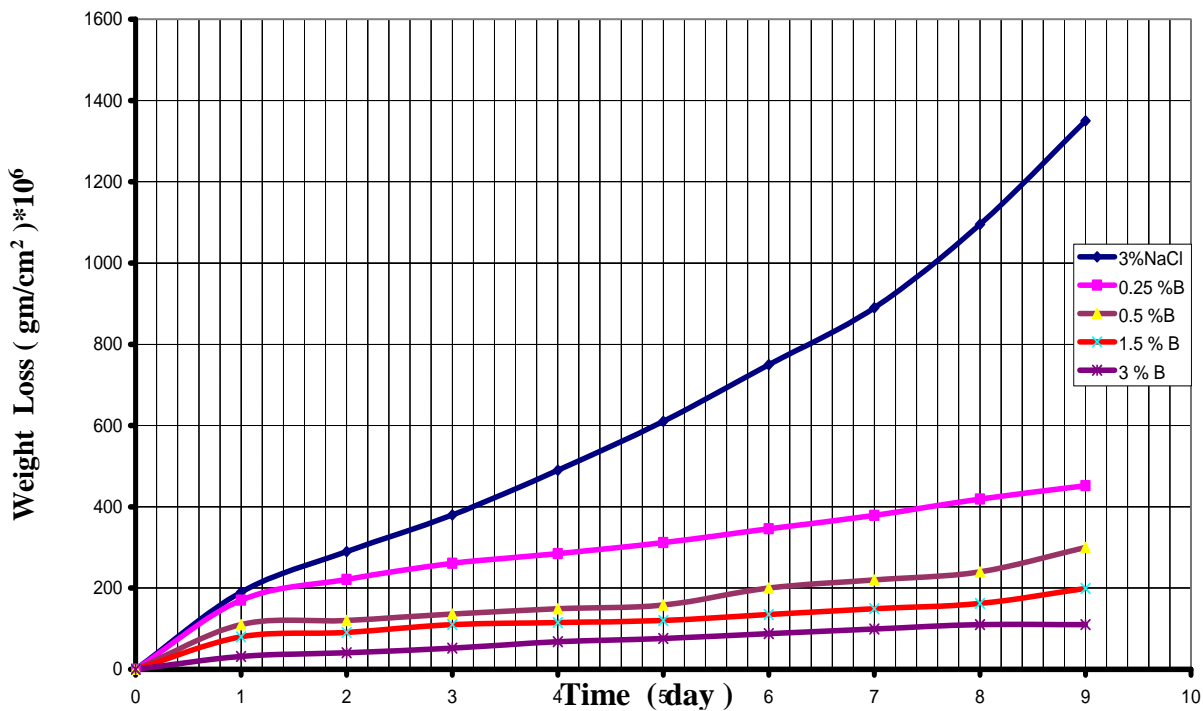
الجدول ( 4.13 ) كفاءة المثبط ( B ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 1M HCl ) وزناً لعينات ملحومات سبيكة الألمنيوم المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.6	60.38	0.25	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.74	74.24	0.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.84	84.5	1.5	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.89	89.30	3	منطقة لحام غير معاملة حرارياً
0.54	54.95	0.25	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.76	76.18	0.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.84	84.98	1.5	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.9	90.99	3	منطقة لحام معاملة حرارياً
0.55	55.50	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.65	65.49	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.78	78	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.83	83.45	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.43	43.24	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.6	60.51	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.74	74.7	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.82	82.1	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

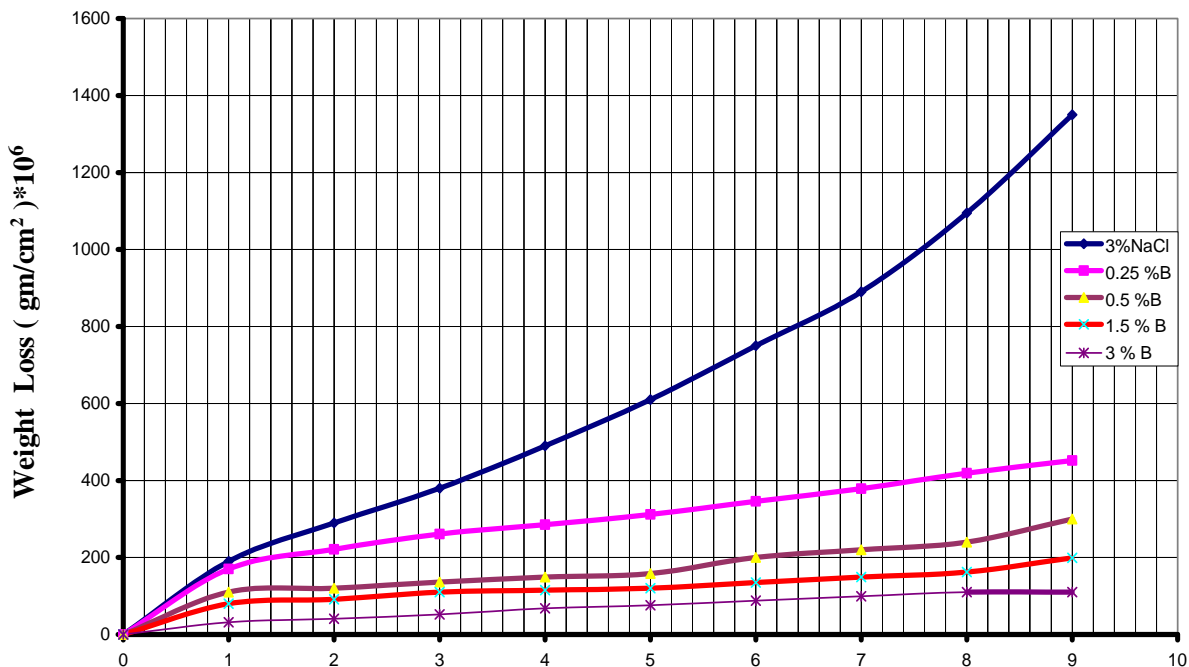
## 4.3.1.3 النحاس Copper

## المحلول الملحي Salt Solution

أجري هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة في المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم بنسبة ( 3% NaCl ) وزناً لكل من منطقة اللحم والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة وغير المعاملة حرارياً ( عملية اللحم أجريت بطريقة لحم المونة التي يمكن أن تمثل مصدراً لتسارع التآكل لأمكانية توفيرها أقطاباً تآكلية )، إذ تم حساب التغير في الوزن لوحدة المساحة لفترات تعرض زمنية، والأشكال ( 4.51 - 4.58 ) تبين تأثير فترة التعرض لكل عينة من العينات المذكورة في المحلول الملحي بوجود وغياب كل من المثبتين ( A & B ).

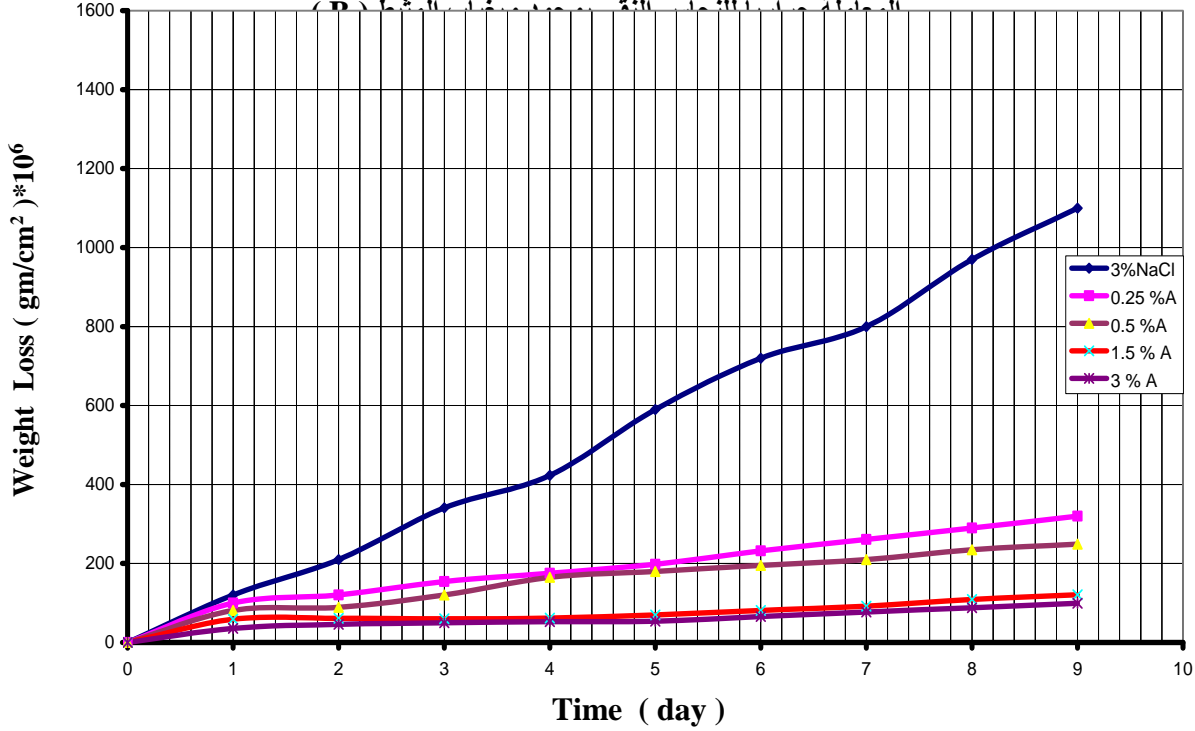


الشكل ( 4.51 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وغياب المثبت ( A ).

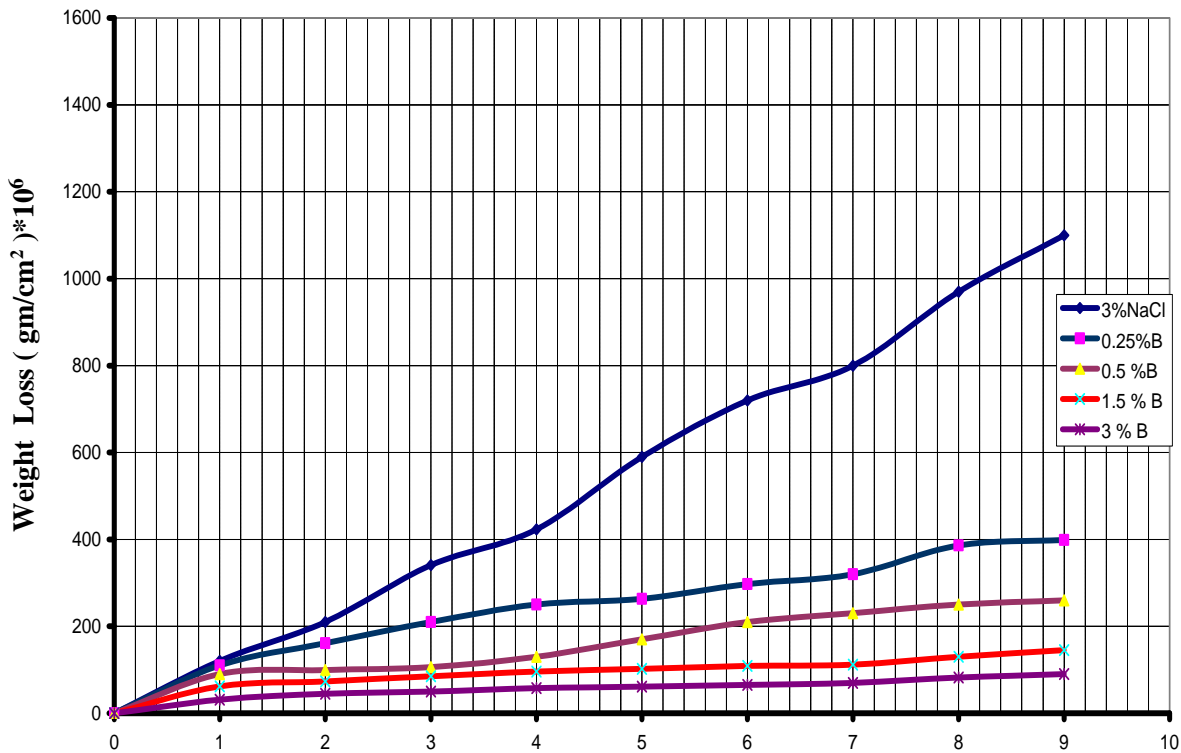


Time ( day )

الشكل ( 4.52 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير

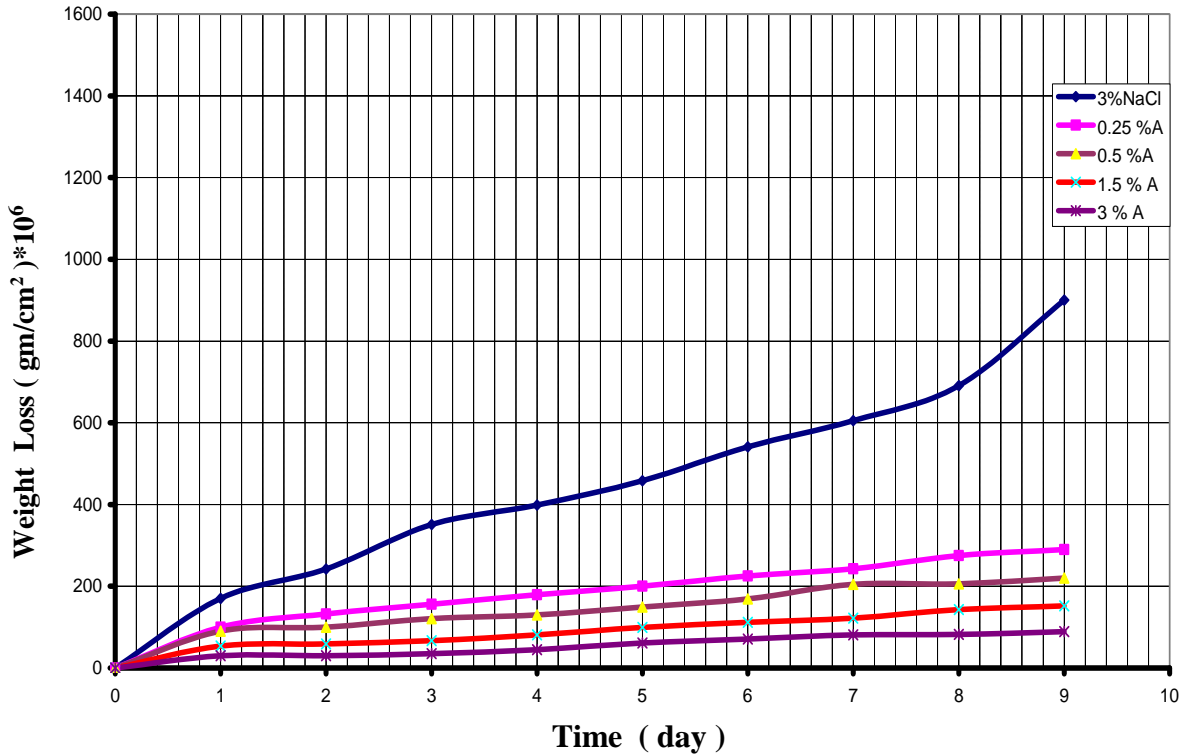


الشكل ( 4.53 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ) .

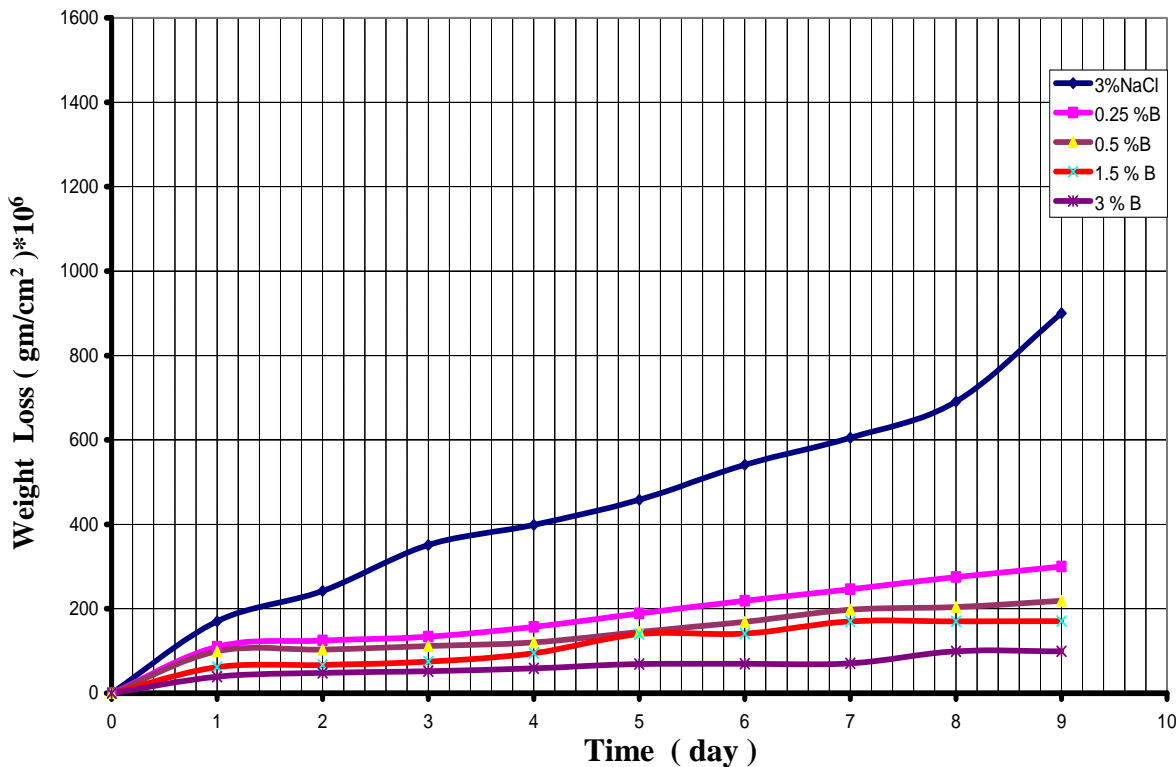


Time ( day )

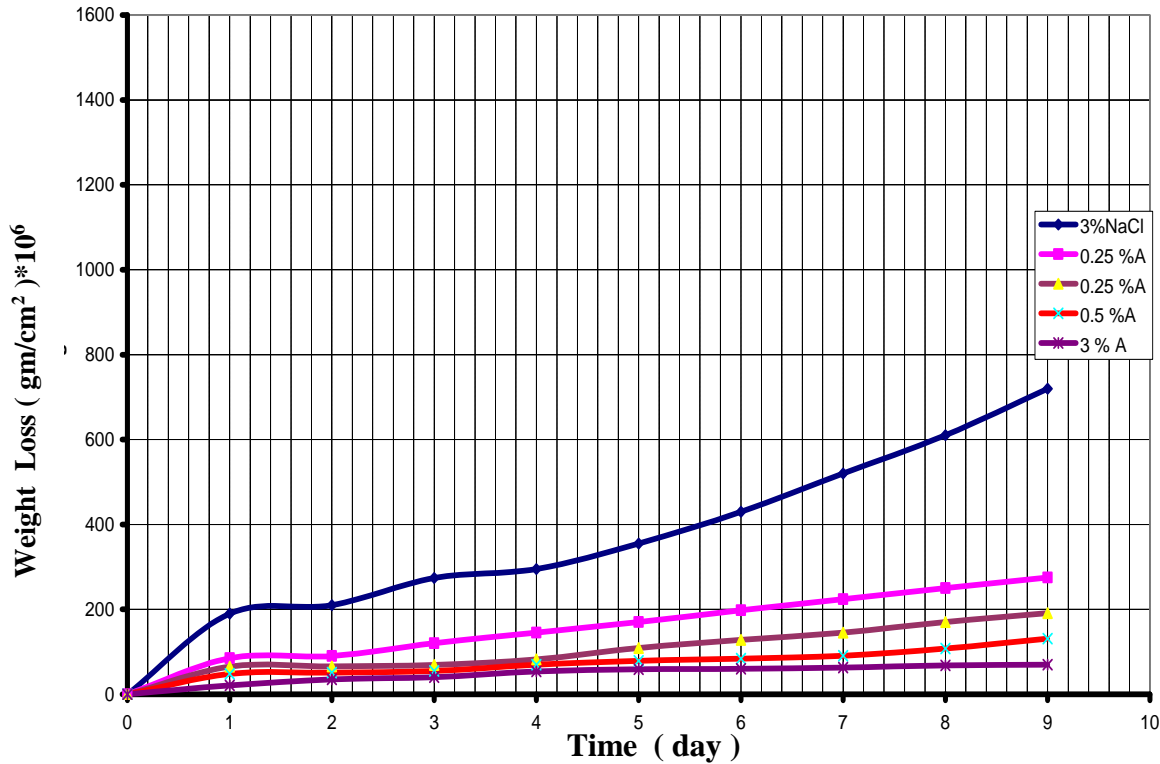
الشكل ( 4.54 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



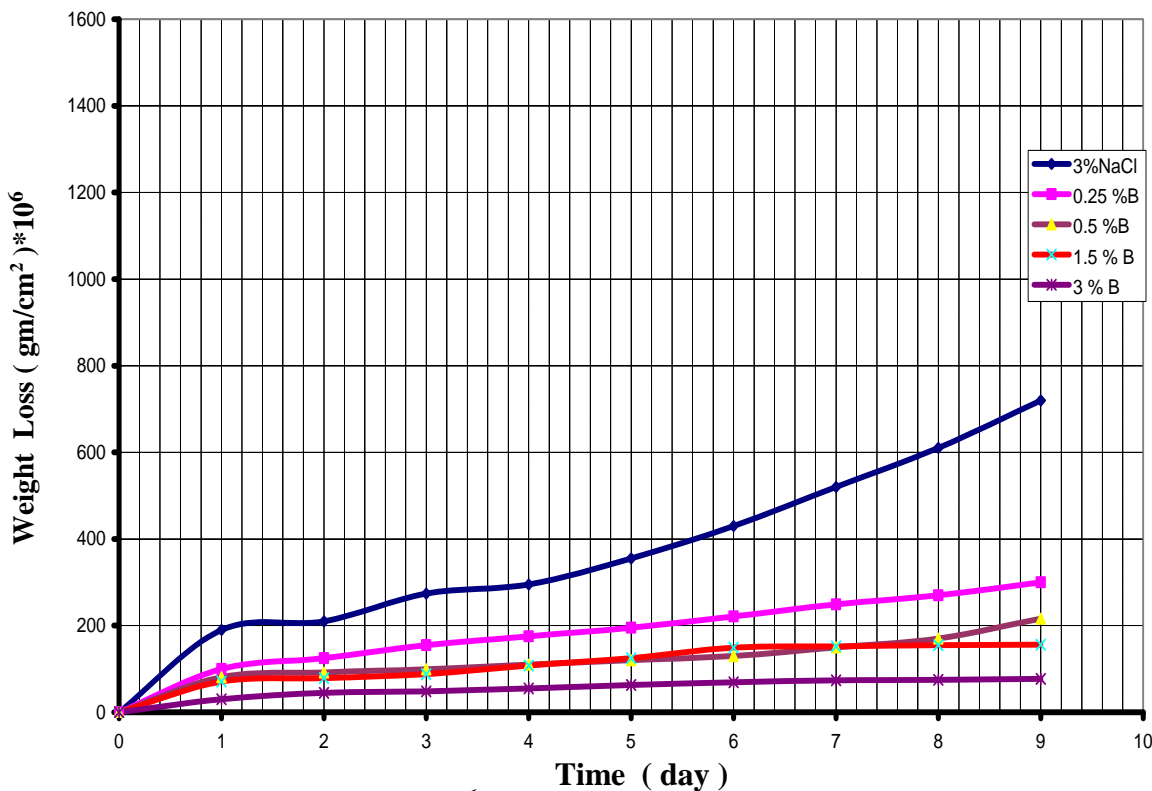
الشكل ( 4.55 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



الشكل ( 4.56 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



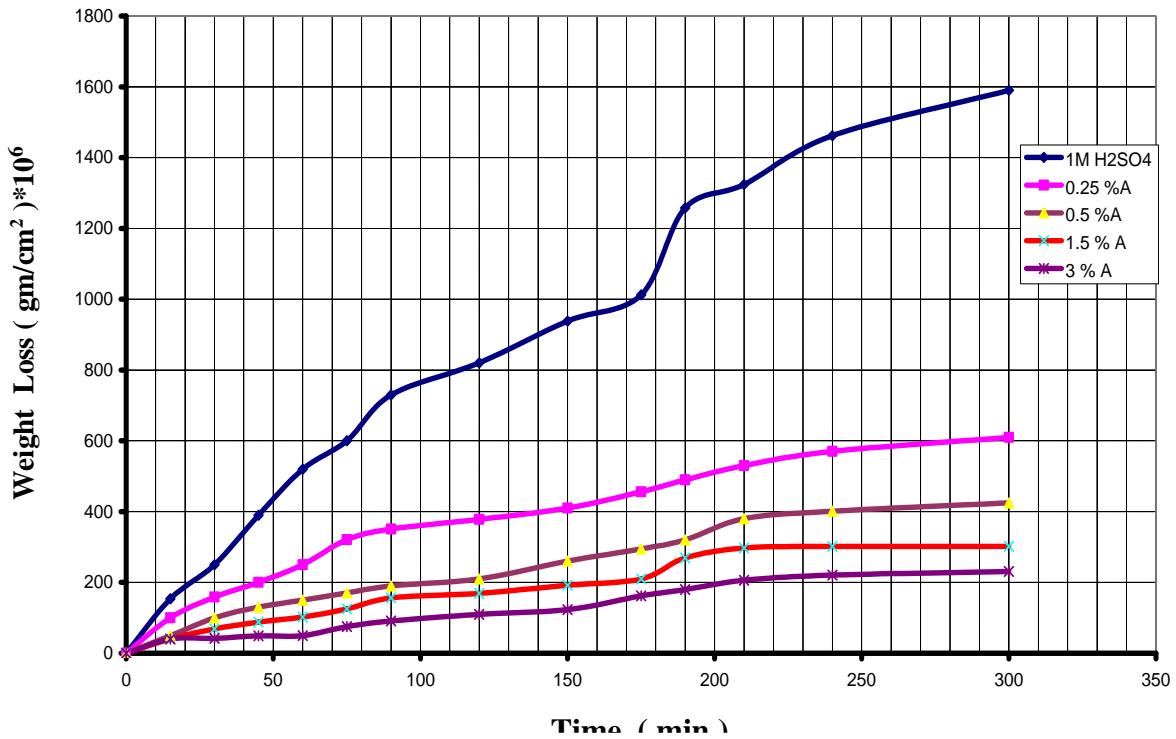
الشكل ( 4.57 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



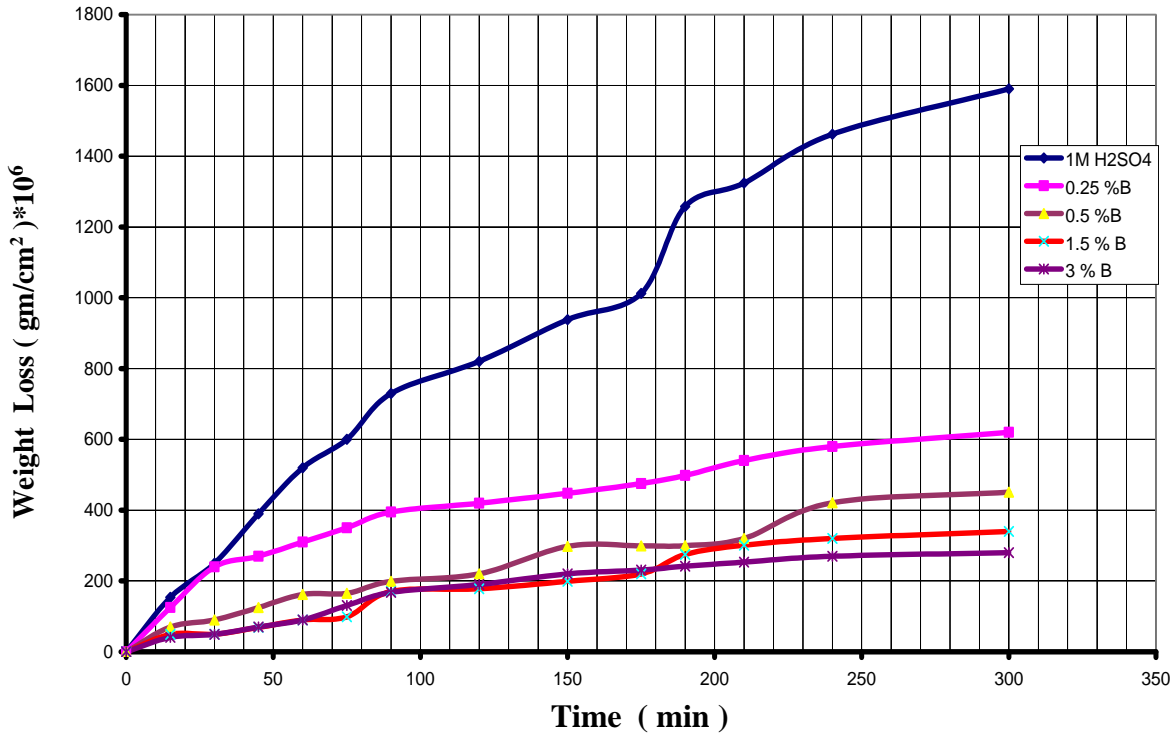
الشكل ( 4.58 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 3% NaCl ) وزناً على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( B ) .

### ➤ محلول $H_2SO_4$ $H_2SO_4$ Solution

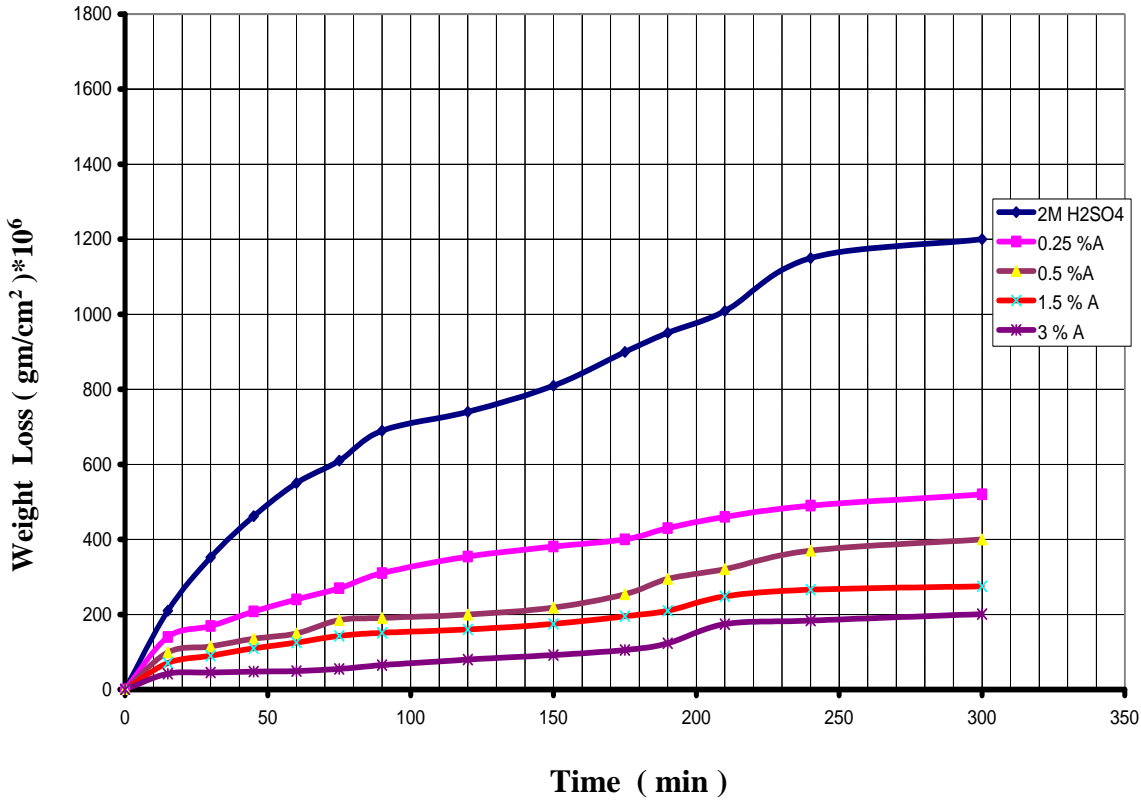
أجري هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وباستعمال محلول (  $2MH_2SO_4$  ) والأشكال ( 4.59 - 4.66 ) تبين تأثير فترة التعرض لكل عينة من العينات المذكورة في المحلول الحامضي لحامض الكبريتيك بوجود وغياب كل من المثبتين ( A & B ).



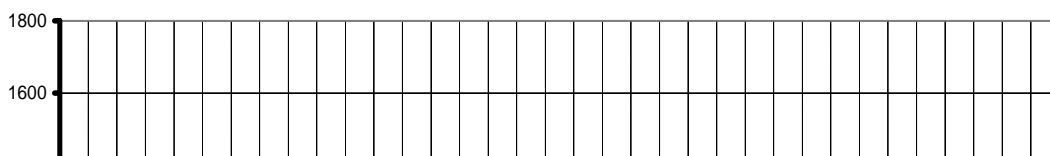
الشكل ( 4.59 ) تأثير فترة التعرض لمحلول (  $2M H_2SO_4$  ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وغياب المثبت ( A ).



الشكل ( 4.60 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( B ).



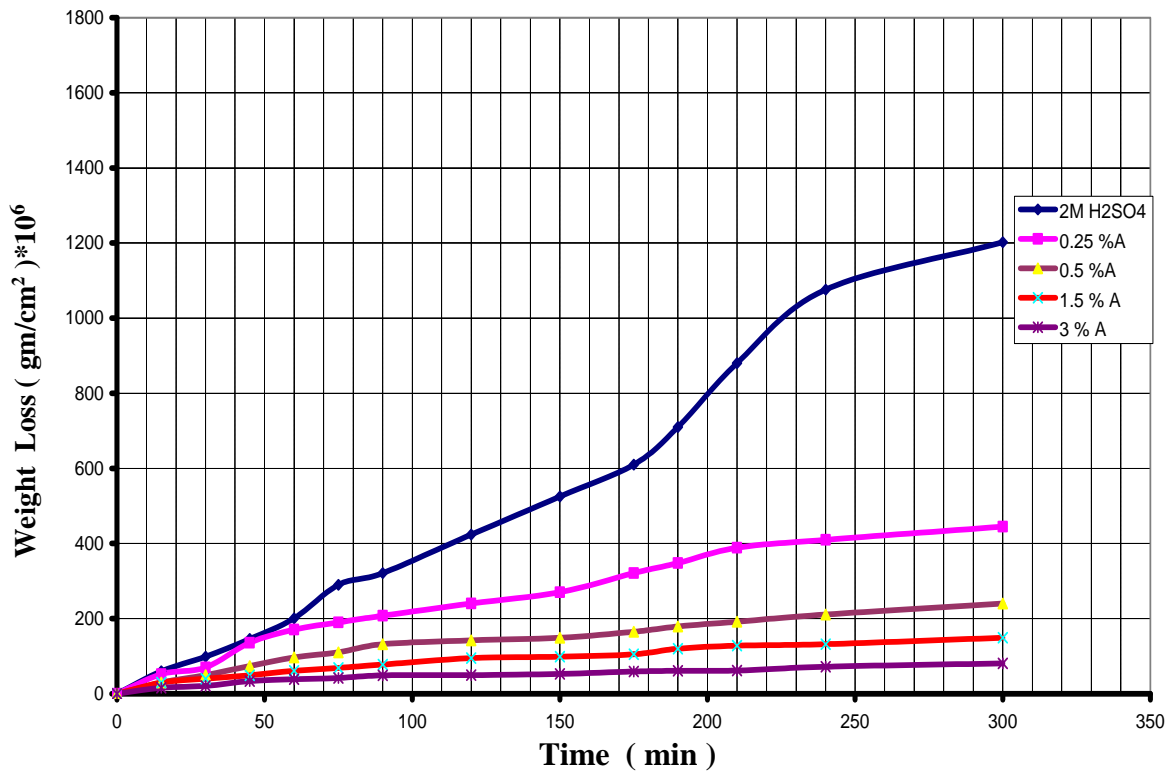
الشكل ( 4.61 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ).



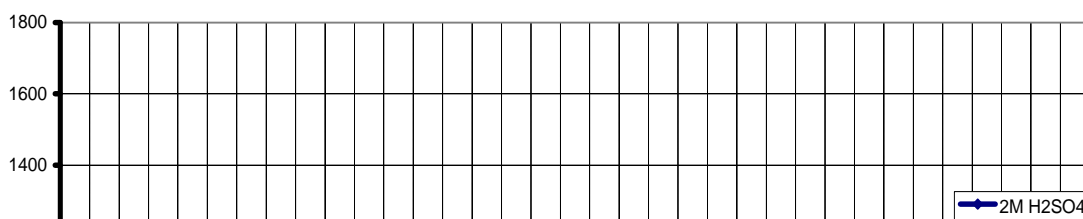
Weight Loss ( gm/cm<sup>2</sup> ) \* 10<sup>6</sup>

Time ( min )

الشكل ( 4.62 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( B ) .



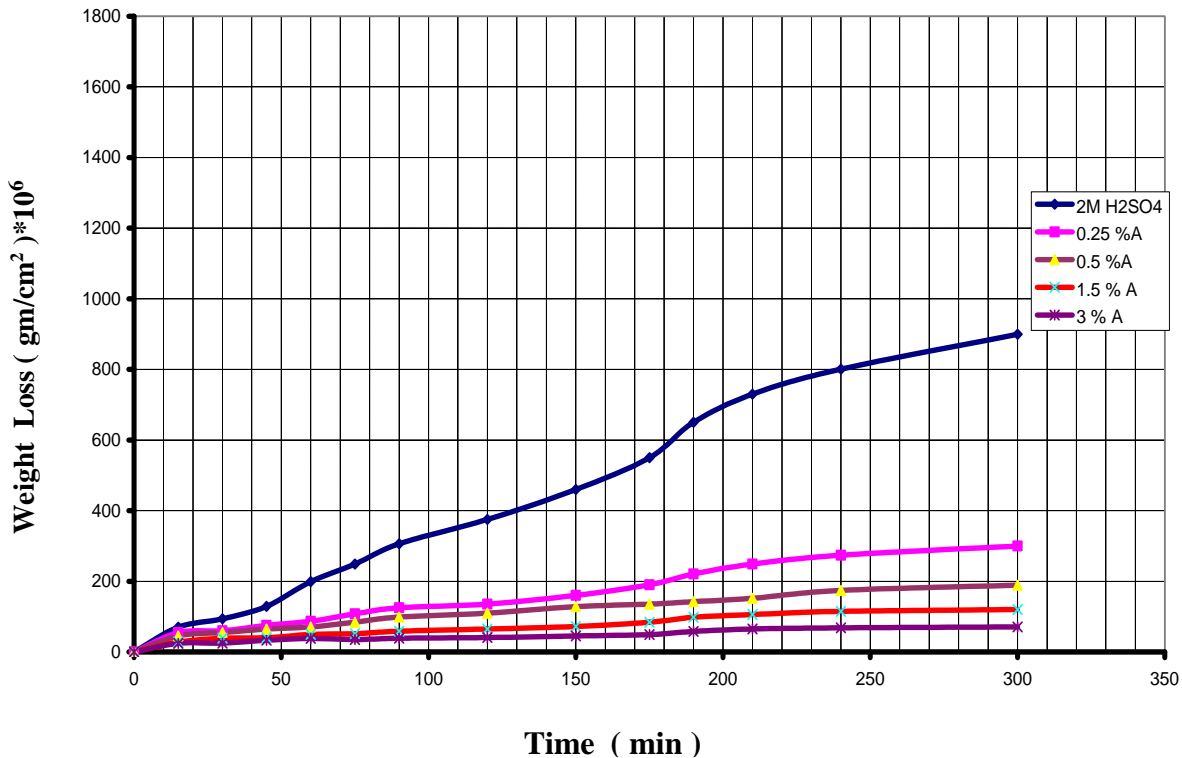
الشكل ( 4.63 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ) .



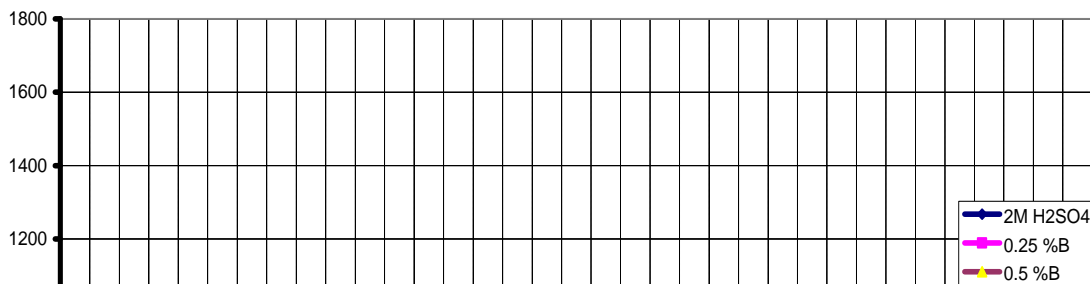
Weight Loss ( gm/cm<sup>2</sup> ) \* 10<sup>6</sup>

Time ( min )

الشكل ( 4.64 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( B ).



الشكل ( 4.65 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ).



Time ( min )

الشكل ( 4.66 ) تأثير فترة التعرض لمحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) على الوزن المفقود لعينات المنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارياً للنحاس النقي بوجود وبغياب المثبط ( A ).

الأشكال ( 4.51 – 4.58 ) تُظهر تأثير المحلول الملحي على السلوك التآكلي لعينات النحاس، وتبين فاعلية عالية للمثبطات لحماية النحاس مقارنةً مع الفولاذ والألمنيوم. لذا يمكن أن تستفيد منها شركات صناعة السيارات في حماية المشعات ( Radiators ) إذ أن هذه الكفاءات هي لمناطق لحام أما المشعات النحاسية فهي عبارة عن مجموعة أنابيب مصنعة بشكل يفترض أنها أقل مشاكل وبكثير من مشاكل الملحومات. ومن الأشكال السابقة يبقى تأثير التعامل الحراري وتركيز المثبط عاملين مؤثرين في السلوك التآكلي للنحاس سواء في المناطق الملحومة أو تلك المجاورة لها. أما في الأشكال ( 4.59 – 4.66 ) فإنها تبين تأثير غمر عينات النحاس في تغير الوزن مع فترة التعرض لوجود أو غياب المثبطات لمناطق اللحام وتلك المجاورة لها في محلول حامض ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ). وبشكل عام فإن الحماية التي توفرها هذه المثبطات في المحلول الملحي ( 3% NaCl ) كانت أعلى من نظيراتها في المحلول الحامضي ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ).

والجدول ( 4.14 – 4.17 ) تبين كفاءة التثبيط للمثبطات لعينات منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة المعاملة حرارية وغير المعاملة حرارياً للألمنيوم في محلول ( 3% NaCl ) وزناً ومحلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) كما تبين في الشكل ( 4.14 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 3% NaCl ) وزناً لعينات ملحومات النحاس النقي المعاملة وغير المعاملة حرارياً في اختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

العينة	تركيز المثبط ( v/v )%	الكفاءة %	درجة التغطية ( θ )
منطقة لحام غير معاملة حرارياً	0.25	67.78	0.67
منطقة لحام غير معاملة حرارياً	0.5	75.56	0.75
منطقة لحام غير معاملة حرارياً	1.5	83.12	0.83

0.9	90.12	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.61	61.81	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.73	73.47	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.81	81.81	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.9	90	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.70	70.37	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.76	76.6	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.88	88.22	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.88	88.41	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.54	54	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.64	64.82	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.8	80.37	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.87	87.82	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

الجدول ( 4.15 ) كفاءة المثبط ( B ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 3% NaCl ) وزناً لعينات ملحومات النحاس النقي المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )%	العينة
0.66	66.66	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.75	75.67	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.81	81	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.89	89	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً

0.58	58.33	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.7	70	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.78	78.3	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.89	89.31	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.68	68.52	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.77	77.78	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.85	85.52	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.91	91.85	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.54	54.5	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.66	66.52	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.81	81.55	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.88	88.64	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

الجدول ( 4.16 ) كفاءة المثبط ( A ) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) لعينات ملحومات النحاس النقي المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية ( θ )	الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v ) %	العينة
0.61	61.63	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.73	73.27	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.81	81	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.85	85.54	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.58	58.33	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً

0.7	70	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.78	78.33	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.89	89.31	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.68	68.52	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.77	77.78	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.85	85.52	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.91	91.85	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.54	54	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.64	64.82	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.8	80.37	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.87	87.82	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

الجدول (4.17) كفاءة المثبط (B) عند تراكيز مختلفة منه وفي محلول (2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) لعينات ملحومات النحاس النقي المعاملة وغير المعاملة حرارياً في إختبار الغمر البسيط عند درجة حرارة الغرفة.

درجة التغطية (θ)	الكفاءة %	تركيز المثبط (v/v) %	العينة
0.61	61	0.25	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.71	71.63	0.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.78	78.61	1.5	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.82	82.39	3	منطقة لحم غير معاملة حرارياً
0.52	52.5	0.25	منطقة لحم معاملة حرارياً

0.65	65.83	0.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.74	74.83	1.5	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.84	84.17	3	منطقة لحم معاملة حرارياً
0.64	64.22	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.78	78.37	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.89	89.18	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.90	90.18	3	منطقة متأثرة بالحرارة غير معاملة حرارياً
0.75	75.56	0.25	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.78	78.78	0.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.86	86.11	1.5	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً
0.61	91	3	منطقة متأثرة بالحرارة معاملة حرارياً

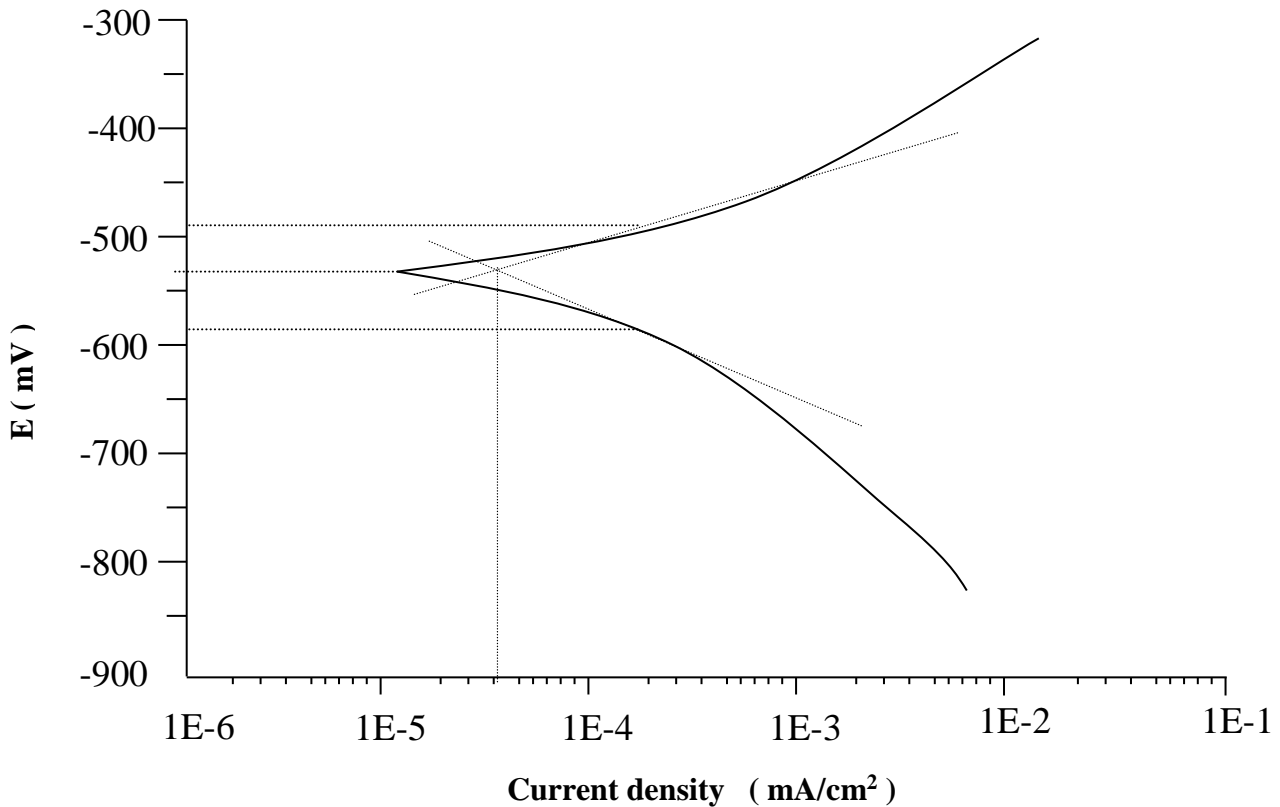
### 4.3.2 نتائج اختبار استكمال تافل

هذا الاختبار يمثل الطريقة الكيمائية البحتة لتحديد تيار التآكل الذي يمكن أن يمثل معدل التآكل لنماذج أو سبائك مجهولة في وسط محدد، وتحسب كفاءة المثبط بالاعتماد على رسم منحنيات الاستقطاب وحساب تيار التآكل من منحنى الاستقطاب الكاثودي والأنودي ورسم مماسات لمنحنيات الاستقطاب وتسقيط نقطة التقاطع على إحداثيات كثافة تيار التآكل وجهد التآكل المسلط وحساب مقدار الكفاءة بالاعتماد على المعادلة ( 1.3 ).

#### 4.3.2.1 الفولاذ الكربوني Carbon Steel

##### ➤ ماء الحنفية

الشكل ( 4.66 ) يبين منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام لمحوامات الفولاذ الكربوني غير المعاملة حرارياً بغياب المثبط، إذ يلاحظ التآكل في هذه العينة لأن الماء يعد وسطاً أكثراً للعديد من المعادن والسبائك وبخاصة الفولاذ الكربوني وهذا يعزى إلى وجود الغازات المذابة والأملاح المذابة وطبيعة الفولاذ نفسه.



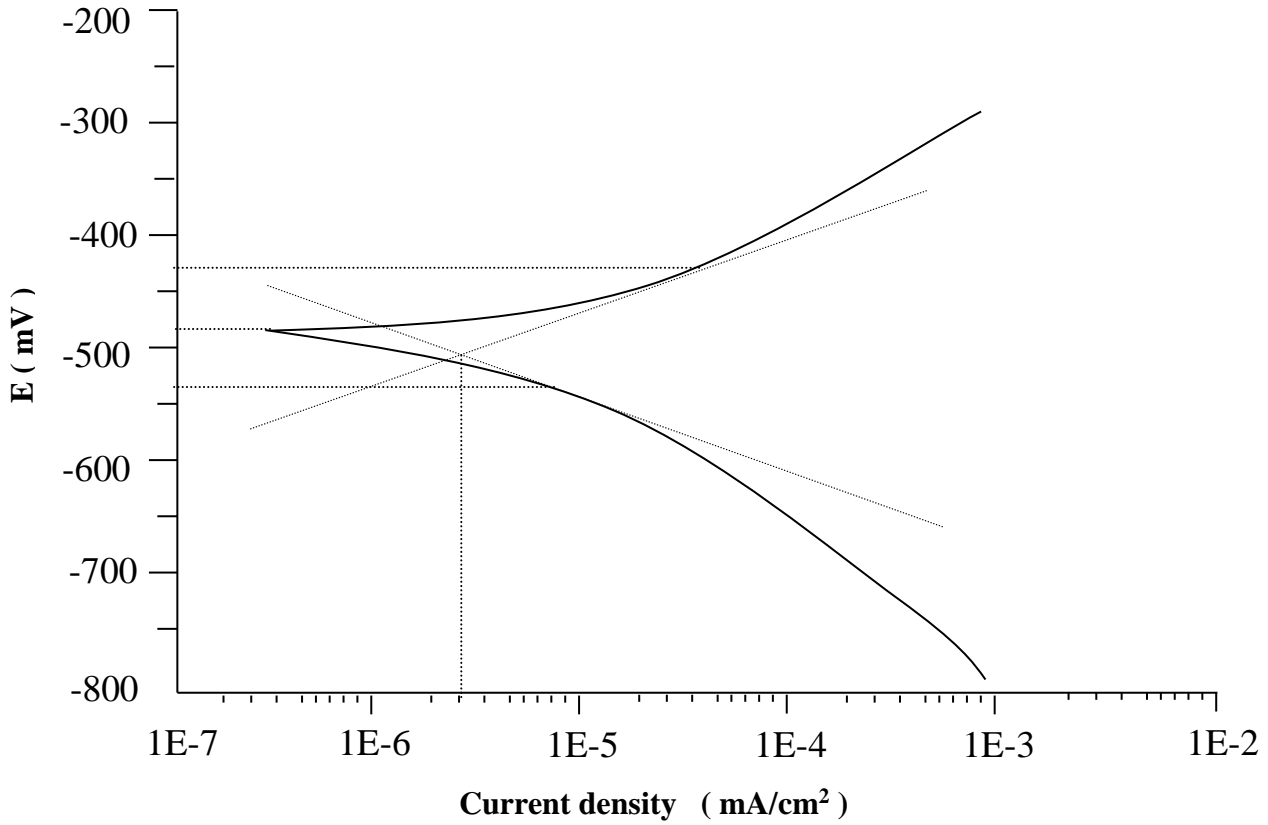
الشكل ( 4.67 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في ماء الحنفية

ونجد من الشكل السابق أن قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل هي:

$$I_{\text{Corr}} = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -535 \text{ mV}$$

أما الشكل ( 4.67 ) فإنه يبين منحنيات الاستقطاب الأنودية والكاثودية لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في ماء الحنفية الحاوي على المثبط ( A ) وبتركيز ( 3% ).



الشكل ( 4.68 ) منحنيات الاستقطاب لعينه منطقه اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في ماء الحنفية الحاوي على ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).

ومن هذا الشكل نجد أن:

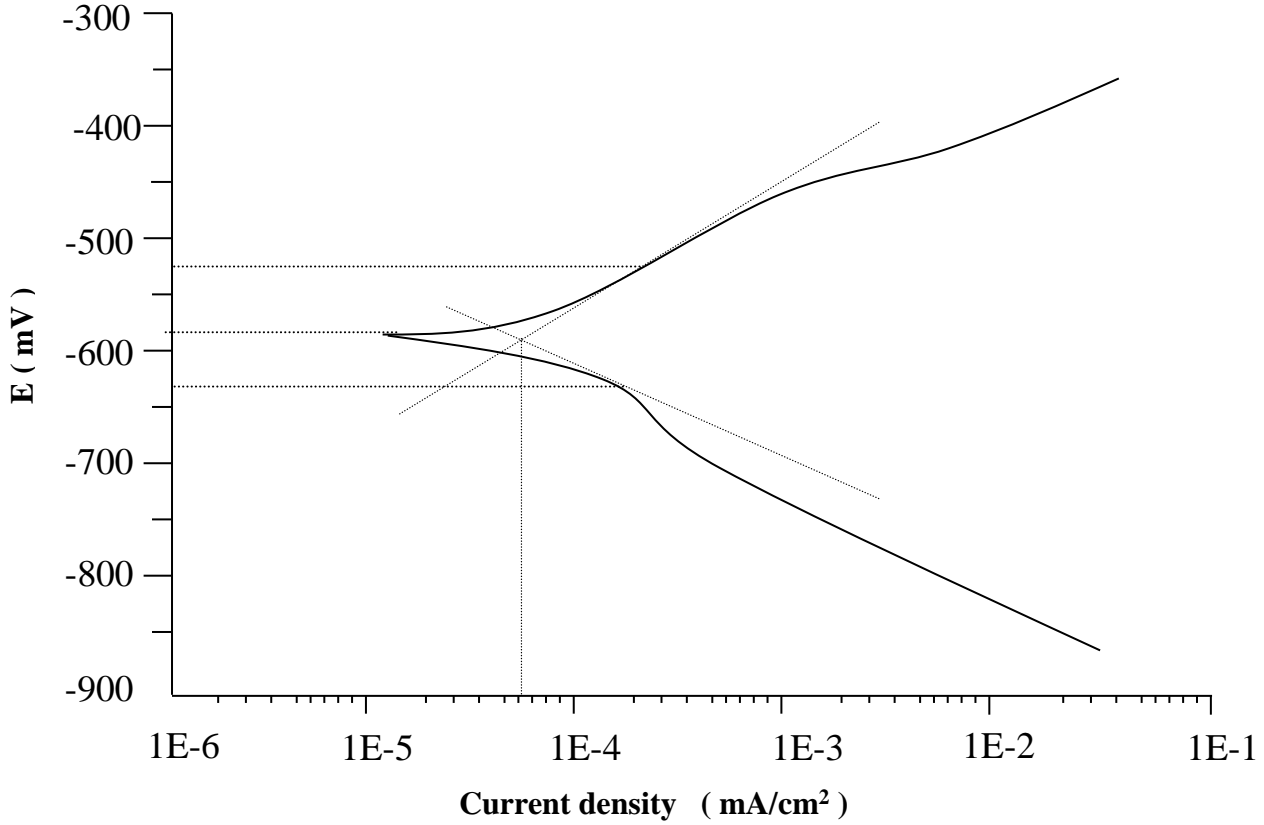
$$I_{\text{Corr}} = 4 * 10^{-6} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -480 \text{ mV}$$

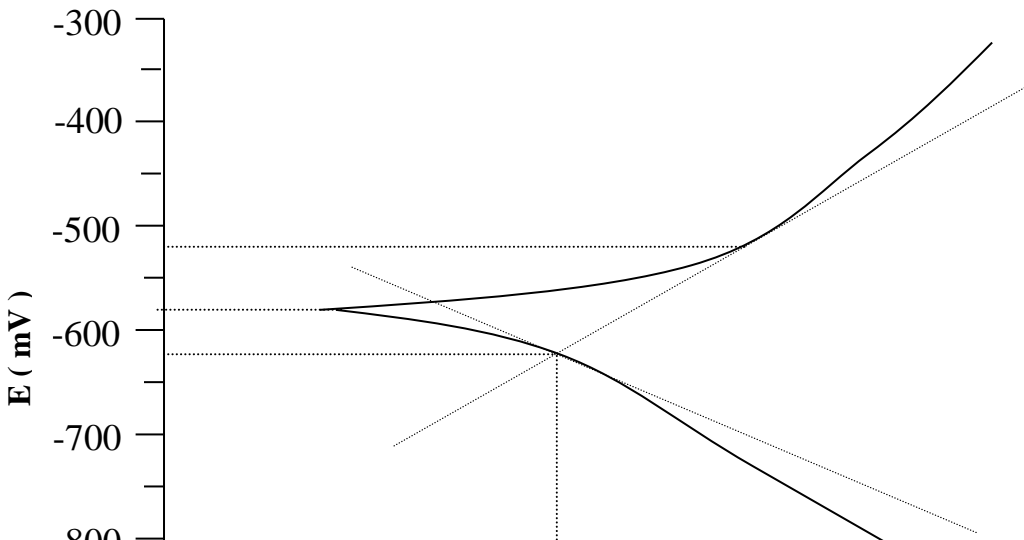
إذ نجد أن إضافة المثبط ( A ) إلى المحلول يجعل جهد التآكل أقل سالبية أي انحراف جهد التآكل بالاتجاه الموجب. أما تيار التآكل قل بمقدار كبير في حالة وجود المثبط ( A )، وهذا بسبب طبقة المثبط المتمتزة على سطح المعدن والتي تعمل كحاجز يمنع الأنتشار بين المعدن والوسط التآكلي. ويمكن استنتاج أن المثبط ( A ) يكون ذا تأثير مزدوج أي أنه يعمل على تثبيط كل من التفاعل الكاثودي والتفاعل الأنودي. ووجد أن كفاءة التثبيط في حدود ( 91% ) وهذا يؤكد النتائج المحسوبة بطريقة الغمر البسيط.

➤ المحلول الملحي

أجرى هذا الاختبار في المحلول الملحي لكوريد الصوديوم وبنسبة ( 3% ) وزناً بوجود وغياب المثبط ( A ) والشكلان ( 4.68 )، ( 4.69 ) يبينان منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني.



الشكل ( 4.69 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 3% NaCl ) وزناً.



Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.70 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 3% NaCl ) وزناً الحاوي عل ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).

إذ نجد من الشكل ( 4.69 ) أن

$$I_{\text{Corr}} = 6.5 \cdot 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -585 \text{ mV}$$

بينما نجد من الشكل ( 4.70 )

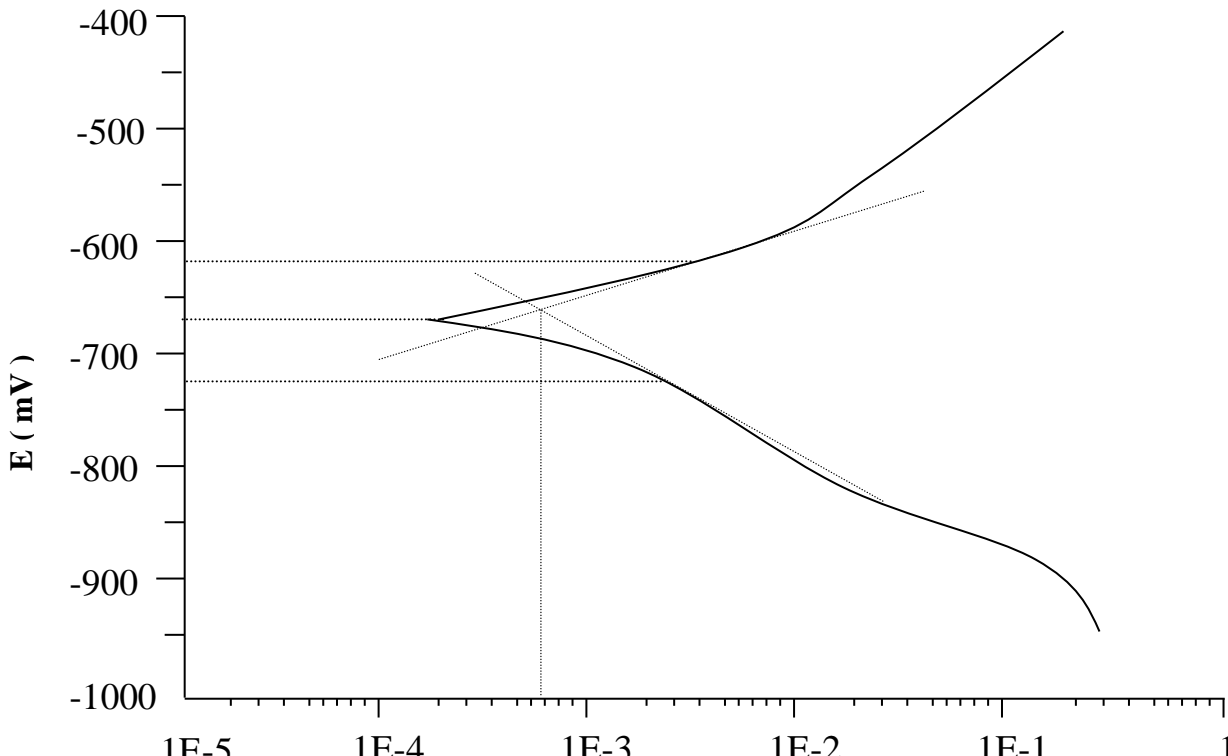
$$I_{\text{Corr}} = 9.5 \cdot 10^{-6} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -530 \text{ mV}$$

وهذا يعني انحرافاً في جهد التآكل بالاتجاه الأقل سالبية وانخفاض قيمة تيار التآكل بوجود المثبط ( A ) مما يدل على فعالية المثبط ( A ) في تثبيط التآكل في هذا الوسط وكانت كفاءته ( 85.38 % ).

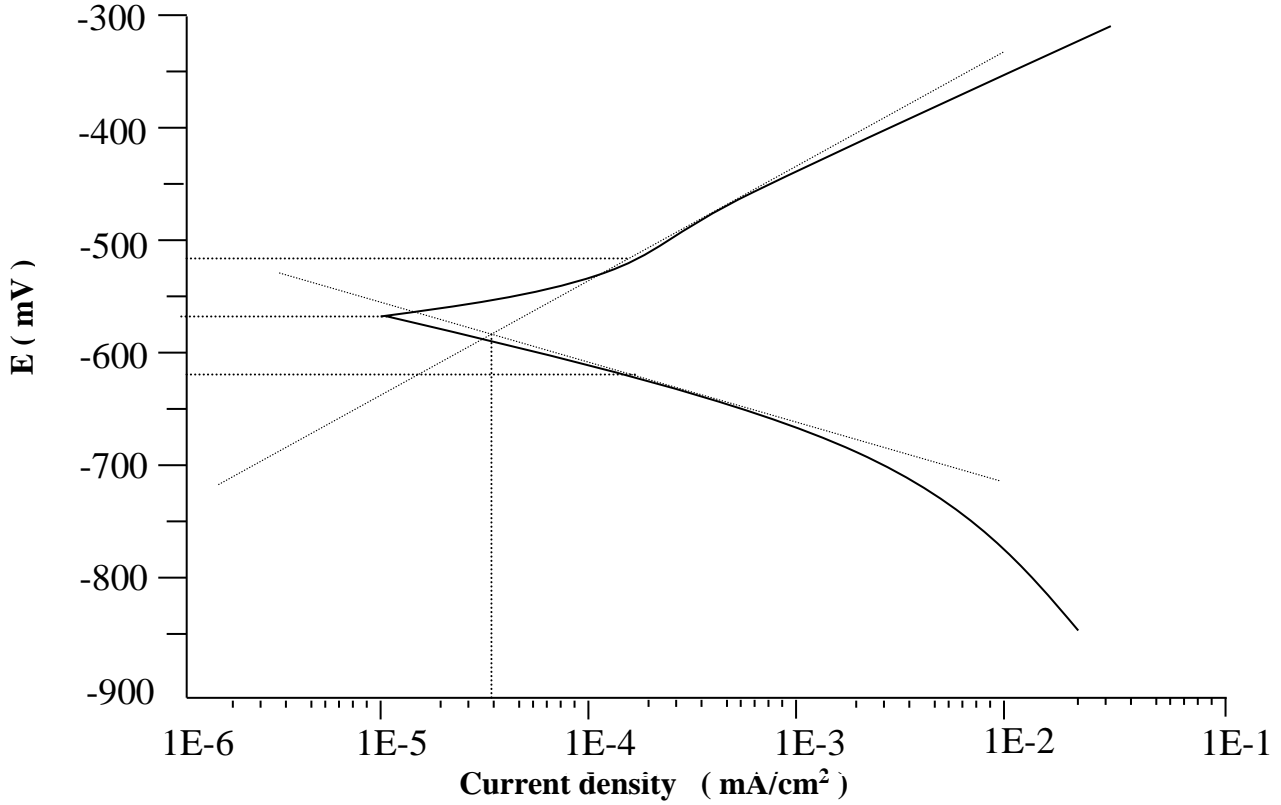
➤ المحاليل الحامضية H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> & HCl

الأشكال ( 4.71 - 4.74 ) تبين نتائج هذا الاختبار في كل من محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) ومحلول ( 1M HCl ) الحامضيين بوجود وغياب المثبط ( A ).

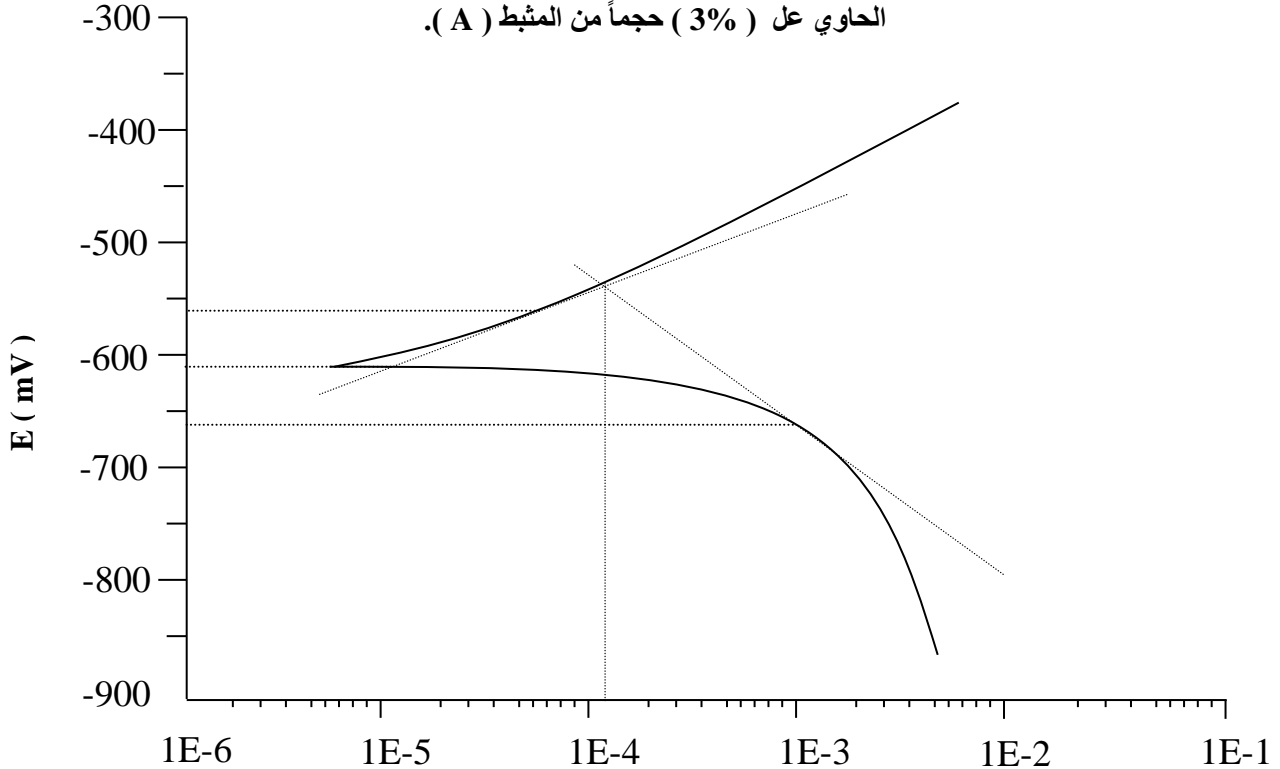


Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.71 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ).

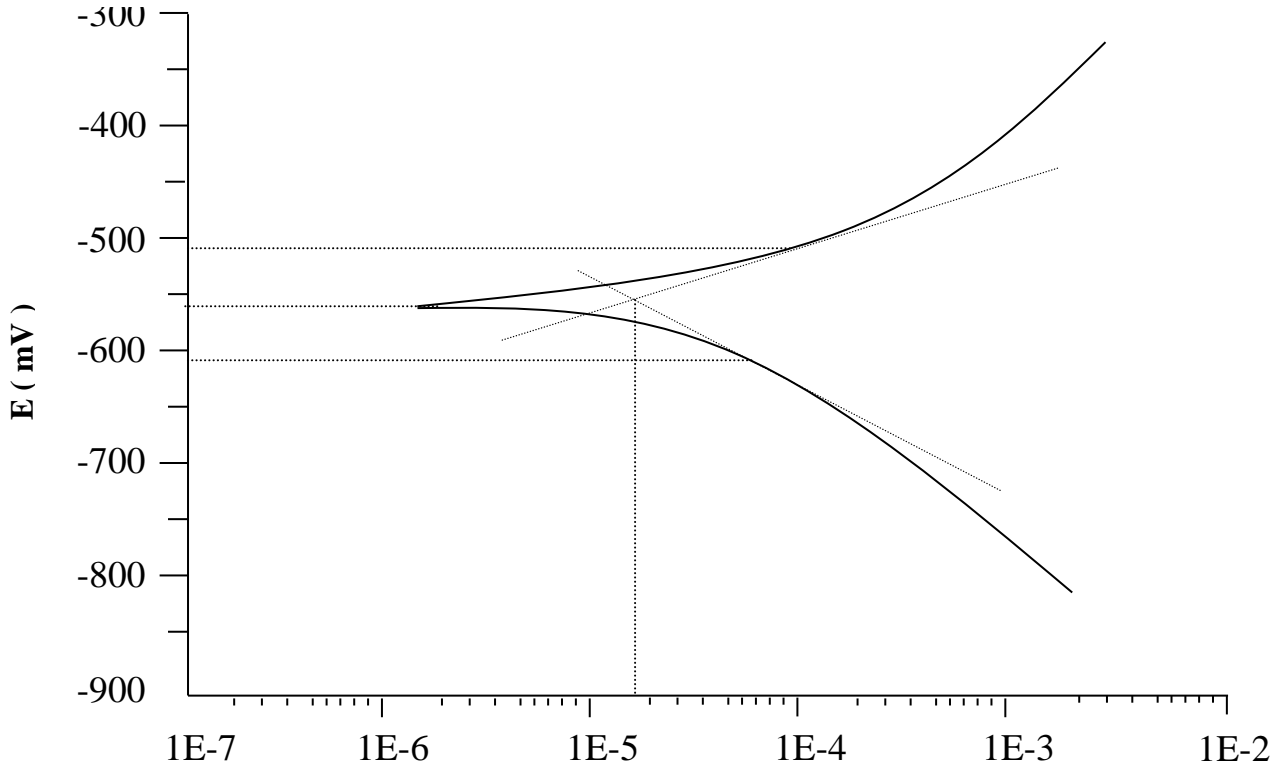


الشكل ( 4.72 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) الحاوي عل ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).



Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.73 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 1 M HCl ).



Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.74 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطعة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محلول ( 1 M HCl ) الحاوي على ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).

إذ نجد من الشكل ( 4.71 ) أن

$$I_{\text{Corr}} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -660 \text{ mV}$$

بينما نجد من الشكل ( 4.72 ) أن:

$$I_{\text{Corr}} = 3.5 \cdot 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -560 \text{ mV}$$

ومن الشكل ( 4.73 ) نجد أن:

$$I_{\text{Corr}} = 0.9 \cdot 10^{-4} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -610 \text{ mV}$$

بينما نجد من الشكل ( 4.74 ) أن:

$$I_{\text{Corr}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -555 \text{ mV}$$

وهذا يدل على انحراف جهد التآكل وانخفاض تيار التآكل بوجود المثبط ( A ).

والجدول ( 4.18 ) يعطي قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل وكفاءة التثبيت للمثبت ( A ) لعينات الفولاذ الكربوني والمحاليل المذكورة في أعلاه، إذ نجد أن كفاءة المثبط في محلول حامض الكبريتيك ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) أعلى من بقية المحاليل وهذا يعزى إلى أن هذا المثبط العضوي يعد مثبثاً جيداً.

الجدول ( 4.18 ) قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل وكفاءة المثبط ( A ) بالنسبة لعينات الفولاذ الكربوني وفي محاليل إلكتروليتيية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة

المحلول	المثبت	كثافة تيار التآكل mA/Cm <sup>2</sup>	جهد التآكل mV	الكفاءة %
ماء الحنفية	—	4.5*10 <sup>-5</sup>	-535	—
ماء الحنفية	المثبت A	4*10 <sup>-6</sup>	-480	91.11
3% NaCl وزناً	—	6.5*10 <sup>-5</sup>	-575	—
3% NaCl وزناً	المثبت A	9.5*10 <sup>-6</sup>	-530	85.38
2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	7*10 <sup>-4</sup>	-660	—
2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	المثبت A	3.5*10 <sup>-5</sup>	-560	95
1M HCl	—	0.9*10 <sup>-4</sup>	-610	—
1M HCl	المثبت A	2*10 <sup>-5</sup>	-555	77.77

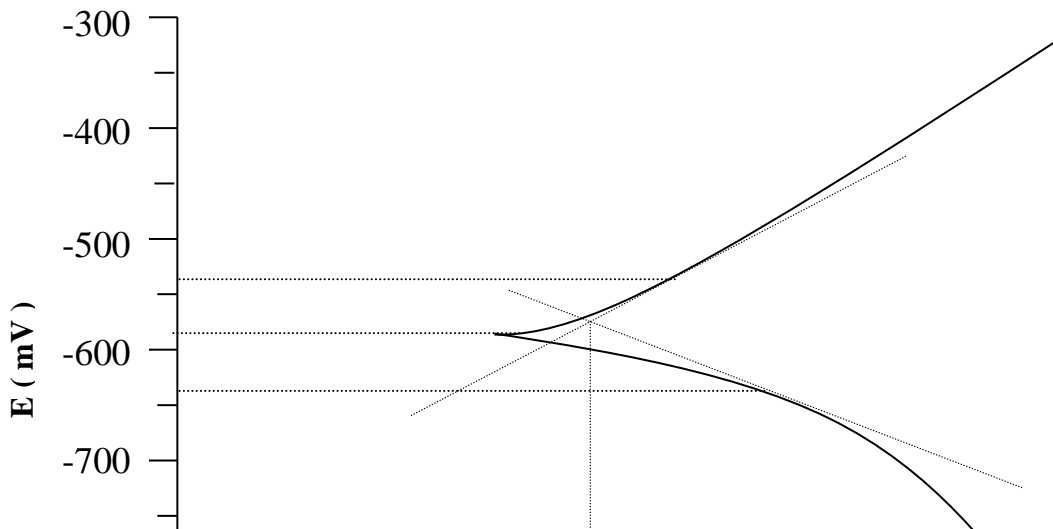
#### 4.3.2.2 الألمنيوم

##### ➤ المحلول الملحي

أجرى هذا الاختبار في محلول ( 3% NaCl ) وزناً وبوجود وغياب المثبط ( A ) والشكل ( 4.74 ) يبين منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعامل حرارياً للألمنيوم في المحلول الملحي غير المثبط، إذ أن جهد وتيار التآكل هي:

$$I_{Corr} = 0.8 * 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{Corr} = -590 \text{ mV}$$



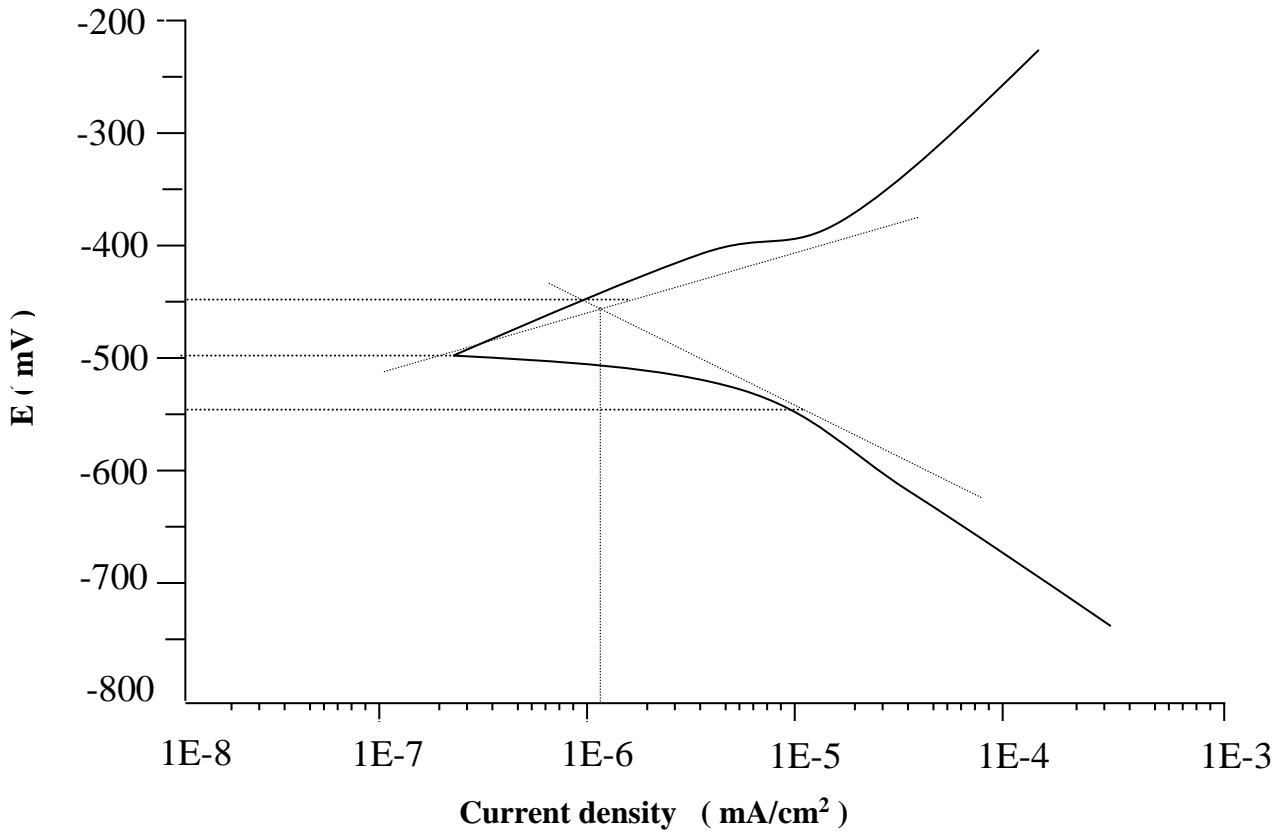
Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.75 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للألمنيوم في محلول ( 3% )  
وزناً من (NaCl).

أما الشكل ( 4.75 ) فيبين منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعامل حرارياً للألمنيوم  
بوجود المثبط ( 3% A ) حجماً، إذ نجد أن:

$$I_{\text{Corr}} = 0.9 \cdot 10^{-6} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -500 \text{ mV}$$



الشكل ( 4.76 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للألمنيوم في محلول ( 3% ) وزناً من  
( NaCl ) الحاوي على ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).

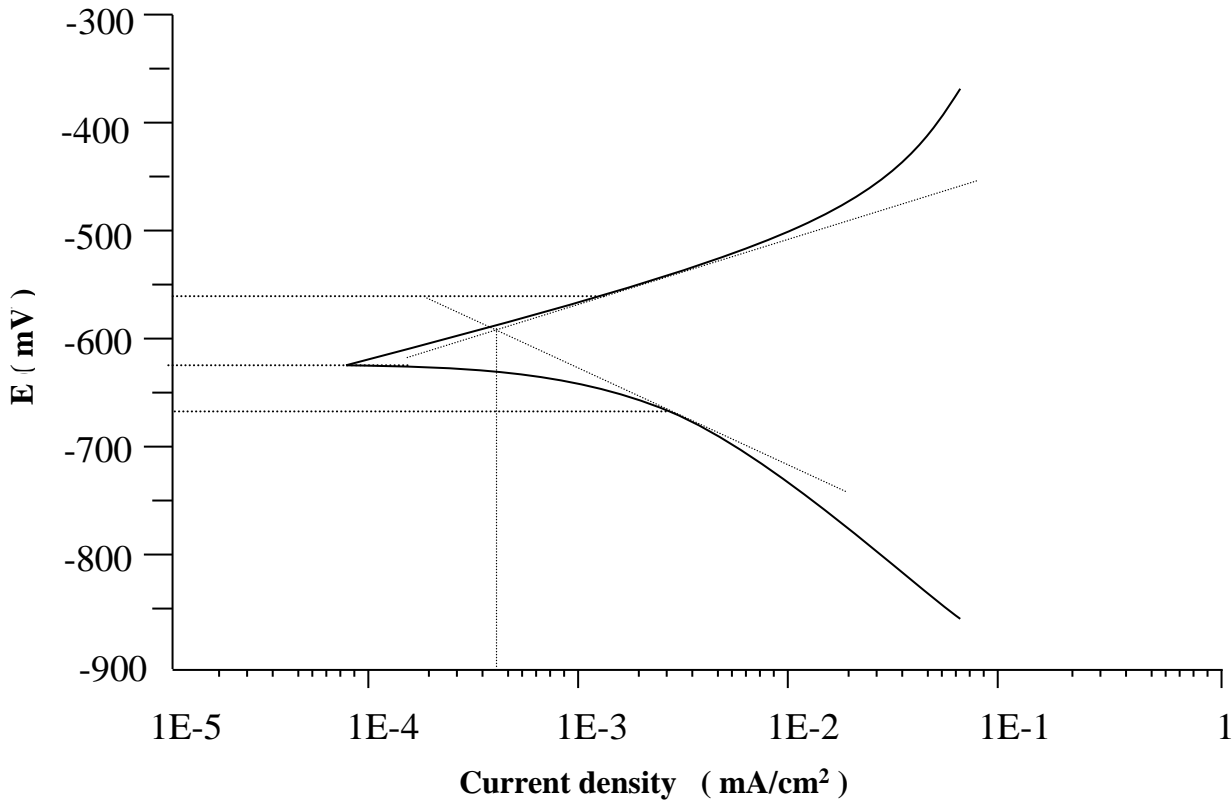
ونجد أيضاً من الشكل أعلاه انحراف جهد التآكل بالاتجاه الموجب وانخفاض قيمة تيار التآكل في حالة وجود المثبط (A).

### ➤ محلول الحامض HCl

أجرى هذا الاختبار في محلول (1M HCl) والشكل (4.77) يبين منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للألمنيوم، إذ وجد أن:

$$I_{\text{Corr}} = 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -630 \text{ mV}$$



الشكل ( 4.77 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم في محلول ( 1M HCl ).

أما الشكل ( 4.78 ) فيبين منحنيات الاستقطاب للعينة نفسها من الألمنيوم في حالة وجود المثبط.



E (mV)

Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.78 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم في محلول ( 1M HCl ) الحاوي إذ نجد أن: على ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).

$$I_{\text{Corr}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -530 \text{ mV}$$

ونجد من الشكل السابق انحراف جهد التآكل بالاتجاه الموجب وانخفاض قيمة تيار التآكل في حالة وجود المثبط ( A ).

والجدول ( 4.19 ) يعطي قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل وكفاءة التثبيط للمثبط ( A ) لعينات للألمنيوم وللحاليل المذكورة أعلاه.

الجدول ( 4.19 ) قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل وكفاءة المثبط ( A ) بالنسبة لعينات سبيكة الألمنيوم وفي محاليل إلكتروليتية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

المحلول	المثبط	كثافة تيار التآكل mA/Cm <sup>2</sup>	جهد التآكل mV	الكفاءة %
NaCl 3% وزناً	—	$0.8 \cdot 10^{-5}$	-590	—
NaCl 3% وزناً	المثبط A	$0.9 \cdot 10^{-6}$	-500	88.75
1M HCl	—	$4.5 \cdot 10^{-4}$	-630	—
1M HCl	المثبط A	$5 \cdot 10^{-5}$	-530	88.88

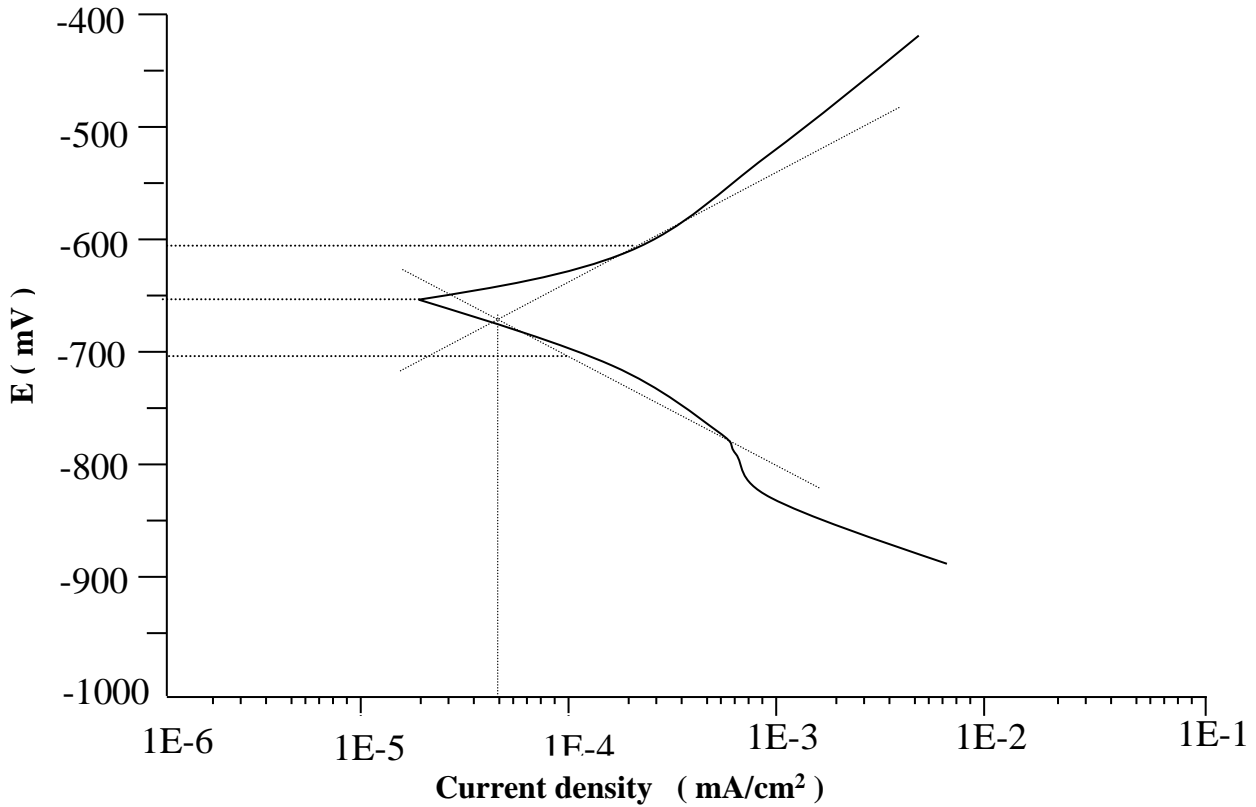
## 4.3.2.3 النحاس

## المحلول الملحي

تم إجراء هذا الاختبار لعينات النحاس ومنطقة اللحام غير المعامل حرارياً في المحلول الملحي لكوريد الصوديوم (3% NaCl) وزناً والشكل (4.79) يبين منحنيات الاستقطاب لهذه الحالة، إذ نجد أن:

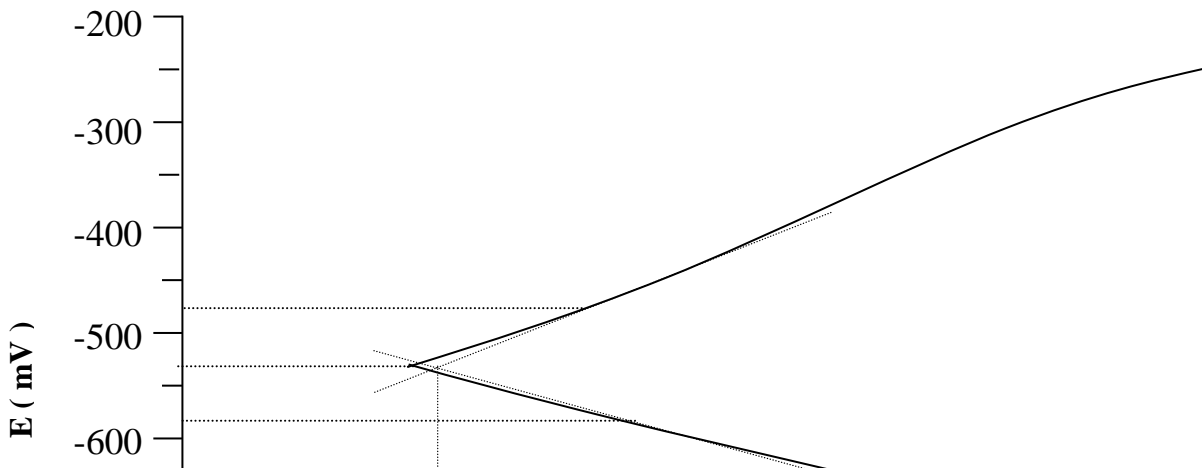
$$I_{\text{Corr}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -655 \text{ mV}$$



الشكل (4.79) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي في محلول (3%) وزناً من (NaCl).

أما الشكل (4.79) فبين منحنيات الاستقطاب للعينة السابقة في حالة وجود المثبط (3% A) حجماً.



Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.80 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي في محلول ( 3% ) وزناً من ( NaCl ) الحاوي على ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ). إذ نجد أن:

$$I_{Corr} = 1.6 \cdot 10^{-6} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{Corr} = -540 \text{ mV}$$

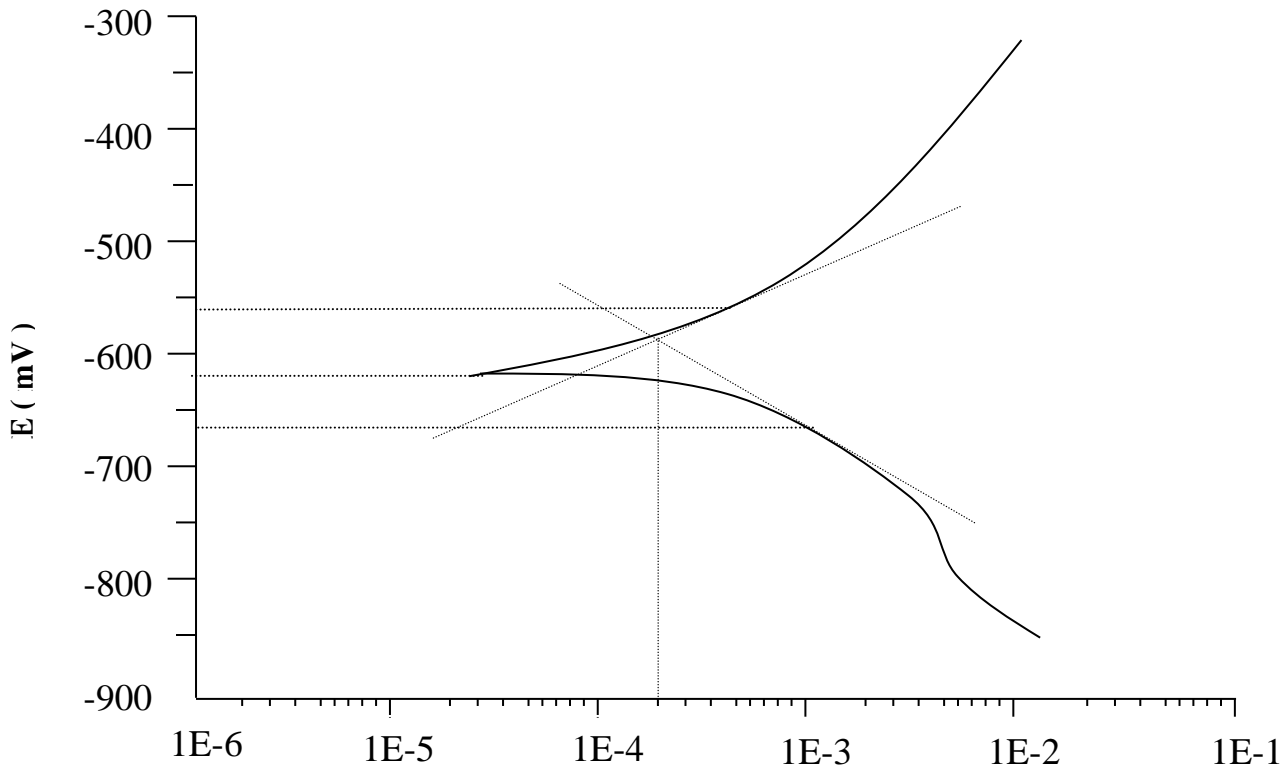
ونلاحظ من الشكل السابق انحراف جهد التآكل بالاتجاه الموجب وانخفاض قيمة تيار التآكل في حالة وجود المثبط ( A ).

➤ محلول الحامض H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

تم إجراء هذا الاختبار لعينات النحاس النقي ولمنطقة اللحام غير المعاملة حرارياً في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) والشكل ( 4.81 ) يبين منحنيات الاستقطاب لهذه الحالة، إذ نجد أن:

$$I_{Corr} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{Corr} = -620 \text{ mV}$$



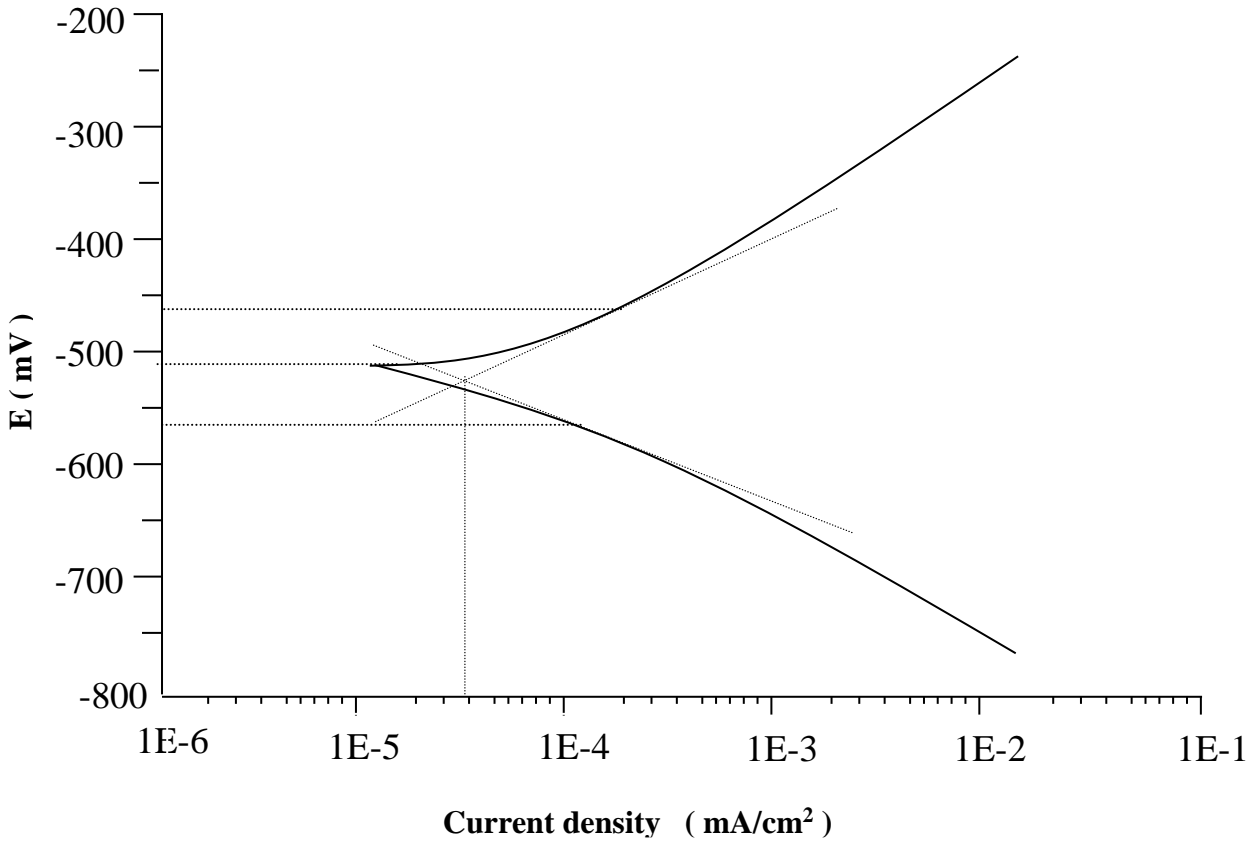
Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.81 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ).

أما الشكل ( 4.82 ) فإنه يبين منحنيات الاستقطاب للعينة السابقة في حالة وجود مثبط، إذ نجد أن:

$$I_{\text{Corr}} = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ mA/Cm}^2$$

$$E_{\text{Corr}} = -510 \text{ mV}$$

Current density ( mA/cm<sup>2</sup> )

الشكل ( 4.82 ) منحنيات الاستقطاب لعينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) الحاوي على ( 3% ) حجماً من المثبط ( A ).

ونلاحظ من الشكل السابق انحراف جهد التآكل بالاتجاه الموجب وانخفاض قيمة تيار التآكل في حالة وجود المثبط ( A ).

والجدول ( 4.20 ) يعطي قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل وكفاءة التثبيط للمثبط ( A ) لعينات النحاس النقي وللمحاليل المذكورة في أعلاه.

الجدول ( 4.20 ) قيم كثافة تيار التآكل وجهد التآكل وكفاءة المثبط ( A ) بالنسبة لعينات النحاس النقي وفي محاليل إلكتروليتيية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

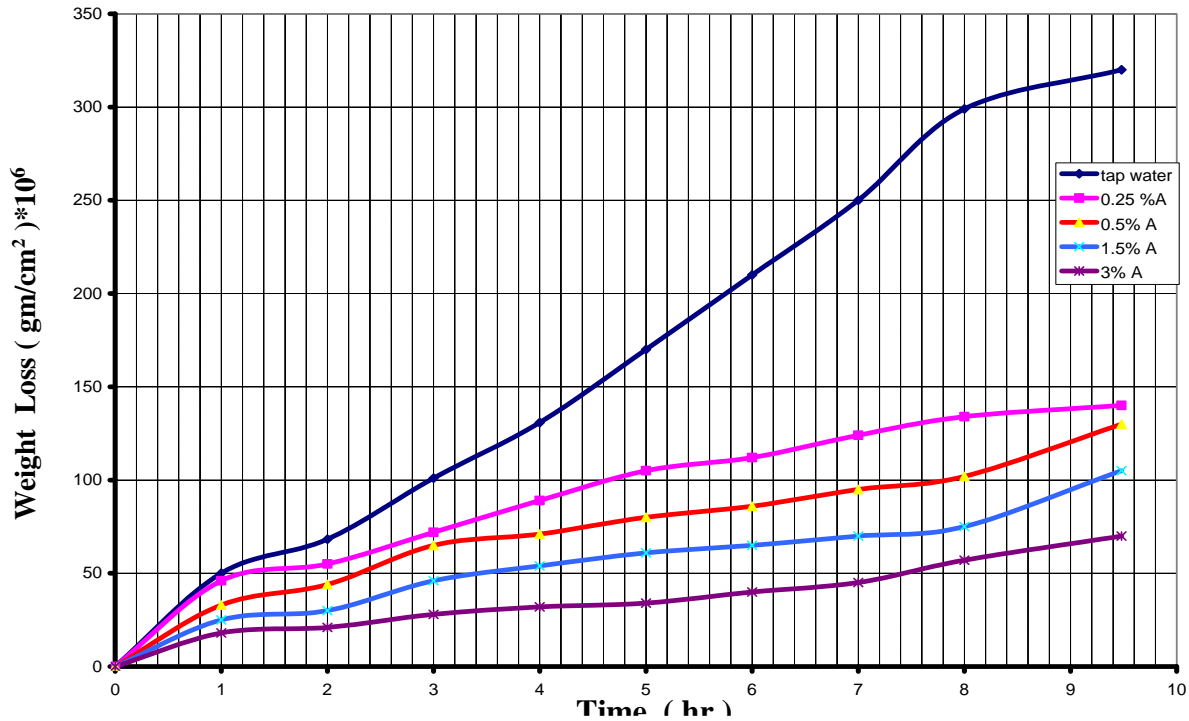
المحلول	المثبط	كثافة تيار التآكل mA/Cm <sup>2</sup>	جهد التآكل mV	الكفاءة %
NaCl 3% وزناً	—	$5 \cdot 10^{-5}$	-655	—
NaCl 3% وزناً	المثبط A	$0.7 \cdot 10^{-6}$	-540	96.8
2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	$2 \cdot 10^{-4}$	-620	—
2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	المثبط A	$3.2 \cdot 10^{-5}$	-510	84

### 4.3.3 نتائج اختبار التعرية

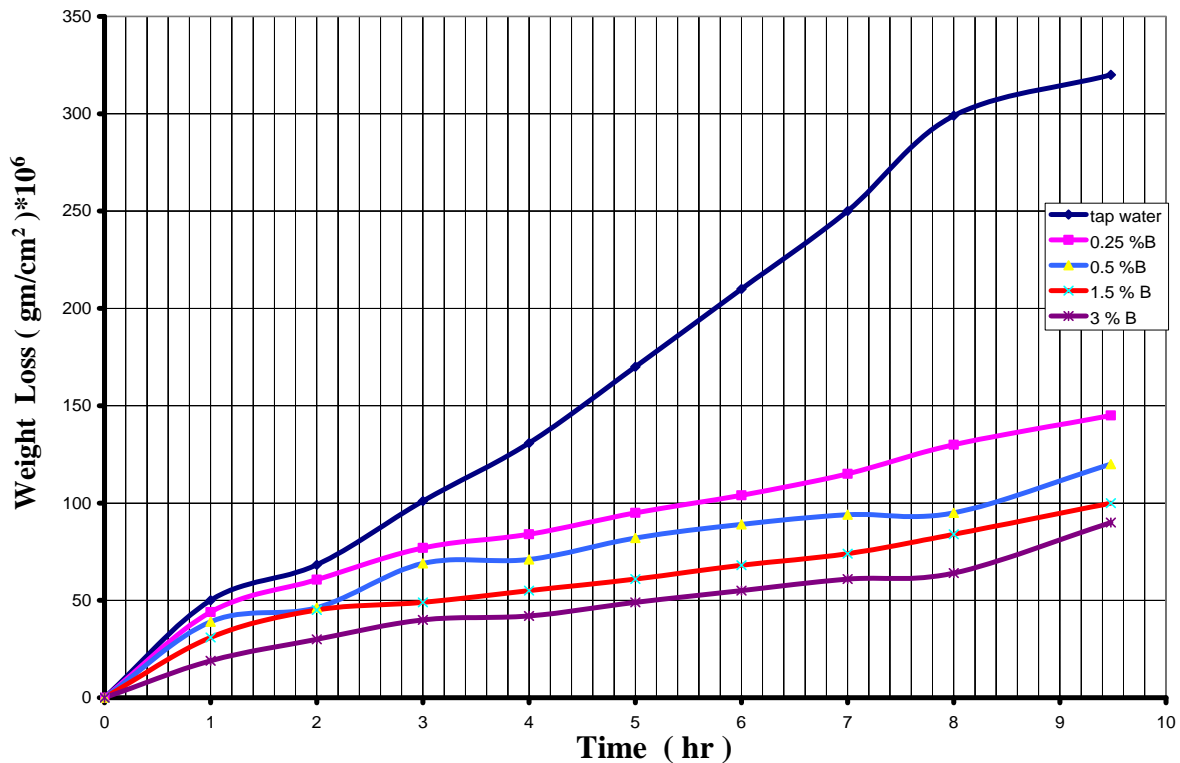
تم إجراء هذا الاختبار مقياساً لمدى تلاصق طبقة المثبط بالمعدن ومقاومته للتقشر أو التكسر ولغرض التأكد من مدى تحمل الطبقات الممتزة من المثبطات لحركة الوسط المحيط بالمعدن، إذ تم الاختبار بوجود وبغياب المثبطات وبتراكيز مختلفة منها في ماء الحنفية الاعتيادي ولعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً ولكل من الفولاذ الكربوني، للألمنيوم والنحاس النقي. وقد تم رسم العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة مقابل الزمن لتقييم أداء المثبطات المستعملة والأشكال ( 4.82 - 4.87 ) تبين نتائج هذا الاختبار.

#### 4.3.3.1 الفولاذ الكربوني

الشكلان ( 4.83 - 4.84 ) يبينان نتائج هذا الاختبار.



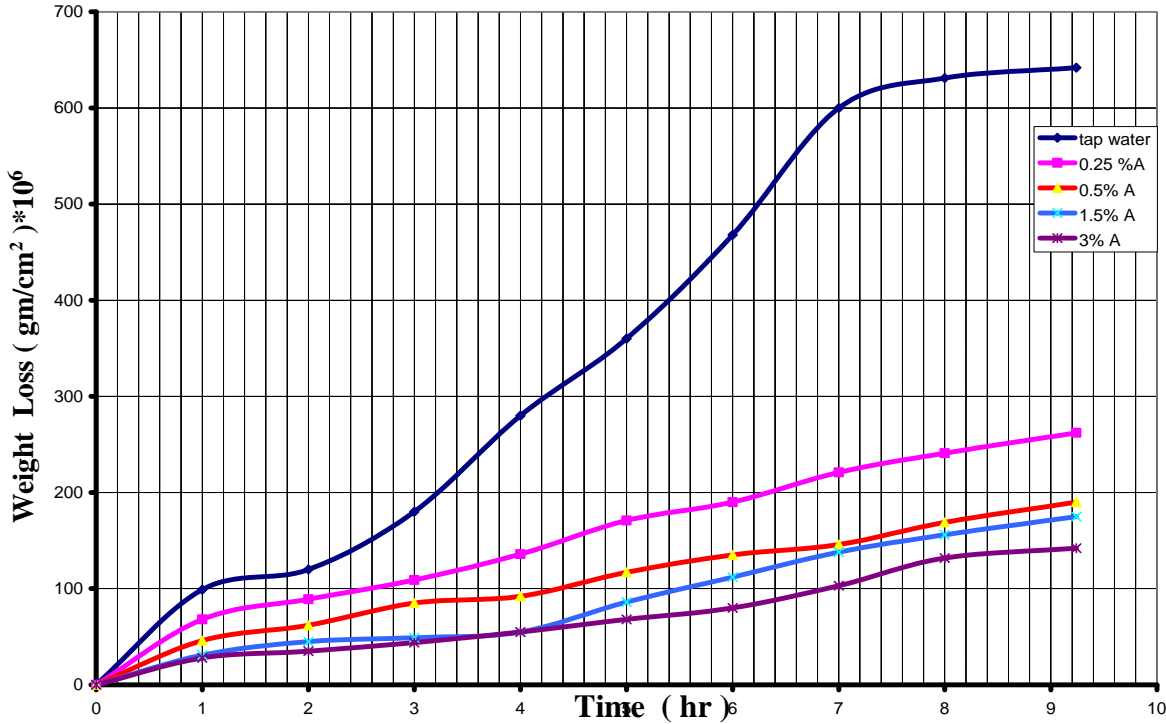
الشكل ( 4.83 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة للفولاذ الكربوني بوجود وغياب المثبط ( A ) لأختبار تأكل التعرية .



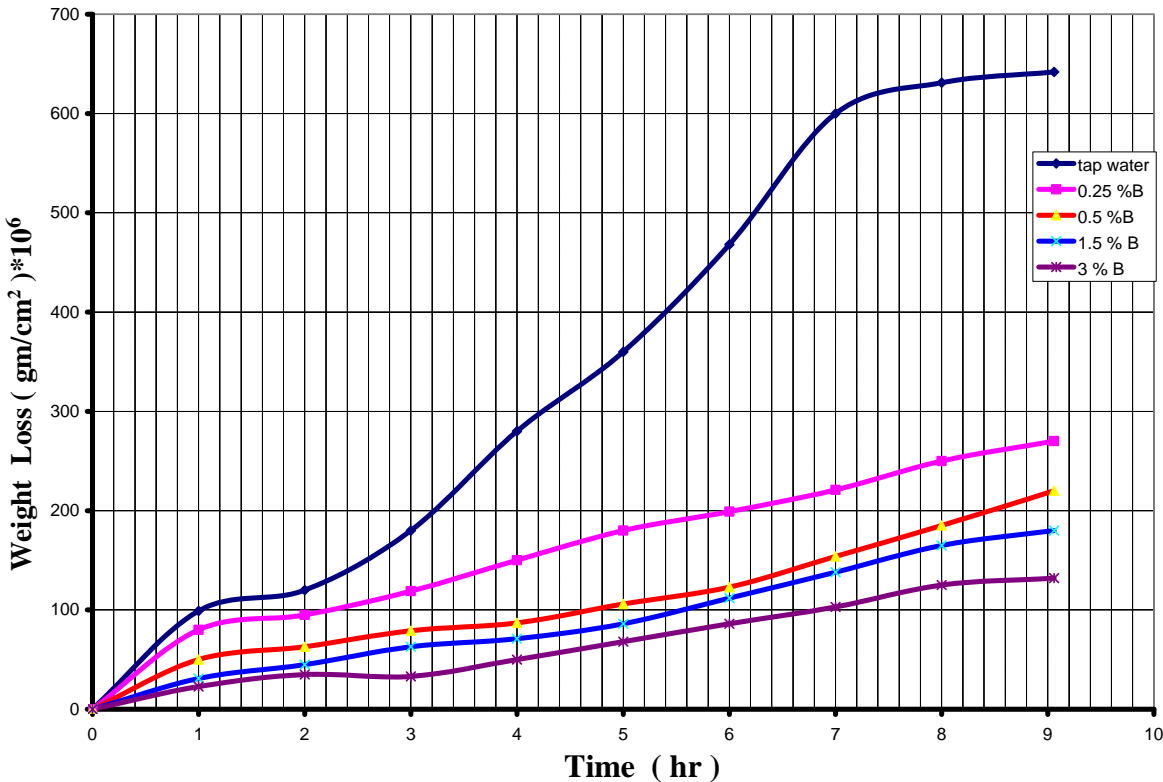
الشكل ( 4.84 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحم غير المعاملة للفولاذ الكربوني بوجود وغياب المثبط ( B ) لأختبار تأكل التعرية .

## 4.3.3.2 الألمنيوم

الشكلان ( 4.845 – 4.86 ) يبيانان نتائج هذا الاختبار.

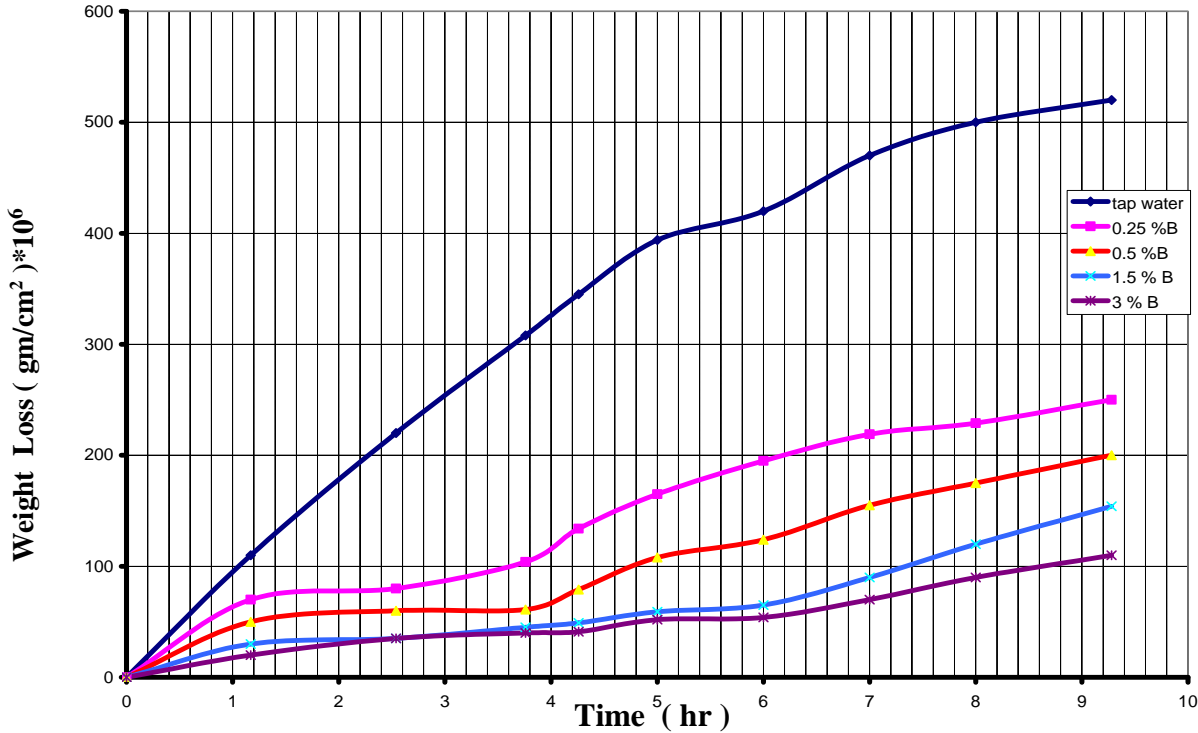


الشكل ( 4.85 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة للألمنيوم المستخدم بوجود وغياب المثبط ( A ) لأختبار تأكل التعرية.

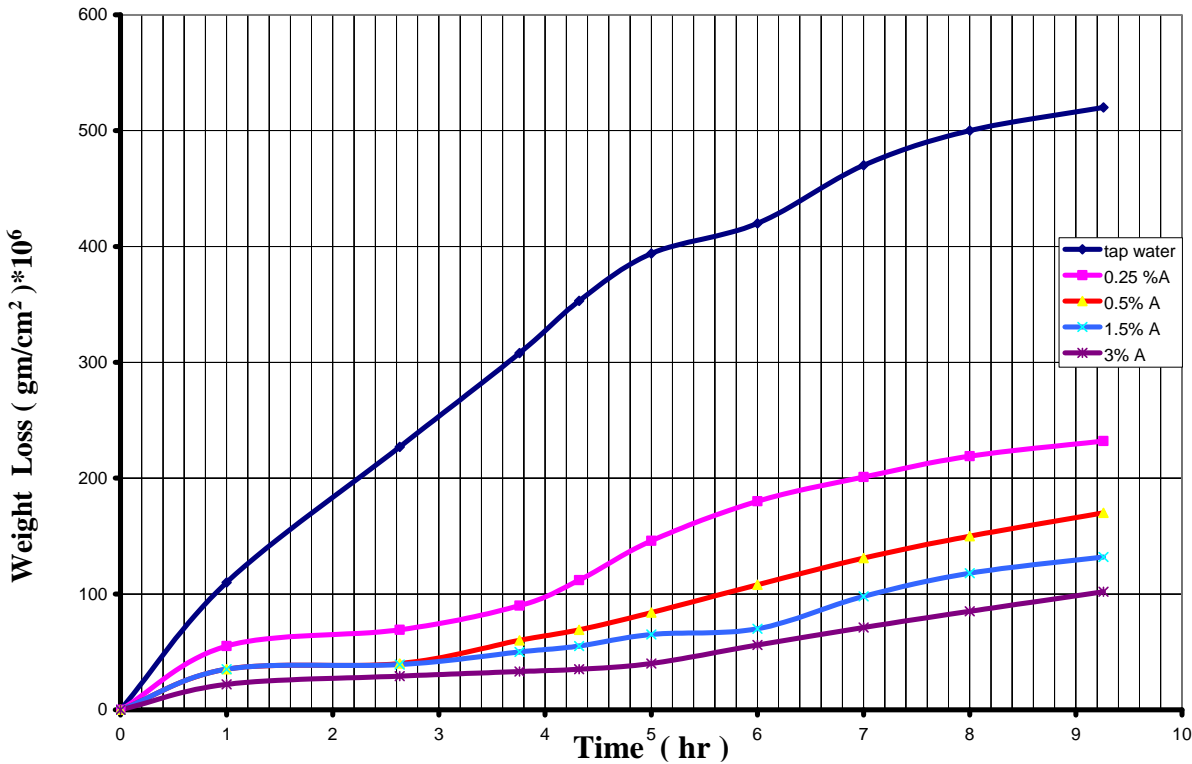


الشكلان ( 4.86 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة للألمنيوم المستخدم بوجود وغياب المثبط ( B ) لأختبار تأكل التعرية.

الشكلان ( 4.87 – 4.88 ) يبينان نتائج هذا الاختبار.



الشكل ( 4.87 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة للنحاس النقي بوجود وغياب المثبط ( A ) لأختبار تآكل التعرية.



الشكل ( 4.88 ) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود لعينات منطقة اللحام غير المعاملة للنحاس في ضوء الأشكال أعلاه نلاحظ أن بمرور فترة اختبار المثبط ( B ) ثم اختبار فيتميل سطح المعدن أو السبيكة إلى تآكل ميكانيكي ( Wear ) بسبب قوى الأصداد المتكررة، ثم تليها مرحلة تسارع في فقدان الوزن ويحدث نتيجة تكسر سطح المعدن أو السبيكة بتأثير الكلال ( Fatigue ) الناتج من الأصداد الأنفعالي وبعد تكسر

مقدار معين من السطح وتكوين أخاديد على سطح المعدن تبدأ مرحلة التباطؤ في فقدان الوزن. وبسبب تغطية السائل لهذه الأخاديد فإن التماس لا يكون في هذه الحالة بين المعدن والسائل بل بين السائل والسائل الذي يملأ الأخاديد.

أما العينات المغمورة في ماء الحنفية الحاوي على المثبطات العضوية فإنها تتعرض لفقدان قليل في الوزن ولعل هذا يعود إلى حركة السائل التي تسهل وصول جزيئات المثبطات وامتزازها على سطح المعدن أو السبيكة وتكوينها طبقة حامية للمعدن من الوسط التآكلي وهذا ما أشار إليه باحثون آخرون<sup>(21,32)</sup>. والجدول ( 4.21 – 4.23 ) تبين كفاءة التثبيط للمثبطات في اختبار تآكل التعرية.

الجدول ( 4.21 ) كفاءة المثبطات لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً في اختبار تآكل التعرية للفولاذ الكربوني.

الكفاءة %	تركيز المثبط % ( v/v )	العينة
—	A	—
56.25	0.25	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
59.38	0.5	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
67.20	1.5	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
78.77	3	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
—	B	—
54.68	0.25	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
62.50	0.5	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
68.55	1.5	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
71.69	3	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً

الجدول ( 4.22 ) كفاءة المثبطات لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً في اختبار تآكل التعرية لسبيكة الألمنيوم.

الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )	العينة
—	A	—
59.18	0.25	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً
70.40	0.5	منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً

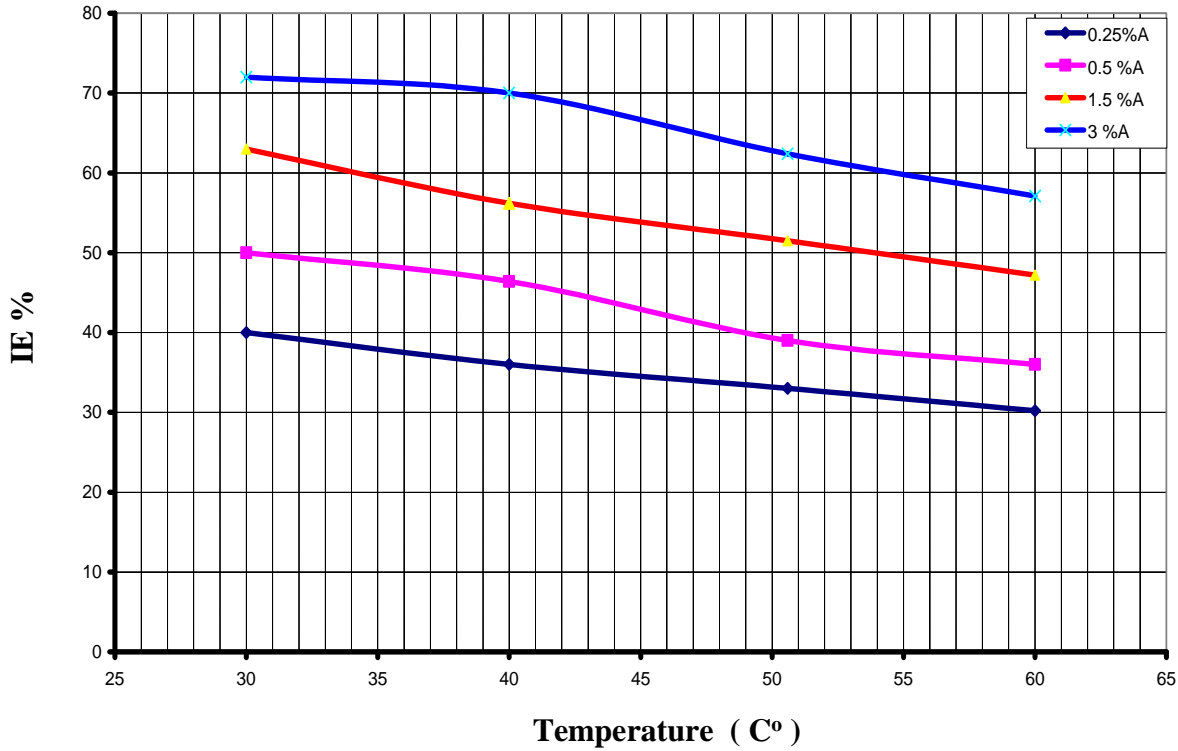
73.74	1.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
78.89	3	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
—	<b>B</b>	—
57.94	0.25	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
65.73	0.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
72.73	1.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
77.85	3	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً

الجدول ( 4.23 ) كفاءة المثبطات لعينات منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً في إختبار تأكل التعرية للنحاس النقي.

الكفاءة %	تركيز المثبط ( v/v )	العينة
—	<b>A</b>	—
55.39	0.25	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
67.31	0.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
74.62	1.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
80.38	3	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
—	<b>B</b>	—
51.93	0.25	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
61.53	0.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
70.38	1.5	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً
78..84	3	منطقة اللحم غير المعاملة حرارياً

#### 4.3.4 تأثير درجة الحرارة في كفاءة المثبط Temperature Effect

تم استعمال طريقة الغمر البسيط لحساب معدلات التآكل عند درجات حرارية مختلفة هي  $^{\circ}\text{C}$  (30, 40, 50, 60) لمدة (3 hr) من الغمر في ماء الحنفية بوجود وغياب المثبط (A)، بعدها تم حساب كفاءة المثبط عند كل تركيز من المثبط وللدرجات الحرارية المستعملة والشكل (4.89) يبين العلاقة بين كفاءة المثبط ودرجات الحرارة المستعملة في هذا الاختبار.



الشكل (4.89) تأثير درجة الحرارة على كفاءة المثبط (A) لعينات الفولاذ الكربوني في ماء الحنفية.

ومن الشكل في أعلاه نلاحظ أن كفاءة المثبط تقل بزيادة درجة الحرارة، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تأثير درجة الحرارة في الجزيئات نفسها وفي ميلها إلى التلاصق بسطح المعدن.

#### 4.3.5 نتائج اختبار الموصلية الكهربائية وقياس الأس الهيدروجيني pH

تم إجراء اختبار الموصلية الكهربائية لمحلولين هما ماء الحنفية والمحلول الملحي لكلوريد الصوديوم وبتركيز (3%) وزناً من الملح وقد تم قياس الموصلية للمحاليل و pH للمحاليل بوجود

وبغياب المثبطات العضوية وبتراكيز مختلفة عند درجة حرارة الغرفة والجدولان ( 4.24 ) و ( 4.25 ) يوضحان نتائج اختبار الموصلية الكهربائية و قيم pH للمحاليل المستعملة.

الجدول ( 4.24 ) نتائج اختبار الموصلية الكهربائية والأس الهيدروجيني لماء الحنفية ومحلل ( 3% NaCl ) وزناً في حالة وجود وغياب المثبطات العضوية.

الرقم الهيدروجيني pH	الموصلية الكهربائية Electrical Conductivity mSm	المحلل Solution
5.1	5	ماء الحنفية
5.22	3	ماء الحنفية + ( 0.25 %A ) حجماً
5.38	2	ماء الحنفية + ( 0.5 %A ) حجماً
5.94	1.5	ماء الحنفية + ( 1.5 %A ) حجماً
6.42	1.2	ماء الحنفية + ( 3 %A ) حجماً
3.9	3.5	ماء الحنفية + ( 0.25 %B ) حجماً
4.25	2.4	ماء الحنفية + ( 0.5 %B ) حجماً
4.82	2	ماء الحنفية + ( 1.5 %B ) حجماً
5.5	1.4	ماء الحنفية + ( 3 %B ) حجماً
7.3	18.5	( 3% NaCl ) وزناً
6.12	16	( 3% NaCl ) وزناً + ( 0.25 %A ) حجماً
6.45	15	( 3% NaCl ) وزناً + ( 0.5 %A ) حجماً
6.80	14	( 3% NaCl ) وزناً + ( 1.5 %A ) حجماً
7.18	13	( 3% NaCl ) وزناً + ( 3 %A ) حجماً
6.12	16.6	( 3% NaCl ) وزناً + ( 0.25 %B ) حجماً
6.38	16	( 3% NaCl ) وزناً + ( 0.5 %B ) حجماً
6.71	15	( 3% NaCl ) وزناً + ( 1.5 %B ) حجماً
7.01	13	( 3% NaCl ) وزناً + ( 3 %B ) حجماً

الجدول ( 4.25 ) نتائج اختبار الموصلية الكهربائية والأس الهيدروجيني لمحلل ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) ومحلل ( 1M HCl ) في حالة وجود وغياب المثبطات العضوية.

الرقم الهيدروجيني pH	الموصلية الكهربائية Electrical Conductivity mSm	المحلل Solution
-0.61	high	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )

0.11	high	حجماً ( 0.25 %A )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.24	high	حجماً ( 0.5 %A )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.39	high	حجماً ( 1.5 %A )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.46	high	حجماً ( 3 %A )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.12	high	حجماً ( 0.25 %B )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.22	high	حجماً ( 0.5 %B )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.35	high	حجماً ( 1.5 %B )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.46	high	حجماً ( 3 %B )+( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.08	high	( 1M HCl )
0.18	high	حجماً ( 0.25 %A )+( 1M HCl )
0.29	high	حجماً ( 0.5 %A )+( 1M HCl )
0.40	high	حجماً ( 1.5 %A )+( 1M HCl )
0.56	high	حجماً ( 3 %A )+( 1M HCl )
0.12	high	حجماً ( 0.25 %B )+( 1M HCl )
0.24	high	حجماً ( 0.5 %B )+( 1M HCl )
0.41	high	حجماً ( 1.5 %B )+( 1M HCl )
0.49	high	حجماً ( 3 %B )+( 1M HCl )

نلاحظ من الجدول ( 4.24 ) انخفاض الموصلية الكهربائية للمحاليل بزيادة تركيز المثبطات العضوية المستعملة قيد البحث مما يدل على أن هذه المثبطات تعمل على إعاقة حركة الأيونات داخل المحلول فتسيطر على عملية التآكل، وكذلك الطبقة الممتزة على السطح التي تكونها فإنها تقلل موصلية المحلول وحتى إعاقة عملية التآكل. أما قيمة PH فإنها تزداد بزيادة تركيز المثبط والتي تكاد أن تكون متعادلة في ماء الحنفية ومحلول ( 3% NaCl ) وزناً وعند تراكيز ( 3% ) حجماً لكلا المثبتين مما يؤكد فاعلية هذه المثبطات في تقليل معدلات التآكل بشكل كبير.

### 4.3.6 نتائج اختبار خشونة السطح Roughness Test

تم إجراء اختبار الخشونة لبيان مدى تأثير المثبطات المضافة للمحاليل الألكتروليتية في خشونة أسطح العينات، والجدول ( 4.26 - 4.28 ) تبين نتائج هذا الاختبار للعينات المغمورة في المحاليل الألكتروليتية بوجود وغياب المثبط ( A ) لكل من الفولاذ الكربوني، والألمنيوم والنحاس النقي.

الجدول ( 4.26 ) نتائج اختبار الخشونة السطحية لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في محاليل إلكتروليتية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

المحلول	درجة الخشونة ( $\mu\text{m} * 10^{-6}$ )
---------	---

0.002	—
0.02	ماء الحنفية
0.010	ماء الحنفية + المثبط ( A )
0.012	ماء الحنفية + المثبط ( B )
0.028	( 3% NaCl ) وزناً
0.012	( 3% NaCl ) وزناً + المثبط ( A )
0.013	( 3% NaCl ) وزناً + المثبط ( B )
0.19	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.009	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) + المثبط ( A )
0.008	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) + المثبط ( B )
0.088	( 1M HCl )
0.012	( 1M HCl ) + المثبط ( A )
0.011	( 1M HCl ) + المثبط ( B )

الجدول ( 4.27 ) نتائج اختبار الخشونة السطحية لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم في محاليل إلكتروليتية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

درجة الخشونة ( $\mu\text{m} * 10^{-6}$ )	المحلول
0.004	—
0.017	( 3% NaCl ) وزناً
0.009	( 3% NaCl ) وزناً + المثبط ( A )

0.010	( 3% NaCl ) وزناً + المثبط ( B )
0.042	( 1M HCl )
0.006	( 1M HCl ) + المثبط ( A )
0.008	( 1M HCl ) + المثبط ( B )

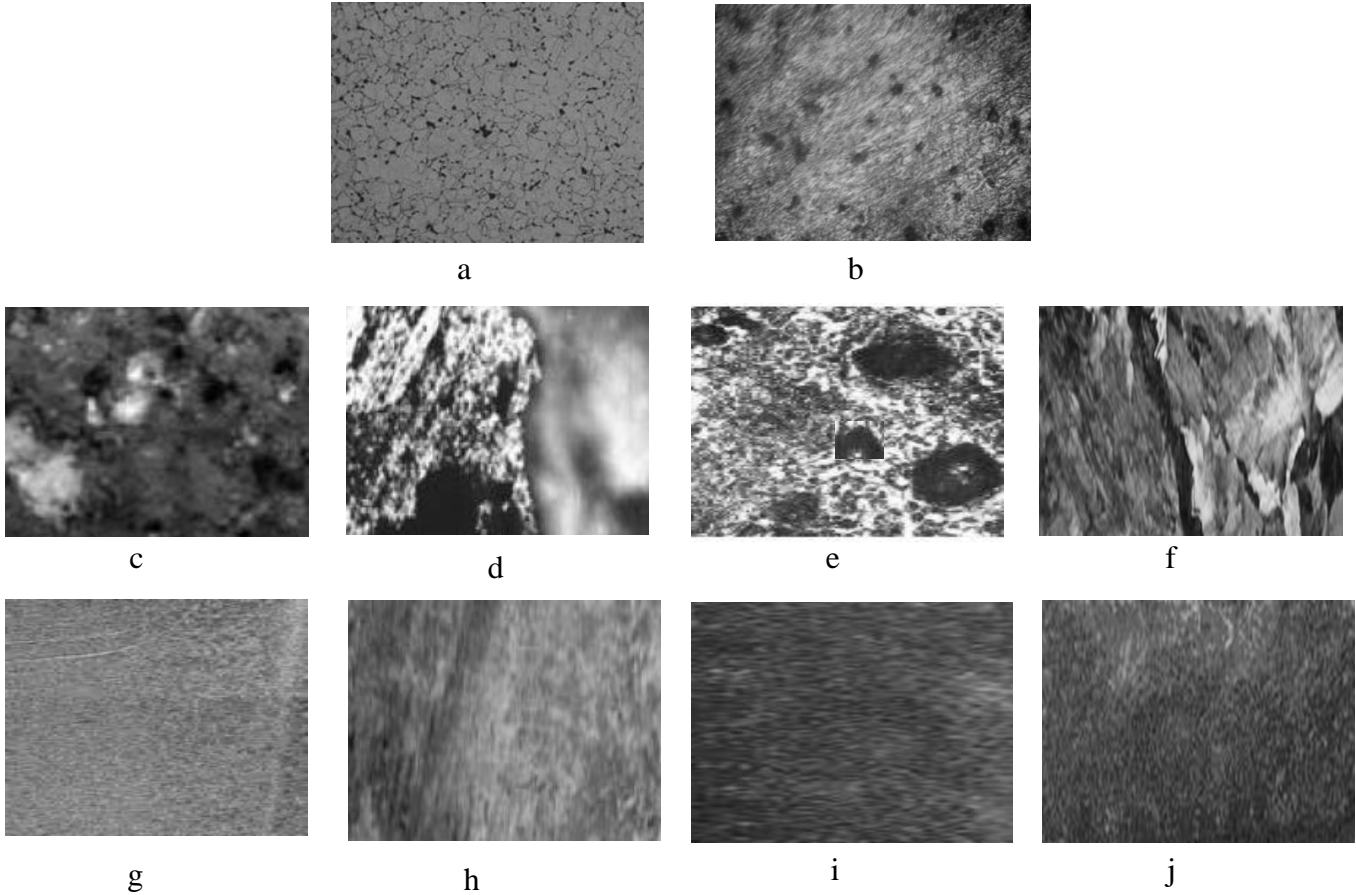
الجدول ( 4.28 ) نتائج إختبار الخشونة السطحية لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي في محاليل إلكتروليتيّة مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

درجة الخشونة ( $\mu\text{m} \cdot 10^{-6}$ )	المحلول
0.004	—
0.020	( 3% NaCl ) وزناً
0.010	( 3% NaCl ) وزناً + المثبط ( A )
0.12	( 3% NaCl ) وزناً + المثبط ( B )
0.0390	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0.009	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) + المثبط ( A )
0.012	( 2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) + المثبط ( B )

من الجداول في أعلاه نلاحظ انخفاض قيمة الخشونة السطحية للعينات المغمورة في المحاليل المثبطة. ولعل هذا يعود إلى إمتزاز جزيئات المثبطات العضوية على سطح المعادن مكونة طبقة مستمرة على كل السطح تعمل على تغطية الخدوش والفجوات والنتوءات الناتجة من عملية التآكل وهذا بدوره يقلل الخشونة السطحية للمعادن.

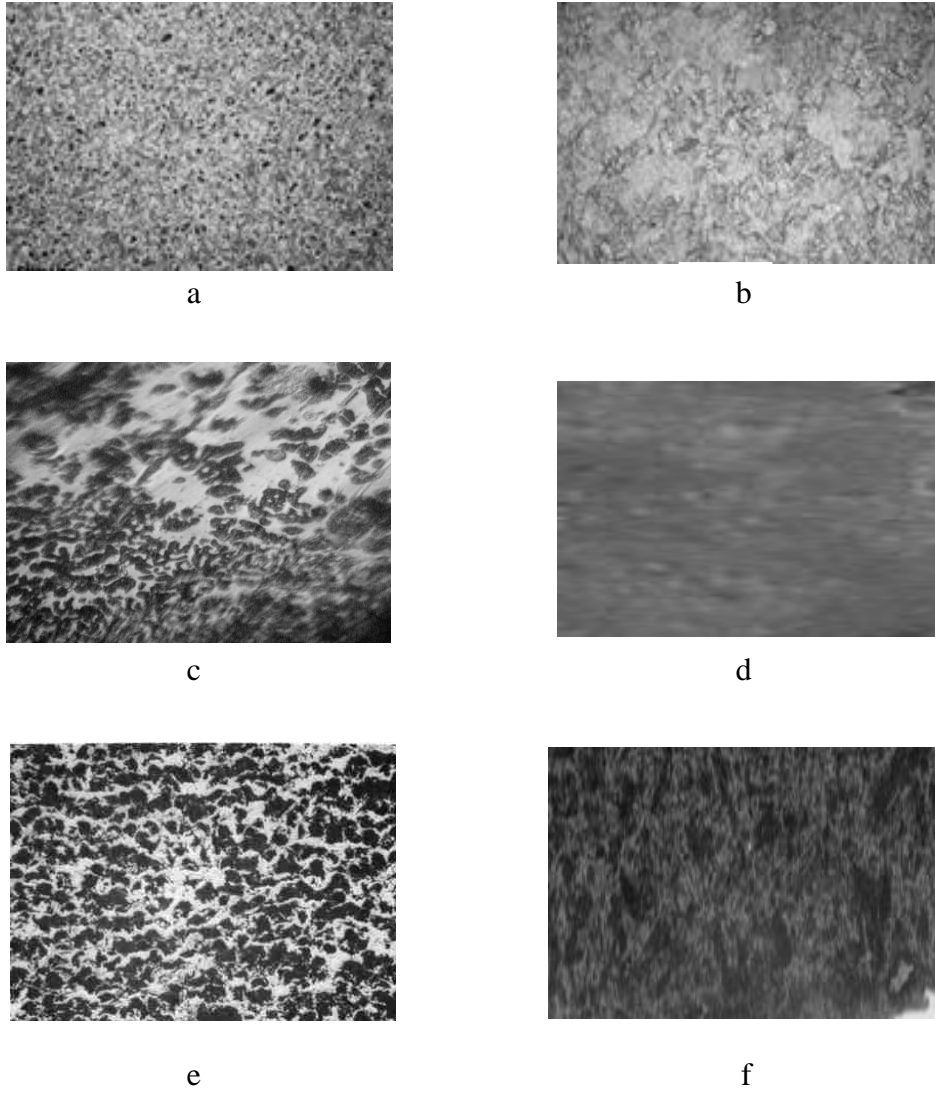
## 4.3.7 نتائج تصوير السطح

الأشكال ( 4.90 - 4.92 ) تبين التصوير السطحي لجميع العينات المستعملة قيد البحث.



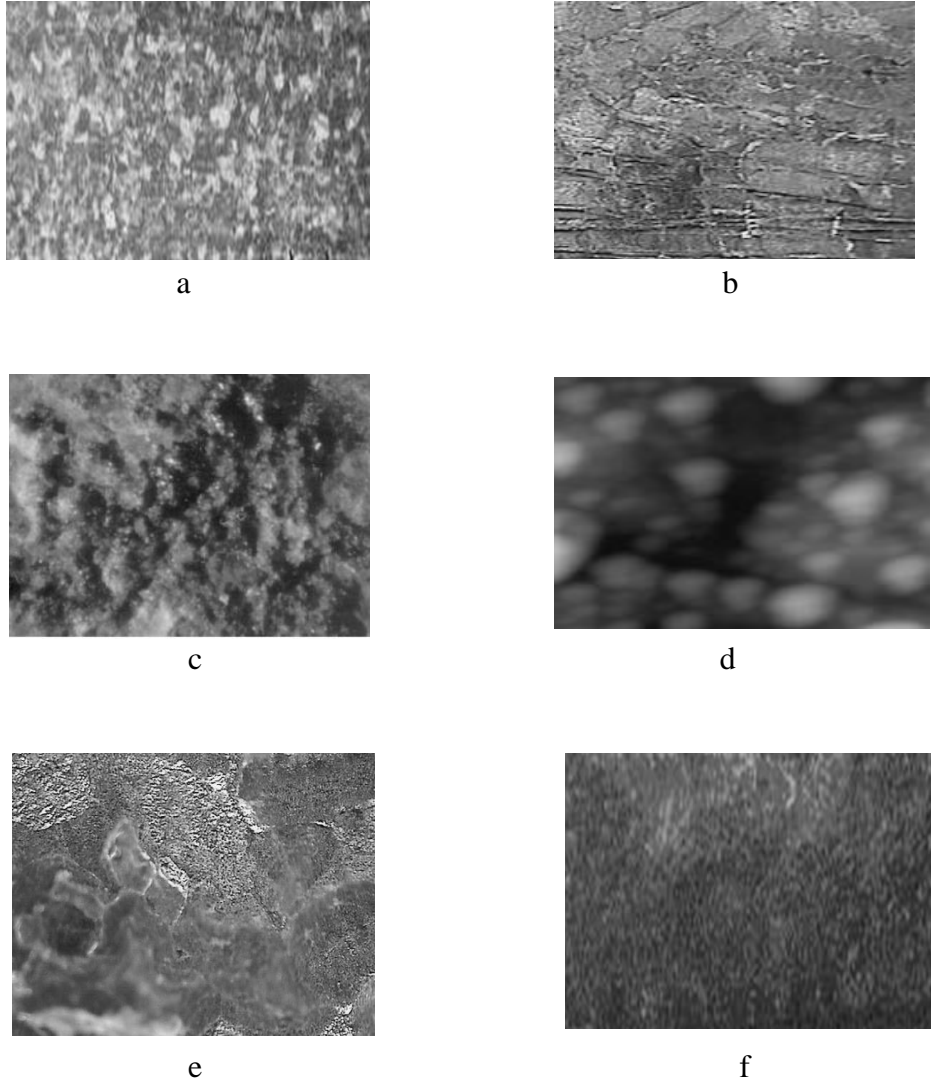
الشكل ( 4.90 ) التصوير السطحي لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني في المحاليل الألكتروليتية إذ:

- (a) عينة الفولاذ الكربوني المستعمل قيد البحث قبل إجراء عملية اللحام.
- (b) عينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للفولاذ الكربوني.
- (c) عينة مغمورة في ماء الحنفية غير المثبط.
- (d) عينة مغمورة في محلول ( 3% NaCl ) وزناً غير المثبط.
- (e) عينة مغمورة في محلول ( 1M HCl ) غير المثبط.
- (f) عينة مغمورة في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) غير المثبط.
- (g) عينة مغمورة في ماء الحنفية المثبط.
- (h) عينة مغمورة في محلول ( 3% NaCl ) وزناً المثبط.
- (i) عينة مغمورة في محلول ( 1M HCl ) المثبط.
- (j) عينة مغمورة في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) المثبط.



الشكل ( 4.91 ) التصوير السطحي لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم في المحاليل الألكتروليتية إذ:

- (a) عينة لسبيكة الألمنيوم المستعملة قيد البحث قبل إجراء عملية اللحام.
- (b) عينة منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً لسبيكة الألمنيوم.
- (c) عينة مغمورة في محلول ( 3% NaCl ) وزناً غير المثبط.
- (d) عينة مغمورة في محلول ( 3% NaCl ) وزناً المثبط.
- (e) عينة مغمورة في محلول ( 1M HCl ) غير المثبط.
- (f) عينة مغمورة في محلول ( 1M HCl ) المثبط.



الشكل ( 4.92 ) التصوير السطحي لعينات منطقة اللحام غير المعاملة حرارياً للنحاس النقي في المحاليل الألكتروليتية إذ:

- (a) عينة للنحاس النقي المستعمل قيد البحث قبل إجراء عملية اللحام.
- (b) عينة منطقة اللحام غير معاملة حرارياً للنحاس النقي.
- (c) عينة مغمورة في محلول ( 3% NaCl ) وزناً غير المثبط.
- (d) عينة مغمورة في محلول ( 3% NaCl ) وزناً المثبط.
- (e) عينة مغمورة في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) غير المثبط.
- (f) عينة مغمورة في محلول ( 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) المثبط.

من الأشكال السابقة يبدو واضحاً حصول تآكل حاد على أسطح العينات المغمورة في المحاليل الألكتروليتية غير المثبطة، إذ نلاحظ في العينات المغمورة في ماء الحنفية حصول التآكل على كافة

السطح وبشكل متجانس، أما العينات المغمورة في المحلول الملحي ومحلول حامض الهيدروكلوريك ( HCl ) فيلاحظ حصول التآكل التنقري، إذ يلاحظ توزع النقر على سطح المعدن بشكل عشوائي، أما العينات المغمورة في محلول حامض الكبريتيك (  $H_2SO_4$  ) فنلاحظ حدوث التآكل على كافة مساحة السطح بشكل عنيف وغير منتظم.

أما بالنسبة للعينات المغمورة في المحاليل الألكتروليتية الحاوية على المثبطات فتظهر الطبقة الممتزة على السطح ويكون تأثير كل محلول قليل في السطح، إذ إن هذه الطبقة تقلل بشكل كبير تآكل السطح المعدني أو السبيكة من كل أنواع التآكل التي لوحظت على سطوح العينات المغمورة في المحاليل الألكتروليتية غير المثبطة.

## 5.1 الاستنتاجات Conclusions

1. أظهرت نتائج التحليل الكيميائي للمثبطات المستعملة في الدراسة الحالية احتوائها على أكثر من مجموعة من المجاميع الفعالة المعروفة بفعاليتها على الأمتزاز والحماية من التآكل.
2. أثبتت المثبطات المستعملة في الدراسة الحالية فاعلية عالية في حماية مناطق اللحام وتلك المجاورة لها للفولاذ الكربوني والألمنيوم والنحاس وحتى بوجود مسببات تسارع التآكل كما في لحم المونة لمعدن النحاس، إذ بلغت كفاءة المثبط ( A ) ( 94.98% ) في حماية ملحومات الفولاذ الكربوني في الماء الاعتيادي في حين بلغت كفاءة المثبط ( B ) ( 91.4% ) في حماية ملحومات النحاس في محلول ( 3% NaCl ).
3. كان للمعاملة الحرارية تأثير فاعل في تقليل معدلات التآكل فقد تسببت في زيادة مقاومة التآكل بمقادير تراوحت بين ( 6.4 – 28.7 )%.
4. ارتفاع كفاءة المثبط بزيادة تركيز المثبطات في جميع المحاليل المستعملة ولكل المعادن المستعملة في الدراسة الحالية.
5. أظهرت المثبطات قدرة عالية في مقاومة التآكل بالتعرية إذ بلغت كفاءة المثبط ( A ) ( 80.38% ) في حماية مناطق لحم النحاس، في حين بلغت كفاءة المثبط ( B ) ( 78.84% ) في حماية مناطق لحم النحاس.
6. تسبب ارتفاع درجة الحرارة في انخفاض طفيف في كفاءة المثبط.
7. إختبارات التآكل بطريقة تافل بينت انخفاضاً كبيراً في مقدار تيارات التآكل في جميع المحاليل ولكل العينات المستعملة في الدراسة الحالية، إذ بلغت كفاءة التثبيط للمثبط ( A ) ( 95% ) في حماية منطقة اللحام للفولاذ الكربوني في محلول حامض الكبريتيك.
8. أظهرت نتائج اختبار الموصلية انخفاض موصلية المحاليل مع زيادة تركيز المثبطات.
9. تمتاز المثبطات المستعملة في هذه الدراسة بسهولة تحضيرها، رخص ثمنها بشكل كبير مقارنةً مع المثبطات الأخرى، وخلوها من السمية.
10. أظهرت اختبارات الخشونة انتظام سطوح النماذج مما يشير إلى كفاءة في بناء طبقة المثبط.

## 5.2 التوصيات Recommendations

1. استعمال طرق لحام أخرى مثل اللحام الاحتكاكي، لحام MIG و لحام TIG..... إلخ.
2. دراسة تأثير وجود الأكاسيد في سطح المعدن في عمل المثبط.
3. استعمال عينات غير مصقولة في هذه الاختبارات.
4. استعمال تراكيز أعلى للمثبطات المستعملة في البحث.
5. لحام معادن مختلفة ودراسة السلوك التآكلي لها.
6. استعمال طرق حماية أخرى للملحومات من التآكل كاستعمال التغطيات أو الطلاء.

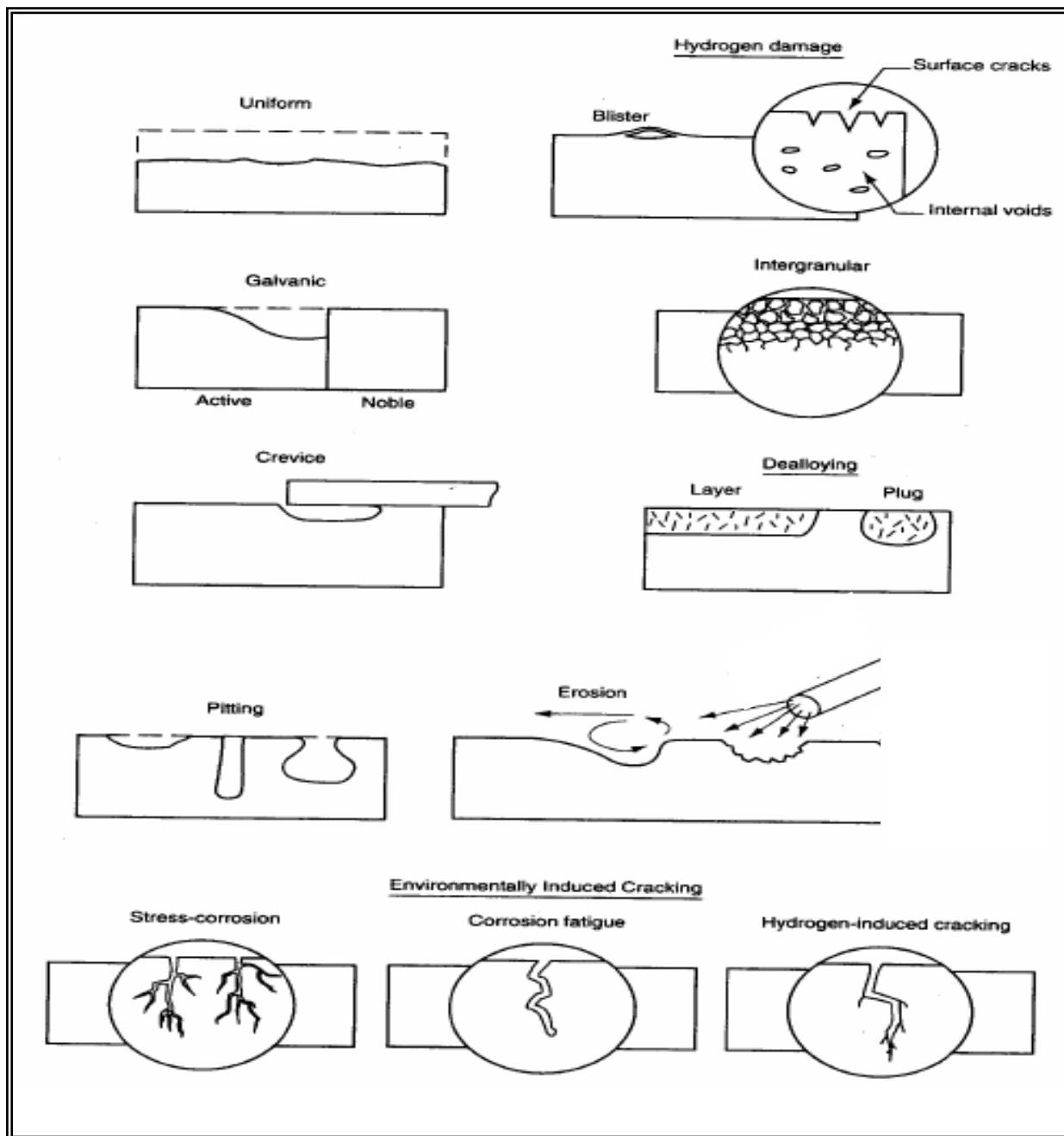
7. استعمال أوساط تآكلية أخرى مثل الأوساط القاعدية مع استعمال عينات لمعلومات أخرى مثل الخارصين، المغنيسيوم... إلخ.
8. إجراء اختبار تافل عند درجات حرارية عالية ودراسة تأثير درجة الحرارة في تيار وجهد التآكل بوجود وغياب المثبط.

- 1- Dr.O.P.Khanna, “**Welding Technology For Engineering Student**”, Published simultaneously in Canada, 1980.
- 2- عبد السميع جاسم عبد الزهرة، " السيطرة على عيوب وتشوهات لحام الصلب الكربوني "، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد، جامعة بابل، 2000.
- 3- William A. Bowditch, “ **Welding Technology Fundamentals**”, Printed in U.S.A 1984.
- 4- د.قحطان خلف الخزرجي، عبد الجواد محمد أحمد، " تكنولوجيا اللحام " جامعة بغداد.العراق.1987.
- 5- J.R.Crum & L.E. Shoemaker, “ **Special Alloys and Overmatching Welding Products Solve FGD Corrosion Problems**”, 1998.
- 6- “ **Stress Corrosion Testing** ”, ASTM STP. NO 425. 1967.
- 7- A.Contresras, A.Albiter & C.Angeles, “ **Mechanical and Microstructural Effect on the Stress Corrosion Cracking of Weld Beads of X-52 and X-70 Pipeline Steels**”, 2004. E.Mail: acontrer@ imp.mx.
- 8- حسين باقر رحمة الله، " هندسة التآكل وحماية سطوح المعادن " الجامعة التكنولوجية، العراق، 1990.
- 9- QI Yang, “ **Effect of Hydrogen on Passivity and Corrosion related Behavior of Austenitic Stainless Steel**”, A Thesis submitted to Material Engineering, degree of Doctor, 2000.
- 10- R.E. Smallman & R.J.Bishop, “**Modern Physical Metallurgy and Material Engineering**”, 6<sup>th</sup> Ed., Printed in Great Britain, 1999.
- 11- L.L.Sheir RA Jarman & GT Burstein, “**Corrosion Metal/Environment Reaction**” 3<sup>rd</sup> Ed., Printed and bound in Great Britain, 2000.
- 12- د.قحطان خلف الخزرجي، عبد الجواد محمد أحمد " التآكل- أسبابه- أنواعه- طرق الحماية منه " جامعة بغداد، العراق، 1987.
- 13- Daivid Talbot & James “ **Corrosion Science and Technology**” Printed in London, 1997.

- 14- Denny, A.j, “ **Principles and Prevention of Corrosion**”, 2<sup>nd</sup> Ed. Published simultaneously in London 1996.
- 15- Nestor Perez, “ **Electrochemistry and Corrosion Science**”, Printed in New York, 2004.
- 16- L.A.Sokolova, et.A.L. “ **The Passivation of Iron in Oxalate Solution**”, Protection of Metal, Vol.12,No2,1976.
- 17- Uglanski G.M. and Payer J.H. “ **Stress Corrosion Cracking** ”, 2<sup>nd</sup> printed in London 1986.
- 18- P.R.Roberge, “ **Handbook of Corrosion Engineering**”, Copyright © 2000 by The McGraw-Hill Companies,
- 19- أحمد فاضل، " حماية الفولاذ الكربوني، الألمنيوم والنحاس من التآكل باستخدام مثبتات عضوي جديد"، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد، جامعة بابل، 2007.
- 20- نوال محمد، " استخدام مثبت عضوي جديد لحماية الفولاذ الكربوني من التآكل"، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد، جامعة بابل، 2006.
- 21- Putilovea S.A.. Barannik., “ **Metallic Corrosion Inhibitors**”, New York, 1970.
- 22- الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، " تقنية لحام " المملكة السعودية العربية، 2006.
- 23- A.Lukojc & J.Nowacki, “ **Influence of Thermal Cycle on structure and properties of Heat Affect Zone of Duplex steel welded joint**”, Acta Metallurgical slowara.2004.
- 24- الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية، " اللحام والقطع بالأوكسي-أستلين " 2006.
- 25- H.F.Lopez & R.Raghunath, “ **Metallurgical and Material Transactions** ”, Printed in New York, 1969.
- 26- Joseph Tam, “ **Method of Characterizing Gas-Metal Arc Welding Acoustics for process Automation**” A Thesis submitted to Mechanical Engineering, University of Waterloo, Canada, 2005.
- 27- Minnick, “ **Gas Metal Arc Welding Handbook**”, Printed in U.S.A, 1999.

- 28- J.Nowacki & P.Rybicki, “ **Influence of heat input on Corrosion Resistance of SAW Welded duplex joints** ”, Institute of Materials Science and Engineering, 2006.
- 29- Yufeng Cheng, “ **A Fundamental understanding of the Electrochemical noise related to Pitting Corrosion of Carbon Steel**”, A Thesis submitted to Materials Engineering, university of Alberta, Canada, degree of master, 2000.
- 30- PN.EN.28402-Quality-Terminology.Polish-EuropeanStandard,2001
- 31- E.R. Hamm, “ **Corrosion Control**”, 1992.
- 32- B.Mishra, D.L.Olson & C.L.Ensing, “ **The influence of Weld Microstructural features on Corrosion Behavior**”, TMS,1998.
- 33- Lars Troselius & Penile Andreessen, “**Method for Corrosion Protection of Carbon Steel**”, Swedish,2003.
- 34- Congleton J.Shaji and Parkins R.N. “ **Corrosion Science** ”, 3<sup>rd</sup>. Printed and bound in Great Britain
- 35- J.C.Anderson, J.M.Alexander & R,D.Rawlings“ **Materials Science** ” 2<sup>nd</sup> edition, printed and bound in Hong Kong, 1983.
- 36- ف.ريباكوت، " اللحام بالقوس الكهربائي وبالغاز "، ترجمة المهندس عيسى الزبيدي، 1988.
- 37- J. Kruger, “ **Basics of Corrosion Science and Engineering**”, 2000.
- 38- الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة السعودية العربية، " علم المواد التطبيقي والتآكل " 2006.
- 39- Captain Sylvain Giguere, “ **Pulsed Eddy-Current for Corrosion detection**”, A Thesis submitted to Chemistry and Chemical Engineering, College of Canada Kingston, Ontario, for master degree, 1999.
- 40- Turner & F.P.A..Robinson, “ **The effect of the Surface Oxides produced during Welding** ”,1997.
- 41- N.Shaker, “ **Corrosion Inhibition of Carbon Steel in Hydrogen Acid**”, Sc.Thesis, University, January 1987.

- 42- Laque, F.L. , “ **Marine Corrosion, Causes and Prevention** ”, J.Wiley, 1975.
- 43- Dillon C.P., “ **Corrosion Control in Chemical Industries**”, Copyright ©1986 by Elsevier Science ( U.S.A ) .
- 44- Pierre R. Roberge, “**Corrosion Engineering**”, 2000.
- 45- Gerorge G. “ **Corrosion Inhibitors**”, Nace, Houston, Texas,1984.
- 46- D.Bjegovic & B.Miksic, “ **Migrating Corrosion Inhibitor Protection of Concrete**”, Mp,Nace International, Nov.1999.
- 47- Denny, A.J. , “ **Principles and Prevention of Corrosion**”, 2<sup>ed</sup>, Printice Hall Inc, 1996.
- 48- Stretcher, “ **Synergistic Inhibition of Ferric Ion Corrosion during Chemical cleaning of Metal surface**”, vol.28,1972.
- 49- د.قحطان خلف الخزرجي، د. شاكر السامرائي " أسس هندسة المعادن " مطبعة جامعة الموصل 1984.
- 50- T.Tuken, B.yazici & M.Arbil, “ **The Effect of Nicotinamide on Iron Corrosion in Chloride Solution**”, Turkey, PP-735-742,2001.
- 51- K.Abiola, N.C. Oforka & E.Ebenso, “ **The Inhibition of Mild Steel Corrosion in Acidic Medium by Fruit Juice of Citrus Paradise**”, The Journal of Corrosion Science and engineering, vol.5, 2004.
- 52- O.Okorosary & K.oforka, , “ **Corrosion Inhibition of Zinc on HCl using Nypa Fruticans wurmb Extract and 1,5 Diphenyl Carbazone**”, Nigeria, vol.8, No.1, PP.57-61,2004.
- 53- R.M.Saleh, A.A.Ismail & A.A.El-hosary, “ **Corrosion Inhibition by Naturally Occurring substances**”, Cairo Egypt,1984.
- 54- Y.Haek and L.Larabi, “ **Corrosion Inhibition of Mild Steel in HCl**”, University of Tlemcen,2004.
- 55- د.هادي كاظم عوض، د.صبيح صالح العزاوي، " التشخيص الطيفي للمركبات العضوية " جامعة بغداد، 1981.



Cathode	Electrolyte	Tafel line Parameters in volts	
		a	b
Aluminium	2 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	0.1
Iron	2 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.67	0.116
Cadmium	2 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.95	0.19
Tin	2 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.91	0.13
Lead	0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.40	0.12
Tungsten	5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.55	0.11
Gold	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.27	0.045

الملحق ( 2 ) بعض الأمثلة لثوابت تافل (38)

التركيز	مثبط التآكل	وسط التآكل	النظام
5-10 ppm	متعدد الجير متعدد الفوسفات	الماء	نظم البلدية
10 ppm	متعدد الفوسفات	الماء	نظم التبريد (مرة واحدة)
10 ppm 10-20 ppm	الفوسفات السليكات	الماء الساخن	التسخين والغسيل
0.5%	مثبطات عضوية	الكازولين	خطوط الأنابيب
0.1 %	مثبطات عضوية	البتروول	الخزانات البتروول
( 0.1-1 ) %	مثبطات عضوية	الأحماض	أجهزة التحليل

الملحق ( 3 ) أمثلة لمثبطات التآكل المستعملة في نظم التآكل (38)

(1) التركيب الكيميائي لقطب اللحام E6013

Composition	C	P	S	Mn	Fe
%	≤ 0.12	≤ 0.040	≤ 0.035	0.3-0.6	Rem.

(2) خواص قطب اللحام E6013

$$\sigma_t \geq 420 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y \geq 330 \text{ MPa}$$

$$\delta \geq 17\%$$

ملحق ( 4 ) خواص E6013

1. التركيب الكيميائي للمدن المائي

Composition	phosphor	Tin	Total Other Element	Copper
%	5.8-6.2	6.7-7.2	0.15	Rem.

2. خواصه

$$\bar{\sigma}_t \geq 303 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_y \geq 126 \text{ MPa}$$

$$\delta \geq 40\%$$

$$\text{Melting Point} = 1097 \text{ C}^0$$

ملحق ( 5 ) التركيب الكيميائي وخواص المعدن المائي المستعمل في لحام النحاس

1. التركيب الكيميائي للمعدن المائي

Composition	Silicon	Zinc	Copper	Iron	Magnesium	Manganese	Aluminum
%	11-13	0.2	0.3	0.3	0.1	0.15	Remainder

2. خواصه

$$\sigma_t \geq 189 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y \geq 126 \text{ MPa}$$

$$\delta \geq 8\%$$

$$\text{Melting Range} = 557-566 \text{ C}^0$$

ملحق ( 6 ) التركيب الكيميائي وخواص المعدن المائي المستعمل في لحام الألمنيوم