

## Evaluation of Corrosion Résistance for Austenitic Stainless Steel Weldment in Different Solution

Entisar Mohson Hameed  
Institute of Technology / Baghdad  
Email: mhentisar@yahoo.com

Received on: 6/9/2011 & Accepted on: 5/4/2012

### ABSTRACT

This paper is amid to study the effect of immersion solusion type on corrosion resistance of austenitic stainless steel AISI 304L .

The process welding carried out on sheet metal by using four types of electrodes (E308L,E309L,E312,E347) to obtain butt joint welding under constant conditions polarity(DCSP) , voltage(30)v, current (120)A .

Welding speed (100) mm/min and two weld passes by using electrode of diameter 3 mm.

Many specimens for corrosion test were manufactured in (20\*20\*8) mm from welding joint stainless steel.

Corrosion test was implemented by using weight loss, specimens were immersed in two solution (1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Sulphric Acid and (3.5%Nacl) sea water for (1-30 ) days and corrosion rate was measured.

The results show that sulphric acid was more effected on stainless steel.

### تقييم مقاومة التآكل لمحمومات الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي في اوساط مختلفة

#### الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة تأثير نوع وسط الغمر على مقاومة التآكل لوصلات لحم من الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي نوع 304L (AISI) .

تمت عملية اللحام على صفائح من الفولاذ المستخدم باستعمال أربعة أنواع من الأقطاب E308L,E309L,E312,E347 للحصول على وصلات لحم تناكيبية مع ثبات متغيرات اللحام الأخرى من حيث نوع القطب (DCSP) ، تيار اللحام (120) امبير والفولتية 30 فولت وسرعة اللحام 100 ملم / دقيقة وبمشوارين من اللحام باستعمال قطب قطره 3 ملم .

تم تصنيع عينات اختبار التآكل بإبعاد (8\*20\*20) ملم من وصلات اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي بعدها اجري اختبار التآكل بطريقة فقدان في الوزن المفقود اذ تم غمر العينات في وسطين هما حامض الكبريتيك بنسبة 1% وماء البحر بنسبة 3.5% للفترة من (1-30) يوم بعدها تم حساب معدل التآكل لكلا الوسطين وقد وجد إن معدل التآكل في وسط حامض الكبريتيك أكثر مما هو عليه في ماء البحر .

## المقدمة

الفولاذ المقاوم للصدأ هو سبيكة من الحديد تحتوي على نسبة كروم أكثر من 12% تكسبه مقاومة عالية للتآكل والأكسدة وهناك العديد من السبائك التجارية والقياسية للفولاذ مقاوم الصدأ تتميز بخواص ميكانيكية وتآكلية معينة اعتمادا على التركيب الكيماوي فضلا عن الكروم لأنها تحتوي على عناصر سبك اخرى مثل النيكل والسليكون والنتروجين وغيرها [1]. للفولاذ المقاوم الصدأ قابلية لحام جيدة فهي لاتأخذ بنظر الاعتبار الخصائص الميكانيكية فحسب وإنما تأخذ أيضا الخصائص الكيماوية التي تلعب دورا في مقاومة التآكل وذلك بسبب التفاعلات التي يمكن إن تحدث بين الكروم والكربون والأوكسجين في الدرجات الحرارية العالية المصاحبة لعملية اللحام [2]. وبصوره خاصة يعد الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي من أفضل الأنواع من حيث قابلية لحامه اذ يمكن الحصول على منطقة لحام ذات متانة عالية ونظرا للمقاومة الكهربائية العالية والتوصيل الحراري المنخفض له نسبيا فإنه بالإمكان الحصول على منطقة لحام ذات تغلغل وانصهار جيدين مع ذلك فإنها تتطلب عناية خلال عملية اللحام وذلك بسبب معامل تمدده الحراري العالي لذلك فإنه يتطلب عناية خاصة لتقليل التشويه (Distortion) والالتواء (Warping) في الأجزاء الملحومة [3 ، 4]. ان بعض هذه السبائك كسبائك الفولاذ المقاوم للصدأ المثبت تميل لتكوين طور سكما (Sigma phase) الهش عند تعرضها لدرجات حرارية عالية وفي المدى الحراري (600-950)C<sup>0</sup> الذي يسبب التشقق (Cracking) والتآكل في ظروف معينه ، كما يمكن ان تترسب الكاربيدات في بعض أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ أثناء عملية اللحام والتي تقلل من مقاومة التآكل في بعض الأوساط الكيماوية [ 5 ] .

## الجانب العملي

### 1 - اختيار المعدن

تم اختيار الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي نوع AISI 304L وذلك لاستخداماته الواسعة في الصناعات الغذائية والكيميائية وفي التطبيقات الهندسية الأخرى ومن أجل التعرف على التركيب الكيماوي تم إجراء عملية تحليل كيميائي باستعمال جهاز المطياف (spectrometer) ARL (1) . وان نتائج التحليل مبينة في الجدول (1) .

الجدول (1) يبين التركيب الكيماوي للفولاذ المقاوم الصدأ المستعمل (AISI 304L)

Element w%	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Ti	Co	Fe
steel											
القيمة الفعلية للفولاذ	0.0 1	0.30	1.65	19.3	9.5	0.08	0.07	0.025	0.013	0.15	Re m
القيمة القياسية	0.0 1	0.49	1.32	21.9	9.5 0	< 0.010	0.01	0.001	0.011	0.15	Re m

**2- تهيئة وتحضير الصفائح**

تضمنت تهيئة وتحضير صفائح فولاذ مقاوم للصدأ AISI 304L الخطوات الآتية:-

- تهيئة صفائح من الفولاذ مقاوم الصدأ نوع 304L بإبعاد (8\* 150\* 250) ملم .
- عمل زاوية تحضيره شكل حرف (V) مقدارها 60 درجة ومن جهة واحدة .

**3- عملية اللحام**

تمت عملية اللحام على الصفائح التي تم تهيئتها للحصول على وصلة لحام تناكيبية من نوع (Single V-Butt) بطريقة لحام القوس الكهربائي المعدني المغلف بالصهيرة باستعمال ماكينة اللحام نوع IDEALARC R 3R-300 وبطريقة مباشرة DCSP باستعمال أربعة أنواع من أقطاب اللحام المبينة أنواعها وتراكيبها الكيماوية في الجدول (2) وخصائصها الميكانيكية في الجدول (3) . وأن ظروف عملية اللحام مبينة في الجدول (4) .

**الجدول (2) يوضح التركيب الكيماوي لأقطاب اللحام المستعملة في عملية اللحام [ 6 ]**

Electrode type	Wt% C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Nb	Ti	Co	Cu
E308L	0.04	25.5	7.77	<.01 0	0.54	0.46	<.46	.022	.099	<.001
E309L	0.05	29.6	10.1	<.00 9	1.01	0.73	.039	0.23	0.13	<.009
E312	0.15	31.8	6.49	<.00 9	0.73	0.54	0.01 9	0.02 1	0.11	<.000 9
E347	0.08	28.8	7.98	<.00 9	1.10	0.77	0.45	.030	0.09 6	<.000 9

**الجدول (3) يوضح الخصائص الميكانيكية لأقطاب اللحام المستعملة في عملية اللحام [7]**

Electrode type	Yield strength Mpa	Tensile strength Mpa	Elongation mm
E 308L	400	600	35
E 309L	410	555	36
E312	540	750	23
E 347	390	590	35

## الجدول (4) يوضح ظروف عملية اللحام المستعملة في البحث

Voltage V	Current A	NO. Of pass	Electrode Die Mm	Weld velocity mm/min
30	120	2	3.2	100

## 4- تصنيف عينات اختبار التآكل

بعد الانتهاء من عملية اللحام للصفائح المستعملة من الفولاذ المقاوم للصدأ نوع 304L تم تصنيفها إلى مجاميع رئيسيه كما مبين في الجدول التالي

## الجدول (5) يوضح تصنيف عينات الاختبار

Specimen Symbol	Filler Metal Type
A	As received
B	E 308L
C	E 309L
D	E312
E	E347

## 5- تصنيع العينات

تم تصنيع عينات اختبار التآكل بطريقة الغمر (فقدان الوزن) وفق الآتي:-  
 أ- اشتملت عملية تصنيع عينات الغمر على تقطيع عينات من وصلة اللحام التي تشتمل على معدن اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة والمعدن الأساس وبأبعاد (8\*22\*22) ملم وتم تشغيلها على مكائن التفريز للحصول على عينات التآكل بأبعاد (4\*20\*20) ملم على وفق المواصفة القياسية (ASTM G31-72) [8].  
 ب- عمل ثقب قطره (2) ملم.  
 ج- تم قياس أبعاد العينات بدقة باستعمال فيرينة رقمية دقتها 0.001 وكانت الأبعاد النهائية للعينه (4\*20\*20) ملم.

## 6- الفحوصات والاختبارات

أ- فحص البنية المجهرية  
 من اجل التعرف على البنية المجهرية في منطقة اللحام (weld metal) والمنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) Heat affected zone لكافة مجاميع العينات من الجدول رقم (5) ومقارنتها بالمعدن الأساس تم إجراء الفحص المجهرية باستعمال المجهر الضوئي مجهز بكاميرا رقمية وحاسوب وأن عملية الفحص تطلبت تهيئة عينات أخذت من المقطع العرضي لوصلة اللحام و أجريت لها عملية إسناد على البارد واشتملت عملية التحضير الخطوات الآتية:  
 1- التنعيم الرطب بالماء للعينات مع استعمال أوراق تنعيم بدرجات مختلفة (120,240,320,500,800,1000)  
 2- عملية الصقل للعينات باستعمال قماش صقل خاص مع محلول الالومينا  $Al_2O_3$  بحجم 0.3 مايكرو .

- 3- عملية إظهار (Etching) باستعمال محلول الإظهار [9] الذي يتكون من  
15 ملي لتر من HCl بتركيز 37%  
10 ملي لتر HNO<sub>3</sub> بتركيز 95%.  
10 ملي لتر CH<sub>3</sub>COOH  
5 ملي لتر كليرين  
4- غسل العينات بالماء والكحول وتجفيفها .  
5- الفحص باستعمال المجهر الضوئي  
6- التصوير باستعمال المجهر ذي الكاميرا التي تعمل بالحاسبة الالكترونية وان نتائج فحص  
البنية المجهرية  
موضحة في الشكل (1)

## ب- اختبار التآكل

تم استخدام طريقة الوزن المفقود لغرض الاختبار وتضمن الاختبار الخطوات الأتي

1- تحضير أوساط الغمر والتي هي :

أولاً - محلول حامض الكبريتيك بتركيز 1 %

ومن اجل الحصول على لتر (1000 سم<sup>3</sup>) من المحلول أحامضي تم اخذ 5 ملي لتر من  
حامض الكبريتيك مصنع من قبل شركة فلوكا (Fluka) بنقاوة 98.97% وإذابتها في كمية محدودة  
من الماء المقطر ومن ثم تكملة المحلول إلى 1 لتر من محلول حامض الكبريتيك  
بعد ان تم قياس الأس الهيدروجين باستعمال جهاز (PH-Meter) وقد وجد أنها تساوي  
ph=2

ثانياً - ملح كلوريد الصوديوم NaCl نقاوته 99.9% مجهز من شركة BDH بوزن 35 غرام من  
خلال إذابته في لتر من الماء المقطر وتم قياس إل pH وجد انه 6.8 ، تم وزن العينات قبل الغمر  
باستعمال ميزان حساس نوع (Meter-160) ودقته 0.0001 ألمصنفة في الجدول رقم (5).  
2- غمرت العينات بعد تعليقها بخيط مصنوع من التفلون في دوارق يحتوي كل منها على 125  
سم<sup>3</sup> من المحلول أحامضي ( 1 % wt H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) ، ومحلول ماء البحر كلا على حده في درجة  
حرارة الغرفة لفترات زمنية مختلفة (1 يوم .... 30 يوماً) بعدها أخرجت كل عينة بعد  
انتهاء فترة غمرها من الحامض وماء البحر ثم غسلت بالماء المقطر لإزالة آثار ونواتج  
التآكل ثم غسلت بالكحول المثيلي وجففت بعدها ثم وزنت بوساطة ميزان حساس.  
ومن النتائج تم حساب معدل التآكل بتطبيق المعادلة التالية [11] :

$$C. R \text{ Mpy} = \frac{534 * \Delta w}{A * t * d}$$

حيث أن

t = الزمن بالساعة (hr)

A = المساحة السطحية in<sup>2</sup>

$\Delta W$  = الفرق في الوزن mg

d = كثافة المعدن gm / cm<sup>3</sup>

MPY = mils per year

## النتائج والمناقشة

## 1-نتائج البنية المجهرية

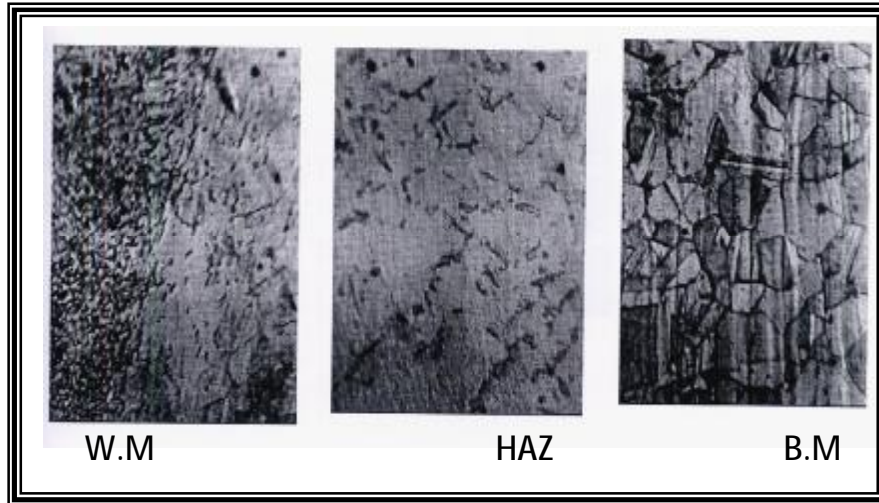
يبين الشكل (1) نتائج فحص البنية المهجرية لكافة مجاميع العينات في جدول رقم (5). إذ يلاحظ  
من الصور التغيرات في البنية المجهرية من حيث شكل و حجم الحبيبات بين مركز وصلة اللحام

والمنطقة المتأثرة بالحرارة والسبيكة الأساس و هذا يعود إلى التوصيل الحراري الواطئ للفولاذ المقاوم للصدأ و تأثير معدل التبريد مما انعكس على حجم الحبيبات في منطقة اللحام مقارنة بالمعدن الأساس.



(A)

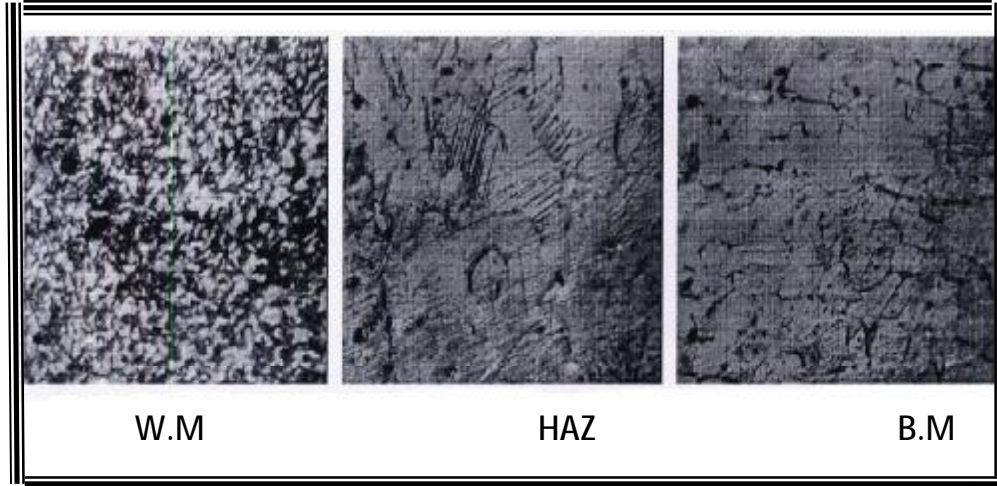
يوضح البنية المجهرية للسبيكة الاساس بقوة تكبير 100x



(B)

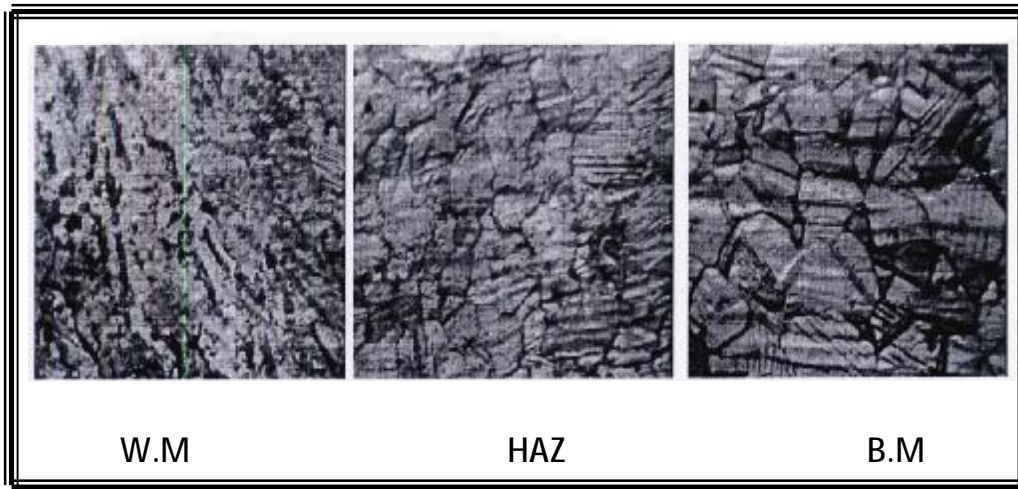
يوضح البنية المجهرية للسبيكة الملحومة بقطب اللحام E 308 L  
وبقوة تكبير 100x

حيث تمثل B.M المعدن الاساس ، HAZ المنطقة المتأثرة بالحرارة ، W.M منطقة اللحام



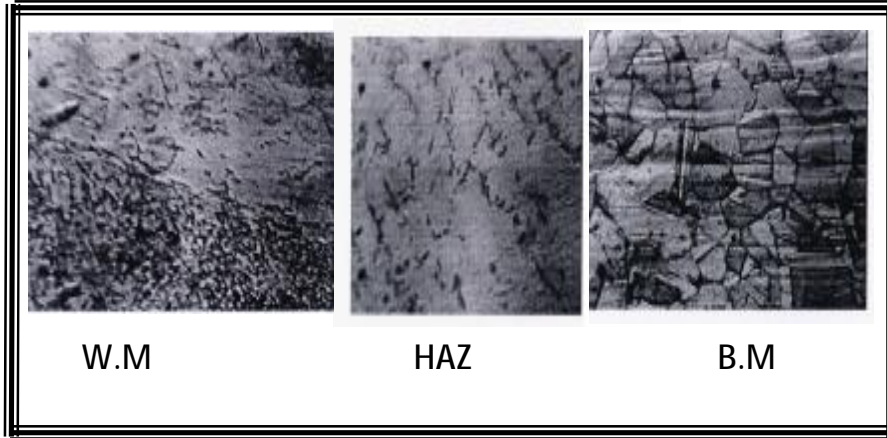
(C)

يوضح البنية المجهرية للسبيكة الملحومة بقطب اللحام E 309 L بقوة تكبير 100x



(D)

يوضح البنية المجهرية للسبيكة الملحومة بقطب اللحام E 312 L بقوة تكبير 100x



( E )

شكل (1) 100x بقوة تكبير E 347 L يوضح البنية المجهرية للسبيكة الملحومة بقطب اللحام  
يبين صور البنية المجهرية لكافة مجاميع العينات

## 2- نتائج اختبارات الغمر

### أولاً:- في الوسط الحامضي

الشكل (2) يبين تأثير زمن الغمر على معدل التآكل  $mpy$  للسبيكة الأساس أميينه بالرمز (A) من الجدول (5) وكافة مجاميع العينات (B,C,D,E) من نفس الجدول في وسط حامضي من محلول حامض الكبريتيك (1% wtH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) في درجة حرارة 25C<sup>0</sup>. يلاحظ إن معدل التآكل يكون ذو قيمة عالية في الأيام الأولى من الغمر في الوسط الحامضي ثم يتناقص تدريجياً مع زيادة الفترة الزمنية للغمر حتى يصل إلى قيم منخفضة جداً تقترب من الصفر و تصل إلى حالة الاستقرار في الأيام اللاحقة و لجميع العينات و هذا يعود إلى حدوث تفاعل مباشر بين سطح العينة و المحلول الذي يحتوي على ذرات الأوكسجين التي تتفاعل مع الحديد كي ينتج اوكسيد الحديد بسبب فقده واضح في الوزن . و مع زيادة زمن الغمر يقل معدل التآكل بسبب اكتساب السطح طبقة حامية من اوكسيد الكروم Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> مما يحمي السطح من التآكل حتى تصل الى حالة السلبية Passivity بعد فترات الغمر الطويلة و قد أكد هذه النتائج عدد من الدراسات [11] وعند مقارنه معدل التآكل للعينة A من الجدول رقم (5) مع باقي مجاميع العينات من نفس الجدول فقد أعطت أقل معدل تآكل من المعلومات و السبب يعود إلى التغيرات الميتالورجية في البنية المجهرية لمناطق اللحام بسبب تفاعل المعدن مع معدن الحشو. وكذلك

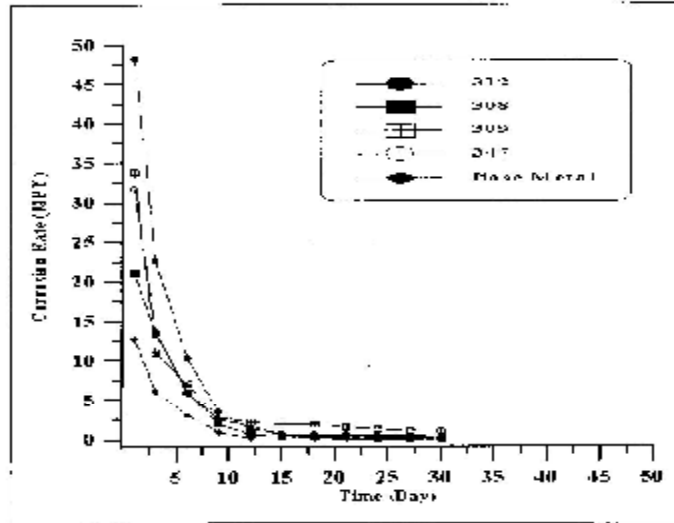


أعطت العينة D أعلى معدل تآكل مقارنة بالمجاميع (B,C,E) ويعزى ذلك إلى التركيب الكيميائي للقطب وتكوينه كإريد الكروم  $Cr_2O_3$  الصلدة والهشة مما تشكل مناطق ضعيفة في البنية و بالتالي قد يحصل تآكل كلفاني بين الحدود الحبيبية. [ 12 ]  
والشكل (4) يبين البنية المجهرية للعينات بعد التآكل بطريقة الغمر في وسط حامض الكبريتيك ( $1wt\%H_2SO_4$ ) في درجة حرارة  $25C^0$ .

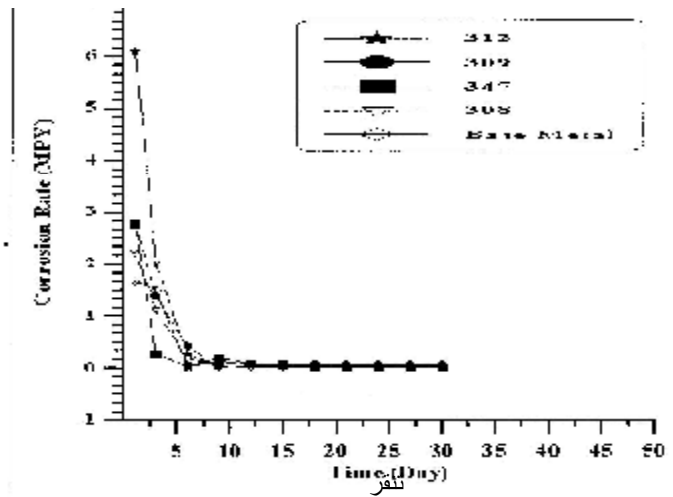
#### ثانياً :- في الوسط الملحي

الشكل (3) يوضح العلاقة بين معدل التآكل mpy و زمن الغمر لمجاميع العينات في الجدول (5) في ماء البحر من محلول كلوريد الصوديوم ( $3.5wt\%NaCl$ ).  
من المنحنيات نجد إن سلوك التآكل بطريقة الوزن المفقود لكافة مجاميع العينات مشابه لسلوك التآكل للعينات في الوسط الحامضي و لكن معدل التآكل في الوسط الملحي كان أقل مما هو عليه في الوسط الحامضي ولكافة العينات مع وجود اختلاف في قيمة معدل التآكل للمعلومات في الأيام الأولى من الغمر و لكن مع زيادة الفترة الزمنية للغمر يصل معدل التآكل إلى حالة الاستقرار و إلى قيم متقاربة جداً وذلك بسبب اتحاد الأوكسجين المذاب في الماء مع سطح المعدن المغمر فيه وتحرير الهيدروجين الذي يتحد مع الكلور المتحلل من ملح الطعام وتكوينه حامض HCl [12].

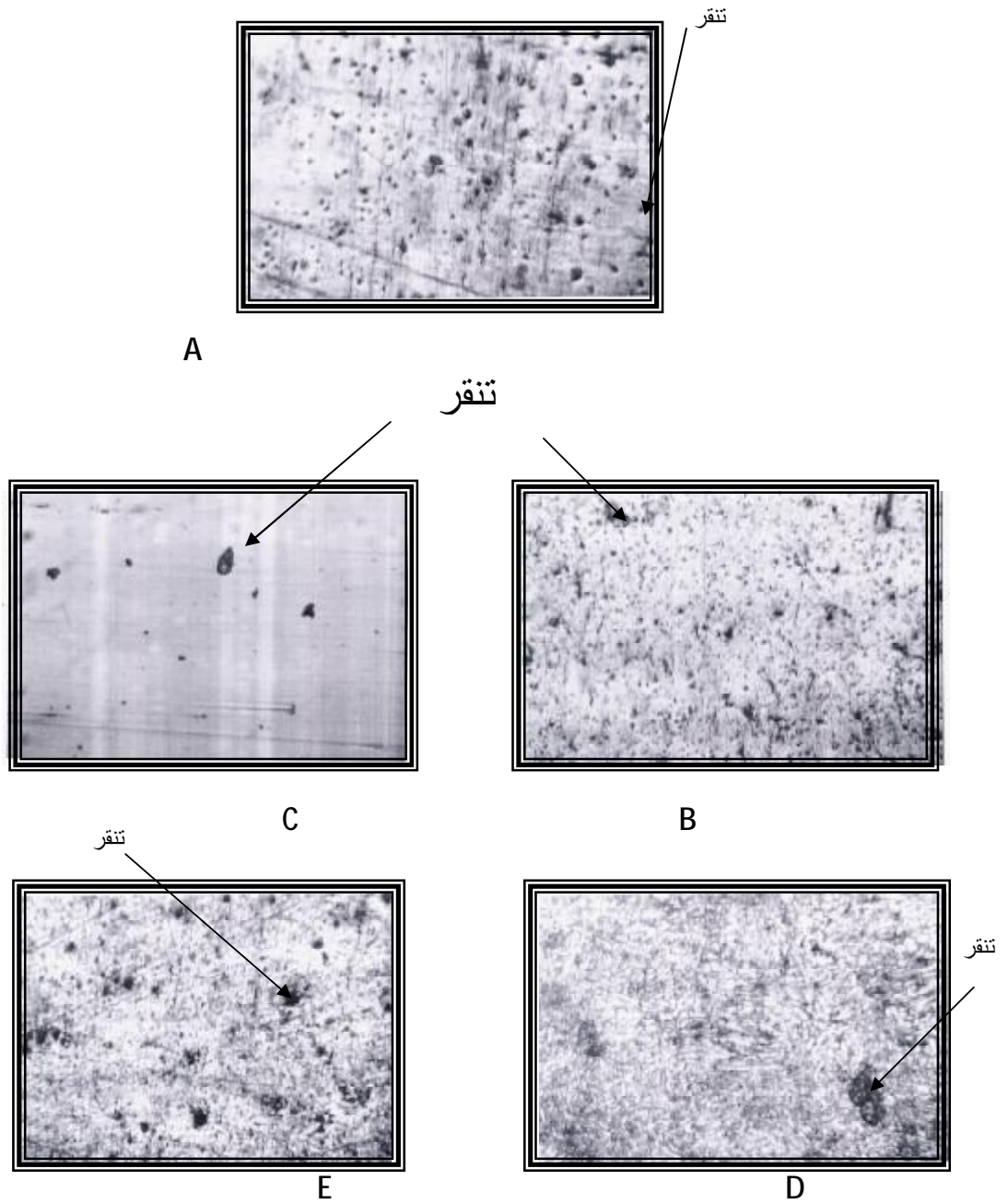
الشكل (5) يبين البنية المجهرية للعينات بعد التآكل بطريقة الغمر في وسط ملحي ( $3.5wt\%NaCl$ ) في درجة حرارة  $25C^0$  حيث نلاحظ بقع التآكل واضحة لكافة مجاميع العينات



الشكل (2) يوضح نتائج اختبار الغمر لمجاميع العينات في حامض الكبريتيك H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> في درجة حرارة الغرفة 25 C<sup>0</sup>



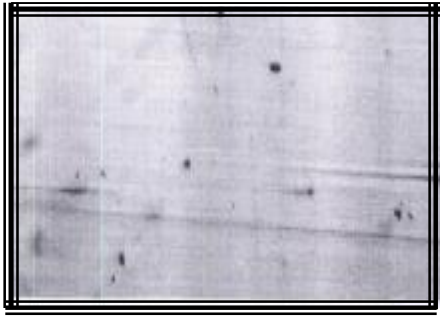
الشكل (3) يوضح نتائج اختبار الغمر لمجاميع العينات في ماء البحر NaCl في درجة حرارة الغرفة 25 C<sup>0</sup>



الشكل (4) يوضح صور التآكل لمجاميع العينات بعد عملية الغمر في وسط حامض الكبريتيك 1wt% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> في درجة حرارة الغرفة 25C<sup>0</sup> بقوة تكبير 100x.



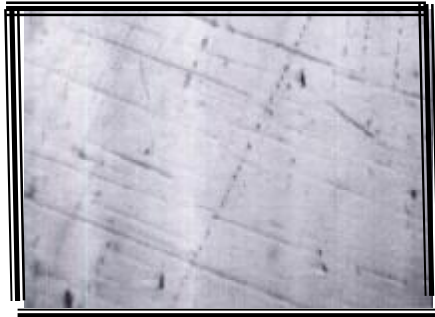
A



B



C



D



E

الشكل (5) يوضح صور التآكل لمجاميع العينات بعد عملية الغمر في ماء البحر 3.5wt%NaCl في درجة حرارة الغرفة  $25^{\circ}\text{C}$  بقوة تكبير 100x.

## الاستنتاجات Conclusions

- 1- معدل التآكل في الوسط الملحي اقل مما هو عليه في الوسط ألكامضي
- 2- معدل التآكل للملحومات الأربعة من الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي اعلى مما هو عليه للسبيكة الأساس و في كلا الوسطين ألكامضي و الملحي.
- 3- أعطت الملحومة بقطب E308L اقل معدل تآكل مقارنة مع الملحومات الأخرى إلا أن مقاومة التآكل هي الأفضل وفي كلا الوسطين ألكامضي و الملحي
- 4 - أظهرت الصور المجهرية حدة التآكل للملحومات و السبيكة الأساس في الوسط ألكامضي

## REFERENCES

- [1]. American Iron and Steel Institute, "welding of stainless steels and other joining methods", Handbook series 2005.
- [2]. Moayed S. shariatfar M.H. sangohool.. "Pitting corrosion of stainless steel " 2005
- [3]. Sindo Kou, "Welding Metallurgy" 2<sup>nd</sup> Ed. by John Wily & Inc. 2003.
- [4]. www.bssa. Org. UK. Welding of Stainless Steel 2003 .
- [5]. Kiemetii,H,Hannnen,K. And J.Kivilahti The effect of Sigma phase formation on the Corrosion and Mechanical properties On Nb- Stabilized-Stainless Steel Cladding 1984.
- [6]. Scott Funderburk R. P.E " Selecting Filler Metals : Electrodes for stress relieved application" Welding Innovation Vol .Xo VIII .No .2. 2001
- [7]. Scott Funderburk, R. P.E, "Selecting Filler Metals : Electrodes for stress relieved applications",2001.
- [8]. ASTM,Annual book," laboratory corrosion testing of metals,1988.
- [9]. Robert T, Kiepora and Bonnie R. Sanders," Metals Handbook,9<sup>th</sup> Ed,Vol.9 Metallographic and micro structures , 1988.
- [10]. John sedriks" A. corrosion of stainless steel", John wiley & Sons.1979.
- [11]. Fontana," M.G. Corrosion Engineering ". 3<sup>rd</sup> Ed,McGraw- Hill,1986.
- [12] د. حسين باقر رحمة الله/ التآكل وحماية سطوح المعادن / الجامعة التكنولوجية, 1990.