

تآكل وصلات اللحام لبعض أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ وإحدى خلاط النيكل في حمض الفوسفور الصناعي المشوب*

م. هائل جاسم الابراهيم**

أ.م.د. حسان حامد***

أ.د. محمد علي سلامة***

الملخص

درست في هذا البحث ظاهرة تآكل الوصلات اللحامية لبعض خلاط الفولاذ غير القابل للصدأ وإحدى خلاط النيكل في وسط حمض الفوسفور المشوب $37.7\% \text{H}_3\text{PO}_4$ باستخدام إحدى تقانات السلوك الكهروكيميائي، وهي منحنيات استقطاب تافل، إذ قورن تآكل معدن اللحام بتآكل معدن الأساس للوصلة اللحامية؛ وذلك بحساب معدل التآكل لكل منهما على حدة، ومن ثم مقارنة معدلات التآكل للخلاط المستخدمة معاً.

بيئت التجارب وجود تباين واضح في كل من كثافة تيار التآكل ومعدلات التآكل للخلاط المختبرة، كما اتضح توافر اختلاف كبير بين معدل التآكل لمعدن الأساس ومثيله لمعدن اللحام في أغلب الأنواع المدروسة من هذه الخلاط، مما يسبب معدلات تآكل عالية للوصلة اللحامية وتغيراً في خواصها، وخروجها من الخدمة في بعض حالات الاستثمار.

أثبت الفولاذ المقاوم للصدأ من النوع 904L أنه يتمتع بمعدلات تآكل منخفضة مقارنةً بغيره من الخلاط الفولاذية موضوع البحث، وتتمتع وصلته اللحامية بمعدلات تآكل متقاربة بين معدن الأساس ومعدن اللحام، ويمكن عده أكثر ملاءمةً من غيره من الأنواع الأخرى للاستخدام في وسط من حمض الفوسفور الصناعي المنتج في الشركة العامة للأسمدة.

الكلمات المفتاحية: التآكل، حمض الفوسفور، السلوك الكهروكيميائي، الفولاذ غير القابل للصدأ، اللحام، النيكل.

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس هائل جاسم الابراهيم وإشراف الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة ومشاركة الدكتور حسان حامد.

** قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق .

*** قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

**** قسم الهندسة الكيميائية - كلية الهندسة الكيميائية والبترولية - جامعة البعث.

1 - مقدمة (Introduction):

تستخدم الطريقة الرطبة بكثرة في إنتاج حمض الفوسفور، إذ تكمن هذه الطريقة في تفاعل الفوسفات مع حمض الكبريت، ثم تصفية حمض الفوسفور المنتج بهدف فصل الشوائب، إذ تظهر شوائب عديدة في عملية الإنتاج هذه مثل الكلوريدات والفلوريدات والكبريتات وغيرها من العناصر، مثل: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , SiO_2 و Fe^{+3} التي تسبب مشكلات تآكلية في أثناء نقل الحمض ومعالجته وتخزينه [1,2,3].

تتمتع بعض أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ بمقاومة جيدة للتآكل الكيميائي في حمض الفوسفور الصافي بغض النظر عن تركيز الأخير ودرجة حرارته، ويعدّ الفولاذ غير القابل للصدأ ذا البنية الأستينيتية نوع 316L فضلاً عن الفولاذ غير القابل للصدأ 904L من أفضل أنواع الفولاذ مقاومة في هذا الوسط الحمضي، إذ بيّنت الدراسات المرجعية المختلفة أن هذين النوعين من الفولاذ يتمتعان بمقاومة عالية للتآكل، وقابلية جيدة للحام وبوصلات لحامية ذات متانة عالية [4-7].

تحدث في أثناء عملية اللحام مجموعة من التغيرات المهمة التي تؤثر في سلوك التآكل للوصلة للحامية، إذ تسبب عملية اللحام إجهادات متبقية وتغيرات ميتالورجية تزيد من الاختلاف بين معدن الأساس ومعدن اللحام وتسبب التآكل، ويجب الأخذ بالحسبان أن هناك بعض المعادن ذات المقاومة العالية للتآكل التي تكون وصلاتها اللحامية غير مقاومة للتآكل، إذ يؤثر التسخين والتبريد المتكرر الذي يحدث في أثناء عملية اللحام في كل من بنية سطح معدن اللحام ومنطقة التأثير الحراري وتركيبهما، وتكون مقاومة التآكل في هذه الحالة للوصلات للحامية مقترنة بتوافر المطابقة بين معدن الأساس ومثيله معدن الدرزة [8].

درست بعض الأعمال سلوك التآكل للفولاذ غير القابل للصدأ في حمض الفوسفور المشوب وتأثير درجة الحرارة في مقاومة التآكل للمواد، ولم تتطابق أغلب الأعمال مع شروط القطاع الصناعي فضلاً عن اختلاف تركيب حمض الفوسفور الصناعي من منطقة إلى أخرى في العالم؛ وذلك تبعاً لتركيب الفوسفات المستخدم في تصنيع الحمض، ومن هذه الأعمال:

- بحث (R. Sánchez-Tovar, M.T. Montañés, J. García-Antón1, A. Guenbo.) في تأثير ظاهرة التآكل الغلفاني للوصلة للحامية (316L معدن أساس و316L معدن اللحام) في أوساط حمض الفوسفور الصناعي، وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة ارتفاعاً في كثافة تيار التآكل لمعدن اللحام مقارنة بمعدن الأساس [9].

- اختبر (Sanchez-Tovar, Montanés, Guenbour, Bakour) تأثير كل من درجة الحرارة والشوائب في التآكل الغلفاني لكل من معدن الأساس ومعدن اللحام، وقد تبين ازدياد معدل التآكل الغلفاني مع ازدياد درجة الحرارة، فضلاً عن ازدياد هذا المعدل في حمض الفوسفور الصناعي المشوب بأيونات الكلور وحمض الكبريت مقارنة بحمض الفوسفور الصافي [10].

- اختبر (J. Vojvodic Tuma, R. Celin) الفولاذ غير القابل للصدأ 316L لبناء خزانات حمض الفوسفور ذي التركيز 93%، وقد وجد تمتع هذا الفولاذ ووصلاته للحامية بمقاومة جيدة في وسط من حمض الفوسفور ذي التركيز 93% H_3PO_4 [11].

- بيّن (J. R. Kearns) تأثير زيادة النتروجين في كل من قيم الخواص الميكانيكية ومقاومة التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ المحتوي على:

- (S. M. A. Hosseini, M. Salari, M. Quanbari) - استنتج اختلاف معدلات تآكل خلائط التيتانيوم، المستخدمة في صناعة حمض الفوسفور وصناعات أخرى، مع تغيير درجة الحرارة وتغيير تراكيز مانع التآكل؛ وذلك عند اختبارها في وسط من H_3PO_4 وحمض الفورميك HCOOH المحتوي تراكيز مختلفة من مانع التآكل [16].
- (T. Poornima, Jagannath Nayak and A. Nityananda Shetty) - من الاستنتاجات المهمة للباحثين في دراسة سلوك الفولاذ المملدن والمصلد 18Ni250 في حمض الفوسفور، هو ازدياد معدلات تآكل الفولاذ المملدن بالنسبة إلى الفولاذ المصلد فضلاً عن ازدياد معدلات تآكل الفولاذ 18Ni250 المملدن أو المصلد بازدياد تركيز حمض الفوسفور وبازدياد درجات الحرارة [17].
- (H. Iken, R. Basseguy, A. Guenbour, A. Ben Bachir) - تناول تأثير الشوائب في معدلات تآكل الخلائط في حمض الفوسفور، وقد بينت أحد البحوث التأثير الكبير لأيونات الكلور والكبريت في معدلات تآكل الغرافيت وخواص خلائط الفولاذ غير القابل للصدأ، فضلاً عن اختلاف معدلات التآكل لهذه الخلائط في حمض الفوسفور [18].
- (S. A. M. Refaey, F. Taha and A. M. Abd El-Malak) - أثبتت فعالية مانع التآكل (**2-Mercaptobenzimidazole**) في زيادة مقاومة الفولاذ المقاوم للصدأ 316 للتآكل النقري في محاليل كلور الصوديوم، وتزداد فعالية منع التآكل النقري بازدياد تركيز المانع، ولكنها تتناقص مع زيادة درجة الحرارة [19].
- (Mazen M. Khaled) - وجد ازدياد أثر تثبيط التآكل لمثبطات بولي-فينيل-بايروليدين مع ازدياد الوزن (Michael Schorr, Benjamin Valdez, Roumen Zlatev, and Margarita Stoytcheva) - اهتم في دراسة التآكل الحثي في صناعة حمض الفوسفور، وأكدوا حدوث التآكل الحثي بمعدلات عالية في المعدات المصنعة من الفولاذ المقاوم للصدأ 316 في حال وجود صخور فوسفاتية تحوي نسباً عالية من الكلور، وأظهرت اختباراتهم معدلات تآكل منخفضة لإحدى خلائط النيكل N10276 [13].
- (S. El Hajjaji, L. Aries, N. Pebere, F. Dabosi, J.-P. Audouard, and A. Ben Bachir) - قارن الفولاذ المقاوم للصدأ في حمض الفوسفور الملوث بأيونات الكبريت، وأكدوا ازدياد معدلات التآكل الخلائط المعدنية في حال تلوث الحمض بشوائب مثل الكلوريدات والفلوريدات والكبريتات، كما لاحظوا سلوكاً أفضل للفولاذ المقاوم للصدأ الفريتي في حال وجود الكبريتات [14].
- (Abdellah Guenbour, Mohamed- Adil Hajji, El Miloudi Jallouli, Ali Ben Bachir) - اختبر مجموعة من الخلائط في حمض الفوسفور الصناعي P_2O_5 30%، وأعطت نتائج بحوثهم أفضلية للخلائط ذات نسبة الكروم العالية بوجود عناصر خلائطية أخرى مثل النيكل والمولبدنيوم [15].

1-2 المواد المختبرة: أجريت الاختبارات على بعض عينات لأنواع الفولاذ المقاوم للصدأ وهي (304,316L,904L,310S) بحسب التصنيف AISI (American iron and steel institute) فضلاً عن إحدى خلائط النيكل، كما أُجريت الاختبارات على معدن اللحام للوصلات للحامية لأنواع الفولاذ السابقة؛ وذلك بعد تجهيز عينات من معدن الأساس ومعدن اللحام كالآتي:

معدن الأساس: قُصت عينات بشكل متوازي مستطيلات لأنواع الفولاذ المقاوم للصدأ المذكورة سابقاً فضلاً عن خليطة النيكل الشكل (1).

معدن اللحام: تُبنت عينة من كل نوع من الأنواع المختبرة على طاولة معدنية وأُجريت عدة درزات لحامية من معدن اللحام الموافق لكل نوع واستمر بتراكب الدرزات للحامية حتى الحصول على سماكة كافية من معدن اللحام، ثم قُصَّ جزء من معدن اللحام بالجلخ وأُجريت عملية التجليخ والخراطة للجزء المقطع من معدن اللحام لتصبح جاهزة لاختبار السلوك الكهروكيميائي كما هو واضح في الشكل (1)، ويبيّن الجدول (1) التركيب الكيميائي لمعدن الأساس ومعدن اللحام لأنواع المختبرة، في حين يبيّن الجدول (2) شروط اللحام.

2-2 وسط الاختبار: حمض الفوسفور المنتج في الشركة العامة للأسمدة ذو التركيز 37.7% H_3PO_4 المحتوي مجموعة من الشوائب وقسم من الجسيمات الصلبة (1.5% Solids) الناتجة عن الفوسفات الخام المستخدم في صناعة حمض الفوسفور. ويوضّح الجدول (3) التحليل الكيميائي لحمض الفوسفور المذكور حيث حُلَّ الحمض في مخبر حمض الفوسفور في معمل السماد الفوسفاتي. يستخدم حمض الفوسفور في صناعة السماد الفوسفاتي الثلاثي، كما يدخل في تركيب بعض أعلاف الدواجن.

الجزئي؛ وذلك عند اختبار خصائص الفولاذ المقاوم للصدأ 316 [20].

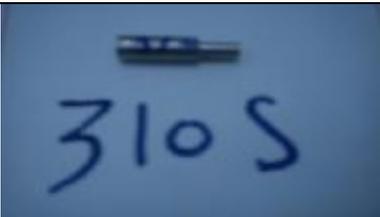
- بحث (Ibáñez-Ferrándiz. Ma, Blasco-Tamarit. Ea, García-García, D.Ma, García-Antón. Ja, Guenbour, Bakour) في تآكل الفولاذ غير القابل للصدأ نوع UNS N08031 في حمض الفوسفور المشوب بأيونات الكبريت والكلور، ووجدوا أن كثافة تيار التآكل في معدن اللحام (UNS N06059) ومنطقة التأثر الحراري تزداد عند ازدياد درجة حرارة الوسط الحمضي [21].

- اختبر (P. Fauvet, F. Balbaud, R. Robin, Q.-T. Tran, A. Mugnier, D. Espinoux) تقنية تآكل بعض خلائط الفولاذ غير القابل للصدأ في أوساط حمض النتريك، ولاحظوا تأثر طبقة الحماية السطحية لبعض أنواع الفولاذ عند تبدل شروط الوسط في حال وجود المؤكسدات أو الأيونات المعدنية، إذ يحدث تبدل في كمون التآكل وحدوث التآكل بين الحبيبي [22].

أعطت الأعمال المختلفة في هذا المجال نتائج مختلفة، وذلك تبعاً لكل من التركيب الكيميائي للخليطة المعدنية المستثمرة وبنيتها البلورية ونوع حمض الفوسفور المنتج ونسب الشوائب الموجودة فيه.

ونتيجة لاستخدام بعض أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ في مصانع حمض الفوسفور جرى التركيز في هذا البحث على إجراء الاختبارات على معدن اللحام ومعدن الأساس لبعض أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ بهدف إظهار تباين تأثير حمض الفوسفور الصناعي المنتج في الشركة العامة للأسمدة بحمص، في السلوك الكهروكيميائي لعدد من أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ، وذلك تبعاً لتباين نوع العناصر السبائكية الموجودة في هذه الأنواع من الفولاذ ونسبها.

2- الإجراءات العملية (Experimental procedure)

 <p>308L</p> <p>عينة معدن اللحام 308L</p>	 <p>304</p> <p>الفولاذ المقاوم للصدأ ذا البنية الأوستنيتية 304</p>
 <p>310S</p> <p>معدن اللحام 310S</p>	 <p>310S</p> <p>الفولاذ المقاوم للصدأ ذا البنية الأوستنيتية 310S</p>
 <p>316L</p> <p>معدن اللحام 316L</p>	 <p>316</p> <p>الأوستنيتية الفولاذ المقاوم للصدأ ذا البنية 316</p>
 <p>904L</p> <p>معدن اللحام 904L</p>	 <p>904L</p> <p>الفولاذ المقاوم للصدأ ذا البنية الأوستنيتي 904L</p>
 <p>Hastelloy alloy 600</p> <p>معدن اللحام للخليطة ALLOY 600</p>	 <p>Hastelloy</p> <p>خليطة النيكل ALLOY 600</p>

الشكل (1) عينات من معدن الأساس ومعدن اللحام لأنواع الفولاذ المقاوم للصدأ وإحدى خلطات النيكل.

تآكل وصلات اللحام لبعض أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ وإحدى خلائط النيكل في حمض الفوسفور الصناعي المشوب

جدول (1) التركيب الكيميائي لمعدن الأساس ومعدن اللحام لأنواع الفولاذ المقاوم للصدأ وإحدى خلائط النيكل

معدن الأساس وفق AISI	معدن اللحام	C	Si	Mn	Fe	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Nb	Ti	Material number
304		0.057	0.397	0.94	68.54	17.93	8.59			0.083			1.4301
	308L	0.03	0.8	0.8	68.2	19.8	10.2			0.11			1.4306
316L		0.0336	0.679	1.436	68.54	18.48	13.81	1.986		0.1			1.4404
	316L	0.03	0.08	0.8	65.835	18.8	11.7	2.7					
904L		0.024	0.268	2	46.3	20.06	24.28	4.38	1.45	0.067			1.4539
	904L	0.03	0.7	2	43	20.5	25	6.2	1.6	0.17			
310S		0.071	0.451	1.83	50.27	25.86	19.37			0.072			1.4845
	310S	0.11	0.65	3.5	48.06	26	20.5			0.11			
ALLOY 600		0.0573	0.480	0.352	6.49	16.52	72.17	0.891			0.75	0.025	2.4816
	ALLOY 600	0.03	0.4	6	3	16	68	1			2.2	+	

الجدول (2) شروط اللحام

شروط اللحام			معدن الملء	معدن الأساس	
وضعية اللحام	قطر سلك اللحام	تيار اللحام			
يستخدم القوس بالوضعيات كلها ماعدا الوضع الشاقولي للأسفل	4mm	تيار مستمر موجب القطبية أو متناوب 110-160 A	308L	304	1
الوضعيات كلها ماعدا الوضع الشاقولي للأسفل	4mm	تيار مستمر موجب القطبية أو متناوب 110-160 A	316L	316L	2
الوضعيات كلها ماعدا الوضع الشاقولي للأسفل	4mm	تيار مستمر موجب القطبية 100-130 A	904L	904L	3
الوضعيات كلها ماعدا الوضع الشاقولي للأسفل	4mm	تيار مستمر موجب القطبية 110-140 A	310S	310S	4
الوضعيات كلها ماعدا الوضع الشاقولي للأسفل	4mm	تيار مستمر موجب القطبية 90-125 A	ALLOY600	ALLOY600	5

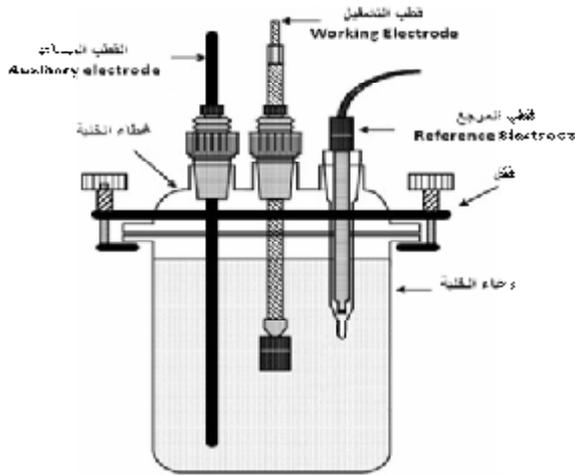
الجدول (3) التحليل الكيميائي لحمض الفسفور H_3PO_4 الصناعي المشوب المنتج في الشركة العامة للأسمدة

F	Cl	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	P ₂ O ₅	العنصر
1.8	0.21	0.65	0.43	0.26	0.12	1.1	0.27	27,3	النسبة %



3-2 طريقة الاختبار: يوضح الشكل (2) جهاز اختبار السلوك الكهروكيميائي، حيث يُوضَع الحمض المراد اختبار سلوك الخليطة به في وعاء ويوضع الكترودين في الوسط الحمضي، ويوصلان بجهاز الاختبار، كما هو موضح في الشكلين (3,4). يُوضَع عينة من الخلائط المراد اختبارها في الوسط الحمضي، وتُوصَلُ بجهاز اختبار السلوك الكهروكيميائي كما هو موضح في الشكل (5). بعد ذلك تُدخَلُ بعض المعطيات إلى الحاسب الموصول بالجهاز مثل التركيب الكيميائي للعينة وتكافؤ العناصر الداخلة في تركيب الخليطة والوزن النوعي ومساحة السطح المغمور في الوسط الحمضي الموضحة في الجدول (4). يقوم الحاسب برسم المنحنى البياني الذي يعبر عن العلاقة بين تيار التآكل والكمون الكهربائي، ومن ثمّ يمكن رسم منحنيات الاستقطاب التي استُخدمت لمقارنة سلوك الخلائط في حمض الفوسفور كما هو مبين لاحقاً. كما تُحسبُ معدلات التآكل وكثافة تيار التآكل لكل خليطة بعد انتهاء التجربة ليُقارَنَ بين هذه الخلائط من حيث مقاومة التآكل.

الشكل (3) وضع الإلكترودات المعيارية في وسط الاختبار و وصلها بجهاز الاختبار



الشكل (4) وضع الإلكترودات المعيارية في وسط الاختبار



الشكل (5) توصيل عينة من معدن AISI 310S إلى جهاز الاختبار

طريقة تافل : تُرسمُ منحنيات الاستقطاب للتفاعل الكاثودي و الأنودي، وتوضَّح المنحنيات العلاقة بين فرق الكمون وشدة التيار الكهربائي. تُستقرُّ التيارات في منطقتي تافل للحصول على تيار التآكل؛ وذلك في نقطة تقاطع المماسين لمنحنى الاستقطاب الكاثودي و الأنودي.



الشكل (2) جهاز اختبار السلوك الكهروكيميائي

جدول (4) المعطيات التي أُدخِلت إلى الحاسب المتعلقة بأبعاد العينات

مساحة الجزء المغمور من العينة Cm^2	الكثافة Kg/m^3	وزن العينة g	حجم العينة Cm^3	معدن عينة الاختبار
41	8046	128.736	16	304 (معدن الأساس)
1.35	6749.59	2.4771	0.367	308L (معدن اللحام)
32	7700	29.2215	3.795	316L (معدن الأساس)
1.35	6749.59	2.5378	0.376	316L (معدن اللحام)
54	7956.1	580	72.9	904L (معدن الأساس)
1.88	8567.012	3.6307	0.4238	904L (معدن اللحام)
36	7629	141.4423	18.54	310S (معدن الأساس)
1.476	7050	2.9469	0.418	310S (معدن اللحام)
23	9587.8	40.6526	4.24	ALLOY600 (معدن الأساس)
0.552	8797.89	2.1766	0.2474	ALLOY600 (معدن اللحام)

لتحقيق هذا القياس لسرعة التآكل وفق الطريقة السابقة،

4-2 الجهاز المستخدم:

يستخدم الجهاز نظام الأقطاب الثلاثة:

استخدمنا جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني طراز MODEL 1395 من شركة ACM البريطانية الذي يعتمد طريقة تقييم التآكل الكهروكيميائية؛ وذلك بقياس شدة التيار التآكلي ثم حساب معدل التآكل بوحدة (mm/year) ويمكن توضيح ذلك كما يأتي:

1- قطب التشغيل *Working Electrode* وهو القطب المراد اختباره.

2- القطب المساعد *Auxiliary Electrode* وبشكل القطب الثاني في الخلية الكهروكيميائية .

3- القطب المرجع *Reference Electrode* ويستخدم بهدف تثبيت كمون أحد قطبي الخلية عند عدة قيم في أثناء إنجاز الاختبار، بالاستعانة بأداة تثبيت للجهد مزودة داخل بنية الجهاز.

ويوضّح الشكل (4) الآتي خلية الاختبار التي توصل على الجهاز .

2-5 طريقة توصيل دائرة الاختبار:

عندما يراد دراسة تآكل معدن ما في وسط معين، يمكن تحقيق ذلك بتطبيق نظام الأقطاب الثلاثة ولكن بتثبيت جهد القطب المساعد في هذه الحالة، ويعمل قطب

يعتمد الجهاز على القانون الآتي في حساب معدل التآكل:

$$CR = I_{corr} \cdot k \cdot EW / d \cdot A$$

CR: معدل التآكل (mm/year)

I_{corr} : كثافة تيار التآكل (m A/cm^2)

EW الوزن المكافئ للمادة المتآكلة (gr/mol)

d كثافة المادة المتآكلة (gr/cm^3)

A مساحة السطح cm^2

K ثابت

وهذه العلاقة هي التي يستخدمها الجهاز لحساب سرعة التآكل مباشرة من تيار التآكل.

2-6 مراحل إجراء الاختبار:

قمنا بإجراء الاختبارات باستخدام الجهاز الموضح سابقاً كما يأتي:

• تحضير العينات الفولاذية.

• تحضير حمض الفوسفور.

• وضع القطبين المساعد والمرجعي وقطب التشغيل الذي تمثله السبيكة المدروسة بعد تحضيرها في المحلول، مع مراعاة وضع هذه الأقطاب بشكل متقابل في المحلول ما أمكن ذلك.

• وصل هذه الأقطاب بالشكل المطلوب لتشكيل خلية كهروكيميائية

• إدخال البيانات اللازمة للجهاز مثل نوع السبيكة وتركيبها الكيميائي وأبعادها وكثافتها ومساحة السطح المغمور ومدة إجراء الاختبار.

• إجراء الاختبار بواسطة جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني الذي يرسم منحنى الجهد مع التيار الذي يعبر عن السلوك الكهروكيميائي للعيينة.

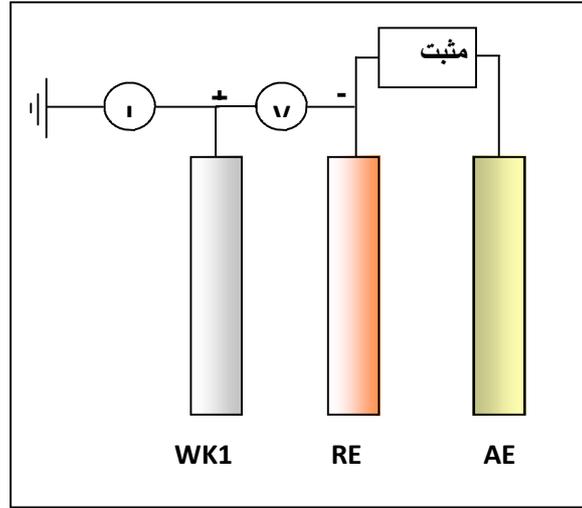
• يقوم الجهاز برسم منحنيات استقطاب تافل وحساب معدل التآكل وكثافة تيار التآكل بعد رسم منحنى السلوك الكهروكيميائي .

3- النتائج والمناقشة (Results and discussion):

3-1 السلوك الكهروكيميائي للفولاذ المقاوم للصدأ 304 ك معدن أساس ومعدن اللحام 308L في حمض الفوسفور المشوب %37.75 H₃PO₄:

ينتمي الفولاذ المقاوم للصدأ 304L إلى أنواع الفولاذ الخلائطي المقاوم للصدأ بنسبة نيكل

التشغيل (المعدن المختبر) على إمرار التيار الضروري كلاً لإحداث التوازن اللازم على القطب المساعد .



الشكل (6) دائرة الاختبار المستخدمة

بالاستعانة بجهاز تثبيت الجهد، يوصل الطرف الموجب للجهاز مع قطب التشغيل (المعدن المراد اختباره) والطرف السالب مع القطب المساعد كما في الشكل (6)، ويجري التحكم بقيمة الجهد الخاصة بالقطب المساعد بواسطة قطب مرجعي موصول إلى مأخذه الخاص به في الجهاز، حيث يقوم الجهاز بتثبيت جهد القطب المساعد (مقارنة بالقطب المرجعي) وعند عدة قيم، ومن ثم تُراقب التغيرات الحاصلة على الكُمون وشدة التيار في قطب التشغيل، الضرورية لمواكبة التغيرات الحاصلة على القطب المساعد.

تمكننا هذه التجارب من رسم منحنى الاستقطاب الخاص بقطب التشغيل، وحساب سرعة التآكل انطلاقاً من معرفة تيار التآكل، ويجري ذلك في زمن صغير نسبياً، مقارنة بالزمن اللازم لإجراء الاختبارات التقليدية للتآكل التي تعتمد على تقييم التآكل بالطريقة الوزنية.

تيار التآكل: % (8-10.5) دون وجود المولبدنيوم ودون إضافات

$$I_{\text{corrosion}} : 0.0001241 \text{ mA/cm}^2$$

خاصة، ويستخدم في الصناعات الغذائية والصناعات الكيميائية [23].

معدل التآكل :

$$\text{Corrosion rate} : 0.001282 \text{ mm/year}$$

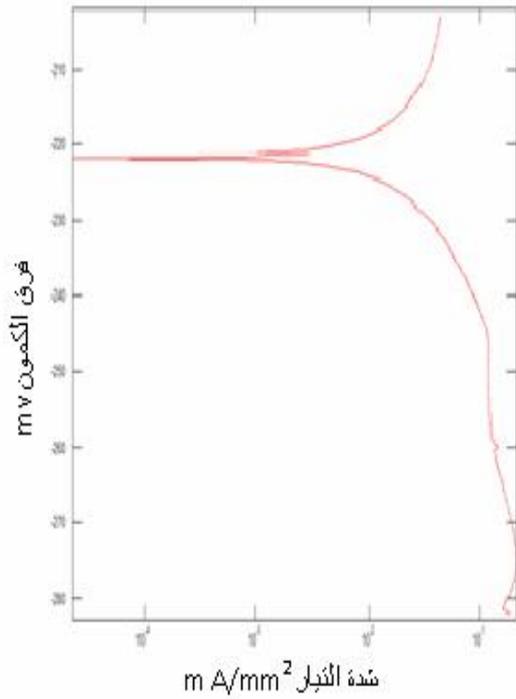
معادن اللحام 308L

استخدم الكترود اللحام نوع

BOHLER FOX EAS2-A E308L-17

ولهذا النوع من الالكترودات ميزات لحامية جيدة فضلاً عن مقطع لحام ناعم ونظيف وآمن ضد تشكل المسامات نظراً إلى الغلاف المقاوم للرطوبة، ومقاوم للتآكل بين الحبيبي حتى درجة حرارة 300°C ويستخدم في لحام أنواع الفولاذ الآتية:

[24]. AISI 304,304L,304LN,302,321,347



الشكل (8) منحنيات الاستقطاب لمعدن اللحام 308L

في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

معدل التآكل معدن اللحام 308L في حمض الفوسفور

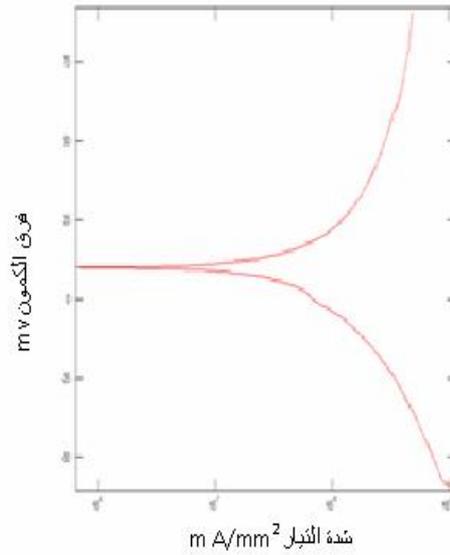
المشوب 37.75% H₃PO₄ :

تيار التآكل:

$$I_{\text{corrosion}} : 0.00680 \text{ mA/cm}^2$$

معدل التآكل :

$$\text{Corrosion rate} : 0.08360 \text{ mm/year}$$



الشكل (7) منحنيات الاستقطاب للفولاذ 304 في حمض

الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

معدل التآكل للخليطة 304 في حمض الفوسفور المشوب

: 37.75% H₃PO₄

المقاوم للصدأ نوع 304 بمعدلات مرتفعة جداً مقارنةً بمعدن الأساس، وهذا يؤدي إلى تفكك الوصلة للحامية وتشكيل نقطة ضعف للمنشآت المعدنية المصنعة من 304 والمستخدمه في حمض الفوسفور الصناعي .

3-2 السلوك الكهروكيميائي للفولاذ المقاوم للصدأ 316L كمعدن أساس ومعدن اللحام 316L في حمض الفوسفور المشوب

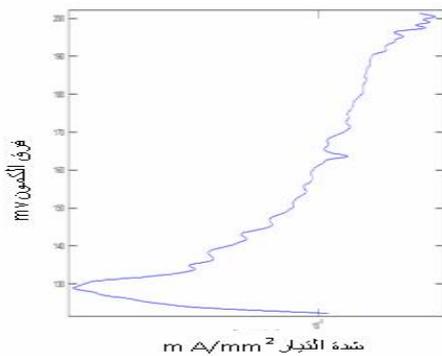
H_3PO_4 37.75%: ينتمي هذا الفولاذ إلى أنواع الفولاذ الخلطي المقاوم للصدأ بنسبة نيكل % (10-16) بوجود المولبدنيوم ودون إضافات خاصة، ويستخدم في الصناعات النسيجية وفي مصانع إنتاج حمض الفوسفور [23]

معدن اللحام 316L:

استخدم الكترود اللحام نوع

BOHLER FOX EAs 4M-A E316L-17 ولهذا النوع ميزات لحامية جيدة فضلاً عن مقاوم للتآكل بين الحبيبي حتى درجة حرارة $400^{\circ}C$ ويستخدم في لحام أنواع الفولاذ الآتية:

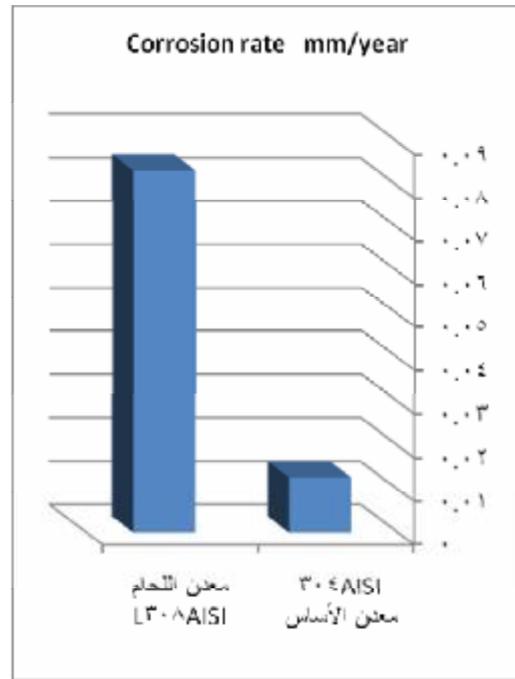
AISI 316L , 316Ti, 316Cb ,S 316[24]



الشكل (10) منحنيات الاستقطاب لمعدن اللحام 316L في حمض الفوسفور المشوب H_3PO_4 37.75%.

جدول (2) مقارنة كثافة تيار التآكل ومعدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 304 ومعدن اللحام

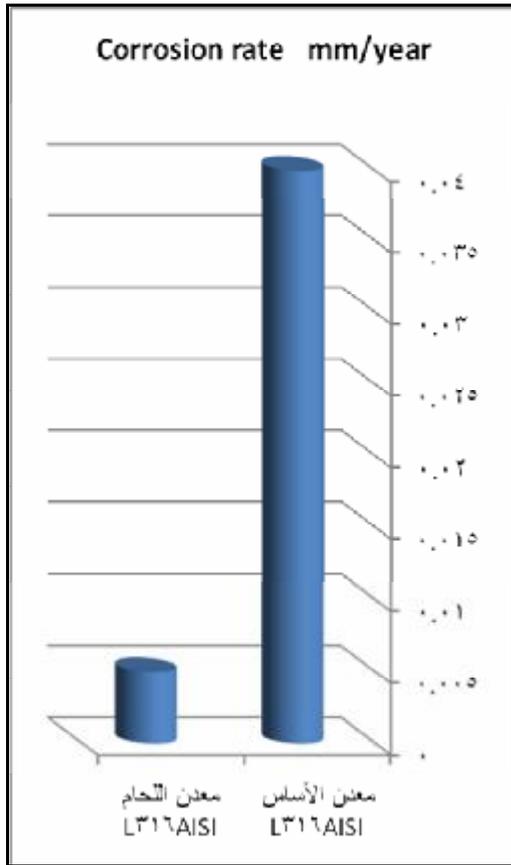
المعدن	Icorrosion mA/cm ²	Corrosion rate mm/year
معدن الأساس 304	0.0001241	0.001282
معدن اللحام 308L	0.0068	0.0836



الشكل (9) مقارنة معدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 304 ومعدن اللحام بعد ضرب قيمة معدل التآكل لمعدن الأساس بالعدد 10.

نلاحظ من التجارب السابقة:

- يتضح من الشكلين (7) و(8) أن معدن اللحام للفولاذ 304 أقل نبلاً من معدن الأساس، ويشكل معدن اللحام المصعد في حين يشكل معدن الأساس المهبط، وتكون مساحة منطقة المصعد (معدن اللحام) أصغر بكثير من مساحة منطقة المهبط (معدن الأساس)، ويحدث تآكل شديد للوصلة للحامية؛ لذلك يعد هذا اللحام مرفوضاً في وسط حمض الفوسفور المشوب. ويتضح من الشكل (9) تآكل معدن اللحام للفولاذ



الشكل (12) مقارنة معدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 316L

ومعدن اللحام بعد ضرب قيمة معدل التآكل لمعدن اللحام بالعدد 10. يتضح من الشكلين (10) و (11) أن معدن اللحام للفولاذ 316 أكثر نبلاً من معدن الأساس، ويشكل معدن اللحام كاثوداً في حين يشكل معدن الأساس أنوداً، وهذا هو الوضع المقبول للوصلة اللحامية حيث تكون مساحة المصعد (معدن الأساس) أكبر بكثير من مساحة المهبط (معدن اللحام)، يمتاز الفولاذ المقاوم للصدأ 316L بتآكل معدن اللحام بمعدلات منخفضة جداً في حمض الفوسفور الصناعي، ولكن يوجد تفاوت كبير مقارنةً بمعدلات تآكل معدن الأساس، وهذا يسبب تآكلاً شديداً في الوصلة اللحامية وتغييراً في خواصها

3-3 السلوك الكهروكيميائي للفولاذ المقاوم للصدأ 904L

كمعدن أساس ومعدن اللحام 904L في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H_3PO_4 :

معدل التآكل لمعدن اللحام 316L في حمض

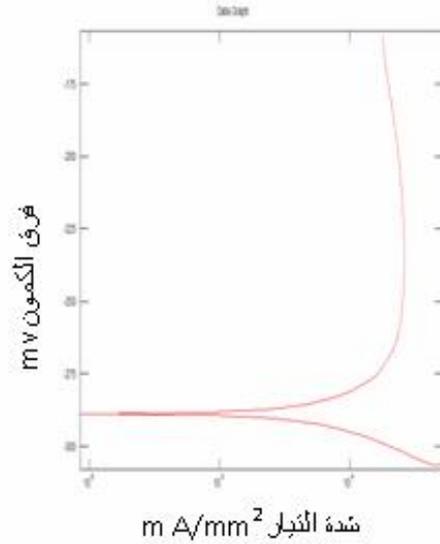
الفوسفور المشوب 37.75% H_3PO_4 :

تيار التآكل:

$I_{corrosion} : 0.00004 \text{ mA/cm}^2$

معدل التآكل:

Corrosion rate: 0.0005 mm/year



الشكل (11) منحنيات الاستقطاب للفولاذ 316L في حمض

الفوسفور 37.75% H_3PO_4

جدول (4) مقارنة كثافة تيار التآكل ومعدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 316L ومعدن اللحام

المعدن	$I_{corrosion}$ mA/cm	Corrosion rate mm/year
معدن الأساس 316L	0.0020353	0.02609
معدن اللحام	0.00004	0.0005

معدل التآكل للفولاذ 316L في حمض الفوسفور المشوب

: 37.75% H_3PO_4

معدل التآكل:

Corrosion rate : 0.02609 mm/year

تيار التآكل: $I_{corrosion} :$

0.0020353 mA/cm^2

معدل التآكل للفولاذ 904L في حمض الفوسفور المشوب

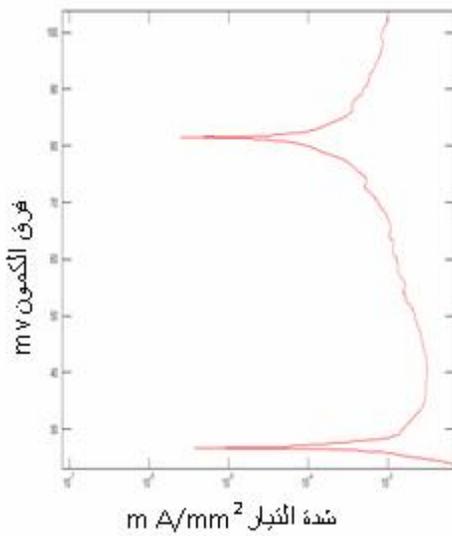
: 37.7% H₃PO₄

تيار التآكل

I corrosion : 0.0003261 mA/cm²

معدل التآكل

Corrosion rate : 0.0032287 mm/year



الشكل (14) منحنيات الاستقطاب لمعدن اللحام 904L

في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

معدل التآكل لمعدن اللحام 904L في حمض الفوسفور

المشوب 37.75% H₃PO₄ :

تيار التآكل:

I corrosion : 0.000210 mA/cm²

معدل التآكل:

Corrosion rate: 0.00209 mm/year

من خلايط الفولاذ الخاصة ذات الإضافات الخاصة ويستخدم في مصانع حمض الكبريت وحمض الفوسفور في الأماكن التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل مثل المضخات ومرآوح سحب الغازات والخلاطات التي تكون على احتكاك مباشر مع المواد الحمضية. تمتاز هذه الخليطة بالمقاومة العالية للتآكل التشقي الإجهادي والتآكل النقري [24,26].

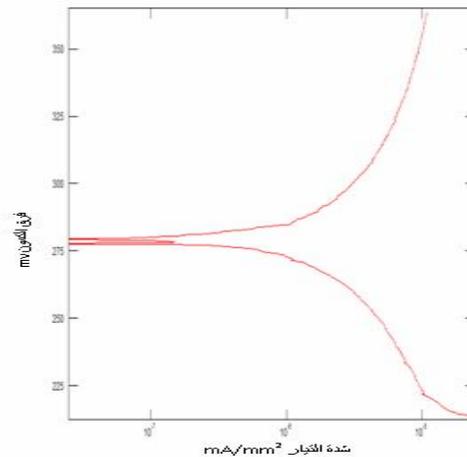
معدن اللحام 904L: استخدم الكترود للحام نوع

BOHLER FOX CN 20/25 M E385-15

استخدم مع المعادن ذات المقاومة العالية للتآكل والمحتوية المولبدنيوم مثل 904L، ويستخدم في الصناعات ذات البيئات شديدة الأكلية مثل الصناعات الكيميائية وماء البحر.

تشكل الوصلة اللحامية من هذا المعدن مقاومة للتآكل النقري والتآكل التصدي في الكلوريدات ومقاومة عالية للتآكل في الأوساط المحتوية على الكبريت والفوسفور وحمض الفورميك. يستخدم مع المعادن ذات النسبة العالية من المولبدنيوم مثل:

[24] 1.4537/1.4439/1.4539(UNS.NO8904)

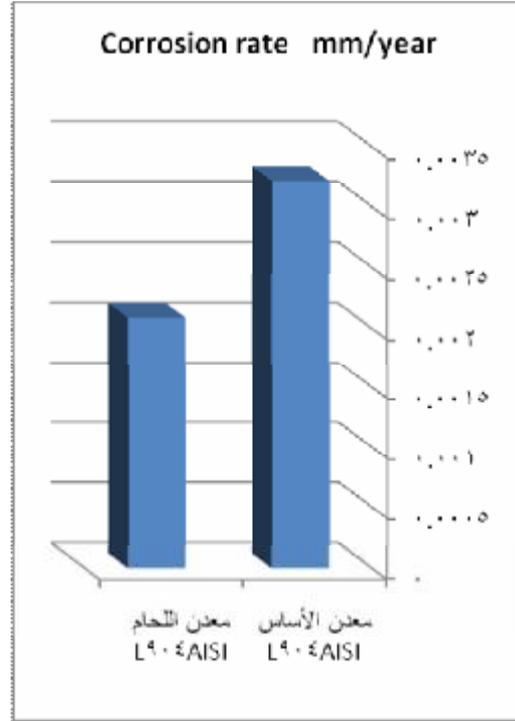


الشكل (13) منحنيات الاستقطاب للفولاذ 904L في حمض

الفوسفور المشوب 37.7% H₃PO₄

جدول (6) مقارنة كثافة تيار التآكل ومعدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 904L ومعدن اللحام.

المعدن	Icorrosion mA/cm ²	Corrosion rate m/year
معدن الأساس 904L	0.0003261	0.00322
معدن اللحام 904L	0.00021	0.00209



الشكل (15) مقارنة معدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 904L ومعدن اللحام

يمتاز الفولاذ المقاوم للصدأ نوع 904L بمعدلات تآكل منخفضة لكل من معدن الأساس ومعدن اللحام، ويلاحظ تقارب معدل التآكل بين معدن اللحام ومعدن الأساس، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تعاون مشترك بين العناصر الخلائطية (الكروم والنيكل والمولبدينيوم والنحاس) إذ إنَّ المولبدينيوم والنحاس يحسنان الخواص الميكانيكية للفولاذ، وتأتي مقاومة التآكل من النسبة العالية للكروم والنيكل .

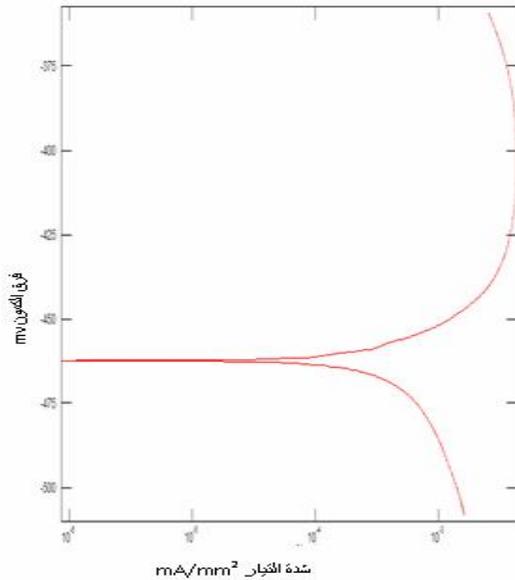
4-3 السلوك الكهروكيميائي للفولاذ المقاوم للصدأ 310S كمعدن أساس ومعدن اللحام 310S في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄:

ينتمي هذا الفولاذ إلى أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ المقاوم للحرارة، ويستخدم في أجزاء الأفران الصناعية وغلايات البخار ومصانع إنتاج النفط [23].

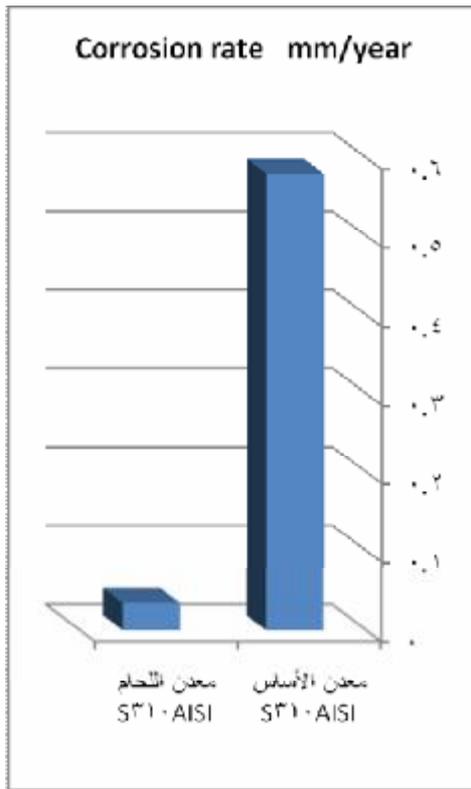
معدن اللحام 310S : استخدمت الكترودات

BOHLER FOX FFB ويستخدم هذا النوع من الكترودات اللحام في غلايات البخار والصناعات النفطية والخزفية وفي معامل التلدين والتصليد. وتتميز وصلات اللحام بمقاومة غازات الكبريتات ومقاومة درجات الحرارة المرتفعة.

يستخدم في أنواع الفولاذ الأستيني مثل (1.4841,1.4845,1.4828) وأنواع الفولاذ الفريتي (1.4713,1.4724,1.4742,1.4762) يوضح الجدول (7): التركيب الكيميائي لمعدن الأساس 310S ومعدن اللحام للعينات المختبرة.



الشكل (16) منحنيات الاستقطاب للفولاذ المقاوم للصدأ نوع 310S في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄



الشكل (18) مقارنة معدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 310S ومعدن اللحام بعد ضرب قيمة معدل التآكل لمعدن اللحام بالعدد 10 يتضح من الشكلين (16) و(17) أن معدن اللحام للفولاذ 310S أكثر نبلاً من معدن الأساس في حمض الفوسفور الملوث المنتج في الشركة العامة للأسمدة، ويشكل معدن اللحام مهبطاً في حين يشكل معدن الأساس مصعداً، وهذا هو الوضع المقبول للوصلة اللحامية. يمتاز الفولاذ المقاوم للصدأ 310S بمعدلات تآكل عالية جداً، على الرغم من المحتوى العالي من الكروم. ويكون معدل تآكل معدن اللحام منخفضاً جداً مقارنة بمعدل تآكل معدن الأساس؛ وهذا يسبب تآكلاً شديداً في الوصلة اللحامية وتغير خواص الوصلة اللحامية.

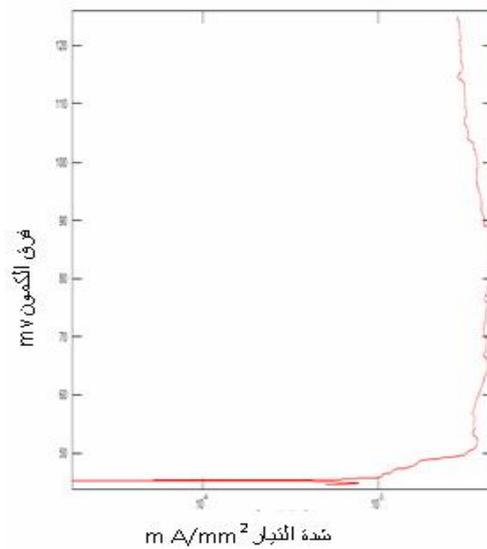
3- 5 السلوك الكهروكيميائي لإحدى خلاطات النيكل كمعدن أساس ALLOY 600 ومعدن اللحام في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄:

معدل التآكل للفولاذ 310S في حمض الفوسفور المشوب : 37.75% H₃PO₄

تيار التآكل : I_{corrosion} : 0.07607 mA/cm²

معدل التآكل:

Corrosion rate: 0.5804 mm/year



الشكل (17) منحنيات الاستقطاب لمعدن اللحام 310S في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

معدل التآكل لمعدن اللحام للفولاذ 310S في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄ :

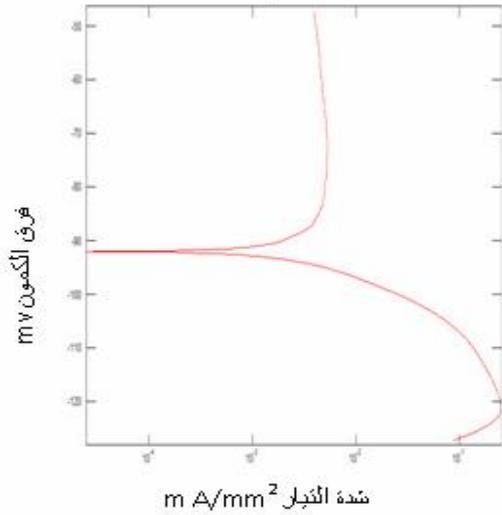
تيار التآكل : I_{corrosion} : 0.000244 mA/cm²

التآكل Corrosion rate : 0.0034488 mm/year

جدول (8) مقارنة كثافة تيار التآكل ومعدل التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ 310S ومعدن اللحام

المعدن	I _{corrosion} mA/cm ²	Corrosion rate m/year
معدن الأساس 310S	0.07607	0.5804
معدن اللحام	0.000244	0.00344

تيار التآكل Icorrosion: 0.4352 mA/cm² معدل التآكل
Corrosion rate :3.7481 mm/year:



الشكل (20) منحنيات الاستقطاب لمعدن اللحام للخليطة المعدنية ALLOY 600 في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

معدل التآكل لمعدن اللحام للخليطة المعدنية ALLOY 600 في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

تيار التآكل: I corrosion : 0.00989mA/cm²

معدل التآكل : Corrosion rate:0.0985 mm/year

جدول (9) مقارنة كثافة تيار التآكل ومعدل التآكل للخليطة ALLOY 600 ومعدن اللحام

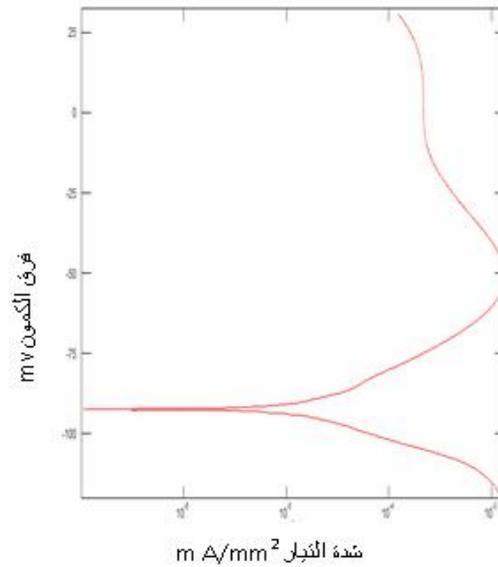
المعدن	Icorrosion mA/cm ²	Corrosion rate mm/year
معدن الأساس ALLOY 600	0.4352	3.7481
معدن اللحام	0.00989	0.0985

من خلائط النيكل ذات المقاومة العالية للحرارة ويستخدم في الأفران الصناعية والصناعات الكيماوية وتركيب المفاعلات .

معدن اللحام: استخدمت الكترودات نوع

BOHLER FOX NIBAS 70/20 وتستخدم مع خلائط النيكل المستخدمة في درجات حرارة عالية وتتميز بميزات لحامية ممتازة وسهولة إزالة الخبث ومقاومة عالية للمسامية ودرجة نقاوة عالية. ومن خلائط النيكل المستخدمة كمعدن أساس:

2.4816 NI Cr Fe,2.4817,ALLOY 600 ,
ALLOY 600L



الشكل (19) منحنيات الاستقطاب للخليطة المعدنية ALLOY 600 في حمض الفوسفور المشوب 37.75% H₃PO₄

معدل التآكل لمعدن الأساس للخليطة المعدنية

ALLOY 600 في حمض الفوسفور المشوب 37.75%

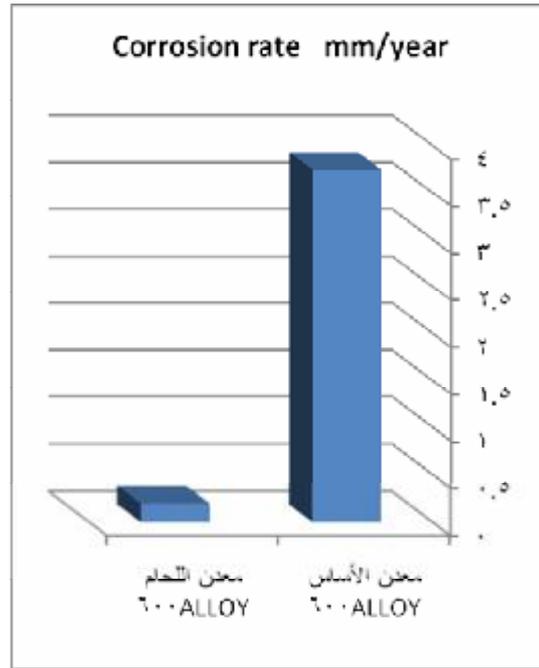
: H₃PO₄

لوعار يتم معدل التآكل لتجنب التفاوت الكبير في قيم معدلات التآكل لأنواع المختبرة عند جمع النتائج في مخطط واحد، ولتكن قيم معدل التآكل منسجمة مع الأشكال السابقة التي لم نستخدم فيها هذه المقارنة اللوغاريتمية).

- تختلف كثافة تيار التآكل و معدلات التآكل لخلات الفولاذ المقاوم للصدأ وخليطة النيكل المختبرة في حمض الفوسفور المنتج في الشركة العامة للأسمدة H_3PO_4 37.7% والتميز بوجود الشوائب الأكاله، وذلك بسبب اختلاف العناصر الخلائطية، كما تختلف معدلات التآكل لمعدن الأساس عنها في معدن اللحام في الأنواع المختبرة.

- نلاحظ انخفاض معدل التآكل لمعدن الأساس لأنواع الفولاذ المقاوم للصدأ (304، 316L، 904L) بالنسبة إلى الفولاذ 310S وخليطة النيكل ALLOY 600، ويتميز الفولاذ 310S عن بقية الأنواع بمحتوى أعلى من الكروم والكربون في حين تتميز خليطة النيكل بمحتوى عالٍ من النيكل.

- تنخفض معدلات التآكل لمعدن الأساس في الفولاذ المقاوم للصدأ 904L عنها في الفولاذ 316L، ويتميز عنه بمحتوى أعلى من المولبدينيوم، أي يمكن أن تزيد نسبة المولبدينيوم من مقاومة التآكل للفولاذ المقاوم للصدأ.



الشكل (21) مقارنة معدل التآكل لخليطة النيكل

ALLOY 600 ومعدن اللحام

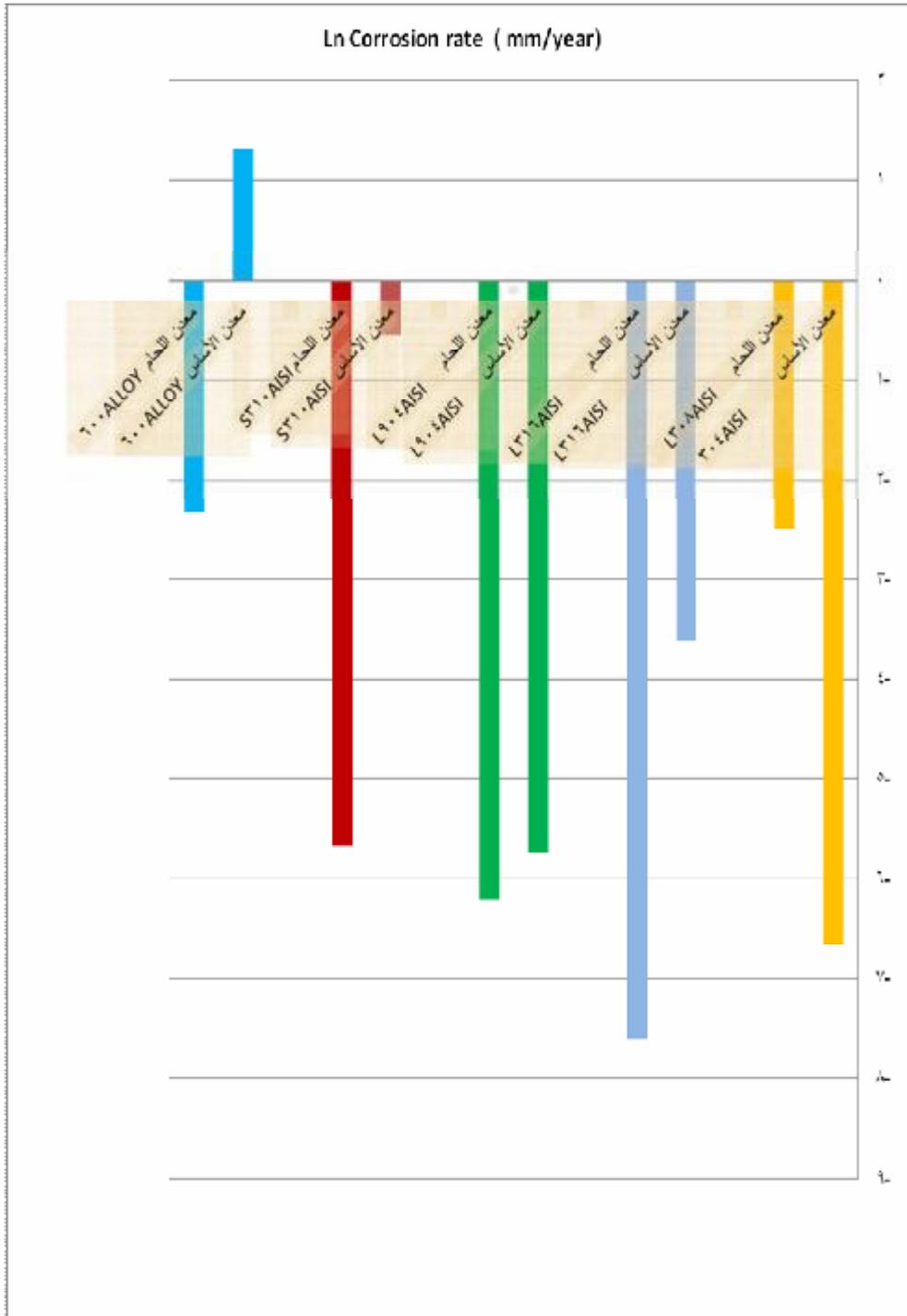
تمتاز الخليطة المعدنية ALLOY 600 بمعدلات تآكل عالية جداً على الرغم من النسبة العالية للنيكل والكروم، ويوجد اختلاف شديد بين معدن اللحام ومعدن الأساس.

3-6 مقارنة كثافة تيار التآكل ومعدلات التآكل:

مقارنة معدلات تآكل معدن الأساس :

- يوضح الشكل (22) مقارنة معدل تآكل معدن الأساس لأنواع الفولاذ المقاوم للصدأ والمختبرة وخليطة النيكل ALLOY 600 ومعدن اللحام لكل نوع. (حسب)

تآكل وصلات اللحام لبعض أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ وإحدى خلائط النيكل في حمض الفوسفور الصناعي المشوب



الشكل (22) مقارنة لوغاريتم معدل التآكل لأنواع الفولاذ غير القابل للصدأ وخليطة النيكل 600 ALLOY بمعادن اللحام لكل نوع من الخلائط المعدنية المختبرة.

- تكون معدلات تآكل معادن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ 904L والفولاذ 316L منخفضة مقارنة بتآكل معادن اللحام للفولاذ 316L عن معدل تآكل باقي الأنواع المختبرة ونلاحظ انخفاض معدل تآكل معادن اللحام للفولاذ 316L عن معدل تآكل

بمعادن الأساس، وهذا يؤدي إلى تفكك الوصلة للحامية وتشكيل نقطة ضعف للمنشآت المعدنية المصنعة من 304 والمستخدمه في حمض الفوسفور الصناعي.

• يمتاز الفولاذ المقاوم للصدأ 316L والفولاذ نوع 904L بتآكل معدن اللحام بمعدلات منخفضة جداً في حمض الفوسفور الصناعي، ويتميز هذان النوعان بوجود الكروم والنيكل والمولبدنيوم، ولكن يوجد تفاوت في معدل التآكل مقارنة بمعدل تآكل معدن الأساس؛ وهذا يسبب تآكل الوصلة للحامية وتغيراً في خواصها، ويكون التفاوت بين معدل تآكل معدن اللحام ومعدن الأساس في الفولاذ 904L أقل منه في الفولاذ 316L، ويمكن أن يعزى ذلك إلى زيادة نسبة المولبدنيوم إلى الفولاذ 904L.

• يمتاز الفولاذ المقاوم للصدأ 310 بمعدلات تآكل عالية جداً مقارنة ببقية أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ المختبرة، على الرغم من المحتوى العالي من الكروم ويكون معدل تآكل معدن اللحام منخفضاً جداً مقارنة بمعدل تآكل معدن الأساس؛ وهذا يسبب تآكلاً شديداً في الوصلة للحامية وتغير خواص الوصلة؛ لذلك يفضل عدم استخدام الفولاذ المقاوم للصدأ 310 في مصانع إنتاج حمض الفوسفور الصناعي.

• تمتاز الخليطة المعدنية ALLOY 600 بمعدلات تآكل عالية جداً مقارنة ببقية أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ المختبرة. وتعد هذه الخليطة غير مناسبة للاستخدام في حمض الفوسفور الصناعي المنتج في الشركة العامة للأسمدة.

معدن اللحام للفولاذ 904L، ويتميز الأخير بإضافة النحاس مع نسبة أكبر من النيكل والكروم، أي يمكن أن تؤدي إضافة النحاس إلى زيادة معدل تآكل معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ، كما تؤدي زيادة نسبة الكروم والنيكل إلى زيادة معدلات التآكل.

• معدل التآكل المنخفض لمعدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ نوع 316L مقارنة بالفولاذ المقاوم للصدأ 308L، ويتميز النوع 316L بإضافة المولبدنيوم أي تؤدي إضافة المولبدنيوم إلى زيادة مقاومة التآكل لمعدن اللحام للفولاذ 316L.

• نلاحظ ارتفاع معدل تآكل معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ 310S عن معدل تآكل معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ 904L، ويمكن أن تكون زيادة نسبة الكروم والكربون سبباً في ارتفاع معدل التآكل نتيجة تشكل كربيدات الكروم.

• تختلف كثافة تيار التآكل ومعدلات التآكل بين معدن اللحام ومعدن الأساس لأنواع الفولاذ المدروسة؛ وهذا يؤدي إلى تغيير الخواص الميكانيكية للوصلة للحامية وظهور خلية كهروكيميائية تسبب التآكل الغلفاني.

• يكون معدن اللحام في الأنواع (316L,904L,310S,Alloy 600) أكثر نبلاً من معدن الأساس في وسط حمض الفوسفور المشوب، وهذا ما يوجب أن يكون في الوصلات للحامية، في حين يشذ معدن اللحام في الفولاذ 304L حيث يكون معدن اللحام أقل نبلاً من معدن الأساس، ويتآكل معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ نوع 304 بمعدلات مرتفعة جداً مقارنة

- اتفقت نتائج البحث مع نتائج الباحثين في تآكل الوصلات اللحامية في اختلاف مقاومة تآكل معدن الأساس ومعدن اللحام للوسط المحيط، فتبين أن معدن الأساس للفولاذ المقاوم للصدأ نوع 304 مناسب للعمل في وسط حمض الفوسفور الصناعي، في حين لا يناسب معدن اللحام هذا الحمض، ونلاحظ أن معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ 310S أكثر مناسبة لحمض الفوسفور الصناعي من معدن الأساس [8].
- اختلفت نتائج البحث عن نتائج (R. Sánchez-Tovar, M.T. Montañés, J. García-Antón1, A. Guenbo) إذ إن كثافة تيار التآكل لمعدن الأساس ومعدن اللحام للفولاذ 316L أقل مقارنةً بنتائج سانشيز، ولكن التفاوت في كثافة تيار التآكل بين معدن اللحام ومعدن الأساس في حمض الفوسفور الصناعي المدروس في هذا البحث أكبر بكثير مقارنةً بنتائج بحث سانشيز في حمض الفوسفور الصناعي، ويمكن أن يعزى ذلك إلى اختلاف تركيب حمض الفوسفور نتيجة اختلاف منشأ الفوسفات المستخدم في صناعة حمض الفوسفور [9].
- لا تتفق نتائج البحث مع نتائج J.Vojvodic Tuma (R. Celin) في عدّ الفولاذ المقاوم للصدأ مناسباً للخدمة في تصنيع خزانات تخزين حمض الفوسفور الصناعي، إذ تختلف كثافة تيار التآكل عن تجارب J.Vojvodic Tuma فضلاً عن التفاوت بين معدن اللحام ومعدن الأساس [11].
- اتفقت نتائج البحث مع نتائج الباحثين في مقارنة معدلات التآكل بين معدن اللحام ومعدن الأساس، فتبين هذه البحوث معدلات تآكل متقاربة لمعدن
- الأساس ومعدن اللحام بالنسبة إلى الفولاذ المقاوم للصدأ AISI 904L [7].
- تؤكد بعض المؤلفات أن إضافة النحاس بنسبة 2-3% Cu تحسن مقاومة التآكل في حمض الفوسفور وحمض الكبريت. وتختلف نتائج البحث مع هذه النظرية إذ تزيد معدلات تآكل معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ AISI 904L المتميز بالنحاس على معدلات تآكل معدن اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ 316L في حمض الفوسفور الصناعي [25][26].
- 4-الخاتمة (conclusion):
- يعدّ الفولاذ المقاوم للصدأ 904L من أنواع الفولاذ الخاصة ذات المقاومة الجيدة للتآكل في حمض الفوسفور المشوب، ولما كان حمض الفوسفور المشوب وسطاً شديداً الأكسدة، ولكي يخدم هذا الفولاذ مدة زمنية أكبر في مصانع إنتاج حمض الفوسفور، أمكن اقتراح إجراء اختبار إضافة بعض العناصر الخلائطية إلى هذا النوع مثل التيتانيوم ودراسة تغيير خواص مقاومة التآكل لهذا الفولاذ.
- يسهم البحث في اختيار أنواع من الخلائط المقاومة للتآكل للخدمة في صناعة حمض الفوسفور؛ بحيث تكون معدلات التآكل للوصلة اللحامية منخفضة وتُخفّض من ثم تكاليف العملية الإنتاجية.

References:

1. J. Mendoza-Canales and J. Marín-Cruz, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 3 (2008) 346.
2. A.Y. Musa, A.A.H. Kadhum, A. Bakar-Mohamad, A. Razak-Daud, M. Sobri-Takriff, S. Kartom-Kamarudin and N. Muhamad, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 4 (2009) 707.
3. P. Barraco, G. Chiaro and A. Barbera, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 26 (1990) 281.
4. L. Narváez, E. Cano and D.M. Bastidas, *J. Appl. Electrochem.*, 35 (2005) 499.
5. A.I. Almarshad and D. Jamal, *J. Appl. Electrochem.*, 34 (2004) 67.
6. A.S. Hamdy, E. El-Shenawy and T. El-Bitar, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 1 (2006) 171.
7. J. Oñoro, *Int. J. Pres. Ves. Pip.*, 86 (2009) 656.
8. ASM International Handbook Committee, Corrosion of Weldments, Corrosion, Volume 13 seventh printing, November 2001.
9. R. Sánchez-Tovar, M.T. Montañés, J. García-Antón, A. Guenbo, Galvanic Corrosion of the Base AISI 316L/Micro-Plasma Arc Welded AISI 316L In Polluted Phosphoric Acid Media at Different Temperatures. *International journal of Electrochemical since*, Volume 6 (2011) 3656 - 3670
10. Sanchez-Tovar, Garcia-Anton, Montañés, Guenbour, Bakour, Electrochemical measurement of the galvanic corrosion effects on the pair AISI 316L/welded AISI 316L in H₃PO₄ solutions at different temperatures.
11. J.Vojvodic Tuma, R. Celin, Erection of a stainless steel tank for storing a phosphoric acid, *Metalurgija* 46 (2007) 3, 173-178.
12. R. Kearns, The effect of nitrogen on the corrosion resistance of austenitic stainless alloys containing molybdenum, *Jornal materials for energy systems* volume 7, number 1.
13. Michael Schorr, Benjamin Valdez, Roumen Zlatev, and Margarita Stoytcheva, Erosion-Corrosion in Phosphoric Acid Production Materials performance *January 2010 NACE International*, Vol. 49, No. 1
14. J. El Hajjaji, L. Aries, N. Pebere, F. Dabosi, J.-P. Audouard, and A. Ben Bachir, Passive State Behavior of Special Austenitic and Ferritic Stainless Steels in Phosphoric Acid Polluted by Sulfide Ions *Journal: corrosion*, Volume 52, Number 11, November, 1996, NACE International.
15. S Abdellah Guenbour, Mohamed-Adil Hajji, El Miloudi Jallouli, Ali Ben Bachir, Study of corrosion-erosion behaviour of stainless alloys in industrial phosphoric acid medium Received 22 November 2005; Available online 12 June 2006, www.elsevier.com/locate/apsusc.
16. S. M. A. Hosseini, M. Salari, M. Quanbari, Electrochemical Behavior of Ti - Alloy in the Mixture of Formic and Phosphoric Acid in the Presence of Organic Compound, *International journal of Electrochemical since*, Volume 2 (2007) 935 - 946
17. T. Poornima, Jagannath Nayak and A. Nityananda Shetty, Corrosion of Aged and Annealed 18 Ni 250 Grade Maraging Steel in Phosphoric Acid Medium *int. International journal of Electrochemical since*, 5 (2010) 56 -71.
18. H. Iken, R. Basseguy, A. Guenbour, A. Ben Bachir, Classic and local analysis of corrosion behaviour of graphite and stainless steels in polluted phosphoric acid, *Electrochimica Acta* 52 (2007) 2580-2587.
19. S. A. M. Refaey, F. Taha and A. M. Abd El-Malak Corrosion and Inhibition of 316L stainless steel in neutral medium by 2-Mercaptobenzimidazole, *International journal of Electrochemical since*, 1(2006)80-91.
20. Mazen M. Khaled, The effect of molecular weight on the corrosion protection properties of Polyvinylpyrrolidone polymers on stainless steel, *January 2010 The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 35, Number 1A.
21. Ibáñez-Ferrándiz, Ma, Blasco-Tamarit, Ea, García-García, D. Ma, García-Antón, Ja, Guenbour, Bakour, Corrosion of austenitic stainless steels in phosphoric acid polluted by chloride and sulphate ions.
22. P. Fauvet a,*, F. Balbaud a, R. Robin, Q.-T. Tran a, A. Mugnier a, D. Espinoux Corrosion mechanisms of austenitic stainless steels in nitric media used in reprocessing plants, *Journal of Nuclear Materials*, 2008.
23. Key to steel 2007.
24. Technical handbook of bohler welding products Edition 7/2005
25. H.H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control, chapter 22, John Wiley and 1963.
26. W.O. Binder, U.S. Patent 2,777,766, 1957

 تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/12/18