

Study the Effect of Vibration Speed on Corrosion Rate of Two Steel Alloys X20 and X60

Mohammed Abdulateef Ahmed

Production and Metallurgy Engineering Department, University of Technology/ Baghdad

Email: metal_metal48@yahoo.com

Oday shaker

Machines & Equipments Engineering Department, University of Technology/ Baghdad

Received on: 26/ 7/2011 & Accepted on: 1 /12/2011

ABSTRACT

A study was conducted to demonstrate the effect of mechanical vibrations on the corrosion of steel pipelines for oil (x60, x20) in the corrosive medium is sea water by using the traditional method of weight loss, where the test samples are cut cubic forms and dimensions (10x10x10 mm³). And offered samples to the corrosive solution (sodium chloride 3.5% NaCl) and called the term (sea water) in chemical engineering and corrosion engineering fields. This medium would be static with frequency (0 Hz), and vibrated with a five frequencies (5, 10, 15, 20 & 25 Hz) and the amplitude within the range of (0.0013-0.00088m) to be the speed of vibration within the (0.00475-0.022), and for a test time (2hr.). These laboratory vibrations were obtained from the design and manufacture of corrosion presence vibration instrument according to U.S. global standard (ASTM G32). It was found that the speed of vibration increase the corrosion rate of these alloys of (0.00073 gmd) at the speed (0) to (0.00287 gmd) at the speed (0.022) for alloy X20, and (0.00195 gmd) at the speed (0) to (0.00402 gmd) at the speed (0.022) for alloy X60. That is, the highest value for the rate of corrosion is to alloy X60 at the speed of vibration (0.022), followed by corrosion rate of alloy X20 at the same speed. When the speed of vibration was (0), the corrosion rate of alloy X60 is also more of the corrosion rate of alloy X20.

دراسة تأثير سرعة الاهتزاز على معدل تاكل سبيكتي فولاذ X20 و X60

الخلاصة

أجريت دراسة عملية لبيان تأثير الاهتزازات الميكانيكية على تاكل فولاذ الانابيب الناقله للنفط (x60,x20) وفي وسط اكال هو ماء البحر باستخدام طريقة فقدان الوزن التقليديه ، حيث قطعت عينات الاختبار على أشكال مكعبية وبأبعاد (10x10x10mm³). وعرضت العينات الى وسط أكال (محلول كلوريد الصوديوم 3.5%NaCl) ويطلق عليه مصطلح (ماء البحر) في مجال الهندسة الكيميائية وهندسة التآكل. ويكون هذا الوسط ساكن وتردده (0 Hz) ومهتز بخمس ترددات (5,10,15,20&25 Hz) وسعة الأهتزاز ضمن نطاق (0.0013-0.00088m) لتكون سرعات الأهتزاز ضمن (0.00475-0.022)، ولمدة اختبار مقدارها (2hr). وتم الحصول على هذا الأهتزاز المختبري من خلال تصميم وتصنيع جهاز التآكل بوجود

الاهتزاز وحسب المواصفة الأميركية العالمية (ASTM G32). حيث وجد ان سرعة الاهتزاز تزيد معدل تآكل هذه السبائك من (0.00073gmd) عند السرعة (0) الى (0.00287 gmd) عند السرعة (0.022) لسبيكة X20، ومن (0.00195 gmd) عند السرعة (0) الى (0.00402 gmd) عند السرعة (0.022) لسبيكة X60. أي إن أعلى قيمة لمعدل التآكل هو لسبيكة X60 عند سرعة اهتزاز (0.022) ويليه معدل تآكل السبيكة X20 عند نفس السرعة. وعندما تكون سرعة الاهتزاز (0) فإن معدل تآكل سبيكة X60 يكون أكبر أيضا من معدل تآكل سبيكة X20. كلمات الدلالة: التآكل، بوجود الاهتزاز، التآكل الفجوي، الاهتزاز، التآكل.

المقدمة

التآكل يحدث في المعادن بفعل كيميائي أو كهروكيميائي، والتآكل العام يحدث عند وضع المعدن في وسط أكل ساكن نوعا ما، أو عند عدم وجود حركة بين المعدن والوسط. وعليه فإن تأثير التآكل مع الفعل الارتطامي لحركة الوسط تؤمن استمرارية عالية لوجود سطح نظيف خالي من نواتج التآكل (1,2,3,4).

والتآكل يحدث في جميع أنواع المعادن وإذا كان الوسط المتحرك يحتوي على جسيمات صلبة فتكون ذات تأثيرات كبيرة بالمعدن. الحركة المستمرة تعمل على إزاحة الطبقة البينية (وقد تكون طبقة واقية معها عبارة عن نواتج تآكل) الموجود بين السائل الأكل والمعدن (5,6).

بما أن التآكل بوجود الاهتزاز هو عبارة عن تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي مصحوب بحركة اهتزازية وهذه الحركة ستولد اضطراب بالوسط فسيحدث تآكل فجوي، والتآكل الفجوي يحدث نتيجة لحركة السائل الأكل الحاوي على فقاعات هواء بسرعة عالية. ويعتبر من أنواع التآكل بالتعريية الذي يعرف بأنه معدل التآكل أو التحلل الكهروكيميائي نتيجة الحركة الاهتزازية للوسط الأكل الملامس لسطح المعدن وهذه الظاهرة واضحة جداً في المراجل والنفاثات و التوربينات حيث يحدث تحلل كهروكيميائي مترامن مع التأثير الميكانيكي الناتج من الحركة الاهتزازية للسائل الأكل مسبباً جرف لنواتج التآكل المتكونة على سطح العينة والمعيقة لتبادل الأيونات والألكترونات (كما في حالة التآكل الساكن) وهذا ما يرفع من الانتشار للأيونات والألكترونات للمعدن والمحلول الأكل ويعجل من التآكل ويصبح المعدن الأساس عرضة للوسط الأكل بعد إزالة الطبقات الواقية المتكونة على سطح المعدن وهكذا تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى تسبب انهيار ذلك المعدن [6,7,8].

ففي عام 2007 (Tao XU) وآخرون بينوا بأن الاهتزاز الفوق الصوتي له تأثير كبير على ظاهرة (التآكل بأزالة الكروم) لسبيكة (CuCr) في محلول حامض الهيدروكلوريك (HCl)، وتم دراسة التحليل لآلية التآكل. ووجد في هذه الدراسة بأن الاهتزاز الفوق الصوتي سيخفض من فترة حضانة أزالة الكروم المذكورة، ويعجل من معدل التآكل بأزالة الكروم، يخفض من درجة حرارة وتركيز محلول (HCl)، وعند حدوث أزالة الكروم سيحدث ضعف خطير للبنية المجهرية بأزالة طبقة الكروم. وهذا البحث بين أيضا بأن الاهتزاز الفوق الصوتي سيعجل من انهيار طبقة الخمولية أو الخمولية الواقية على سطح الكروم ويزيد من فعالية أو نشاطية (Cr) و (Cl) [9].

أما الباحث (Lucjan Witek) فقد قام بدراسة نتائج الأختبارات التجريبية للاهتزازات الحاصلة في ريش مراوح المحركات التوربينية الضاغطة للطائرة العمودية. والريش المستخدمة في هذا البحث غير مصانة تحت تقنية فحص المكائن. والبحوث قد أجريت على ريش مختارة وغير محطمة، بدون وجود لتشقق أو كسور تمهيدية أو تشققات للتآكل. وتلك الريش أثناء الأختبارات

تدخل في حالة من الاهتزازات العرضية. وعملية تقدم الشق يكون حاصل في حالة الرنين. وخلال اختبار الكلال، نمو وتقدم الشق يكون مراقب . وفي الجزء الثاني من هذا البحث، تم أستخدام طريقة العناصر المحددة الغير الخطية (Nonlinear finite element method) لتحديد حالة الأجهاد للريش خلال الاهتزاز. وفي هذا التحليل سيكون النمط أو الأسلوب الأول للاهتزاز الحاصل هو الأكثر أهمية . وأعلى منطقة للأجهاد الرئيسي الأعظم يكون موجود عند مناطق الريش حيث الكسر أو الفشل قد حصل [10].

عام 2010 قام الباحث (قاسم) بإجراء دراسة نظرية بأستخدام برنامج حاسوبي على تأكل الاسطوانة الدوارة من الحديد الكربوني في حامض الهيدروكلوريك الحاوي على الاوكسجين الذائب تحت ظروف الجريان المضطرب عدد رينولدز (60000,40000,20000,10000,5000Re) ودرجة حرارة (60,40,25 °C) والاس الهيدروجيني للحامض (pH=4,2,1) تمت دراسة ومناقشة تأثير عدد رينولد (Re) ، درجة الحرارة (T) ،الاس الهيدروجيني (pH). ودلت النتائج على ان الزيادة في عدد رينولدز والحرارة تزيد من معدل التآكل وجهد التآكل اما الزيادة في الاس الهيدروجيني تقلل من معدل التآكل وجهد التآكل . وتم رسم شكل الاستقطاب للنظام لظروف مختلفة. أبدت النتائج النظرية تطابقاً جيداً مع نتائج لباحثين سابقين. تم ادخال النتائج في برنامج basic statistics tables واستنتاج موديلات رياضية لحساب معدل التآكل من خلال الظروف التشغيلية . تم حساب علاقة للاسطوانة الدوارة ناعمة السطح للظروف المذكورة وتم الحصول على العلاقة التالية وبنسبة خطأ (6.31%) [11] .

$$C.R(gmd)=5.53953Re^{0.26008}$$

$$T^{0.364818}PH^{-0.68343} \dots (1)$$

وفي عام 2010 قام الباحث (قاسم) بإجراء اختبارات التآكل على انبوب من الفولاذ الكربوني في حامض الهيدروكلوريك بتركيز (0.1) نورمالي تحت ظروف ساكنة للمحلول وعند ظروف جريان للمحلول بسرعات دورانية (400 الى 1400) دورة بالدقيقة ومدى من الدرجات الحرارة (35الى60) بأستخدام طريقة فقدان الوزن وبوجود عدة انواع من مانعات التآكل: ثايويوريا واثلين داى مين وداى اثنول امين وفور مالديهيد بتركيز (400الى2000) جزء لكل مليون بأستخدام طريقة الاسطوانة الدوارة . بينت النتائج ان معدل التآكل يزداد مع زيادة درجة حرارة المحلول وزيادة سرعة دورانه ويقل مع زيادة تركيز المانعات . اعلى منع تم الحصول في حالة الظروف الساكنة كان بأستخدام الثايو يوريا و وصل الى (77%) واقل منع كان بأستخدام الفورملد يهايد (37%) حسب درجة الحرارة وتركيز المانع . كذلك بينت النتائج ان كفاءة المانع تزداد بازدياد تركيزه وتقل مع زيادة سرعة المحلول [12] .

أما الباحثان (Mahri) و (Manshedi) فقد وجدوا نتائج رقمية لأندثار أو أنهيار المعدن بسبب التآكل والتآكل المصاحب للاهتزاز و تأثيرها على الخواص الديناميكية لخزانات السوائل الأكالمة المصنوعة من الفولاذ المطلية وغير المطلية بالكروم . وبيّنوا ببحثهم أيضاً بأن التآكل الداخلي للخزانات يعتمد على الزمن وسماك جدار الخزان عند منطقة التماس مع الماء المتقي والأكسجين الجوي والغازات الحامضية . والتحليل الديناميكي المنجز بنموذج أو موديل رقمي للخزان والسائل فقد أجري لمواقع محددة لجدار الخزان والتي تمتلك قياسات مختلفة للسماك ،وبيّن التحليل الرقمي بأن تردد الاهتزاز وشكل موجة الاهتزاز المصاحب للتآكل لها أثر كبير على معدل التآكل ،وبوجود

الضغوط الهيدروديناميكية للسوائل ستتولد تأثيرات شديدة يجب مراعاتها في فترة تصنيع الخزانات لأطالة عمر خدمة الخزان [13].

والباحث (Habib) وآخرون معه درسوا التآكل بوجود الاهتزاز ومشاكله في خطوط الأنابيب الناقلة وللمناطق الداخلية الصغيرة، وأجريت الدراسة على سلوك الاهتزاز وأشكال نماذج الترددات المؤثر في الأنابيب الناقلة وبأستخدام طرق عالمية لكشف التآكل بوجود الاهتزاز عن طريق تمييز ترددات الرنين، ومن خلالها تحلل المشاكل الناجمة من التآكل المصاحب للاهتزاز وتكون مسجلة رياضياً [15]

وبين الباحثان (Blakman) و (Wall) بأن الطاقة الميكانيكية الناتجة من الاهتزازات تؤثر وبشكل كبير على التفاعل الكيميائي أثناء تآكل المعادن وهذا له دور مهم في عالم التكنولوجيا. حيث أن التآكل بوجود الاهتزاز يولد فشل وتحطم أشد مما لو كان التآكل لوحده، فالأجهاد الخارجي (الاهتزاز) المصاحب للتآكل يجعل المحلول الأكال مضطرب وهذا يولد انفجار للفقاعات الغازية أثناء تآكل سطح المعدن محدثاً فيه تآكلاً فجوياً شديداً [16].

الهدف من البحث:

دراسة مختبرية مبسطة لتأثير سرعة الاهتزاز على معدل تآكل سبيكتي X20 و X60 اللتان تستخدمان في الأنابيب الناقلة للحقول النفطية في الوسط الأكال (ماء البحر) (3.5% NaCl) وضمن مدى محدد من الترددات وسعات الاهتزاز المستحصلة من جهاز التآكل بوجود الاهتزاز المصنع محلياً لهذا الغرض وحسب المواصفات الأمريكية العالمية (ASTM G32).

الجانب العملي:

تحضير العينات:

1. القطع:

قطعت العينات على شكل مكعبات منتظمة حيث كانت جميع الأبعاد (الطول والعرض والأرتفاع) هي (1Cm) كما في شكل (1). و قطعت العينات بأستخدام جهاز قطع ملائم وهو (جهاز قطع المعادن) (CUTO 20) (JEAN WIRTZ) المنشأ المانيا الغربية).

2. التنعيم:

تنعم العينات المقطعة وذلك بأستخدام ورق تنعيم من نوع كربيد السليكون (SiC) الذي أستخدم بعدة تدريجات (240, 320, 500, 1000) على التوالي وتحت ماء الأسالة الجاري لتسهيل عملية الصقل.

3. الصقل:

بعد غسل العينات وتنظيفها بالماء صقلت العينات بمادة الألومينا (Al_2O_3) ذات حجم حبيبي (0.3 مايكرون) والمتوفرة في نفس المختبر الذي أجري فيه التنعيم وبعدها تم غسل العينات بالماء وتجفيفها بمندبل ورقي.

4. الأظهار:

أستخدم محلول النايثل (HNO_3 1-5% + Alco. 95-99%) للأظهار بحيث غمرت العينات في محلول النايثل لمدة 15 ثانية بعد ذلك تم تهيئة العينات للفحص المجهرى بتجفيفها بأستخدام مجفف كهربائي.

الفحص المجهرى

بعد التحضير للعينات تم التصوير المجهرى باستخدام المجهر الميتالورجى وهو من نوع (METGT TECH ML 8000 SERIES JAPAN 3003) المربوط بالحاسبة فى الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة التابعة لوزارة النفط ، و البنية المجهرية موضحة فى شكل (2) .
التحليل الكيمياءى :

بعد تحليل المعدن المستخدم كيمياءياً فى الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة والتابعة لوزارة النفط وبأستخدام جهاز المطياف الموجى (PMI MASTER) شركة (WAZ) . ألمانيا الغربية، كانت نتيجة التحليل الكيمياءى كما فى الجدولين (1) و(2)، وعلى أساس هذا التحليل يكون تصنيف الفولاذ هو (x20,x60) وجهاز التحليل المستخدم يوضح فى شكل (3) .

فحصت صلادة الفولاذ المستخدم بجهاز قياس الصلادة هو (HB 3000 FRITSHI GMBTL) وكانت صلادة الفولاذ X60 مساوية إلى :

Hardness = 137 HB

وكانت صلادة الفولاذ X20 مساوية إلى :

Hardness = 145 HB

ويعتبر المعدنان بناءً على هذه القيم من المعادن المعتدلة الصلادة .
المعدن المستخدم:

معدن العينة المستخدم كان على شكل قضيب من الفولاذ المنخفض السبائك والمسمى ب X60 و X20 والمستخدم فى المجالات النفطية على شكل أنابيب ناقلة داخل المصافي. وتم تحليلها كيمياءياً وبأستخدام جهاز المطياف الضوئى المذكور أعلاه، وكانت النتيجة موضحة فى الجدولين (2)، (1) المبيينين

عمليات التآكل :

بعد تحضير العينات كما تم ذكره سابقاً تم إجراء عمليات التآكل العام والتآكل بوجود الاهتزاز فى وسط التآكل (ماء البحر) الذى يعتبر وسط تآكل ملحي بأحتوائه على كلوريد الصوديوم بتركيز قدره (35 gm لكل لتر من الماء المقطر) وتحت ظروف قياسية لكل من درجة الحرارة والضغط (25°C ، 1atmosph) وتم أستخدام طريقة فرق الوزن التقليدية لغرض حساب معدلات التآكل العام والاهتزازى ولغرض قياس الأوزان تم أستخدام ميزان حساس من نوع (DENVER INSTRUMENT) ويعمل بدقة (0.0001gm) .

طريقة فقدان الوزن :

تدعى هذه الطريقة أحياناً بالطريقة الوزنية وتستعمل بشكل واسع لقياس معدلات التآكل العام والتآكل بالتعرية وأنواع أخرى من التآكل حيث تساعد فى فهم تأثير هذه الأنواع من التآكل وتضمنت هذه الطريقة إعداد النماذج بشكل مكعبات منتظمة كما تم ذكرها فى موضوع تحضير العينات وبعدها تم وزن النماذج بأستخدام الميزان الحساس وحساب الوزن الأصيل لها وكذلك تم حساب المساحة السطحية المعرضة للوسط الأكال وتم غمر النماذج فى الوسط الأكال وبعد أنتهاء فترة الغمر المحددة لعملية التآكل أخرجت العينات من المحلول (الوسط الأكال) ونظفت من نواتج

التآكل والمحلول ومن ثم تم الغسل بالماء المقطر وكذلك تم تجفيفها وبعدها تم وزن النماذج مرة ثانية ووجد مقدار الفرق في الوزن كالاتي:
التغير في الوزن = الوزن الأصلي - الوزن الناتج
وتم حساب معدل التآكل على وفق القانون التالي [1,2,3,4]:

$$\text{معدل التآكل} = \frac{\text{التغير في الوزن}}{\text{المساحة المعرضة للتوسط الأكل} \times \text{الزمن}}$$

وفي هذه الطريقة من الممكن استخدام وحدات مختلفة أما وحدات (غرام / متر² . يوم) وعادة يرمز لها بـ (gmd) أو استخدام وحدات (ملي غرام / دسم² . يوم) وكذلك يرمز لها بـ (mdd) وفي بحثنا هذا سوف يتم استخدام وحدات الـ (gmd) المشار لها آنفاً لأنها تكون كافية للتعبير عن التغير الحاصل في الوزن نتيجة لعمليات التآكل.
التآكل العام (الوسط ساكن):
في هذا النوع من التآكل يكون الوسط ساكناً ، حيث تغمر العينات في الوسط الأكل (ماء البحر) لمدة 2 ساعة بعد تسجيل وزن العينات الأولي وبعدها أجري حساب فرق الوزن الحاصل بعد كل 10 دقائق.

التآكل بوجود الاهتزاز (الوسط مهتز):

وهنا أجريت عمليات التآكل في وسط مهتز (نفس الوسط المستخدم آنفاً) حيث أن جهاز التآكل بوجود الاهتزاز المستخدم مصنع محلياً وبحسب المواصفة الأمريكية المعدلة (ASTM G32) والجهاز المستخدم موضح في الشكل (4). حيث وضعت العينات في الحاويات الخاصة بجهاز التآكل بوجود الاهتزاز و أجري اختبار التآكل بوجود الاهتزاز والذي تكون فيه العينات ثابتة بالنسبة للوسط الأكل حيث كانت العينات مثبتة بواسطة ماسك مقاوم للتآكل وحامل يجعلها متدلية في داخل الحاويات المحتوية على وسط التآكل وكانت الفترة الكلية لكل اختبار هي 2 ساعة، وبعد تسجيل وزن العينات الأولي يتم تسجيل فرق الوزن الحاصل بعد كل 10 دقائق من 2 ساعة وهي زمن الاختبار الكلي.

وصف الجهاز المولد للاهتزازات:

منظومة الاهتزاز تتكون من محرك كهربائي مزود بكتلة أو قرص غير متزن لغرض تكوين الاهتزازات وجهاز متحكم بالسرعة لهذا المحرك ، ويمكن عن طريق متحكم السرعة ان غير السرعة الدورانية (R.P.M) وبالتالي غير التردد ω لهذه المنظومة و وفق المعادلتين [14,15]:

$$\omega = \frac{N}{60} \text{ (RPS)} \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \text{ (rad/sec)} \quad (3)$$

وتمت معايرة جهاز التحكم بالسرعة باستخدام جهاز سترويسكوب والذي يعطي السرعة الدورانية الحقيقية للمحرك، فعند مشاهدة القرص اثناء الدوران متوقف وفيه ثقب واحد فان الجهاز

الستروبسكوب يعطي القيمة الحقيقية للسرعة الدورانية. و أستخدم جهاز متحسس الاهتزاز (vibration meter) لغرض ايجاد سعة الاهتزاز حيث يقوم بقياس تعجيل الاهتزاز

وسرته وبالتالي حساب سعة الاهتزاز وذلك عن طريق متحسس للاهتزاز يتم تثبيته بصورة عمودية على سقف الجهاز وعلى ذراع تثبيت عينة الاختبار بالذات، أي مواز لاتجاه حركة الاهتزاز بواسطة مغناطوط مع المتحسس . والذي تم معايرته بأستخدام جهاز معايرة (Accelerometer Calibrator) نوع (B & K 429) حيث زود بتعجيل مقداره (10m/s^2) وبتردد مقداره (79.6 Hz) حيث وجد مقدار الاشارة المنقولة الى (Vibration meter) بمقدار (10m/s^2) وكما في الشكل المصور (6) . ان المتحسس يقوم بكشف التغيرات الفيزيائية ويقوم بتحويلها الى اشارة كهربائية وبالتالي تقاس هذه الاشارة وتسجل، وهذا الجهاز معاير للعمل اما على معدل الجذر التربيعي (RMS) او من قمة الى قمة (peak to peak) ويصل اعلى قيمة للسرعة ومقدارها (200mm/s) وللتعجيل (200 m/s^2) . وكما في الشكل المصور (6) . لايجاد سعة الاهتزاز d وسرعة الاهتزاز v نطبق هذه المعادلات [14,15]:

$$d = \frac{acc}{(2 * \pi * f)^2 * \sqrt{2}} \quad (4)$$

$$v = f * acc. \quad (5)$$

يتم ربط المنظومة وكما في الشكل (4) حيث يتم اجراء التجارب: علماً بأن الجهاز المستخدم لدراسة تأثير الاهتزاز الميكانيكي مصنع محليا" وبحسب المواصفة الأمريكية المعدلة (ASTM G32). تم اتباع اجراءات اساسية في التجارب المختبرية وتدوين النتائج لأعتمادها في تحليل تأثير الاهتزاز في تآكل السبائك (X20,X60).

- 1- تثبيت ثلاث قطع من السبيكة (X20) في جفناات مليئة بالمحلول الأكال والخاصة بجهاز الاختبار بعد ان تم وزنها بواسطة ميزان حساس نوع (Denver) ذو دقة (0.0001gm) .
- 2- غمر ثلاثة عينات لنفس السبيكة (X20) في المحلول الاكال (ماء البحر $3.5\% \text{ NaCl}$) وهو ساكن أي سرعة الاهتزاز $(v = 0)$ ولمدة 2 ساعة .
- 3- اخراج القطع المثبتة وقياس وزنها بواسطة الميزان الحساس وتسجيل فرق الوزن عند كل 10 دقائق ولمدة زمنية مقدارها 2 ساعة.
- 4- إعادة الخطوة من 1-3 مع تغيير قيمة التردد $(25,20,15,10,5\text{ Hz})$ على التوالي .
- 5- عند كل قيمة للتردد يتم اخذ قراءة لسعة الاهتزاز و تسجيلها لحساب سرعة الاهتزاز.
- 6- يتم تغيير نوع المعدن من X20 الى X60 وأعادة الخطوات السابقة و تسجيل البيانات لرسم العلاقات
- 7- البيانية المتداخلة بين مقدار التردد و معدلات التآكل وأزمانها ، وسرعة الاهتزاز ومعدل التآكل عند زمن ثابت .

النتائج والمناقشة:

1 - تأثير التردد الزاوي و سعة الاهتزاز على معدل التآكل :

يوضح الشكل (7) تأثير الترددات القسرية في سعة الاهتزاز للمنظومة . حيث يتضح ان سعة الاهتزاز تزداد بزيادة التردد الزاوي للمنظومة حيث تصل السعة الى (0.0013m) عندما يكون مقدار التردد الزاوي (94.2rad/s) والذي يكون قريب الى التردد الطبيعي للمنظومة، لأن عند

الأقتراب من التردد الطبيعي تبدأ سعة الاهتزاز بالزيادة الى أن تصل الى أعلى قيمة لها وبعدها تبدأ قيمة سعة الاهتزاز بالنقصان مع زيادة التردد الزاوي وهذا ما تم أستخراجه عمليا". وبما إن سرعة

الاهتزاز هي نتيجة حاصل ضرب سعة الاهتزاز بتردده لذلك فأن للتردد وسعة الاهتزاز علاقة فيما بينها وكلاهما له تأثير على معدلات تآكل السبيكتين لأن بزيادة سرعة الاهتزاز (حاصل ضرب سعة الاهتزاز بتردده) ستزداد معدلات التآكل ولكلا السبيكتين مع مرور الزمن وهذا ما وضحته النتائج المبينة بالشكل (8) . ولكن يبقى أيضا" معدل التآكل في السبيكة X60 أكبر من معدل تآكل السبيكة X20 وهذا يعود للخواص الميتالورجية للسبيكتين مثل عناصر السبك المضافة والصلادة الأولية لكلا السبيكتين والتي تتأثر أيضا" بعناصر التسيبك المضافة، وجدول (3) يؤكد ذلك.

2- تأثير زيادة الاهتزازات على معدل التآكل:

يوضح الشكل (9,10) ان زيادة الترددات تؤدي الى زيادة معدل التآكل في كلا السبيكتين X20,X60 والسبب يعود الى ان التفاعل الكهروكيميائي هو نفسه في كلا الحالتين بوجود أو عدم وجود الاهتزاز ولكن الدور الميكانيكي للاهتزاز الموجود سيولد فعالية ميكانيكية وهي الأرتطام (Impingement) بين السائل أو المحلول الأكال المضطرب والعينات المهتزة المعرضة للوسط الأكال مما يعجل من معدل التآكل ، و لا يخفى بأن لصلادة السبيكة ، بسبب عناصر السبك المضافة، دور مهم في مقاومة هذا الأرتطام وهو ماتم ملاحظته في معدل التآكل بوجود الاهتزاز عند المقارنة بين السبيكتين X60,X20 ، حيث تكون الأولى أكثر صلادة من الثانية أي X20 أصلد من X60 ، فنتجت عن هذه المؤثرات فرق في معدل التآكل عند المقارنة ، حيث كان معدل التآكل العام لسبيكة X20 هو (0.00073 gmd) وهو أقل بكثير من معدل التآكل العام لسبيكة X60 و البالغ (0.00196 gmd) .

3- تأثير عناصر السبك على معدل التآكل:

عند التردد ($f=0\text{Hz}$) سرعة الاهتزاز ($v=0$) (أي الوسط ساكن) وسيكون التآكل تاكلًا عامًا لكلا السبيكتين (X20,X60) ولكن هنالك عامل الصلادة والتركيب الكيميائي المختلف لكلا السبيكتين وهذا ما سيجعل معدل تآكل سبيكة (X60) أكبر بكثير من سبيكة (X20) بفضل عناصر السبك المحسنة لخواص سبيكة (X20). ويتم معرفة ذلك عن طريق قياس فرق الوزن لكلا السبيكتين وبالفترة الزمنية المذكورة سابقا". حيث كانت قيمة معدل التآكل للفولاذ (X60) هي ما يقارب (0.00195 gmd) ولل فولاذ (X20) (0.00073 gmd).

عند التردد ($f=5,10,15,20,25\text{Hz}$) سيكون هنالك تآكل مصحوب بالاهتزاز وهذا سوف يؤدي الى زيادة معدل التآكل بزيادة التردد في كلا السبيكتين X20,X60 مقارنة مع الحالة الاولى (بدون وجود الاهتزاز) وكما ذكر في اعلاه. ولكن بمعدلات متفاوتة فعند التردد 15,20,25Hz لوحظ ارتفاع في معدل التآكل اكثر بكثير عن الحالات السابقة، حيث بزيادة الاهتزاز سيزداد الأرتطام (التأثير الميكانيكي) مما يزيد من عملية جرف نواتج التآكل المتولدة على السطح لكلا السبيكتين ، ولكن بمقادير مختلفة لكلا المعدنين ، لأن السبيكة X20 ستولد نواتج تآكل أقل من السبيكة X60 والتي ستجرف أثناء الأرتطام للسوائل الأكال أثناء الاهتزاز تاركة" سطحا" مهيبا" و مستعدا" لأستمرار التآكل مرة أخرى ، وبالتلامس المباشر بين المحلول الأكال و سطح المعدن ، وهذا ينطبق على كلا السبيكتين ولكن بشكل أسرع مع السبيكة X60 لأنها لا تحتوي على عناصر سبيكة محسنة

للخواص الميكانيكية (الصلادة) والكيميائية أو الكهروكيميائية (مقاومة التآكل) لاحظ الأشكال (11-16) والتي تبين دور عناصر السبك على معدل التآكل تحت ترددات اهتزازية مختلفة .

4- تأثير التآكل بوجود الاهتزاز على البنية المجهرية:

من خلال البنية المجهرية لكلا السبيكتين تبين بأن التآكل يكون عاما" عندما يكون الوسط الأكل ساكنا"، أي عندما التردد يكون ($f=0\text{Hz}$)؛ بالمقارنة مع التآكل بوجود الاهتزاز حيث يكون التآكل على شكل تجاويف (Cavities) عميقة وداكنة وتزداد عمقا" بزيادة مقدار التردد و لكلا السبيكتين، ولكل أوجه أو أسطح العينة كما لوحظ في الفحص المجهرى لجميع الأسطح التي تعرضت لحالة الارتطام بالوسط الأكل المهتز، ولكن التجاويف في سبيكة X60 تكون أكثر عمقا" مما عليه في سبيكة X20. أي إن الحركة الاهتزازية للعينات تولد اضطرابا" بالمحلول الأكل مما تولد تكسر و انهيار ثم جرف لنواتج التآكل المتكونة على سطوح العينة ولكلا السبيكتين ، ولكن في X60 يكون أشد، ومن خلال منطقة الأنهيال يدخل المحلول الأكل الى السطح الجديد النظيف وهكذا تستمر العملية لتولد تجاويف أو فجوات عميقة (Cavities) وتزداد عمقا" بزيادة مقدار تردد الاهتزاز مما يزيد من معدل التآكل بمرور الزمن . بصورة عامة التآكل في الوسط الساكن سيولد تآكل عام والتآكل في وسط مهتز سيولد تآكل موضعي على شكل تجاويف أو فجوات غير محددة الأشكال وعميقة الأشكال (17, 18, 19, 20) .

العلاقات التجريبية المستنبطة :

لقد تم التوصل في هذا البحث الى وضع علاقة تجريبية تعبر عن معدل التآكل مع الزمن مع التردد . وان العلاقات قد استنتجت لوصف البيانات العملية لهذا البحث ، فقد تم استعمال برنامج (DGA - V1) لاستخراج المعادلات ولكل حالة من حالات البحث علما ان نسبة الخطأ لهذه المعادلات هي (1-3 %). المعادلة العامة هي كما يلي :

حيث (n , m , C) ثوابت، وهذا ويمكن وضع المعادلات للسبيكتين X20, X60 في الجدول (4) حيث يبين قيم ثوابت المعادلات الخاصة بالاختبار:

$$C.R = C * T^m * f^n \quad (6)$$

الاستنتاجات :

1. معدل التآكل يتناسب طرديا" مع سرعة الاهتزاز ، فزيادة سرعة الاهتزاز يزداد اضطراب المحلول الأكل الملامس لسطح العينة المتأكلة .

$$C.R = C * T^m * f^n$$

2. معدل التآكل يتأثر بشكل كبير بالتردد والزمن وحسب المعادلة العامة والتي تعتمد على ثوابت متعلقة بنوع السبيكة وحالة الوسط ساكن أو مهتز، و بنسبة خطأ (1-3%).

3. تلعب عناصر السبك دور أساسي في الخواص السطحية للسبائك ، كالصلادة ومقاومة التآكل ، فمعدل تآكل سبيكة X60 أكبر من معدل تآكل سبيكة X20 والسبب يعود لعناصر السبك المضافة لسبيكة X20 التي تزيد من صلادة السبيكة ككل وترفع مقاومتها للتآكل بالمقارنة مع السبيكة X60 تحت نفس الظروف من السرعات الاهتزازية المختلفة وفي محلول ماء البحر (3.5% NaCl) ولفترة اختبار مقدارها 2 ساعة.

4. الحركة الأهتزازية للعينات تولد اضطراباً بالمحلول الأكال مما تولد تكسر و أنهيار ثم جرف لنواتج التآكل المتكونة على سطوح العينة ولكلا السبيكتين ، ولكن في X60 يكون أشد، ومن خلال

منطقة الأنهييار يدخل المحلول الأكال الى السطح الجديد النظيف وهكذا تستمر العملية لتولد تجاويف أو فجوات عميقة (Cavities) وتزداد عمقا" بزيادة سرعة الأهتزاز .
5. نواتج التآكل المتولدة على السبيكة X20 تكون شديدة الالتصاق مقارنة" بالسبيكة X60 بسبب التركيب الكيميائي كما ذكرنا سابقا"؛ حيث أن نواتج التآكل الملتصقة تقلل من معدل التآكل لأنها تعيق عملية الأنتشار والتبادل الأيوني و الأليكتروني بين المحلول الأكال و سطح العينة المتآكلة ، أي أن نواتج التآكل ستولد طبقة خاملة بعض الشيء (Passive Film) وهي ضعيفة ولها قابلية التصاق بسطح المعدن متفاوتة و لكلا السبيكتين ، وبأية حال فإن هذه الطبقة العائقة ستتهار وخصوصا" عند أهتزاز العينة واضطراب المحلول الأكال ؛ ويكون الأنهييار أسرع في سبيكة X60.

6. من خلال البنية المجهرية لكلا السبيكتين تبين بأن التآكل يكون عاما" عندما يكون الوسط الأكال ساكنا" ، أي عندما التردد يكون ($f=0\text{Hz}$) ؛ بالمقارنة مع التآكل بوجود الأهتزاز حيث يكون التآكل على شكل تجاويف (Cavities) عميقة وداكنة وتزداد عمقا" بزيادة مقدار التردد في كلا السبيكتين .

7. ولهذا فيجب استخدام سبيكة X20 بدلا" عن سبيكة X60 في الأماكن الحاوية على محلول ماء البحر وبنسبة 3.5% NaCl وبوجود الأهتزاز لأن هذه الظروف ستولد أنهيار مفاجيء لكلا السبيكتين ، ويجب تجنب حالات الأهتزاز أصلا" في المنشآت التي تتوفر فيها ظروف التآكل .

المصادر والمراجع

- [1] د. سامي أبراهيم جعفر الربيعي، "الأسس والمبادئ الهندسية للتآكل"، الجزء الأول ، الجامعة التكنولوجية ، (2010) .
- [2] د. قحطان خلف الخزرجي & د. عبد الجواد محمد شـريف "التآكل أسبابه _ حدوثه _ طرق الحماية منه" ، الطبعة الأولى، دار دجلة ، المملكة الأردنية الهاشمية ، (2010) .
- [3] د. حسين باقر رحمة الله ، " هندسة التآكل وحماية سطوح المعادن" ، الجامعة التكنولوجية ، (1990) .
- [4] Fontana and Green, "Corrosion Engineering", McGraw-Hill book Co., third edition, (1981).
- [5] Shrier L.L. , "Corrosion Metal / Environment reactions " , Volume 1 , printed and bound in Great Britain , Butterworth Hejne Mann , Third edition , (1994) , Reprinted (2000) .
- [6] Kenneth R. & John chamberlain " Corrosion for Science & Engineering " Addison Wesley London, LONGMAN Group Limited, first and second edition, (1988-1995) , Reprinted (1996) .
- [7] Denny A. Jones. " Principles and Prevention of Corrosion " Macmillan . Publishing Co. Maxwell Macmillan Canada & Maxwell international Publishing Group , (1992) .
- [8] Annual Book of ASTM Standards , Vol.03.02 , Designation G32, (2010) .
- [9] Tao XU, Huawei GAO , Jianhua LIU and Cuiyan YU, "Effect of ultrasonic vibration on the dechromisation corrosion of a CuCr alloy in HCl solution " , Thesis, Yanshan University, (2007) .

- [10] Lucjan Witek, "Experimental crack propagation and failure analysis of the first stage compressor blade subjected to vibration", Department of Aircraft and Aero Engines, Rzeszo w University of Technology, Poland, (2009).
- [11] Qasim J.M. Slaiman, Basim O. Hasan, Ethar M. Jassar, "Simulation of iron corrosion in aerated acids solution", The 2nd Regional .Conf. for Eng.Sci./College of Eng./Al-Nahrain University/1-2/12/2010.
- [12] Qasim J.M. Slaiman, Basim O. Hasan, Hader M. Turki, "Performance of some corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid", The 2nd Regional .Conf. for Eng.Sci./College of Eng./Al-Nahrain University/1-2/12/2010.
- [13] S.H. Dehghan Manshadi, Mahmoud R. Maheri, "The Effects of Long-Term Corrosion on The Dynamic Characteristics of Ground Based Cylindrical Liquid Storage Tanks", Thin-Walled Structures, Volume 48, Issue 12, Elsevier, December (2010).
- [14] Habib Ammari et al, "Vibration Testing for Detection Internal Corrosion", hal-00125820, Version 1-22 Jan (2007).
- [15] L.C.F. Blakman and R. Wall, "Vibration-Enhanced Corrosion of Metals", Chemical Research Division, British Railways Research Department, The Avenue, Muswel Hill London, N.10 Journal Home, Current Issue, Nature Publishing Group, 18 April (1964).
- [16] Cyril M Harris & Allan G. Piersl "Shock And Vibration" handbook, Fifth Edition. Columbia University, New York, (2002).
- [17] William T. Thomson, Marie Dillon Dahleh, "Theory of Vibration with Applications", Fifth Edition, Prentice hall, (1998).

جدول (1) التركيب الكيميائي للعيينة المدروسة X20.

Chemical composition%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	AL	Cu	Ti	V	W	B	Fe
Analytical	0.247	0.368	0.725	0.01	0.039	0.94	0.394	0.141	0.513	0.119	0.005	0.01	0.015	0.001	Rem

جدول (2) التركيب الكيميائي للعينة المدروسة X60.

X60Chemical composition %	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Fe
Analytical	0.191	1.95	0.014	0.015	0.015	0.003	0.008	0.003	0.028	Rem.

جدول (3) يوضح معدلات التآكل عند سرع الاهتزاز المختلفة .

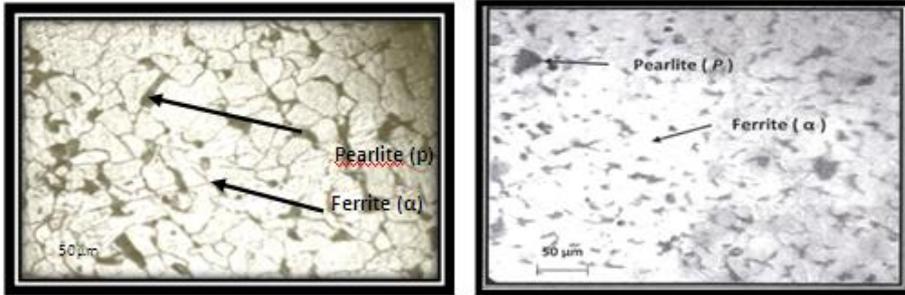
نوع المعدن	$v = 0.00$	$v = 0.00475$	$v = 0.01$	$v = 0.015$	$v = 0.0204$	$v = 0.022$
X60	0.00196 gmd	0.00246 gmd	0.0032 gmd	0.0036 gmd	0.004 gmd	0.00483 gmd
X20	0.00073 gmd	0.00097 gmd	0.00143 gmd	0.00155 gmd	0.002 gmd	0.00287 gmd

جدول (4) يبين قيم الثوابت للمعادلات الخاصة بالاختبار.

نوع السبيكة	نوع الاهتزاز	C	M	N
X60	عدم وجود الاهتزاز	8.53579E-08	1.128120	0
	وجود الاهتزاز	4.07578E-07	0.934657	0.291161
X20	عدم وجود الاهتزاز	6.58216E-08	1.045745	0
	وجود الاهتزاز	8.25389E-08	0.946341	0.561621



شكل (1) العينات التي تم تقطيعها.



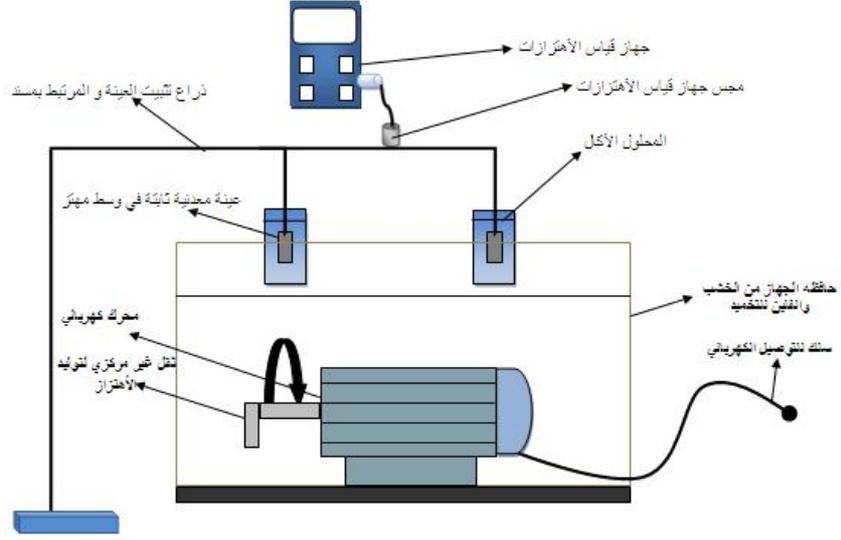
(b)X20

(a)X60

شكل (2) البنية المجهرية للعينات (a X60) و (b X20) قبل إجراء عمليات التآكل.



شكل (3) جهاز تحليل المعادن (SPECTROMETER) . فحص الصلادة :



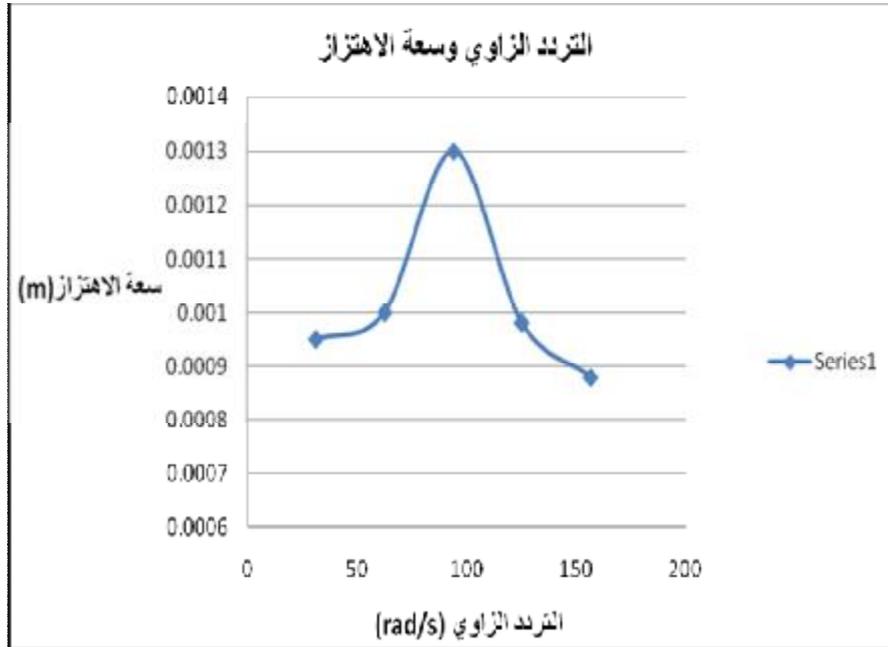
شكل (4) جهاز التآكل بوجود الاهتزاز.



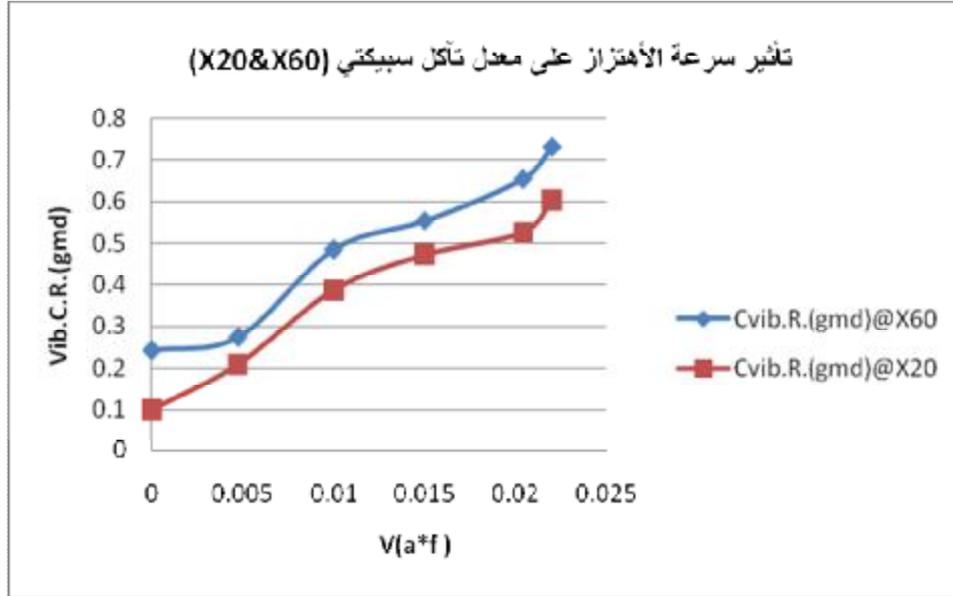
شكل (5) يوضح منظومة الاهتزاز ومقياس الاهتزاز.



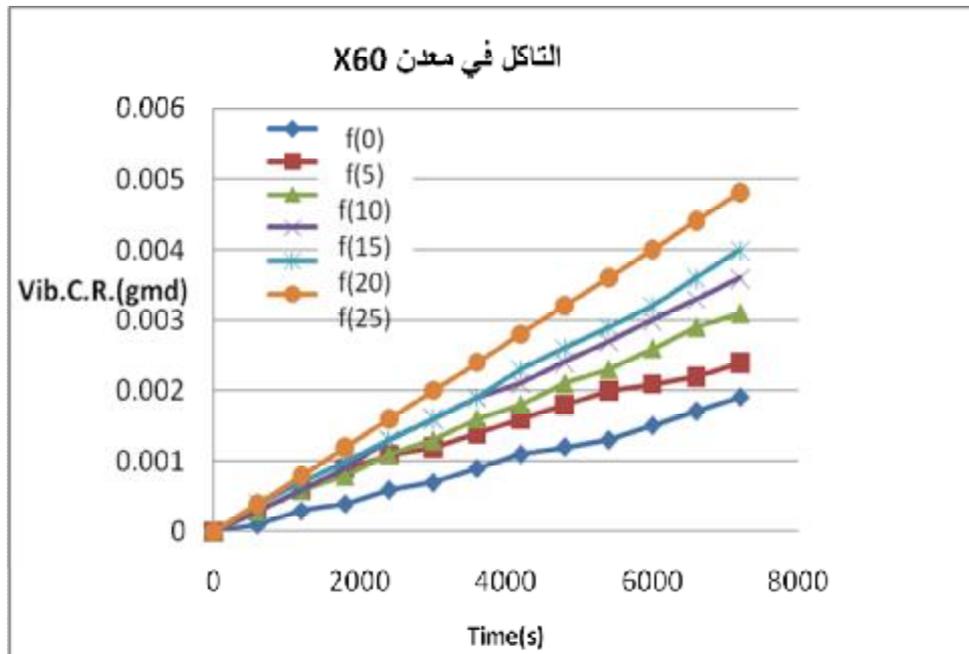
شكل (6) يوضح منظومة الاختبار.



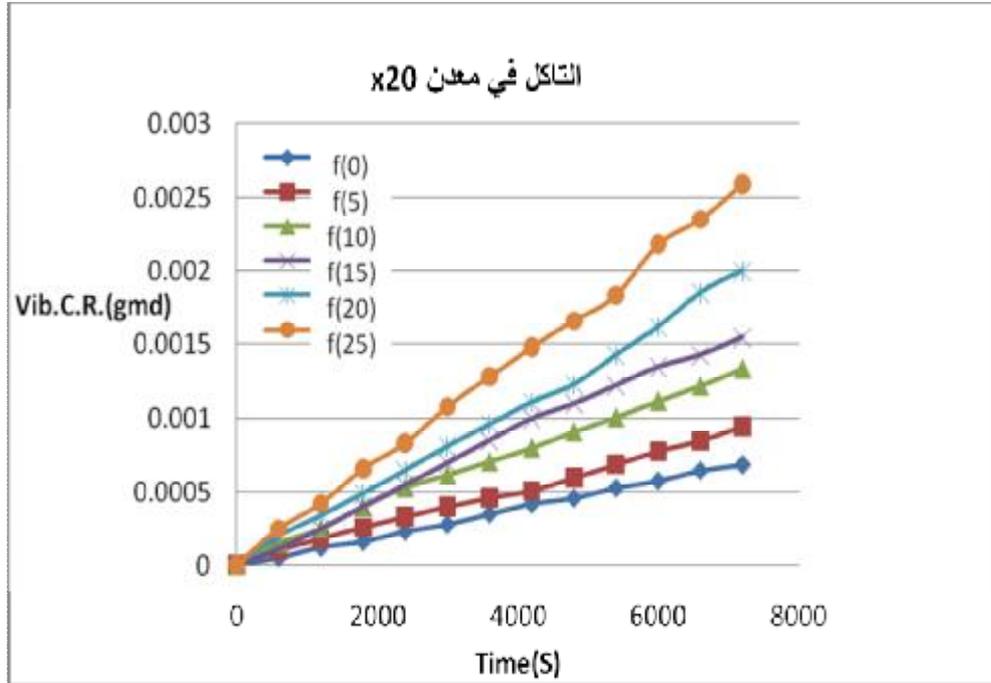
شكل (7) يوضح تأثير التردد الزاوي على سعة الاهتزاز.



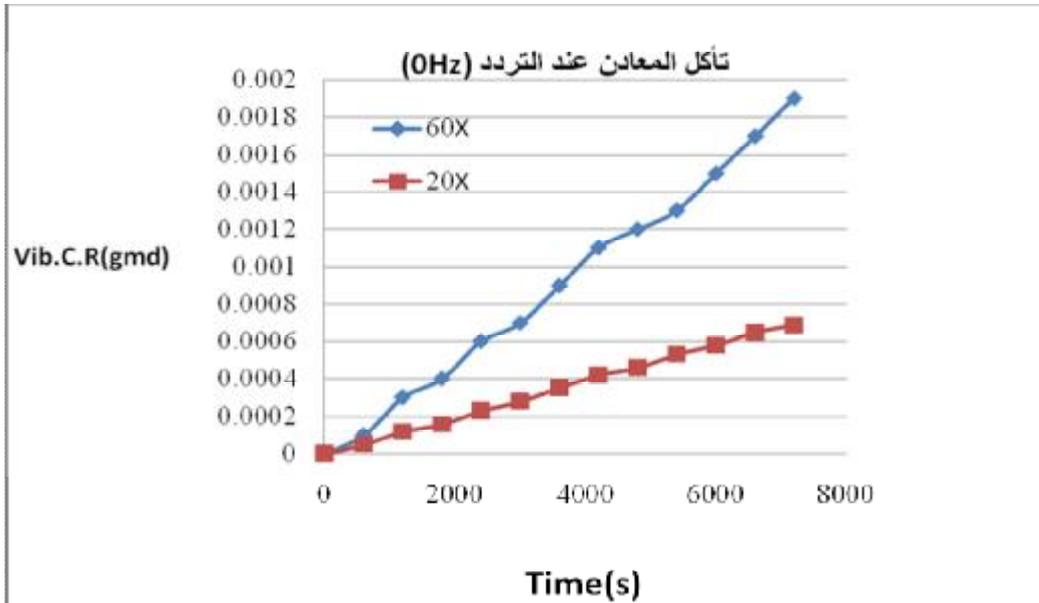
شكل (8) يوضح العلاقة بين سرعة الاهتزاز ومعدل التآكل في الوسط الأكال (ماء البحر) المهتز ولفترة اختبار 2 ساعة وفي الظروف القياسية.



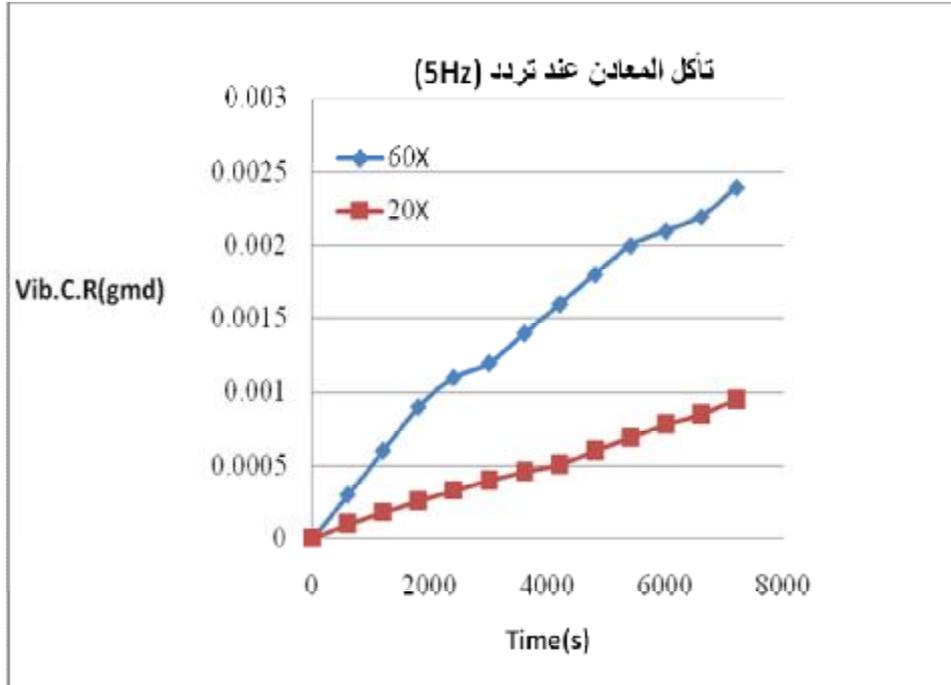
شكل (9) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تآكل المعدن X60 .



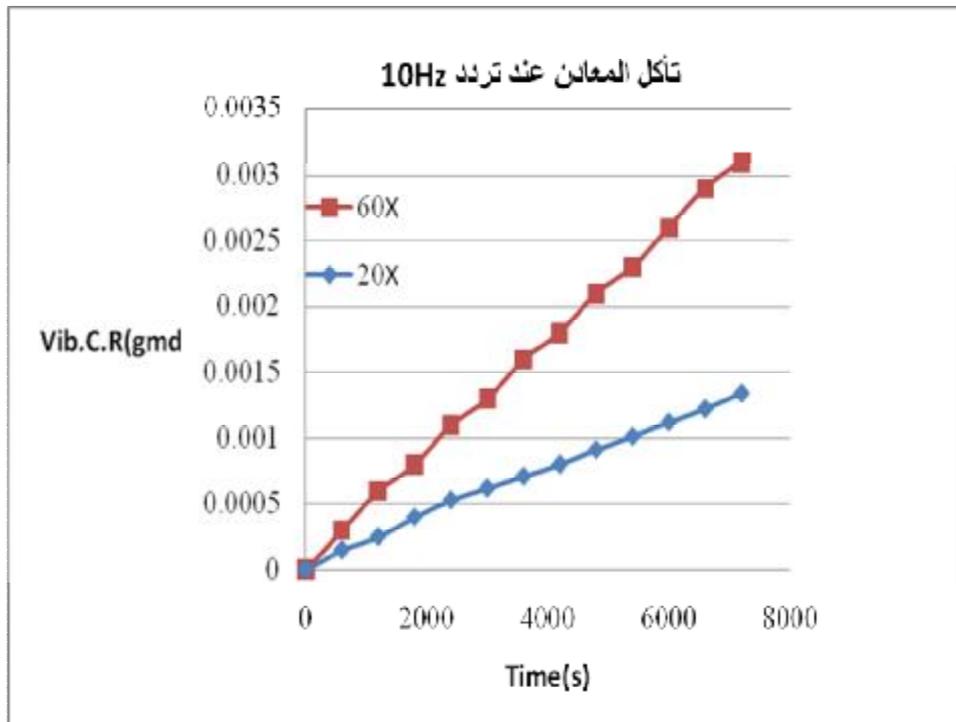
شكل (10) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تآكل المعدن X20 .



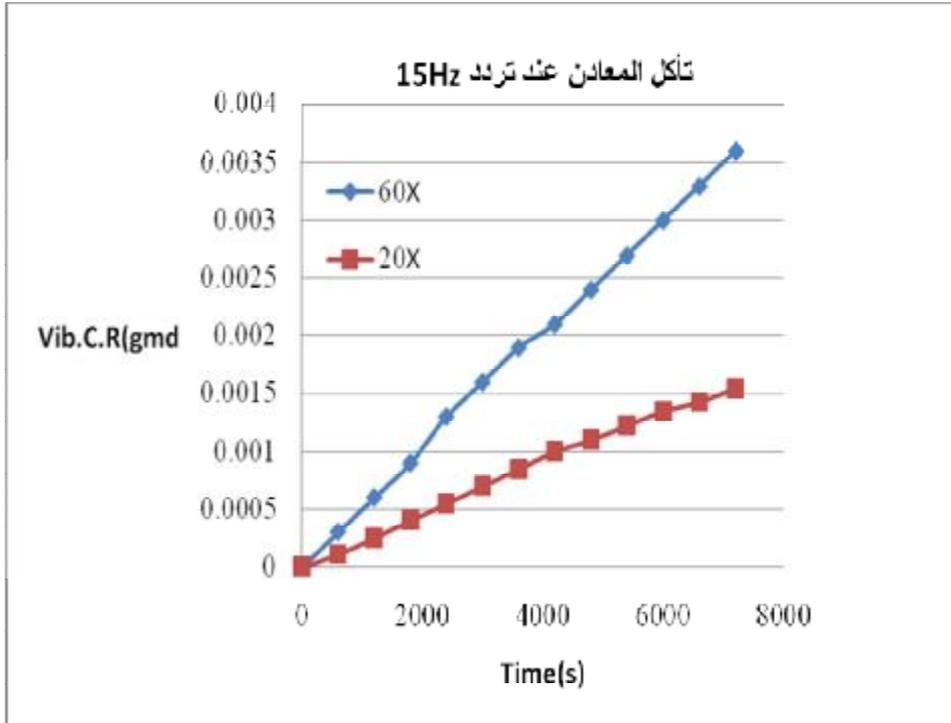
شكل (11) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تآكل X20, X60 عند (0Hz) .



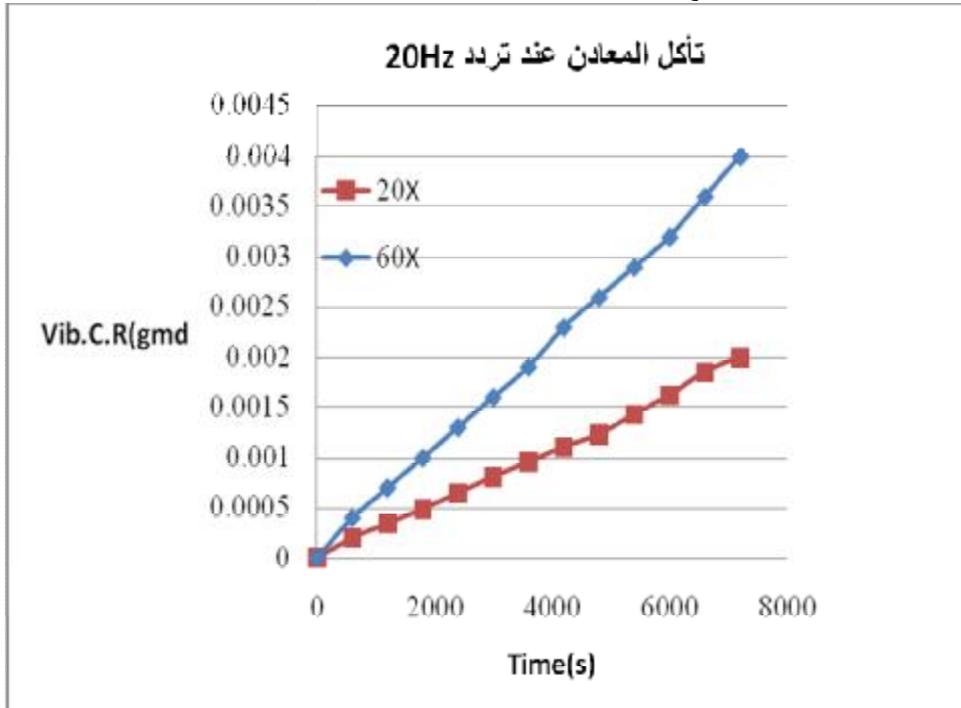
شكل (12) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تآكل X20, X60 عند (5Hz).



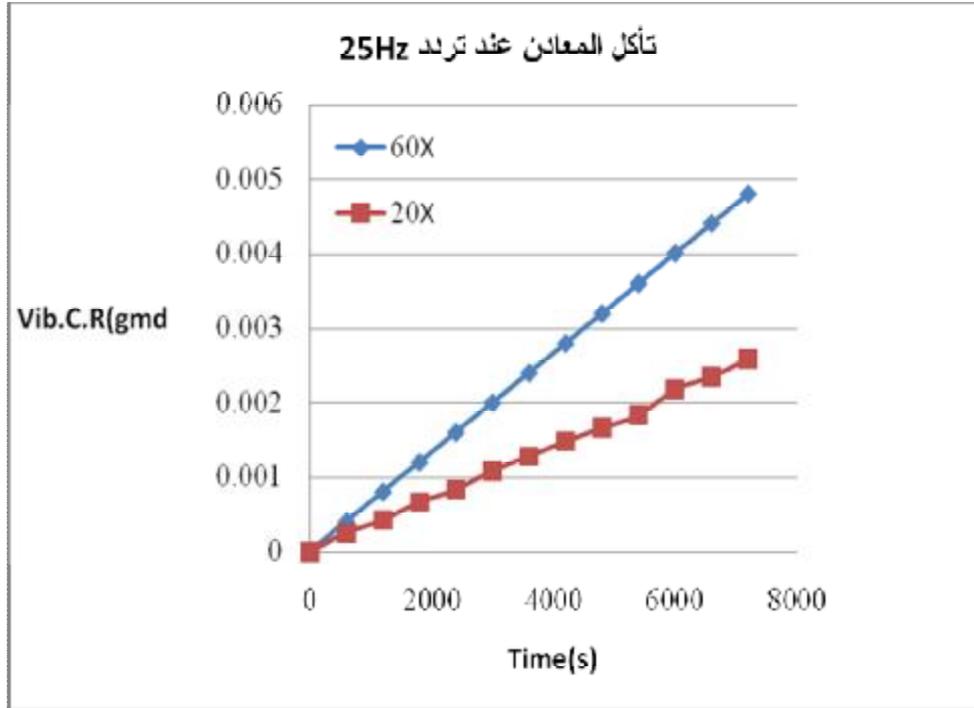
شكل (13) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تآكل X20, X60 عند (10Hz).



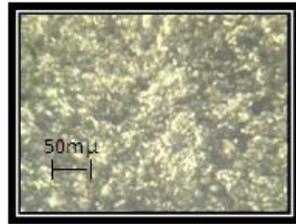
شكل (14) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تاكل X20,X60 عند (15Hz).



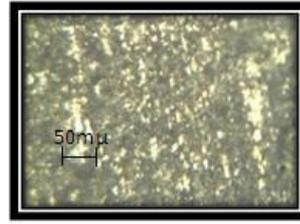
شكل (15) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تاكل X20,X60 عند (20 Hz).



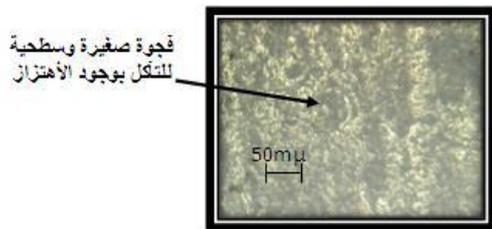
شكل (16) يوضح تأثير الاهتزازات على معدل تآكل X20, X60 عند (25Hz) .



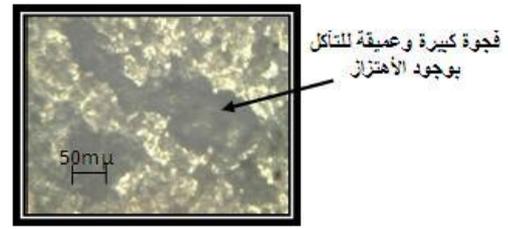
شكل (19) لتآكل العمام لسبيكة X20.



شكل (17) لتآكل العمام لسبيكة X60 .



شكل (20) لتآكل بوجود الاهتزاز لسبيكة X20.



شكل (18) لتآكل بوجود الاهتزاز لسبيكة X60 .