

Study Corrosion Resistance & Wear Sliding in alloy (Al-Fe-V-Si) and (Al-Fe-V-Si-Zr) In Different Medium.

دراسة مقاومة التآكل والبلى الانزلاقي في السبائك
(Al-Fe-V-Si) و (Al-Fe-V-Si-Zr) في أوساط مختلفة .

د. جميل حبيب غازي العماري زهير طالب خليف الطائي المهندسة خنساء سامي
التعليم المهني / تربية بابل جامعة بابل / كلية هندسة المواد جامعة بابل / كلية هندسة المواد

الخلاصة :

تضمن البحث الحالي دراسة السلوك التآكلي والبلى الانزلاقي للسبائك (المنيوم – حديد) هي (Al-Fe-V-Si) والسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr). وذلك باستخدام عدة اختبارات (استخدام طريقة الغمر في محاليل مختلفة، دراسة تأثير درجة الحرارة في السلوك التآكلي، اختبار البلى الانزلاقي، دراسة طبيعة السطوح الناتجة بعد التآكل). أظهرت نتائج الغمر حصول تآكل للسبكتين في أوساط التآكل المستخدمة (الماء المقطر، الماء الاعتيادي، المحلول الملحي (3%wtNaCl)، المحلول ألحامضي (3% vol HCl)، المحلول القاعدي (3% vol NaOH)). أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) تفوق ملحوظ في مقاومة التآكل مقارنة مع السبيكة (Al-Fe-V-Si) في معظم الأوساط التآكلية المستخدمة ما عدا المحلول الملحي إذ تفوقت السبيكة (Al-Fe-V-Si) عن السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) لكن الفترات الأخيرة من الاختبار شهد تفوق السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr)، كما أظهرت النتائج إن الوسط القاعدي هو أكثر الأوساط قساوة للسبائك المستخدمة مقارنة مع الأوساط الأخرى المستخدمة. أظهرت نتائج تأثير درجة الحرارة على السلوك التآكلي للسبكتين زيادة واضحة في معدل التآكل مع زيادة درجة حرارة المحلول المستخدم ولكن بمعدلات اعتمدت على السبيكة المستخدمة وعلى نوع الوسط التآكلي المستخدم ففي الوسط المائي (الماء المقطر، ماء الحنفية الاعتيادي) ازداد معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si) بمقدار (2) و (1.6) مرة على التوالي عند زيادة درجة الحرارة للوسط من (40 C°) إلى (80 C°) في حين زاد معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بمقدار (4) و (5) مرة على التوالي عند زيادة نفس المعدل لدرجات الحرارة وفي نفس الأوساط، أما في الوسط الملحي فقد زاد معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si) بمقدار (1) مرة والسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) ازداد بمقدار (1.75) مرة، الوسط ألحامضي ازداد معدل التآكل بمقدار (1.2) مرة و (1.4) مرة للسبيكة (Al-Fe-V-Si) والسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) على التوالي في حين زاد معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si) بمقدار (1.5) مرة والسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بمقدار (1.67) عند زيادة درجة الحرارة للوسط ألحامضي والقاعدي من (40 C°) إلى (80 C°). أما نتائج اختبار البلى الانزلاقي فقد أظهرت السبكتان مقاومة للبلى الانزلاقي متقاربة لغاية الفترات الخمس الأولى من الاختبار ثم أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) مقاومة أكبر من السبيكة (Al-Fe-V-Si).

Abstract :

This study deals with the corrosion behavior and wear sliding of two alloys (Al-Fe-V-Si) and (Al-Fe-V-Si-Zr).

The corrosion tests were done by (immersion specimens in different solutions, to inustrate the effect of temperature on the corrosion behavior, sliding wear test, microscopic examination). The result of simple immersion test in different solutions (distill water, natural water, salt solution (3 % NaCl wt%), Acidic solution (3% HCl vol%) and (3% NaOH vol%) at room temperature showed different corrosion behavior for the used alloy under the same condition. The alloy (Al-Fe-V-Si-Zr) showed significant superiority in the corrosion resistance than alloy (Al-Fe-V-Si) in the all corrosion tests, except the testes in salt solution; which firstly showed that the alloy (Al-Fe-V-Si) superiority on the alloy (Al-Fe-V-Si-Zr); then the test showed superiority alloy (Al-Fe-V-Si-Zr). The result appears that the alkaline medium is more effect on the alloys than the other types of medium.

The results of effect of temperature on the corrosion behavior of the alloys showed that the rate of corrosion increasing with increase temperature of the solution but by rates depended on the alloy used and the type of solution ; in the water medium (distill water , natural water) , the corrosion rate of the alloy (Al-Fe-V-Si) was raised (2);(1.6) time respectively when increased the temperature of the medium from (40 C°) to (80 C°) ; the corrosion of (Al-Fe-V-Si-Zr) alloy is increased (4),(5) time respectively when the temperature was in creased in the same temperature and medium .

But in the salt medium the corrosion of the alloy (Al-Fe-V-Si) is increased (1) time and alloy (Al-Fe-V-Si-Zr) increased (1.75) time ; in the acid medium the corrosion increased (1.2) time and (1.4) time for (Al-Fe-V-Si) alloy and (Al-Fe-V-Si-Zr) alloy respectively ; also the corrosion of (Al-Fe-V-Si) alloy increased (1.5) time and (1.67) time of (Al-Fe-V-Si-Zr) alloy when the temperature of acid and alkaline medium increase from (40 C°) to (80 C°) .The result of sliding wear test showed significant superiority of alloy (Al-Fe-V-Si-Zr) on the alloy (Al-Fe-V-Si).

المقدمة :

أهم التغيرات التي تتأثر بشكل كبير بالبيئة المحيطة بالمعادن هي ظاهرة التآكل والتي استرعت انتباه الباحثين بشكل كبير ويعتبر الألمنيوم وسبائك من المعادن والسبائك الواسعة الاستخدام في التطبيقات المختلفة حيث يستخدم في التطبيقات الفضائية وصناعة السيارات والسفن والآلات والخزانات والمبادلات الحرارية والمفاعلات وغيرها وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لذلك^(1,2,3) . واحتلت سبائك (الألمنيوم- حديد) التي تنتمي للسلسلة (8000) مكانة متميزة في التطبيقات الفضائية والتي تتطلب مواد خفيفة الوزن عالية المقاومة ومقاومة للكلال والتآكل^(4,5,6) .

يهدف البحث الحالي إلى دراسة السلوك التآكلي لسببكتين هما (Al-Fe-V-Si) و (Al-Fe-V-Si- Zr) في أوساط مختلفة وكذلك دراسة تأثير درجة الحرارة في السلوك التآكلي ودراسة البلى الأنزلاقي من أجل تقييم أدائهما.

الجزء العملي :

تمت هذه الدراسة باستخدام نوعين من السبائك والمنتجة بطريقة السباكة والجدول رقم (1) يوضح التحليل الكيماوي وقيم الصلادة (HV) لهذه السبائك باستخدام جهاز قياس الصلادة من نوع (Micro hardness Tester HV 1000) والموجود في جامعة بابل / مختبرات هندسة المواد.

نفذت عملية صهر مكونات السبائك المستخدمة في البحث بفرن غازي وغلفت العناصر المضافة للمنصهر برقائق الألمنيوم قبل إضافتها إليه ضماناً لدخولها المنصهر وانغمارها قبل ملاستها للأوكسجين وتضمنت عملية الصهر والصب الخطوات التالية (التسخين الأولي للبودقة الخزفية بحدود (500) درجة مئوية لمدة (25) دقيقة , صهر قطع صغيرة من المعدن الأساس (الألمنيوم) وبنصف الكمية الوزنية المقررة , إضافة عنصر الحديد بشكل قطع صغيرة وتحريك المنصهر بواسطة قضيب خزفي ليذوب المنصهر ويتجانس , إضافة قطع عنصر الفناديوم للمنصهر المؤلف من الألمنيوم والحديد مع استمرار التحريك للمنصهر لضمان حصول التجانس وتكرار العملية نفسها للعناصر الأخرى السيلكون , الزركونيوم , تضاف القطع المتبقية من قطع الألمنيوم) , الوقت الكلي لعملية الصهر بحدود ساعة واحدة , تمت عملية الصب بصورة سريعة جداً في قالب معدني , وقد سخن مسبقاً لتلافي انجماد المنصهر المعدني بصورة سريعة عند ملاسته جدار القالب , الإخماد الفوري حال امتلاء القالب للمنصهر في مزيج ملحي مؤلف من الماء والتلج وملح (NaCl) ذي درجة حرارة (-5) مئوية ويتم ذلك من خلال رفع السدادة المطاطية (x) الحاوي على وسط التبريد والحوض (y) الذي فيه القالب وكما موضح في الشكل (1), تم معالجة السبائك بالمعاملة الحرارية في درجة حرارة (500) مئوية بزم من مكوث ثلاث ساعات وذلك للتخلص من الأطوار التكوينية المحتمل وجودها الشبه ذائبة والغنية بالشوائب المترسبة على الحدود البلورية.

ثم قطعت العينات إلى أقراص بقطر (14 mm) وسمك (4.5 mm) , ولغرض تعليق النماذج تم عمل ثقب فيها بقطر (1mm) هذه العينات استخدمت في اختبارات التآكل, أما اختبار البلى فتم تحضير العينات بقطر (10mm) وسمك (20 mm) . ولإجراء اختبارات التآكل والفحص المجهرى فقد أجريت عملية تهيئة العينات , وبدأت بعملية التنعيم باستخدام ورق تنعيم من كار بيد السيلكون ذي درجات نعومة (1000 , 2000 , 400 , 600 , 800 , 320 , 220) , أما عملية الصقل فأجريت باستخدام معجون الألومينا وبعد انتهاء كل مرحلة تنعيم أو صقل تغسل النماذج بالماء المقطر والكحول وتجفف بالهواء الساخن .

اختبارات التآكل :

من أجل دراسة السلوك التآكلي للسبيكتين تم إجراء اختبار التآكل للسبيكتين في أوساط تآكلية مختلفة باستخدام طريقة الغمر البسيط , وتتلخص هذه الطريقة بغمر عينة موزونة وذات مساحة معلومة من السبيكة في الوسط التآكلي لفترة معلومة من الزمن ثم وزنها بعد مضي هذه الفترة وذلك بعد رفعها من الوسط التآكلي وغسلها جيدا بالماء المقطر والكحول بقصد تجفيفها , يحسب الفرق في وزن المعدن قبل وبعد غمره في الوسط التآكلي ممثلا الكمية الذائبة نتيجة لعملية التآكل حيث تم إجراء هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة .

وتضمنت أوساط التآكل (الماء المقطر , الماء الاعتيادي , الوسط الملحي (3% Wt NaCl) , ألحامضي (3% Vol HCl) , الوسط القاعدي (3% Vol NaOH) تم تحديد قيمة (pH) لجميع المحاليل المستخدمة وذلك باستخدام جهاز (pH – Meter رقمي نوع (HI 8314 Portable PH / mv / C°) وان معدل القياس له يقع بين (0.00 – 14) روماني الصنع والجدول رقم (2) يوضح قيم (pH) للمحاليل المستخدمة .

تم قياس وزن العينات قبل إجراء اختبارات التآكل في الأوساط المختلفة بالاستعانة بميزان حساس (Sartorius) ألماني الصنع وبدقة (±0.0001g) , بعد ذلك جرت اختبارات التآكل في المحاليل المختلفة , حيث غمرت العينات في المحلول لفترات زمنية محددة تعتمد على نوع المحلول المستخدم , ثم جرى استخراج العينات من المحاليل وغسلت بالماء المقطر وجففت باستخدام المجفف الكهربائي , وتم حساب وزن العينات بعد عملية الغمر في المحاليل , ثم حساب التغير بالوزن لوحدة المساحة وتم اخذ عدة قراءات ثم جرى رسم العلاقة بين التغير في الوزن لوحدة المساحة مع زمن التعرض للمحاليل .

تأثير درجة الحرارة :

تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك التآكلي للسبيكتين وباستخدام الحمام المائي نوع (Jacob White ,Jw- England) . جرت اختبارات التآكل في المحاليل المختلفة المستخدمة في هذه الدراسة وفي درجات حرارة (40°C, 60°C, 80°C) , تم غمر العينات في المحلول لفترة زمنية مقدارها (60 min) ثم جرى استخراج العينات من المحاليل وغسلت بالماء المقطر وجففت باستخدام المجفف الكهربائي تم حساب وزن العينات بعد عملية الغمر في المحاليل في كل درجة حرارية مستخدمة , ثم حساب التغير بالوزن لوحدة المساحة وتم اخذ عدة قراءات ثم رسمت العلاقة بين التغير في الوزن لوحدة المساحة مع درجة الحرارة , بعدها تم الاستعانة بمخططات ارينيوس (Arrhenius Plots) لقياس سرعة التفاعل الكيميائي العام (سرعة التآكل) و لبيان تأثير درجة الحرارة في السلوك التآكلي للسبيكتين .

اختبار البلى الأنزلاقي :

تم إجراء اختبار البلى الأنزلاقي باستخدام الجهاز الموضح في الشكل (2) , ويتكون من الأجزاء التالية (محرك كهربائي ذو قدرة (0.09 KW) وسرعة (1370 rpm) , قرص فولاذي مربوط بالمحرك ويمثل سطح الاحتكاك , ماسك للعينة توضع عليه الإثقال المطلوبة) الحمل المسلط على العينة أثناء عملية الاحتكاك كان بحدود (155 g) والذي يمثل مجموع وزن العينة والماسك والإثقال الموضوعة فوق الماسك . إما السرعة الخطية للعينة نسبة إلى سطح الاحتكاك فقد حسبت كالآتي⁽⁷⁾ :

$$V = \omega * \frac{d}{2}$$

$$V = \left[\left(\frac{2\pi}{60} \right) * S \right] * \frac{d}{2}$$

$$V = \left[\left(\frac{\pi}{60} \right) * S \right] * d$$

$$V = \left(\left(\frac{\pi}{60} \right) * 1370 * 0.098 \right)$$

$$V = 7.03 \text{ m/min}$$

حيث إن: V = السرعة الخطية (m / min) , ω = السرعة الزاوية (rad / sec) .
d = قطر قرص الاحتكاك الفولاذي (0.098 m) , S = سرعة المحرك (rpm) .

تم إجراء اختبار البلى للسبيكتين (Al-Fe-V-Si , Al-Fe-V-Si-Zr) , إذ قيس الوزن الابتدائي بواسطة الميزان الحساس ثم قيست أبعاد العينة المقابلة للسطح الاحتكاكي , وحسبت المساحة ثبتت العينة في الماسك ووضعت بمكانها في الجهاز , ثم وضعت الأثقال وشغل الجهاز , وبعد فترات زمنية مختلفة أخرجت العينة , وقيس وزنها ثم أعيدت لإتمام الاختبار , ورسمت العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للبلى .

اختبار الفحص المجهرية :

اجري اختبار الفحص المجهرية لدراسة طبيعة سطح العينات المغمورة في المحاليل المستخدمة ولجميع الحالات التي كانت عليها السبيكة , وباستخدام المجهر الضوئي نوع (Union ME-3154) المجهز بكاميرا رقمية مرتبطة بالكمبيوتر أمكن من خلالها التقاط صور للسطح بقوة تكبير (600X) , بعد مشاهدتها على شاشة العرض الخاصة بالكمبيوتر.

النتائج والمناقشة :

اختبار التآكل في الوسط المائي :

الشكل (3) يوضح تأثير فترة التعرض للماء المقطر في السلوك التآكلي للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في حين الشكل (4) يوضح تأثير فترة التعرض للماء الاعتيادي في سلوك التآكل لهذه السبائك ويلاحظ من خلال الشكلين حصول تآكل للسبائك في هذه الأوساط , حيث تعد المياه بأنواعها المختلفة أكثر الأوساط التي تستخدم فيها المعادن وخاصة الأجزاء المستعملة في الصناعة , واستخدامات المياه الرئيسية في الصناعة تكمن في نقل الحرارة وإنتاج البخار والمياه وسط يستخدم في معظم الصناعات تقريباً.

وقد أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) تفوق ملحوظ في مقاومة التآكل عن السبيكة (Al-Fe-V-Si) في الوسط المائي , ويلاحظ من الشكل (3) حصول التآكل للسبائك في الماء المقطر وان مقدار الوزن المكتسب لم يكن منتظماً حيث يلاحظ حصول تذبذب في مقدار الوزن المكتسب وبصورة واضحة في السبيكة (Al-Fe-V-Si) , ويعود السبب في ذلك الى طبيعة نتائج التآكل والتي ستغطي سطح السبيكة بصورة غير منتظمة خلال فترة الاختبار وهذا ما لوحظ عند زيادة مقدار الوزن المكتسب بعد مرور احد عشر يوم من الاختبار⁽⁸⁾ , إن نسبة تفوق السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) في مقاومة التآكل عن السبيكة (Al-Fe-V-Si) بلغت (76%) , يلاحظ من خلال الشكل (4) حصول تآكل للسبائك المستخدمة وأبدت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) مقاومة اكبر للتآكل من السبيكة (Al-Fe-V-Si) , التآكل الحاصل في السبائك في الماء الاعتيادي من المتوقع حصوله ولو بمعدل بسيط لان المياه الاعتيادية ممكن اعتبارها وسط قاس للعديد من المعادن والسبائك ويعزى ذلك لوجود الغازات والأملاح المذابة إضافة إلى وجود المكونات الصلبة^(9,10).

طبيعة سطح العينة بعد مرور (240 hr.) من الغمر في الماء المقطر للسبيكة (Al-Fe-V-Si) موضحة في الشكل (5-a) في حين السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) موضحة سطحها في الشكل (5-b) ويلاحظ من خلال الشكلين تأثير الوسط المائي للتآكل في السبائك كذلك يلاحظ من خلال الشكلين إن المناطق المتآكلة تكون بصورة اكبر في السبيكة (Al-Fe-V-Si) وهي النقطة (B) الموضحة على الشكل (5-a) تغطي مساحة اكبر من المناطق (C) المتآكلة بصورة اكبر في الشكل (6-b) في حين تغطي المناطق المتآكلة بصورة اقل (A) في الشكل (5-a) مساحة اقل من (D) الموضحة في الشكل (6-b) , أما الشكل (6-a) فيوضح طبيعة السطح للعينة من السبيكة (Al-Fe-V-Si) بعد مرور (240 hr.) من الغمر في الماء الاعتيادي أما طبوغرافية السطح للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) فموضحة في الشكل (6-b) , ويلاحظ من الشكلين فرق واضح وشاسع في التأثير التآكلي للوسط المائي في السبائك وقد أبدت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) مقاومة اكبر للتآكل وهذا ما يلاحظ من خلال التأثيرات للوسط التآكلي على سطح العينة إن نسبة تفوق السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) في مقاومة التآكل عن السبيكة (Al-Fe-V-Si) بلغت (90%) .

المحلول الملحي :

الشكل (7) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي المحلول الملحي (3% wt) للسبيكة (Al-Fe-V-Si) والسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) , ويلاحظ من خلال الشكل إن السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) تأكلت بمعدل اقل من السبيكة (Al-Fe-V-Si) في الفترة الأولى للغمر ولغاية ثلاثة أيام بعد ذلك حصلت زيادة في معدل التآكل لهذه السبيكة مقارنة مع السبيكة (Al-Fe-V-Si) والتي تفوقت في معدل التآكل لغاية السبعة أيام الأولى لعملية الغمر بعد ذلك أخذت بالزيادة, على العكس تماماً تصرفت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) حيث كانت أعلى معدل تآكل لها في الأسبوع الأول للغمر ثم أخذت بعد ذلك بالتناقص في معدل التآكل حتى نهاية فترة الاختبار في حين السبيكة (Al-Fe-V-Si) ازداد معدل تآكلها عن السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) في نهاية الاختبار .

إن التناقص المستمر في الوزن يعزى إلى التآكل الحاصل بسبب وجود ايون الكلوريد كذلك فإن هذا التصرف يعود الى ترسب نواتج التآكل على سطح العينة وداخل التفتحات التي تنشأ على السطح⁽⁸⁾.

وهذا ما يلاحظ من خلال طبيعة السطح للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بعد الغمر في الوسط الملحي لمدة (240 hr) الموضحة في الشكل (8-b) ويلاحظ من خلاله الزيادة الواضحة في حجم وعدد التفتحات المتكونة على السطح (البقع السوداء) عن السبيكة (Al-Fe-V-Si) والموضحة في الشكل (8-a) وان حصول التآكل قد يعزى إلى تكسر موضعي لطبقة الاوكسيد لان ايونات الكلوريد لها القابلية على التغلغل وإلحاق التلف بهذه الطريقة على سطح المعدن وان زيادة قابلية التفتت في المحلول الملحي ناتجة من تحفيز الذوبان الانودي للألمنيوم وامتزاز الايونات المضادة للاستقطاب مثل (SO_4^{2-}, Cl^-) وهذا يتفق مع ما توصل إليه باحثون آخرون⁽¹¹⁾ , وتفوقت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) في مقاومة التآكل عن السبيكة (Al-Fe-V-Si) بنسبة (66%) .

المحلول الحامضي :

الشكل (9) يوضح تأثير فترة التعرض لمحلول (3 % Vol HCl) في التغير في الوزن للسبيكة (Al-Fe-V-Si, Al-Fe-V-Si-Zr) المستخدمة في هذه الدراسة , ويلاحظ من خلال الشكل فرق شاسع في السلوك التآكلي للسبكتين حيث أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) أكثر مقاومة للتآكل في الوسط الحامضي من السبيكة (Al-Fe-V-Si) والتي أظهرت زيادة كبيرة في مقدار الوزن المفقود حيث تعرضت إلى تآكل شديد وبصورة خاصة عند فترات الاختبار الثلاثة الأخيرة (270 , 300 , 330 دقيقة). حيث يلاحظ حصول زيادة في مقدار الوزن المفقود أكبر من فترات الاختبار الأخرى والسبب في ذلك يعود إلى حصول التآكل النقرى على سطح السبيكة وان وجود هذه النقر على سطح السبيكة سوف يجعل من حصول التآكل بشكل أكبر وهذا ما يلاحظ من خلال طبوغرافية السطح للسبيكة (Al-Fe-V-Si) بعد مرور (5.5 hr) الموضحة في الشكل (10-a) , أما الشكل (10-b) فيوضح طبيعة السطح للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بعد مرور (240 hr) حيث يظهر التآكل بشكل نقر موزعة على السطح المنطقة (D) الموضحة في الشكل (10-b) بالإضافة إلى حصول تآكل عام غير منتظم في أجزاء السطح بجانب حصول التقر , ان حصول التآكل يمكن أن يعزى إلى ان السبائك احتوت على أكثر من عنصر مما سبب تكون أطوار مثل ($Al_{13}(FeV)_3Si$) (Al_3Fe) في أرضية الألمنيوم هذه الأطوار وجودها ممكن ان يزيد من التآكل للسبيكة , أما تفوق السبيكة (B) فيعزى إلى ان وجود عنصر الزركونيوم عمل على تقليل التآكل حيث يعمل على تصغير الحجم الحبيبي لأرضية الألمنيوم ولمتشتاتها بالإضافة إلى ان الزركونيوم كون المركب (Al_3Zr) المتطابق مع الأرضية^(12,13,14) ان نسبة التحسن في مقاومة التآكل (Al-Fe-V-Si-Zr) بلغت (88%) مقارنة مع السبيكة (Al-Fe-V-Si).

المحلول القاعدي :

الشكل (11) يوضح تأثير فترة التعرض للمحلول القاعدي (3%Wt NaOH) في التغير في الوزن للسبيكة (Al-Fe-V-Si, Al-Fe-V-Si-Zr) المستخدمة في هذه الدراسة ويلاحظ من خلال الشكل حصول فقدان بالوزن مستمر مع زيادة الفترة الزمنية للتعرض إلى المحلول وهذه الزيادة تكون عالية مقارنة مع الأوساط الأخرى. أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) تفوق ملحوظ في مقاومة التآكل مقارنة مع السبيكة (Al-Fe-V-Si) التي أظهرت زيادة مستمرة وأعلى من السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) في مقدار الوزن المفقود . إن حصول التآكل سببه مهاجمة الوسط القاعدي للسبكتين مما أدى إلى حصول تآكل عالي جدا حيث كان الوسط القاعدي أكثر الأوساط قساوة حيث لوحظ مهاجمة هذا الوسط للسبكتين بصورة واضحة أثناء التجربة مقارنة مع الأوساط الأخرى , إن تفوق السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بسبب وجود الزركونيوم الذي يعمل على تصغير الحجم الحبيبي لأرضية بالإضافة إلى الآلية التي صنعت بها هذه السبائك والتي تضمنت الانجماد السريع التي لم تعطي للسبائك الوقت الكافي لتشكيل الأطوار الخشنة المسببة للتآكل^(15,6).

طبيعة السطح للسبيكة (Al-Fe-V-Si) بعد مرور (5.5 hr.) في الوسط القاعدي فموضحة في الشكل (12-a) في حين يوضح الشكل (12-b) طبيعة السطح للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بعد مرور (5.5 hr.) في الوسط القاعدي , ويلاحظ من خلال الإشكال المهاجمة العنيفة لهذا الوسط إلى هذه السبائك حيث تظهر بوضوح مناطق التآكل وهذه المناطق تكون أكثر وضوحا في السبيكة (Al-Fe-V-Si) من خلال المنطقة (B) الموضحة في الشكل (12-a) تكون أكبر من المنطقة (D) الموضحة في الشكل (12-b) كذلك فإن طبيعة السطح للسبكتين في هذا الوسط تدل بصورة واضحة قساوة الوسط القاعدي , إن نسبة التحسن في مقاومة التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بلغت (35%) مقارنة مع السبيكة (Al-Fe-V-Si) .

تأثير درجة الحرارة في السلوك التآكلي :

الشكل (13) والشكل (14) يوضحان تأثير درجة الحرارة في التغير في الوزن للسبائك (Al-Fe-V-Si, Al-Fe-V-Si-Zr) في الأوساط التآكلية (الماء المقطر , الماء الاعتيادي) على التوالي , يلاحظ من خلال الإشكال إن زيادة درجة الحرارة للوسط التآكلي المستخدم سببت في زيادة معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si, Al-Fe-V-Si-Zr) في الأوساط المائية المستخدمة حيث إن زيادة درجة الحرارة من (40 °C) إلى (80 °C) في حالة استخدام الماء المقطر كوسط تآكلي أدت إلى زيادة معدل التآكل بمقدار الضعف تقريبا في حين زاد معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بمقدار أربع مرات , وعند استخدام ماء الحنفية الاعتيادي فإن السبيكة (Al-Fe-V-Si) زاد معدل تأكلها بمقدار (1.6) , أما السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) فزاد بمقدار خمس مرات , وهذا ما يلاحظ أيضا من الإشكال (15) و (16) والتي توضح العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ومقلوب درجة الحرارة وهذا ما تنص عليه معادلة أرينيوس حيث إن معدل التآكل يزداد بزيادة درجة الحرارة .

الشكل (17) يوضح تأثير درجة الحرارة في التغير في الوزن للسبائك (Al-Fe-V-Si, Al-Fe-V-Si-Zr) عند استخدام الوسط الملحي (3%Wt NaCl) كوسط للتآكل وقد أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si) زيادة بمعدل التآكل بمقدار مرة واحدة في حين زاد معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) بمقدار (1.75) مرة عند زيادة درجة الحرارة من (40 °C) إلى (80 °C) وهذا ما يلاحظ أيضا من الشكل (18) الذي يوضح معادلة أرينيوس لهذا السلوك التآكلي السبب يعزى إلى إن التآكل هو عملية كهر وكيميائية لذلك أي زيادة في درجات الحرارة سوف تؤدي إلى زيادة معدل التآكل^(16,17) .

تأثير زيادة الحرارة للوسط التآكلي للمحلول الحامضي (3%Vol HCl) في السلوك التآكلي للسبائك (Al-Fe-V-Si, Al-Fe-V-Si-Zr) موضح في الشكل (19) في حين يوضح الشكل (20) العلاقة بين مقلوب درجة الحرارة ولوغاريتم معدل التآكل للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في الوسط التآكلي الحامضي (3%Vol HCl) , حيث يلاحظ من خلال الشكل (19) زيادة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة درجة الحرارة . زيادة درجة الحرارة من 40°C إلى 80°C عملت على زيادة معدل التآكل بمقدار (1.4,1.2) للسبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr, Al-Fe-V-Si) على التوالي , ويلاحظ من خلال الإشكال زيادة واضحة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة درجة الحرارة يعزى سبب ذلك بشكل أساسي إلى وجود أيونات الهيدروجين الموجبة (H^{+}) والتي تعمل على تصريف الإلكترونات وتعجيل التفاعل وان زيادة درجة الحرارة سوف تعمل على تعجيل من حركة أيونات الهيدروجين وبالتالي زيادة في تصريف الإلكترونات وتعجيل التفاعل⁽¹⁸⁾ .

الشكل (21) يوضح تأثير زيادة درجة الحرارة للمحلول القاعدي في مقدار الوزن المفقود للسبيكة (Al-Fe-V-Si , Al-Fe-V-Si-Zr) , في حين يوضح الشكل (22) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل للسبائك المستخدمة ودرجة الحرارة للمحلول المستخدم (3% wt NaOH) , ويلاحظ من خلال الإشكال زيادة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة درجة الحرارة للمحلول القاعدي (3% wt NaOH) وهذه العلاقة تكون عبارة عن علاقة خطية , ومن خلال ملاحظة تعرض العينة للوسط التآكلي لوحظ مهاجمة الوسط بشكل كبير للعينة وواضح ومميز كذلك فان معدل التآكل للسبيكة (Al-Fe-V-Si) قد ازداد بمقدار (1.5) مرة عند زيادة درجة الحرارة من 40°C إلى 80°C في حين السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) ازداد معدل التآكل بمقدار (1.67) مرة عند زيادة درجة الحرارة للمحلول المستخدم في نفس المقدار , إن وجود الوسط القاعدي عمل على مهاجمة السطح للسبائك وبما إن التآكل هو تفاعل كيميائي بين المعدن ومحيطه مثله مثل كل التفاعلات الكيميائية يتأثر ويتحفر ويزداد سرعته بارتفاع درجة الحرارة لذلك حصل زيادة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة درجة الحرارة وكما موضح في الشكل (22) للعلاقة بين معدل التآكل ودرجة الحرارة لمخطط ارينيوس الخاص في الوسط القاعدي .

اختبار البلى الأنزلاقي :

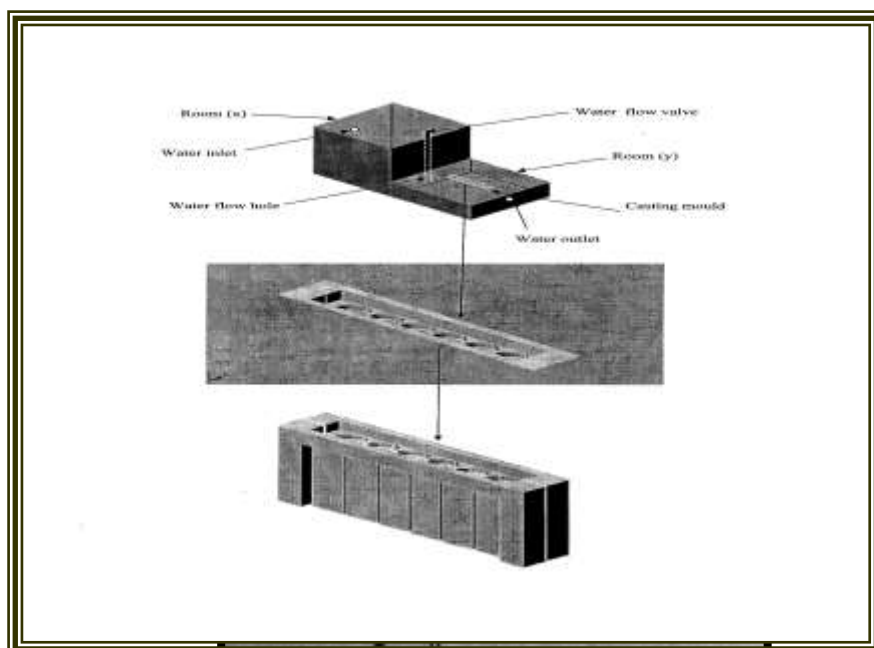
الشكل (23) يوضح سلوك البلى الأنزلاقي للسبكتين (Al-Fe-V-Si , Al-Fe-V-Si-Zr) ويلاحظ من خلال الشكل حصول تقارب في مقاومة البلى الأنزلاقي خلال الفترات الأولى من الاختبار بعد ذلك يحصل فقدان مستمر للوزن للسبكتين , أظهرت السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) مقاومة أفضل من السبيكة (Al-Fe-V-Si) حيث يكون الوزن المفقود لوحدة المساحة المعرضة للاحتكاك في السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) أقل من السبيكة (Al-Fe-V-Si) ولنفس الفترة الزمنية , إن حصول زيادة في مقدار الوزن المفقود يمكن أن يعود إلى تكسر النتوءات نتيجة الاصطاد الانفعالي , وإلى عوامل عديدة مؤثرة في البلى الأنزلاقي منها الزمن , السرعة , الحمل , وسط الاستخدام و الصلادة كذلك يعد التشوه اللدن جزءا مهما من العملية إذ يسبب عدم تجانس في البنية قريبا من سطح المادة لهذا يمكن ان نتوقع ان بعضا من البنية القريبة من سطح المادة تختلف عن المادة الأصلية وعلية فيمكن ان تتضمن انخلاعات وبنى مختلفة^(19,11) .

جدول (1) التحليل الكيماوي والصلادة الفيزيائية للسبائك المستخدمة في البحث .

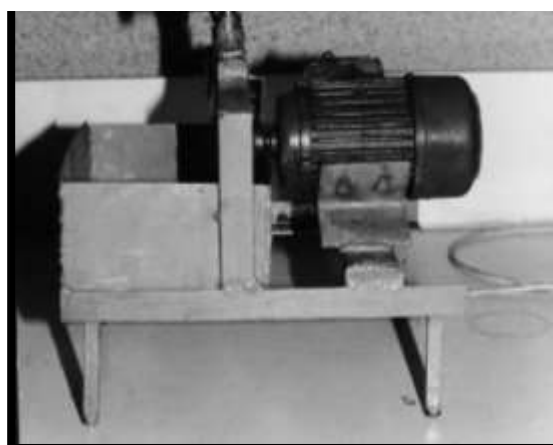
Alloy Code	Fe	V	Si	Zr	Al	HV(Kg/mm ²)
Al-Fe-V-Si	8.60	1.30	1.74		Balance	92
Al-Fe-V-Si-Zr	8.50	1.35	1.75	0.15	Balance	100

جدول (2) نتائج الموصلية الكهربائية والدالة الحامضية للمحاليل المستخدمة في البحث .

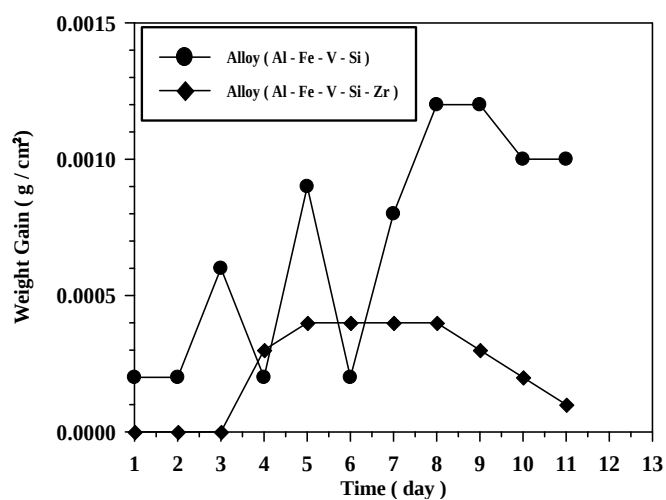
المحلول Solution	الموصلية الكهربائية Electrical Conductivity mSm ⁻¹	الدالة الحامضية pH
الماء المقطر	3.30	7.00
الماء الاعتيادي	4.20	5.50
(3%Wt NaCl)	19.25	7.69
(3% Vol HCl)	High	1.70
(3% Wt NaOH)	High	11.00



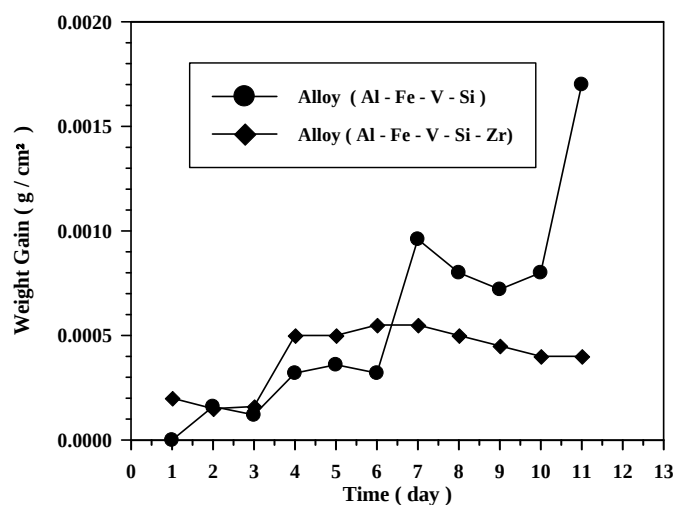
الشكل (1) يوضح أسلوب الصب المتبع في هذه الدراسة.



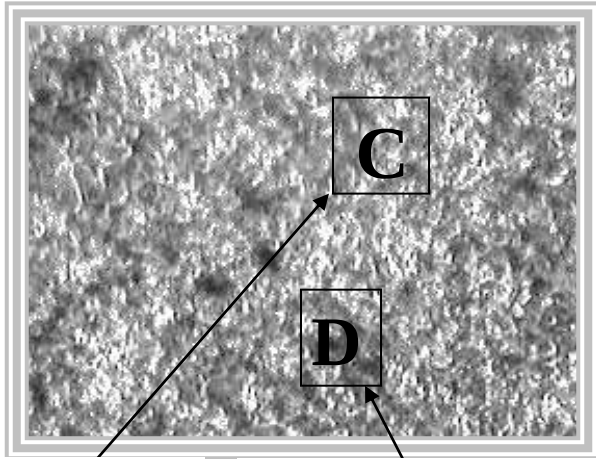
الشكل (2) يوضح جهاز البلى الأنزلاقي



الشكل (4) تأثير فترة التعرض للماء الاعتيادي في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة

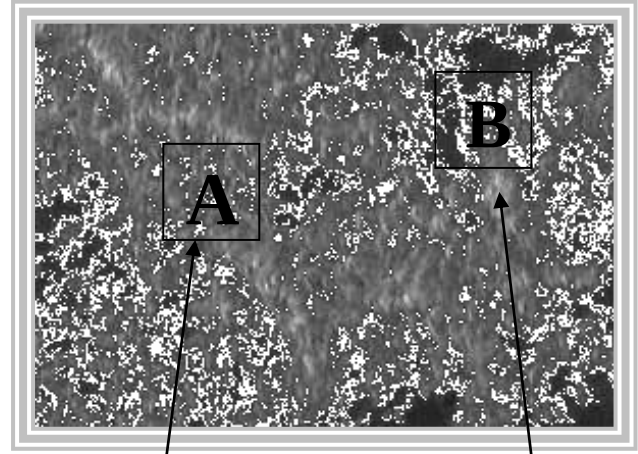


الشكل (3) تأثير فترة التعرض للماء المقطر في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة



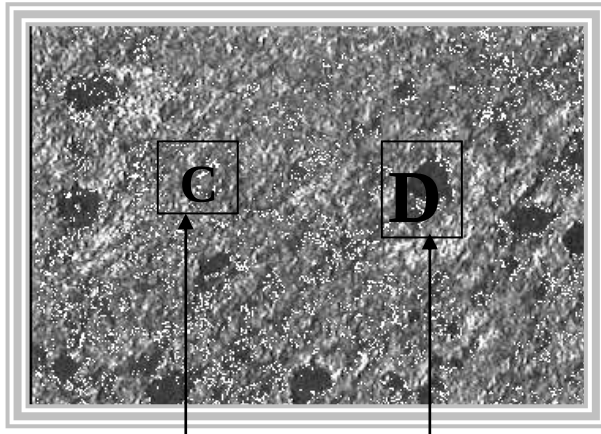
مناطق متآكلة بصورة اكبر مناطق متآكلة بصورة اقل

الشكل (5-b) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) المعرضة الى الماء المقطر (600 X)



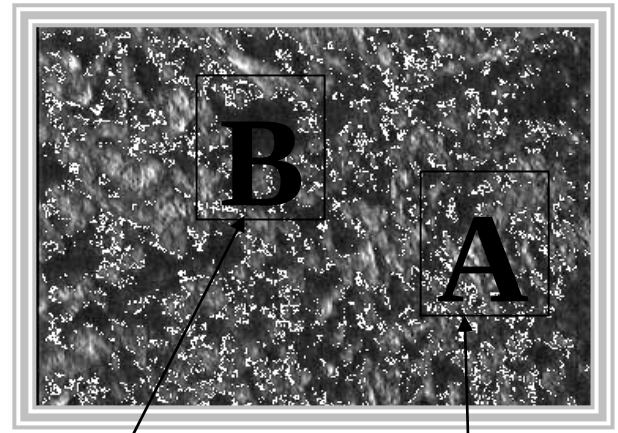
مناطق متآكلة بصورة اكبر مناطق متآكلة بصورة اقل

الشكل (5-a) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si) المعرضة الى الماء المقطر (600 X)



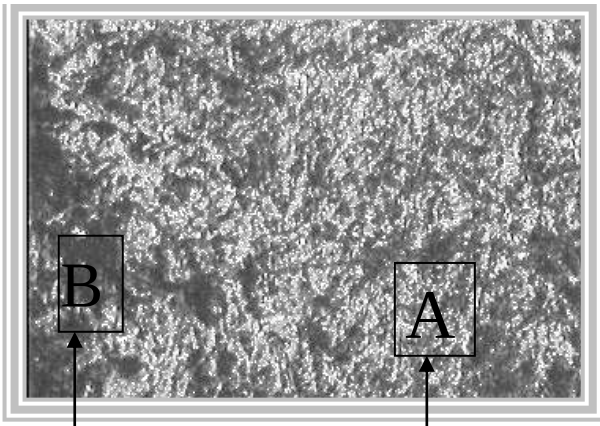
مناطق متآكلة بصورة اكبر مناطق متآكلة بصورة اقل

الشكل (6-b) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) المعرضة إلى ماء الاعتيادي (600 X)



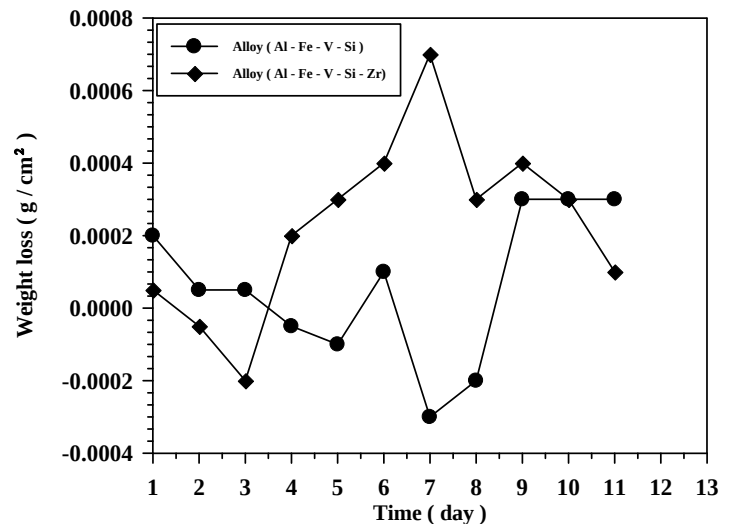
مناطق متآكلة بصورة اكبر مناطق متآكلة بصورة اقل

الشكل (6-a) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si) المعرضة إلى الماء الاعتيادي (600 X)

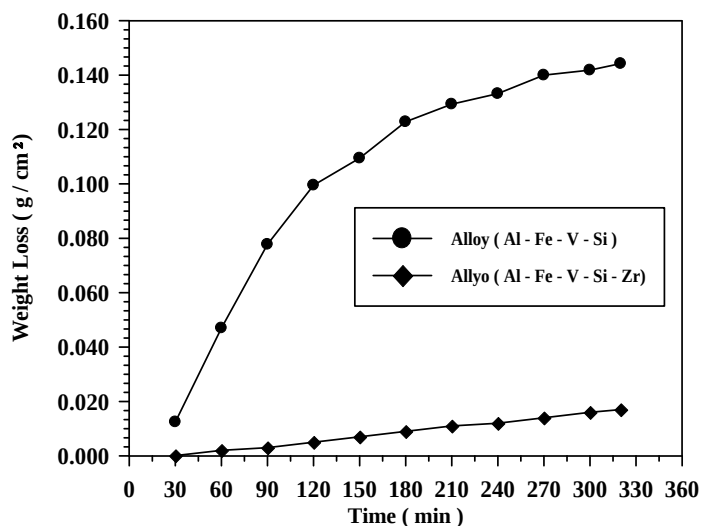


مناطق متآكلة بصورة اكبر مناطق متآكلة بصورة اقل

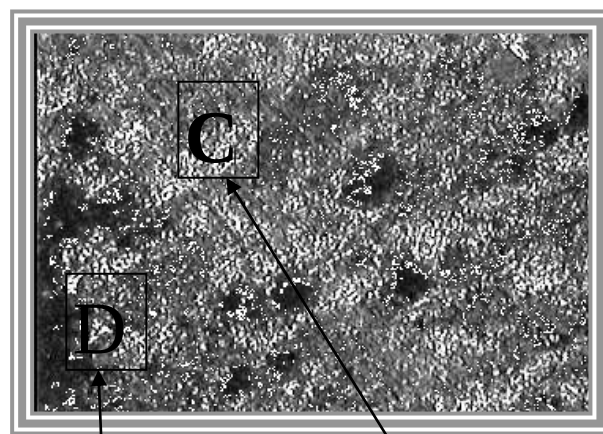
الشكل (8-a) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si) المعرضة الى المحلول الملحي (3wt% NaCl) (600 X)



الشكل (7) تأثير فترة التعرض للمحلول (3wt % NaCl) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة

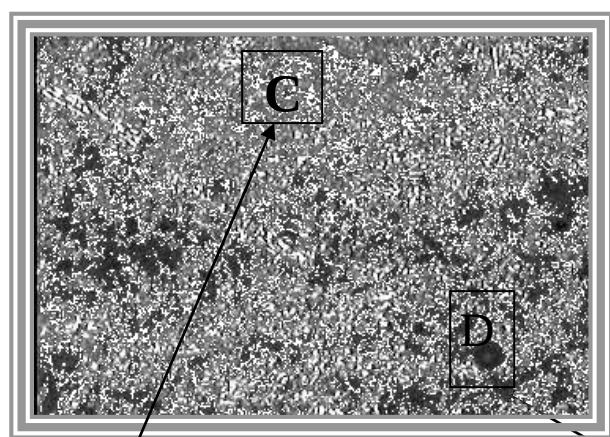


الشكل (9) تأثير فترة التعرض لمحلول (3vol% HCl) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة



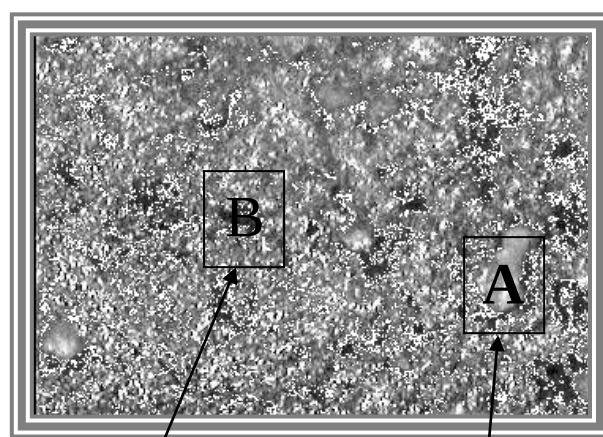
مناطق متآكلة بصورة اقل مناطق متآكلة بصورة اكبر

الشكل (8-b) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) المعرضة إلى المحلول الملحي (3wt% NaCl) (600 X)



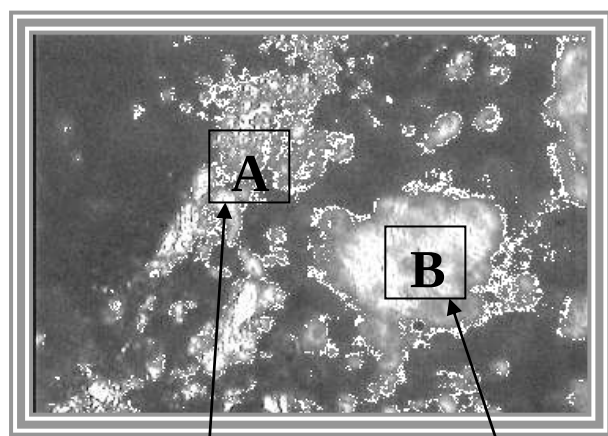
مناطق متآكلة بصورة اقل مناطق متآكلة بصورة اكبر

الشكل (10-b) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) المعرضة إلى المحلول الحامضي (3wt% HCl) (600 X)



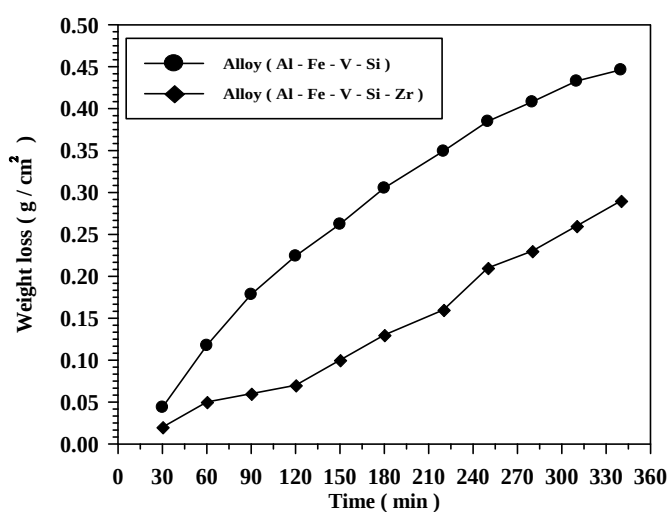
مناطق متآكلة بصورة اقل مناطق متآكلة بصورة اكبر

الشكل (10-a) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si) المعرضة إلى المحلول الحامضي (3wt% HCl) (600 X)

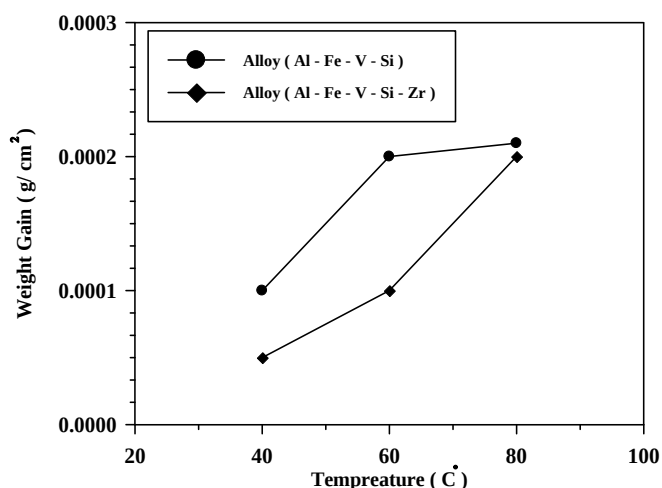


مناطق متآكلة بصورة اقل مناطق متآكلة بصورة اكبر

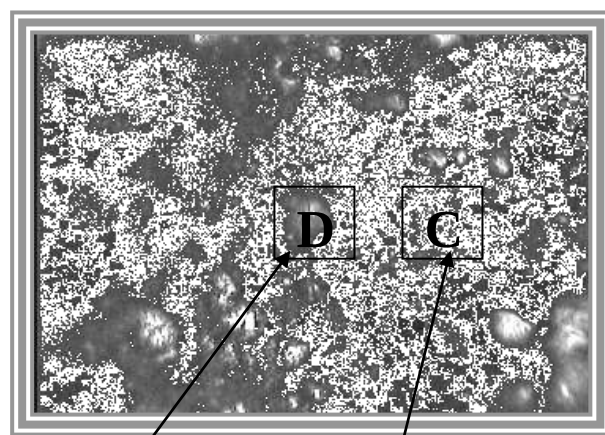
الشكل (12-a) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si) المعرضة إلى المحلول القاعدي (3wt% NaOH) (600 X)



الشكل (11) تأثير فترة التعرض للمحلول (3%wt NaOH) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة

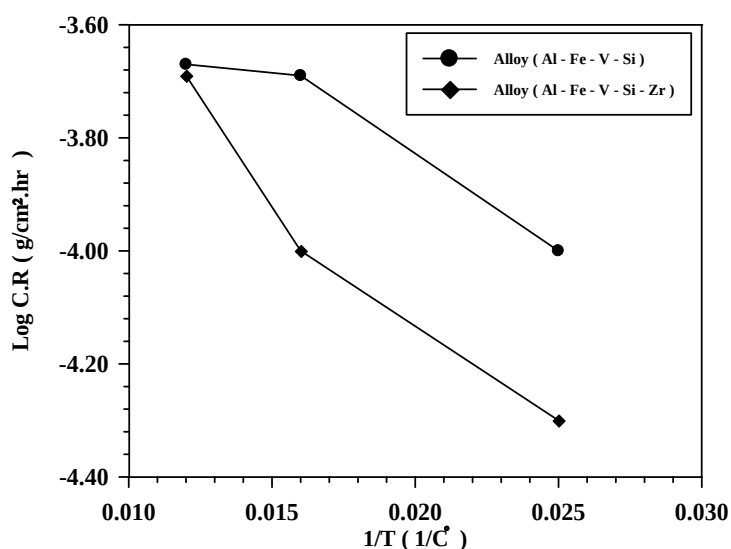


الشكل (13) تأثير درجة الحرارة للوسط المستخدم (الماء المقطر) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة.

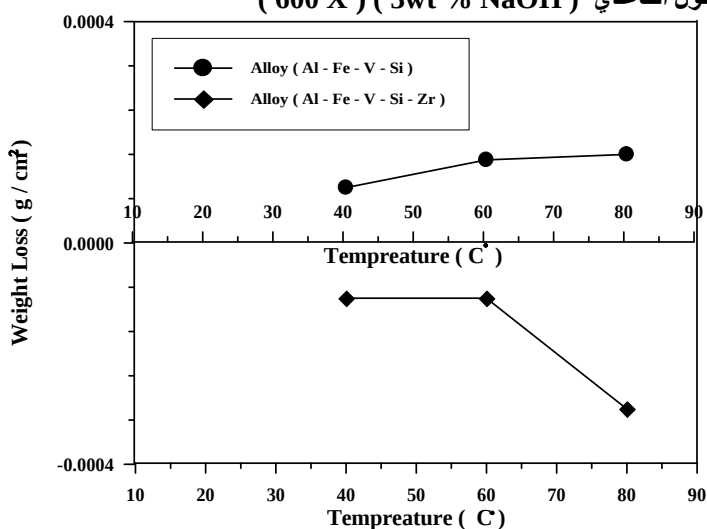


مناطق متاكله بصورة اقل مناطق متاكله بصورة اكبر

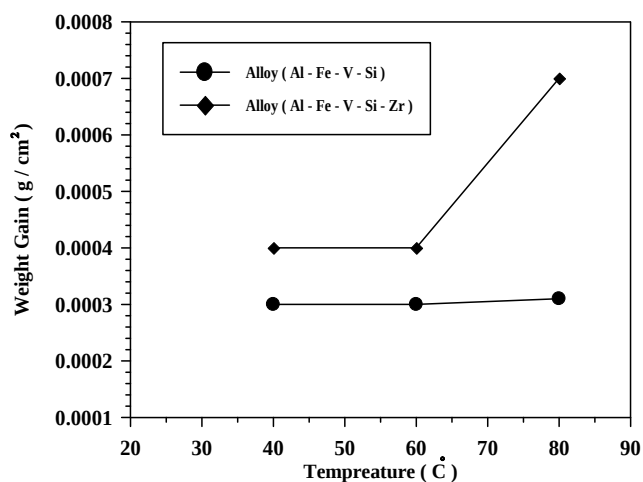
الشكل (12-b) طبيعة سطح السبيكة (Al-Fe-V-Si-Zr) المعرضة الى المحلول القاعدي (3wt % NaOH) (600 X)



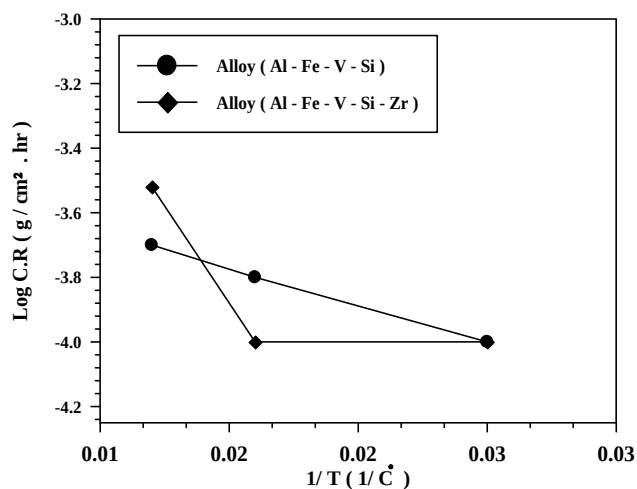
الشكل (15) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجات الحرارة للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في الماء المقطر .



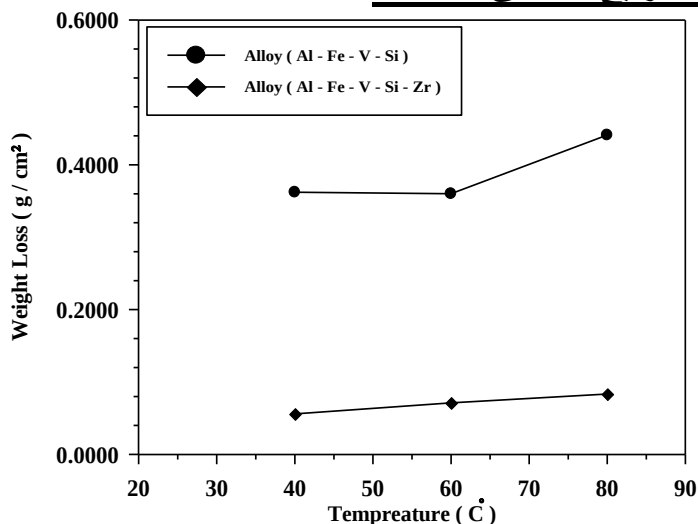
الشكل (14) تأثير درجة الحرارة للوسط المستخدم (الماء الاعتيادي) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة .



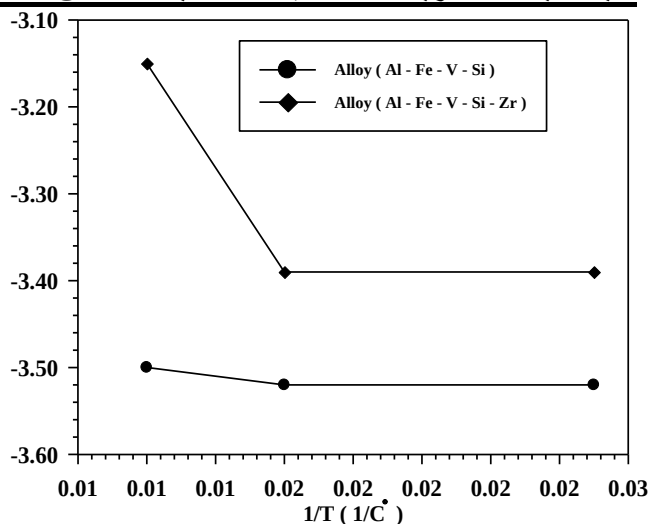
الشكل (17) تأثير درجة الحرارة للوسط المستخدم (3wt % NaCl) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة .



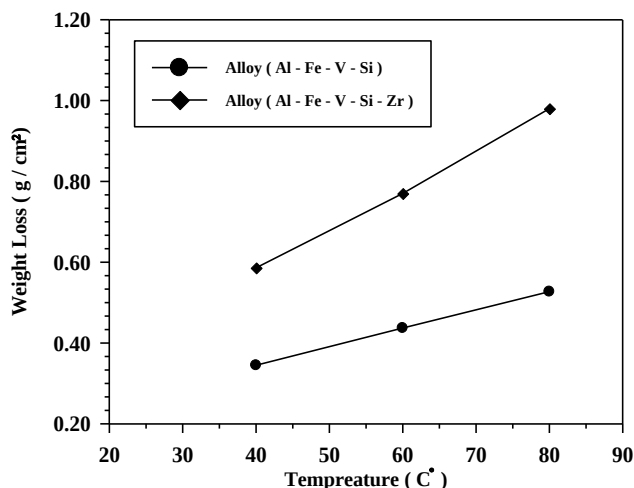
الشكل (16) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجات الحرارة للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في الماء الاعتيادي



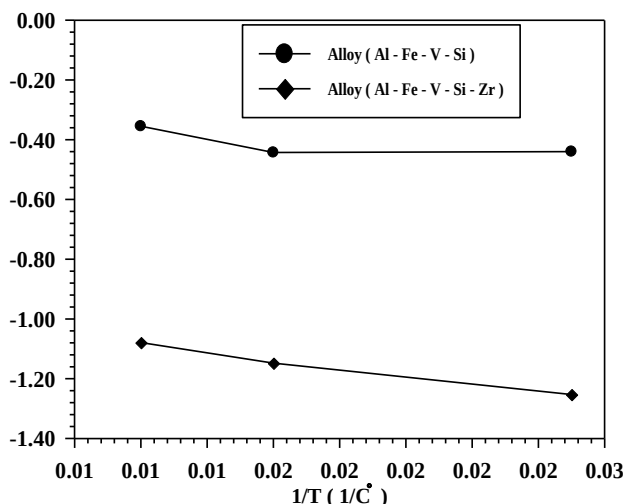
الشكل (18) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجات الحرارة للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في (3wt % NaCl).



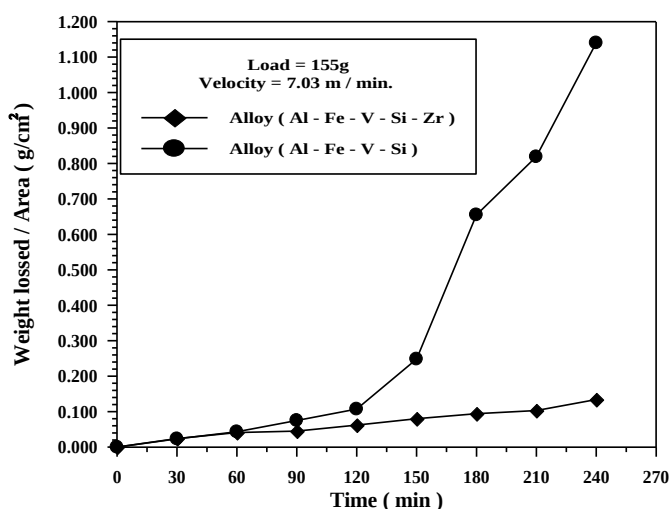
الشكل (19) تأثير درجة الحرارة للمحلول المستخدم (3vol% HCl) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة.



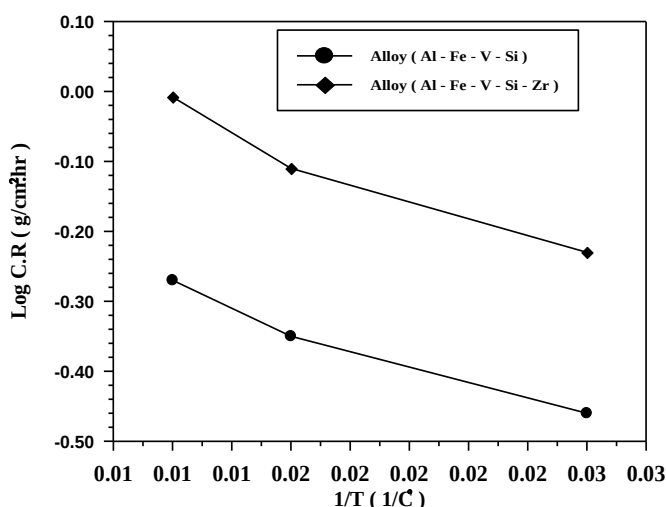
الشكل (20) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجات الحرارة للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في (3wt % NaOH).



الشكل (21) تأثير درجة الحرارة للمحلول المستخدم (3wt % NaOH) في التغير في الوزن للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة.



الشكل (22) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجات الحرارة للسبائك المستخدمة في هذه الدراسة في (3wt % NaOH).



الشكل (23) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة والزمن في اختبار البلى الأنزلاقي.

الاستنتاجات :

- 1- أظهرت السبيكة (Al – Fe – V – Si - Zr) تفوقاً واضحاً في مقاومة التآكل على السبيكة (Al – Fe – V – Si) وبنسبة (76 %) في الماء المقطر , (90%) في الماء الاعتيادي , (66%) في الوسط الملحي (88%) في الوسط الحامضي و (35%) في الوسط القاعدي .
- 2- الوسط القاعدي (3Wt% NaOH) أكثر الأوساط قساوة من الناحية التآكلية للسبائك المستخدمة .
- 3- زيادة درجة الحرارة للوسط المستخدم من (40 C°) إلى (80 C°) عمل على زيادة معدل التآكل للسبيكة (Al – Fe – V – Si - Zr) بمقدار (1.5, 1.2, 1, 1.6, 2) مرة في حين زاد معدل التآكل للسبيكة (Al – Fe – V – Si) بمقدار (4, 5, 1.75, 1.4, 1.67) مرة للأوساط (الماء المقطر , الماء الاعتيادي , الوسط الملحي , الوسط الحامضي , الوسط القاعدي) على التوالي .
- 4- أبدت السبيكة (Al – Fe – V – Si - Zr) مقاومة اكبر للبلل الانزلاقي من السبيكة (Al – Fe – V – Si) .

المصادر :

- 1- Vanhile , P. and Tosto ,S , " Surface and Coatings Technology " , N (80), 1992 PP(295-303) .
- 2- Drew , M. , , " The Essence of Aerospace Power : What Leader Need to Know " ,Aerospace Power Journal , 2001 , pp . 23 – 30 .
- 3- T.Imamura , " Advanced Materials and Process Technologies for Aerospace Structures " , On the web : [http : // bookmark physics . iop .org / full books / 075030420 / cantorch 02 .](http://bookmark.physics.iop.org/fullbooks/075030420/cantorch02) , 2002, pdf .
- 4- Merati ,A . , " A Study of Nucleation and Fatigue Behavior of an Aerospace Aluminum Alloy 2924 – T3 " , International J . of Fatigue ,Vol . 27, 2005 , pp. 33-44.
- 5- ASM International , " Alloying " , Edited by J .L. Walter and Others , Carnes Publication Service , Inc,1988 .
- 6- العماري , جميل حبيب غازي , " دراسة حول تطوير تحضير سبيكة الألمنيوم (8009) من خلال تحسين طريقة التصنيع والعناصر السبائكية والمعاملات السطحية " , اطروحة دكتوراه مقدمة الى قسم هندسة المواد , جامعة بابل , 2008 .
- 7 – الزبيدي , باسم محيسن محمد , " زيادة مقاومة سبائك الالمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء " , رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد , جامعة بابل , 2004 .
- 8- L .Reich ,S.P.Ringer and K.Hono, " Origin of the initial rapid age – hardening in an Al-1.7Mg – 1.1Cu alloy " , Philosophical Magazine Letters , 79 (9) : 6840, 1999 .
- 9- ASM , " Metal Hand Book " , Corrosion , 9th ed . vol. (13) , 1987.
- 10- Bolten ,W., " Engineering Material Technology " , 3rd ed.,U.K, 1998.
- 11 - صبري , أسراء قحطان , " تحسين مقاومة التآكل لسبيكة ذات أساس الألمنيوم – نحاس " , رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد , جامعة بابل , 2000 .
- 12- Belov ,N .A .Asksenov ,A.A. and Eskin ,D.G., " Iron in Aluminum Alloys Impurity and Alloying Element, Taylor and Francis Group , London and New York , 2002.
- 13- Li , P.Y., Yu, H. J. Chai , S.C. and Li ,Y .R " Scripta Mater " , 2003, P.(819 -824) .
- 14- N.A.Aksenov , A . A and D. G. Eskin , " Iron in Aluminum Alloying Element " , Taylor and Francis Group , London and New York, 2002 .
- 15- T T. Staley , , " International Symposium of Fracture Mechanics " , George Washington, 1978
- 16- N.Shaker , " Corrosion Inhibition of Carbon Steel in Hydrochloric Acid ,M.Sc Thesis ,University of Technology , January, 1987 .
- 17-W .Sheldon , Jr . Dean , , " Inhibitor Type " , Material Performance , Vol.20,No.11, 1981,pp(47-51) .
- 18-Z , Yakoob, " Corrosion Inhibition of Carbon Steel Tubes in Cooling System at Difference Sodium Salts as a Function of Solution Acidity and Temperature Under Flow Condition "M . Sc. Thesis , College of Engineering , University of Baghdad , September, 2003 .
- 19- Avner , S .H : " Introduction to Physical Metallurgy " , 2nded .McGraw – Hill Kogakushing Co, 1974 .