تثبيط التآكل بالفناديوم الحاصل في مراجل حرق الوقود باستعمال اوكسيد المغنيسيوم

أ.د.عبد الواحد كاظم راجح أ.م.د.كاظم فنطيل المهندسة زينب محمد عبد المحسن

الخلاصة

التآكل الحار (Hot Corrosion) يسبب مشاكل كبيرة للفولاذ المستخدم في درجات الحرارة العاليـة. هذه الدراسة تمت لنوعين من الفولاذ المستخدم في انابيب المراجل البخارية في محطات توليد الطاقة الكهربائية (جنوب بغداد)، اخذت النماذج المستعملة في الدراسة من مواقع مختلفة من غرف احتراق المرجل والتي تشمل الفولاذ من نوع ($1045, 213T_{11}$) تم دراسة الاكسدة لتلك النماذج عند درجات حراريـة (550, 650, 750, 850, 950°C) لازمان مختلفة عند كل درجة وكذلك عند ثبات الزمن (3hr.) عند الدرجات الحرارية اعلاه.

تم طلاء العينات المستخدمة بالرماد (Ash) بنسب مئوية وزنية ($67\%wt.V_2O_5:33\%wtNa_2SO_4$)، الشوائب المعدنية (Ash) تتكون من الحالة الغازية عندما تكون غازات الاحتراق حاويـة علـى الكبريـت، الفناديوم، والصوديوم بشكل اساسي وهي تتواجد بنسب كبيرة في الوقود الثقيل (Heavy fuel) هذه العناصـر تتفاعل فيما بينها لتكوين مركبات تآكلية . تم دراسة عملية التآكل واخذت الاوزان للنماذج قبل وبعد الحرق نسبة للمساحة بدرجات حرارية (550, 650, 750, 850°C) لازمان مختلفة ثم بعد ذلك تم استخدام (MgO) كمثبط وذلك للتقليل من تأثير الشوائب المعدنية على عينات الفولاذ. المادة المثبطة (MgO) ثم اضافتها بنسب وزنيـة [٣مثبط:١رماد و٢مثبط: ١رماد و١مثبط : ١رماد] . الدراسة اثبتت ان عملية الاكسدة في درجات الحرارة تقود الى تكوين طبقة اوكسيدية ضعيفة غير متماسكة ومسامية وان ميكانيكية الاكسدة المتغيرة من زيادة في الـوزن الى نقصان بالوزن تقل بشكل ملحوظ بوجود المثبط خصوصاً عندما تكون نسبته (رماد١: مثبط٣) والذي يعطي افضل النتائج.

Inhibition Vanadic Corrosion by Using Magnesium Oxide in Oil Fired Boilers

Abstract

The hot corrosion is largest danger for the alloys used in high temperature. This study is concluded experiment for two types of steel using in steam boilers of electrical station in south of Baghdad, these samples represent different places in burnt rooms of boiler included steel (1045, 213T11), the ordinary oxidation processes conducted for specimens of steel in the temperature (550-650, 750, 850, 950°C) for different times and then different temperature are used with constant times (3hrs.).

Coating process for specimens by impurities material in the following percentage ($67\%wt.V_2O_5:33wt.Na_2SO_4$) are performed. This impurity material forms when steel undergoes hot gases which contain sulphur sodium and vanadium which react with each other to produce this system, and after this the oxidation processes for samples were done .We calculate the change in weight with respect to the area at temperatures (550, 650, 750, 850°C) for different times and then used the inhibitor material (MgO) to decrease the effect of impurities on the steel samples and the oxidation processes doing and calculated the change in weight.

The inhibition material are added with rations (1Ash:1Inhibitor, 1Ash:2Inhibitor and 1Ash:3Inhibitor). The study shows that the steel oxidation processes at this

temperatures(550,650,750,850C) led to form thick, porous, week adhesion oxides, and the mechanism of oxidation change from weight gain to weight loss and the weight loss is small when the inhibitor used especially at the ratio (3 Inhibitor:1Ash) that gives best results.

المقدمة Introduction

تتعرض المواد الهندسية اثناء الاستخدام لمهاجمة مختلف الاوساط المعادية مما يؤدي الى تكوين طبقة سطحية عليها نتيجة التفاعل وهذه الطبقة تلعب دوراً بالغ الاهمية في تحديد العمر الفعال لأي من هذه المواد [١].

التآكل يقع في مقدمة الضرر الذي يصيب هذه المواد والذي يعتمد على العديد من العوامل منها درجة الحرارة وخصائص السطح والقوى المؤثرة والتركيب الكيميائي للمادة والتآكل له اشكال مختلفة وانواع مختلفة ومن انواعه المهمة التآكل الحار والذي يحدث عن درجات الحرارة العالية ويسمى ايضاً تآكل درجات الحرارة العالية

(High Temperature Corrosion) وهو شبيه بعملية الاكسدة ولكن يحدث عند توفر عناصر ملوثة اخرى غير الاوكسجين وهو يحصل في المراجل التجارية والتوربينات الغازية (بحرية، جوية، صناعية) وسبب حصوله احتواء الوقود على العديد من العناصر الملوثة وعند احتراقه تتحول الترسبات الى رماد مسببة تآكل المعدن وبالتالي تقليل عمر بقاءه [١، ٢].

الفناديوم، الصوديوم، والكبريت من اهم الشوائب في الوقود التي تكون مواد متطايرة مع غازات الاحتراق والتي تستقر على سطوح الانابيب المواجهة للهب حيث تكون منصهرات مختلفة من اهمها المركب صوديوم فنادل فناديت (Sodium Vanadayl Vanadate) ($Na_2O.V_2O_5.5V_2O_5$) الذي يترسب على سطح انابيب المرجل المواجهة للهب والذي يمتلك نقطة انصهار واطئة نسبياً (550°C) [٣، ٤].

ان استخدام السبائك المقاومة للتآكل هو من اهم الطرق للتقليل من التآكل الحار وكذلك ازالة الصوديوم والفناديوم من الوقود قبل استخدامه في المحارق [٥] واستخدام تطبيقات الحماية بواسطة التغطيات غير العضوية الملاصقة للسطح [٦] وتطوير الاضافات الكيميائية (Inhibitors) التي تعيق او تثبط ترسب معظم المركبات الاكالة وتقلل نشاطه المعادي للمعدن[٦]. عملية إزالة الترسبات تتم بأضافة مركبات كيميائية قادرة على رفع درجة الانصهار وتغير بنية او تركيب الترسبات وهذا ما يحدث تماماً عند اضافة المركبات الحاوية على المغنيسيوم، غالباً عند احتراق أي مركب يحتوي على المغنيسيوم فانه يمر خلال الطبقة الاوكسيدية الموجودة ويتحلل ويحاول الارتباط مع الاوكسجين لتكوين اوكسيد المغنيسيوم (MgO)، يثبط منصهر صوديوم فنادل فناديت بواسطة تكوين مركبات المغنيسيوم فناديوم Magnesium Vanadates الذي صيغته العامة ($Mg_xV_yO_z$) والذي ينصهر بدرجات اعلى من (1000°C) وهذه الدرجة كما هو معلوم اعلى من الدرجات الحرارية المتكونة في غرف احتراق وقود المراجل التجارية [7، 8]، ان اوكسيد المغنيسيوم (MgO) هو المرشح الكفوء للقيام بهذا الدور.

آلية عمل مثبطات التآكل Corrosion Inhibitors Mechanism

يحتوي الوقود الثقيل (Heavy Fuel) على كميات كبيرة نسبياً من الفناديوم، الصوديوم والكبريت والتي يؤدي احتراقها الى تكوين معظم مركبات كبريتات الصوديوم واكاسيد الفناديوم وعند ارتفاع درجات

الحرارة لانابيب المراجل البخارية اثناء العمل يحدث تفاعل لهذه المواد وتتكون سلسلة من مركبات (V_2O_5, SO_3, Na_2O) والتي درجات انصهارها واطئة نسبياً والتي تستقر على المواقع او الاجزاء من انابيب المرجل او ادوات التعليق وهذا بالنتيجة يؤدي الى انحلال تدريجي للحديد والنيكل والكروم وهي العناصر المكونة للانابيب مما يسبب سلسلة من مشاكل التآكل وبالنتيجة فان الانابيب وادوات التعليق تتطلب تغيراً خلال فترات الاطفاء.

استخدمت طرق متعددة لمنع هذا التآكل المعروف بتآكل الرماد الساخن Hot Ash Corrosion ومنها طريقة استخدام المضافات (Additives) للوقود والتي تعمل على تكوين فنادات مستقرة عند نقاط الانصهار العالية بدلاً من مركبات الفناديوم واطئة الانصهار التي تظهر عادة وهذا يمنع تكوين الطور السائل عند درجة حرارة عمل المرجل [٩، ١٠] اوضح (Macfrolane) [١١] تأثير بعض المضافات مثل مركبات الكالسيوم والمغنيسيوم والخارصينز كل هذه العناصر تعمل على تكوين فنادات مستقرة بالصيغة (3 Metal Oxide: 1Vanadium Pentoxide).

مركب المغنيسيوم هو اهم المضافات المستخدمة للتقليل من حدوث التآكل بالرماد الساخن لانه يعيق تكوين فنادات الصوديوم وكبريتات الفناديوم ذات درجات الانصهار الواطئة بواسطة تكوين فنادات المغنيسيوم ذات الصيغة ($Mg_xV_yO_z$) التي تنصهر بدرجات حرارة اعلى من (1000°C) أي انه يرفع درجة انصهار الترسبات التي تكون بحدود (680°C) لمركب خامس اوكسيد الفناديوم الى (1100°C) للمركب ($MgO.V_2O_5$) لذا فهي عالي الفعالية [١١، ٧].

يمكن اضافة المغنيسيوم على شكل دقائق صغيرة مشتتة كأوكسيد او كاربونات او كزيت مذاب فيه النفثالين او الاسيتات او بشكل محلول مائي للكبريتات او الكلوريدات [٤]. ان استخدام مضافات اوكسيد المغنيسيوم هي احدى الطرق المهمة المستخدمة لاطالة عمر الفولاذ المكونة لانابيب المراجل وريش التوربينات الغازية التي تستخدم الوقود المتبقي (Residual Fuel) لان اوكسيد المغنيسيوم له القابلية على تكوين الفنادات المستقرة ($Mg_3V_2O_8$) التي تبقى صلبة عند درجة حرارة العمل في انابيب المراجل البخارية وريش التوربينات الغازية [١٢، 13].

$$3MgO + V_2O_5 \rightarrow Mg_3V_2O_8 \quad \ldots\ldots(1)$$

ان الصيغة ($Mg_3V_2O_8$) لا تعتمد على كمية (MgO) عندما تكون نسبة ($MgO : V_2O_5$) تقل من (٣:١) ونواتج التفاعل تحتوي على ($MgO_3V_2O_5$) وزيادة (V_2O_5) عندما تكون النسبة اقل من (٣:١) وزيادة (MgO) عندما تتجاوز النسبة (٣:١).

ان نظام ($MgO:V_2O_5$) يتأثر بواسطة ظهور (SO_2/ SO_3) الجوي من ملوثات الكبريت [١٤]. وان كمية (SO_3) وظهوره تعطى بالمعادلة التالية:

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \Leftrightarrow SO_3 \quad \ldots\ldots(2)$$

وعندما يظهر (SO_3) بصورة كافية فان (MgO) يتفاعل مع الكبريت ويتحول الى ($MgSO_4$):

$$MgO + SO_3 \rightarrow MgSO_4 \quad \ldots\ldots(3)$$

المركب ($MgSO_4$) ممكن بعدها يتفاعل مع (V_2O_5) لتكوين فنادات المغنيسيوم الثنائية و($2MgO.V_2O_5$) التي تنصهر على سطح انابيب المراجل وريش التوربينات [١٥].

$$MgSO_4 + V_2O_8 \rightarrow 2MgO.V_2O_5 + SO_3 \quad \ldots\ldots(4)$$

وان ظهور (SO_3) يؤثر على تثبيط (MgO) لتآكل (V_2O_5) مما ذكر اعلاه ان السيطرة على التآكل الحار بسبب استخدام الوقود الرديء او المتبقي يعتمد على تكوين مركبات تحتوي على الفناديوم الصلب وتكوين هذه المركبات يتأثر بظهور (SO_3) [١٦].

الباحث Blauenstein [١٧] توصل الى انه عند حقن جسيمات المغنسيا (Magnesia) كمضافات ممكن ان يولد عدة فوائد للمراجل العاملة منها تقليل اشعاعات الاحتراق الى حوالي ٨٠% وكذلك تقليل الانبعاث الكلي للجسيمات بنسبة ٦٠% وتقليل تآكل المعدن بنسبة ٥٠%.

من المشاكل الغير ملحوظة عند اضافة مركبات المغنيسيوم هو انها عادة تسبب زيادة في الملوثات او الاوساخ والترسبات وزيادة درجة انصهار المركبات المتكونة عند درجة حرارة العمل المستخدم.

الباحثون (Jenkeinson and Zazek) [18] توصل من خلال بحثه ان اضافة مركبات المغنيسيوم تعمل على تحسين حالات الاحتراق وتقليل تأخر زمن الاشتعال وكذلك تقليل ثلاثي اوكسيد الكبريت (Sulphar Trioxide) في بخار الغاز الى اقل من (5ppm) بدلاً من ظهور هواء اضافي.

اما الباحثون (Nishikawa et al) [٣] فقد درسوا تأثير اضافة MgO على التآكل في درجات الحرارة العالية حيث وجدوا ان النقصان بالوزن يسبب التآكل الحار يقل عند اضافة (MgO) الى حوالي درجة مساوية للتآكل عند استخدام الكيروسين (Kerosene) كوقود في غرف احتراق المراجل البخارية.

الجانب العملي Experimental Work

تم استخدام عينات من انابيب مراجل غير مستخدمة اخذت على اساس مواقع استعمالها في غرف احتراق المرجل [محطة كهرباء جنوب بغداد] حيث ان النموذج الاول يسمى ($213T_{11}$) اما الثاني فيسمى (1045) والجدولين ادناه يوضحان المكونات الكيمياوية (التركيب) حسب المصدر [19] ونسب المكونات الكيمياوية حسب تحليل (Spectro chemical Al3460) على التوالي.

جدول رقم (١): يوضح المكونات الكيمياوية (نسب مئوية وزنية) نسبة الى (Trouray and Gavrin) [١٩]

	C	Mn	$P_{max.}$	$S_{max.}$	Cr	Si	M.	Fe
$213T_{11}$	0.08-0.15	0.-0.6	0.25	0.025	1-1.5	0.5-1	0.44-0.65	Remain
1045	0.43-0.45	0.6-0.9	0.04	0.05	-	0.4	-	Remain

جدول رقم (٢) يوضح المكونات الكيمياوية (نسب مئوية وزنية) باستخدام جهاز Petrochemical

	C	Mn	$P_{max.}$	$S_{max.}$	Cr	Si	M.	Fe
$213T_{11}$	0.0621	0.445	0.0061	0.0104	2.143	0.188	0.141	Remain
1045	0.42	0.6	0.040	0.050	-	-	-	Remain

تم تهيئة النماذج ($213T_{11}$, 1045) بتقطيعها على شكل قطع مستطيلة بابعاد (20 mm * 18 * 4) طول، عرض، سمك، تم بعدها اجراء عملية التنعيم باستخدام اوراق (Emery Papers) (220, 400, 800, 1000, 1500µm) باستخدام جهاز التنعيم نوع Buehler-Ltb (England) وبعد الانتهاء من مرحلة التنعيم تم غسل العينات بواسطة الماء المقطر والكحول وبعدها جففت ومن ثم مرحلة الصقل (Polishing) باستخدام جهاز الصقل من نوع Hergon –mp 200V (China) ، ثم غسلت العينات بالماء المقطر والكحول وجففت بتيار من الهواء الساخن باستخدام مجفف كهربائي ومن ثم اخذت لها الاوزان بميزان حساس نوع (German) Sartorius Bp 301 Smax 303 gr) ذي دقة تبلغ (±0.1mg) ، بعد عملية الوزن حفظت العينات في حافظة زجاجية (Desicator) تحتوي على Siliccagel لحفظها من الرطوبة والظروف الجوية.

اما المواد الكيمياوية المستخدمة في التجارب هي عبارة عن خليط من مادتي كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) وخامس اوكسيد الفناديوم (V_2O_5) والتي تعرف بالرماد Ash والتي تكون من النسب الوزنية ($67\%V_2O_5 + 33\%\ Na_2SO_4$) [٤، ٧] وتخلط هذه المركبات بالنسب المذكورة باستخدام Mortar وتمزج بمادة الاسيتون حيث تم طلي العينات المجهزة لهذا الغرض ومن ثم وضعت في الفرن لازمان مثبتة في فصل النتائج والمناقشة، اما مادة المثبط Inhibitor والتي هي عبارة عن اوكسيد المغنيسيوم فقد تمت اضافتها بثلاث نسب (1:1 ,1:2 ,1:3) (مثبط:رماد).

تم اجراء التجارب بثبوت الزمن (3hr.) مع تغير درجة حرارة الفرن (550, 650, 750, 850, 950°) ومن ثم اجراء التجارب بثبات درجة الحرارة مع ازمان متغيرة وفي كلا الحالتين تم اخراج النماذج من الفرن وازالة الطبقة المتكونة واجراء الوزن لها بعد الازالة.

النتائج والمناقشة Results and Discussion

A. نتائج اختبار الاكسدة(من دون اكساء بالرماد)

تم في هذا البحث دراسة سلوك الاكسدة للسبيكتين المستخدمة كما موضح في الشكل (١) الذي يبين سلوك الاكسدة المكون لتلك السبائك عند درجات حرارة مختلفة (550, 650, 750, 850, 950°C) وعند ثبوت الزمن (3hr.) حيث تم رسم العلاقة بين Weight Gain وبين Temperature، ومن ثم اجراء تجارب الاكسدة بثبوت درجة الحرارة مع تغير زمن التجربة (0.5, 1.5, 2, 2.5, 3hrs.) لمعرفة تاثير الزمن على معدل التأكسد لنفس الدرجة الحرارية والاشكال (٢-٦) تبين سلوك الاكسدة لنوعيها الفولاذ المستخدمة عند درجات الحرارة اعلاه.

وكما هو واضح من الاشكال (١-٦) ان معدل الاكسدة تزداد مع زيادة درجة الحرارة وزمن التجربة وتقل مع زيادة نسبة عناصر السبك في الفولاذ مثل عنصر (الكروم والمولبدينيوم) والتي تزيد من مقاومة السبيكة للتأكسد لذا فان الفولاذ ($213T_{11}$) تظهر فيه اقل معدلات الاكسدة لاحتواءه على اعلى نسبة من عناصر السبك مقارنة مع النوع الاخر. وان سبب زيادة الوزن يعزى الى تكوين اكاسيد سميكة ومسامية وضعيفة التلاصق بالمعدن ويزداد معدل تكوينها مع زيادة درجة الحرارة وزمن اجراء التجربة.

B. نتائج اختبار التآكل الحار (للعينات المكسية بالرماد)

Hot Corrosion Test Results

عند اجراء التجارب لهذا النوع من الفولاذ تم وضع العينات في الفرن الكهربائي بعد الانتهاء من عمليات التحضير واكساءها بالرماد (Ash) (V_2O_5:Na_2SO_4) ولأزمان مختلفة (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3hr.)

عند درجات حرارية مختلفة (550, 650, 750, 850, 950°C) وبعد اخراج العينات من الفرن في كل تجربة يتم وزنها وحساب مقدار الوزن المفقود (Weight Loss) نتيجة لحدوث عملية التآكل بسبب الهجوم الأكال لمركبات الفناديوم والصوديوم والكبريت المستخدمة والتي تنصهر بدرجات حرارية منخفضة بحدود (660°C) مسببة تآكل المعدن، وذلك بسبب استقرار المركب صوديوم فنادل فناديت الذي يمتلك درجة انصهار بحدود (670-650°C) [على هيئة معجونية] على السطوح.

ان هذا المركب المعجوني يعمل على مهاجمة طبقة الحماية الاوكسيدية لانابيب المعدن (المرجل البخاري) مما يجعلها مسامية وغير متماسكة وهذا يؤدي الى تفاعلات استبدالية بين عناصر السبك وبين الاوكسجين تارة والكبريت تارة اخرى وبالنتيجة تكوين اكاسيد وكبريتات يؤدي الى استنفاذ عناصر السبك ومن ثم التآكل.

من خلال الاشكال (٧-١٠) نلاحظ زيادة التآكل نسبة الى زيادة كل من درجات الحرارة والزمن ، لكن عند مقارنة المعدن من نوع ($213T_{11}$) والمعدن من نوع (1045) فان الفولاذ من نوع $213T_{11}$ وجد ان مقاومته للتآكل اكبر بسبب احتوائه على نسب عالية من عناصر السبك المقاومة للتآكل في درجات الحرارة العالية مثل عنصر (Ni) الذي له القابلية على اذابة عدد من عناصر السبك وتكوين محاليل جامدة وكذلك عنصر (Cr) وان من اسباب مقاومة هذا النوع من الفولاذ للتآكل هو ان هذه العناصر تكون اكاسيد مستقرة تمنع انتشار الاوكسجين داخل الطبقة الاوكسيدية وبما ان اكاسيد الحديد غير مستقرة واكاسيد النيكل والكروم مستقرة عند درجات حرارية معينة فالكروم يكون كاربيدات وكبريتيدات واكاسيد اكثر استقراراً.

C. تأثير اضافة اوكسيد المغنيسيوم Magnesium Oxide Effect

تم استخدام اوكسيد المغنيسيوم (MgO) كمثبط للتآكل الحار الحاصل بسبب المحتوى العالي نسبياً للفناديوم والصوديوم والكبريت في الوقود الثقيل المستخدم في المراجل البخارية، ووجود هذه العناصر يسبب تكوين معظم مركبات كبريتات الصوديوم وخامس اوكسيد الفناديوم عند احتراق الوقود (في غرف احتراق المراجل البخارية) . ان المركبات اعلاه تكون مركبات ذات درجات انصهار واطئة نسبياً (750-550°C) وبما ان غرف احتراق المراجل تعمل عند تلك الدرجات الحرارية لذلك ان اغلب المركبات المذكورة اعلاه تكون في حالة المنصهرات (مادة معجونية) وهذه الهيئة تعتبر شديدة التأثير على انابيب المراجل التي تعتليبها.

ان اختيار مركبات المغنيسيوم يعود الى دوره الفعال في تكوين فنادات المغنيسيوم ($Mg_xV_yO_z$) التي تنصهر بدرجات حرارية فوق (1000°C) علماً ان هذه الدرجات الحرارية تتجاوز الدرجات الحرارية في غرف احتراق المراجل البخارية العاملة. ان استعمال اوكسيد المغنيسيوم (MgO) بنسب مولية مختلفة مع نسبة مولية ثابتة من الرماد (V_2O_5:Na_2SO_4) ، (1:3) لانها اعطت افضل النتائج وكما موضح في الاشكال (١١، ١٢) وكانت النتائج متطابقة مع نتائج باحثين اخرين (١٥، ٤، ٣) ، حيث تم حساب الفقدان . ونلاحظ ان معدلات التآكل كلما زادت النسبة المولية لاضافة المثبط ولحد (١:٣) كذلك ان انواع الفولاذ تتباين في مقدار التآكل الحاصل فيها وهذا يعني ان افضل الانواع المستخدمة في هذا البحث هو فولاذ ($213T_{11}$) وخاصة عندما تكون النسبة (مثبط:رماد) (١:٣) حيث ان معدلات التآكل تنخفض بدرجة كبيرة جداً.

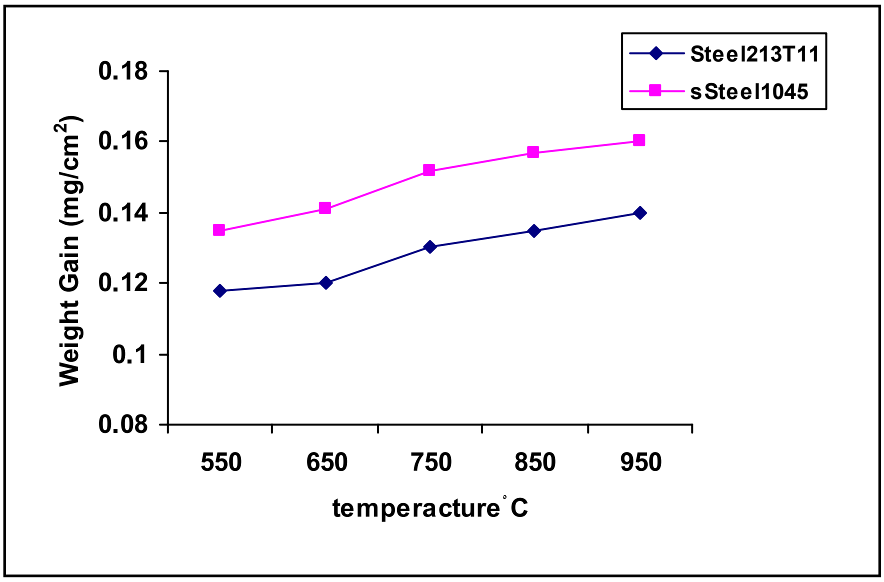
الاستنتاجات Conclusion

١. وجود الملوثات ($67\%wt:33\%wt.Na_2SO_4$) تسبب تغير في حركية التأكسد اذ تحول من زيادة في الوزن الى فقدان بالوزن.
٢. انصهار مركبات الفناديوم والصوديوم عند درجات الحرارة عمل غرف احتراق المراجل البخارية والتي تم معالجتها باضافة مركبات المغنيسيوم ذات درجات الانصهار العالية (خارج درجات عمل غرف احتراق المراجل) تسبب في انخفاض كبير لمعدلات التآكل لان نواتج التآكل غير المنصهرة تحمي سطح الفولاذ.
٣. اثبتت الدراسة ان اوكسيد المغنيسيوم (MgO) فعالاً كمثبط والمعتمد تأثير على النسبة المولية (مثبط ١:٣ رماد) اعطت افضل النتائج في التقليل من التآكل النوعي الفولاذ اللذان تم دراستهما.

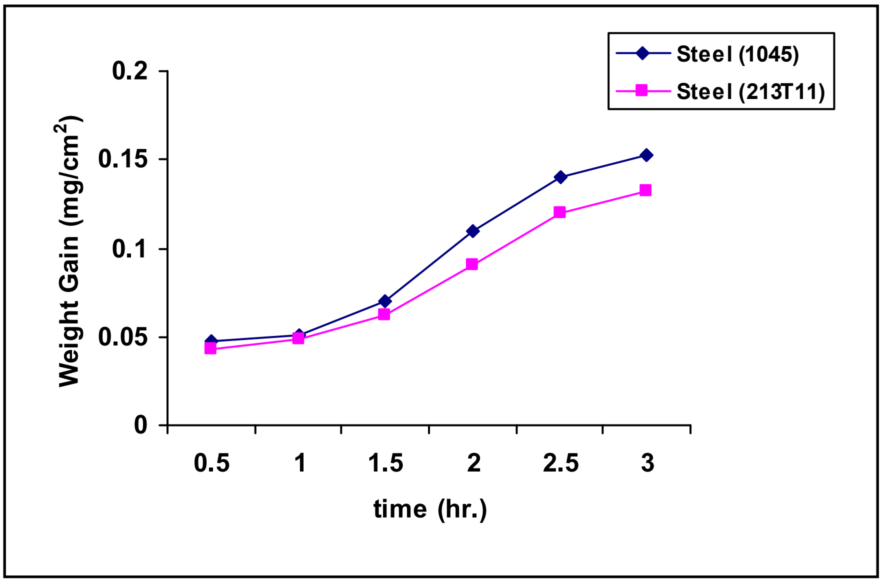
المصادر References

1. David N. French, Sc. D., "President of David N. French, Inc., Metallurgists, Northborough, MA", National Board Classic, Fuel Ash Corrosion, 2001.
2. Luis Jvier Molero de Blas, Ph.D. Thesis, University of London, 1998.
3. E. Nishikawa. M. Kaji and S. I. Shigai, "Effects of Mg-Additive Against High Temeracture Fouling and Corrosion of Boilers Firing Degraded Fuel Oils", Proc. ASME. JSME THRM. Eng. Conf., Vol.1, 1983, PP(545-552).
4. Kadhim Finteel Al-Sultani, "A pilot System for Evaluation of Hot Ash Corrosion Inhibition in Power Generation Boilers",Ph.D.Thesis The Technology University, 2003.
5. N. K. Nadirov, A. K. Yergaliyena, A. V. Kotova, G. B. Aubakirov and M. A. Moruniva, Neft, Khim, Vol.24, No. 739, 1984.
6. A. V. Malik and S. Ahmed , Trans, SAEST, Vol. 24, No.119, 1984.
7. M. M. Barboot, "Corrosion Inhibitors – Magnesium Compounds Additions to Heavy Fuel Oil", Conf. Chem. Arab, Beirnt 2001.
8. M. M. Barbooti, S. A. Al-Madfai and H. J. Nassouri, J. Petrol. Res. Vol.7, No.39, 1988.
9. R. A. Rapp. "Pure and Appl. Chem". Vol.62, No.1, 1990.
10. Petrolite Corporation / Tretolite Div., "Fuel Addition", Petrolite, 1986.
11. Macfrolane, J. J., "The Relationship between Combustion and the corrosion of Metal Surface by Fuel Oil Ash Deposits" Bute Worth, London, 1963.
12. T, N. Rhys-Jones, Ph.D. Thesis, Cranfield Institute of Technology, 1981.
13. Kenneth G. Budinski Michael K. Budiski Eng. Materials, "Properties of Selection", Prentice-Hall of India Pravate Limited Newdelhi, 2006.
14. W. T. Reid, "External Corrosion and Deposits", Elsevier Amsterdam, 1971.
15. M. M. Barbooti, Suham, H. Al-Madfai and Huda J. Nassuri", "Thermo Chemical Studies on Hot Ash Corrosion of S. S.304 and Inhibition by Magnesium Sulphate", Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Thermo chemical Alta, 126, 1988, PP(34-49).
16. P. Hancock, "Corrosion Science" Vol.23, No.51, 1982.
17. Eric Blauenstein "Technical Evaluation of Magnesia , Influence on Fire side Deposts Combustion , and Emissions on – Oil Fird Boilers". Eng. Foundation Conf., New England College, New Hampshire, July-26-1977.
18. Jenkeinson, J. R. and Zazek, B. J., "Anti Corrosion Additives in Oil Fired Boilers", European Meeting, Corrosion by Hot Gases and Combustion Products, Organised by D. A. C. H. E. M. A., Frankfurt, April, 1965.

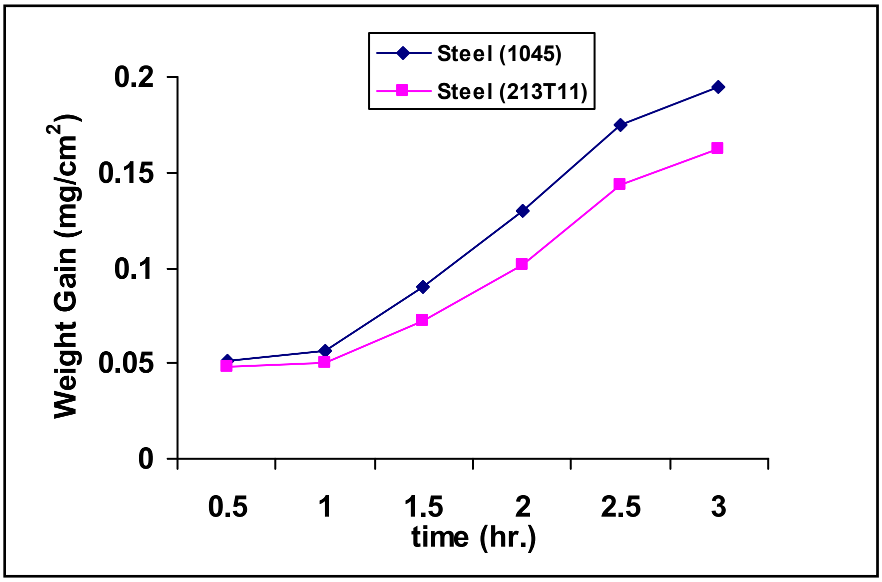
19. Francois, R., Thiorry, L., and Benoit, L. "Piping Equipment Materials Petrole" Trouvay and Gavrin , API, ASTM, ASEM, 1998.



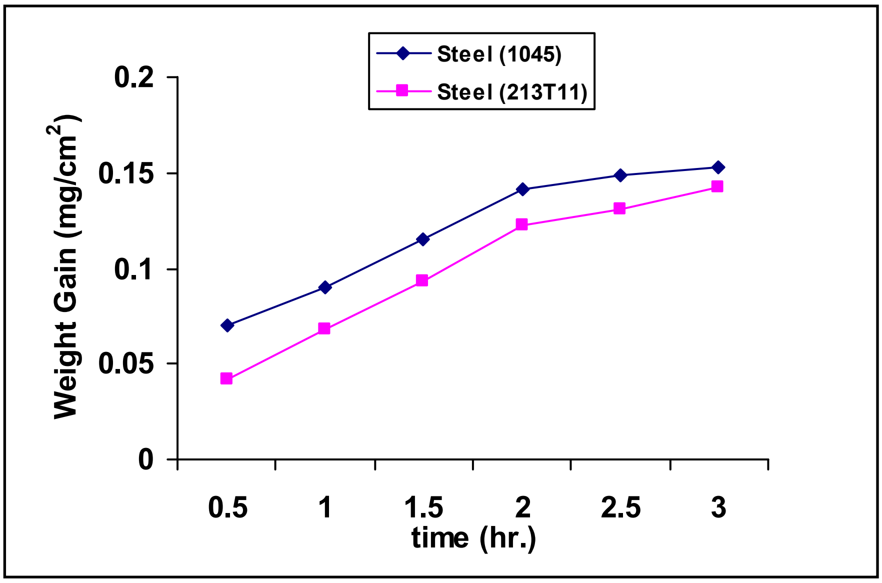
الشكل (١): يوضح نتائج الاكسدة للفولاذ (1045) والفولاذ (213T11) بزمن ثابت مقداره (٣ساعات)



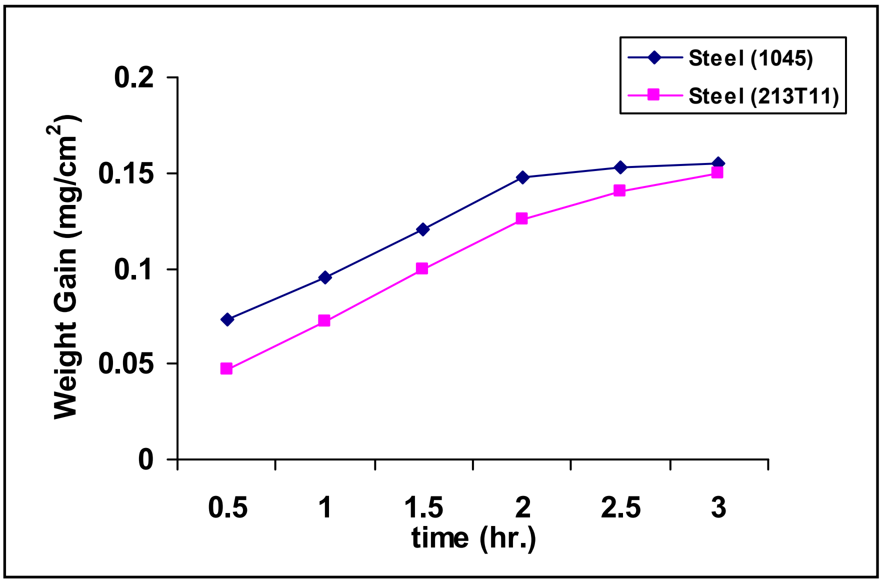
الشكل (٢): يوضح العلاقة بين الزمن والاكسدة للفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (550°C)



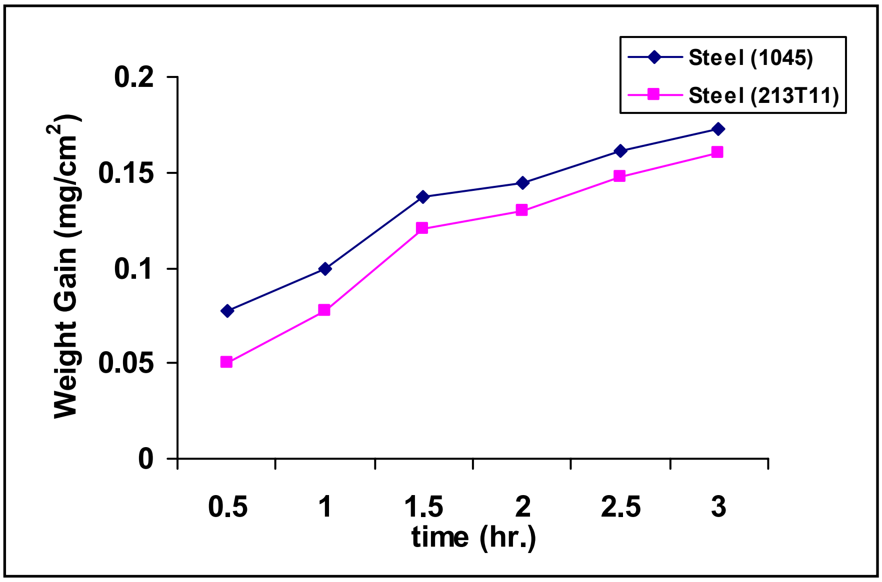
الشكل (٣): يوضح العلاقة بين الزمن والاكسدة للفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (650°C).



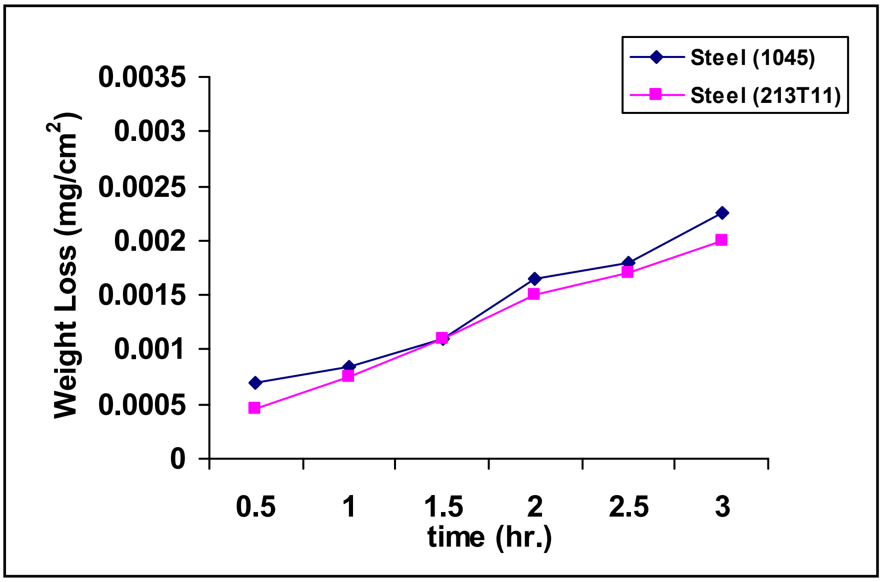
الشكل (٤): يوضح العلاقة بين الزمن والاكسدة للفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (750°C).



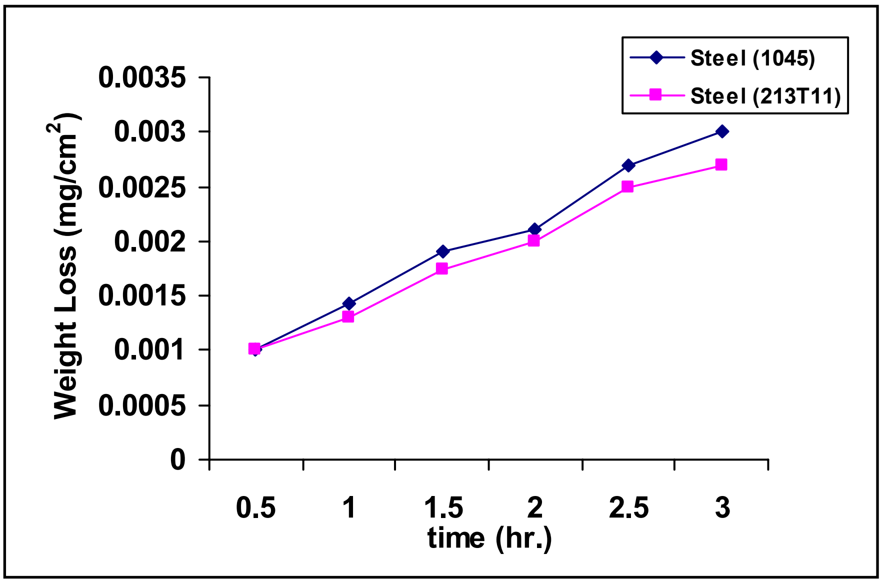
الشكل (٥): يوضح العلاقة بين الزمن والاكسدة للفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (850°C).



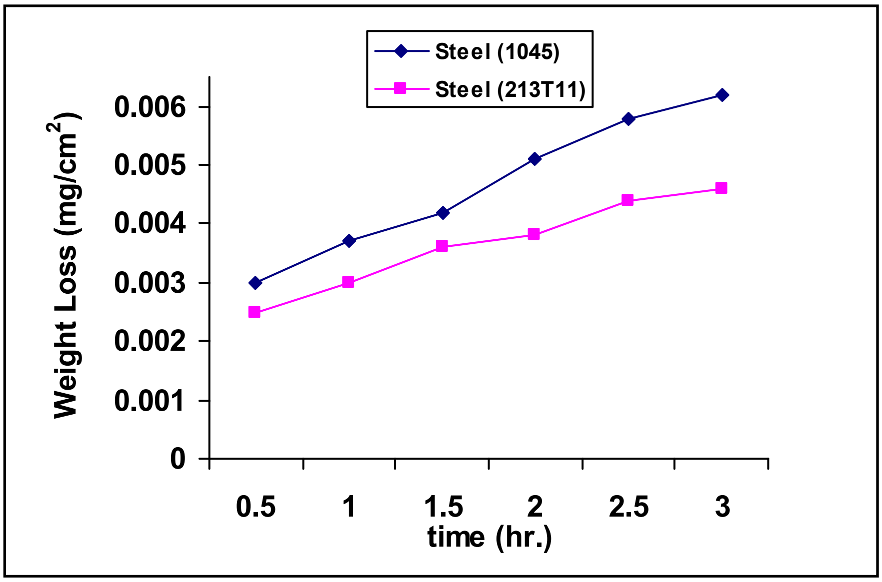
الشكل (٦): يوضح العلاقة بين الزمن والاكسدة للفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (950°C).



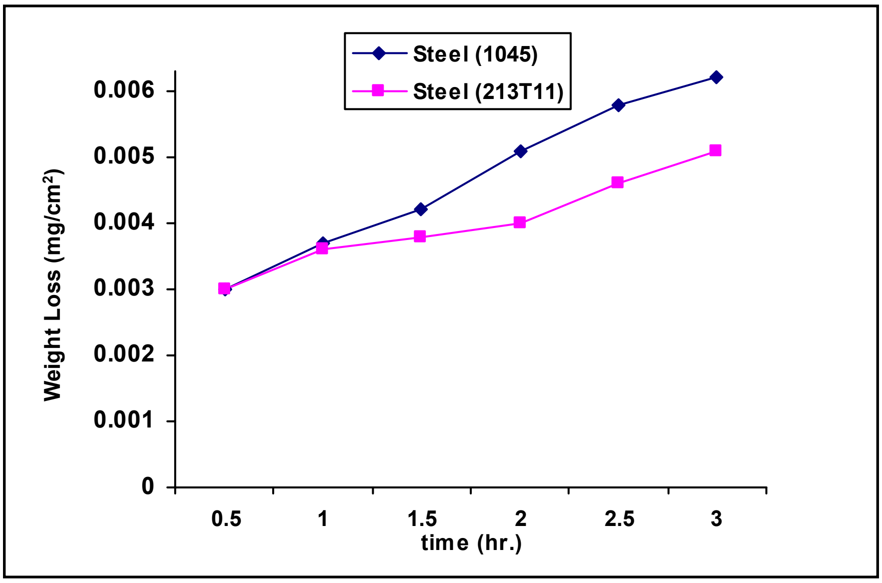
الشكل (٧): يوضح العلاقة بين الزمن (.hr) والفقدان بالوزن لعينتي الفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (550°C) عند الاكساء بالرماد.



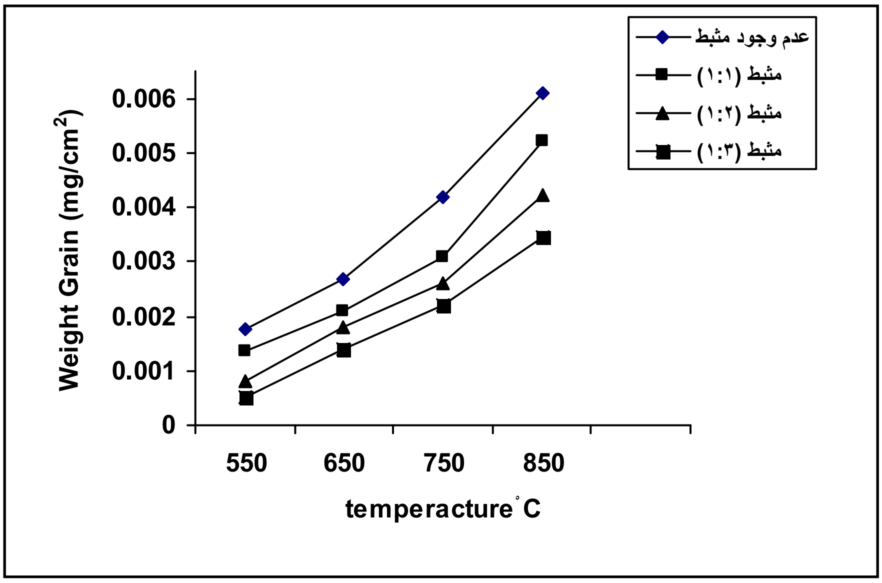
الشكل (٨): يوضح العلاقة بين الزمن (.hr) والفقدان بالوزن لعينتي الفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (650°C) عند الاكساء بالرماد.



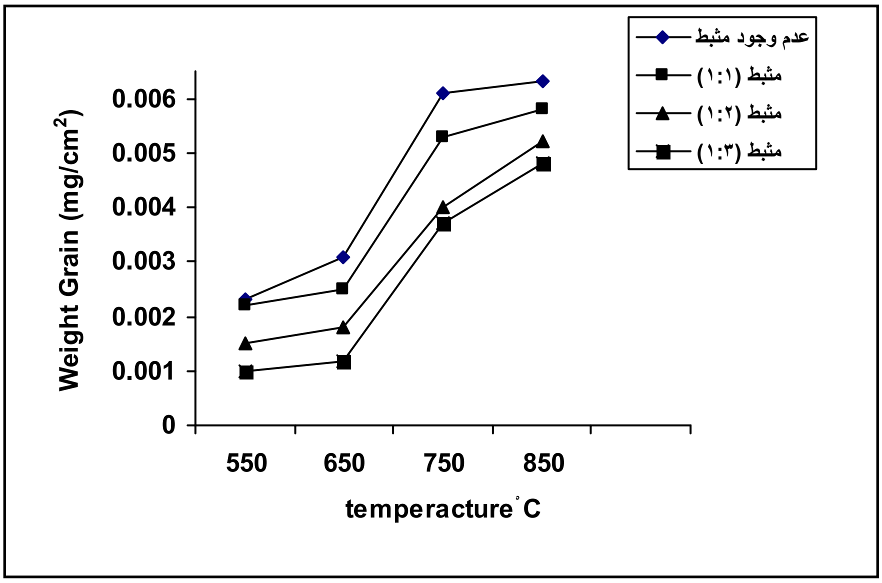
الشكل (9): يوضح العلاقة بين الزمن (.hrs) والفقدان بالوزن لعينتي الفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (750°C) عند الاكساء بالرماد.



الشكل (10): يوضح العلاقة بين الزمن (.hrs) والفقدان بالوزن لعينتي الفولاذ من نوع (1045) والفولاذ (213T11) عند درجة حرارة (850°C) عند الاكساء بالرماد.



شكل (11): يوضح العلاقة بين درجات الحرارة والزياده بالوزن عند زمن (3hr.) بعدم وجود مثبط فقط (رماد) وبوجود المثبط بثلاث نسب مولية (١:٣ و١:٢ و١:١) للفولاذ من نوع 213T11.



شكل (١2): يوضح العلاقة بين درجات الحرارة والزياده بالوزن عند زمن (3hr.) بعدم وجود مثبط فقط (رماد) وبوجود المثبط بثلاث نسب مولية (١:٣ و١:٢ و١:١) للفولاذ من نوع 1045.