

## The Effect of Nickel and Aluminum Concentration on Cyclic Oxidation Resistance of Mild Steel (AISI 1020)

Yahya A. Salman  
Dpt. of physics  
College of Science  
University of Mosul

[Kareem200138@yahoo.com](mailto:Kareem200138@yahoo.com)

Mahmood A. Hmood  
Dpt. of physics  
College of Science  
University of Mosul

[dr.mahmoodhammd@gmail.com](mailto:dr.mahmoodhammd@gmail.com)

Adrees E. Khadeer  
Dpt. of physics  
College of Science  
University of Mosul

[dr.adrees@uomosul.edu.iq](mailto:dr.adrees@uomosul.edu.iq)

DOI: [10.33899/edusj.2020.166256](https://doi.org/10.33899/edusj.2020.166256)

**Received**  
**03/ 04 / 2013**

**Accepted**  
**08 / 09 / 2013**

### ABSTRACT

Experimental studies have been made to determine the oxidation behavior of several coatings system on commercial mild steel alloy (AISI 1020). The oxidation kinetics of a single stage coating such as Aluminized and Nickel have been studied under (1000°C) using a thermal cyclic oxidation. The structures were studied using optical microscope to identify a phases. Most coating use to enhance the formation of protective oxid scale, in this research, the results for Nickel coating showed some reduction in resistance of (AISI 1020) alloy and It is found they follow linear rate law, but Aluminized coating using a pack – cementation technique, exhibited the greatest resistance to oxidation, followed parabolic law (protective oxidation behavior). because it has a good ductility and its capability to form a protective oxid Layer ( $Al_2O_3$ ), such Alumina scale is known as thermally and electrically insulator and characterized with slow growing rate.

**Keywords:** Mild Steel (AISI 1020), Pack cementation, Diffusion Coating, Cyclic Oxidation, Oxidation Resistance.

تأثير تركيز النيكل والالمنيوم على مقاومة التآكسد الدوري لسبيكة الصلب الطري (AISI 1020)

ادريس عيدان غدير	محمود احمد حمود	يحيى عبد الكريم سلمان
قسم الفيزياء	قسم الفيزياء	قسم الفيزياء
كلية العلوم	كلية العلوم	كلية العلوم
جامعة الموصل	جامعة الموصل	جامعة الموصل
dr.adrees@uomosul.edu.iq	dr.mahmoodhammd@gmail.com	Kareem200138@yahoo.com

DOI: [10.33899/edusj.2020.166256](https://doi.org/10.33899/edusj.2020.166256)

القبول  
2013/09/08

الاستلام  
2013/04/03

### الملخص

تهدف هذه الدراسة الى تحديد سلوكية انظمة الطلاء على سبيكة الصلب الطري نوع (AISI 1020) اثناء عمليات التآكسد، وتم تقييم حركية انظمة الطلاء بالنيكل والالمنيوم بمرحلة منفردة، وقد تم تعريف هذه النماذج لعمليات الاكسدة في درجات حرارية عالية ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) باتباع التاكسد بطريقة الدورات الحرارية، وكذلك دراسة التركيب عن طريق الفحص المجهرى . يستخدم الطلاء عادة لتعزيز تكوين قشرة أوكسيدية واقية، في هذا البحث أثبتت النتائج ان مقاومة الاكسدة لهذه السبيكة غيرالمطلية وكذلك بعد طلائها بالنيكل يتراجع اي انها لاتقاوم التآكسد وكانت نتائج أختبارات الأكسدة على النموذجين هي تكوّن أكاسيد غير واقية على سطح الفولاذ، اي انها ذات سلوك حركي، ويحصل تقشر في الأكاسيد، بينما أثبت الطلاء بالألمنيوم بطريقة السمنتة بدرجة ( $900^{\circ}\text{C}$ ) مقاومة أكبر للتآكسد، لامتلاكها لدانة جيدة فضلا" عن كونها قادرة على تكوين القشرة الأوكسيدية الواقية والتي تعد بدورها عازل كهرو حراري جيد ويتميز ببطيء معدلات نموها. وذلك باتباع السلوك الحركي العام اي يخضع الى قانون القطع المكافئ ( سلوك الأكسدة الواقية).

الكلمات المفتاحية: سبيكة الصلب الطري (AISI 1020)، السمنتة، الطلاء الانتشاري، التآكسد الدوري، مقاومة الاكسدة.

### المقدمة

إن التقدم العلمي السريع في المجالات الصناعية المختلفة مثل صناعة الطيران وصناعة محطات توليد الطاقة ، ادى إلى البحث دائماً" في كيفية رفع الوثوقية (Reliability) وزيادة العمر الزمني لعناصر الآلات . ويتعلق حل مثل هذه الأسئلة برفع متانة (Toughness) الطبقات السطحية وزيادة العمر الزمني عند تطبيق الحمولات المختلفة ، أو عند ارتفاع درجة الحرارة ، أو عند زيادة عدائية وسط التشغيل التي تعمل فيها هذه الاجزاء [1]

تسمح المعالجات الحرارية-الكيميائية (Chemical heat treatment) في الحصول على طبقات سطحية (Surface Layers) للمعدن المعرض لعملية الإشباع الانتشاري السطحي ، ذات تركيب كيميائي جديد

يختلف عن التركيب الكيميائي للأرضية المعدنية للسبيكة Matrix ، وذلك بتحسين الخواص الفيزيائية-كيميائية والخواص الميكانيكية ، ومن ثم رفع الجدوى الاقتصادية لها وزيادة العمر الزمني ، ويتم ذلك عن طريق انتشار عنصر الاشباع في الحالة الذرية في سطح المعدن عند درجات حرارة مرتفعة نسبيا" ، وخلافا" للمعالجة الحرارية فإن المعالجات الحرارية-الكيميائية لا تغير البنية(Structure) البلورية للسطح فحسب ، بل والتركيب الكيميائي (Chemical composition) للطبقات السطحية في الوقت نفسه ، الأمر الذي يسمح بتغير في الخواص Properties المختلفة لهذه الطبقات [2] [3].

تعدّ المواد ذات الاتحادات الكيميائية المختلفة مثل الكرييدات (Carbides) أو النتريدات (Nitrides) أو البوريدات (Borides) أو السيليكات (Silicates) أو الألومينات (Aluminates) أو الأكسيدات (Oxides) أو الكبريتات (Sulfides) وغيرها من المواد ذات الآفاق المستقبلية ، غير أن استخدامها في تصنيع أجزاء الآلات يكون صعبا" جدا" نظرا" إلى قسافتها (Brittleness) العالية ، فلذلك غالبا" ما يستعاض عنها بطلائها على شكل طلاء انتشاري (Diffusion coating) أو ما يسمى بعملية الاشباع السطحي ، وذلك من أجل تأمين الخواص الميكانيكية والفيزيائية المطلوبة والوصول الى صلادة سطحية جيدة (Surface hardness) العالية بالنسبة الى السطح وصلادة منخفضة بالنسبة الى الارضية المعدنية (Matrix)، أما المطيلية (Ductility) فتكون منخفضة نسبيا" [4].

يعدّ الطلاء الانتشاري بالالمنيوم (الألمنة) (Aluminizing) واحدة من عمليات الانتشار الإشعاعي لسطوح المعادن أو السبائك المعدنية بعنصر الالمنيوم بهدف رفع مقاومة الأكسدة (Oxidation Resistance) في درجات الحرارة العالية، ومقاومة التآكل الكيميائي (Chemical Corrosion Resistance) [5].

اشار الباحث Venkatakrishna وجماعته [6] أن مقاومة الصلب الطري للتآكل قد تحسنت بعد طلائها بسبيكة (Zn-Ni) وان هناك تأثيرا لمكونات خلية الترسيب وعوامل التشغيل على خاصية الترسيب وسلوك التآكل للسبيكة المطلية، منها تأثير كثافة التيار، درجة حرارة الخلية، حامضية المحلول (PH) وسمك الطلاء .

اشار الباحث Lim و Lee [7] أن سلوك التآكل لمادة الصلب الطري المطلية بالزنك وغير المطلية والمطلية بالأصباغ المعدنية وغير المعدنية عند تعرضها لمحاليل ملحية مختلفة وماء البحر لمدة (480) ساعة، إن المادة المطلية بالزنك تعطي أفضل مقاومة للتآكل .

درس الباحث Majeed [8] ألمنة الفولاذ الكربوني، تبين نتائج البحث أن طريقة المعالجة الانتشارية بالالمنيوم لها تأثير كبير ومهم في قدرة عمل الأجزاء المعرضة للأكسدة في درجات الحرارة العالية بين (700-900°C)، إذ تزداد مقاومة الأكسدة عند درجات الحرارة العالية للفولاذ المعالج بالألمنة من 5-8 مرات مقارنة للفولاذ غير المعالج .

كما درس الباحث Xing Wang وجماعته [9] تأثير الطلاء بالالمنيوم بطريقة السمنتة على الأكسدة الدورية بالهواء عند درجات الحرارة العالية لحديد الزهر، حيث وجد ان الطلاء أدى الى تحسين مقاومة الأكسدة بشكل فعال وذلك نتيجة لتكون أطوار غنية بالالمنيوم كالطور (FeAl) الذي تكون عند الطبقة الداخلية للطلاء والطور (Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>) عند الطبقة الخارجية من الطلاء، وقد تكونت هذه الاطوار نتيجة لاتحاد عنصر الطلاء من الحديد المكون للسبيكة الاساس.

تهدف الدراسة الحالية الى زيادة مقاومة سبيكة الصلب الطري نوع (AISI 1020) وذلك بطلائها بالنيكل بطريقة الترسيب الكهربائي وبالالمنيوم بطريقة السمنتة وبنسب معينة وعن طريق الطلاء المنفرد. كما يهدف هذا

## تأثير تركيز النيكل والالمنيوم على مقاومة التآكسد الدوري لسبيكة الصلب الطري (AISI 1020)

البحث ايضا" الى دراسة حركية التآكسد بطريقة الدورات الحرارية. كما تم استخدام المجهر الضوئي لفحص البنية العرضية للنماذج بعد الاكسدة.

### الجزء العملي

يتضمن الجدول (1) النسبة المئوية وزنا لمكونات السبيكة المستخدمة والجدول (2) يتضمن انواع انظمة الطلاء لهذه السبيكة ودرجات الحرارة التي تم تحضير الطلاء بها . كما يتضمن هذا الجزء اسلوب عمليات الاكسدة وتحضير العينات المستخدمة .

### الجدول (1) النسب الوزنية لعناصر الصلب الطري (AISI 1020) [10]

element	C	Mn	S	P	Fe
Wt%	0.18-0.23	0.3-0.6	0.05	0.04	Balance

### الجدول (2) مواصفات أنظمة الطلاء المستخدمة في عمليات التآكسد

رمز العينة	العناصر المستخدمة في الطلاء	الطلاء (درجة مئوية)	درجة حرارة تنفيذ	نظام الطلاء المستخدم
A	غير المطلية	-	-	-
B	Al	-	900	السمنتة
C	Ni	-	45	الكهربائية

### عمليات الطلاء الكهربائي والسمنتة :

#### الطلاء الكهربائي

تم ترسيب طبقة من النيكل بالطلاء الكهربائي ، وان المكونات الاساسية لحوض الطلاء هي :

1- كبريتات النيكل ( $\text{NiSO}_4$ )، تعد هذه المادة المصدر الرئيسي لأيونات النيكل في المحلول وتضاف بنسبة (180 gm./litter).

2- كلوريد الامونيوم ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )، تعمل هذه المادة على زيادة معامل انتشار أيونات النيكل ويضاف بنسبة (25gm/litter).

3- حامض البوريك ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )، إن الاساس في عمل حامض البوريك هو تنظيم درجة الحموضة في المحلول ويضاف بنسبة (30gm/litter).

وقد تم طلاء العينة عند درجة حرارة ( $45^\circ\text{C}$ ) وكثافة تيار (8A/d)، وقد استمرت عملية الطلاء لمدة (ساعة).

#### الطلاء بالسمنتة

تمت عملية الطلاء باستخدام طريقة السمنتة (pack cementation) التي هي إحدى طرق الطلاء الانتشاري وللنموذج المحضر التي تناولها البحث. تشمل هذه العملية غمر النموذج المراد طلاؤه في مزيج يتكون من معدن الطلاء الالمنيوم بنسبة (25%) والمادة المنشطة التي عادة تكون من كلوريد الامونيوم ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) بنسبة (4%) إضافة إلى مادة الالومينا بنسبة (71%)، تمزج المواد بشكل جيد ويوضع المزيج والعينة المراد طلاؤها في بودقة مغلقة. ثم توضع البودقة في فرن كهربائي مفرغ من الهواء بدرجة حرارة ( $900^\circ\text{C}$ ) ولمدة ثلاثة ساعات.

#### تحضير النماذج لعملية الاكسدة :

استخدمت النماذج المطلية المبينة في الجدول (2) بشكل اسطوانة ابعادها (9×30) ملم، وقد تم تجليخها بعناية باستخدام ورق صقل ناعم جدا حجمه الحبيبي (2000) ومن ثم غسلها جيدا بالماء، كما استخدمت بعض المحاليل الحامضية ( $H_2SO_4$ ) المخفف والقاعدية (NaCl) لإزالة الدهون والشحوم من على السطح والاكاسيد التي يمكن ان تكون غير مرئية بالعين وبعد اجراء كل العمليات الميتالورجية تم تعيين اوزانها بدقة باستخدام ميزان حساس ( $10^{-4}mg$ ) .

#### قياس حركية التآكسد :

استخدم لقياس حركية التآكسد فرن كهربائي مزود بمسيطر لدرجة الحرارة (Temperature Controller) يسخن الفرن الى درجة الحرارة المطلوبة ( $1000^{\circ}C$ ) وبعد التأكد من ثبوت درجة الحرارة عند الحد المطلوب، بعدها تدفع العينة الى المنطقة الساخنة (hot zone) التي ثبت فيها درجة الحرارة، وبعد انقضاء المدة الزمنية المطلوبة تخرج العينة من الفرن لتبرد حتى درجة حرارة الغرفة ويعاد وزنها مجدداً والفرق بين الوزنين يمثل الزيادة او النقصان الحاصل لوحدة المساحة. تكرر العملية طيلة المدة الزمنية التي تتعرض لها العينة للأكسدة (4 ساعات) لكل دورة ولغاية (40 ساعة)، هذه العملية تعرف بالتآكسد اثناء الدورات الحرارية (Thermal Cyclic Oxidation) وتعرض العينة لاختلاف مفاجئ في درجات الحرارة والذي ينشأ عنه الاجهاد الحراري (Thermal Stress) والذي يتسبب عادة بتساقط القشرة الاوكسيدية المتكونة خلال عملية الاكسدة .

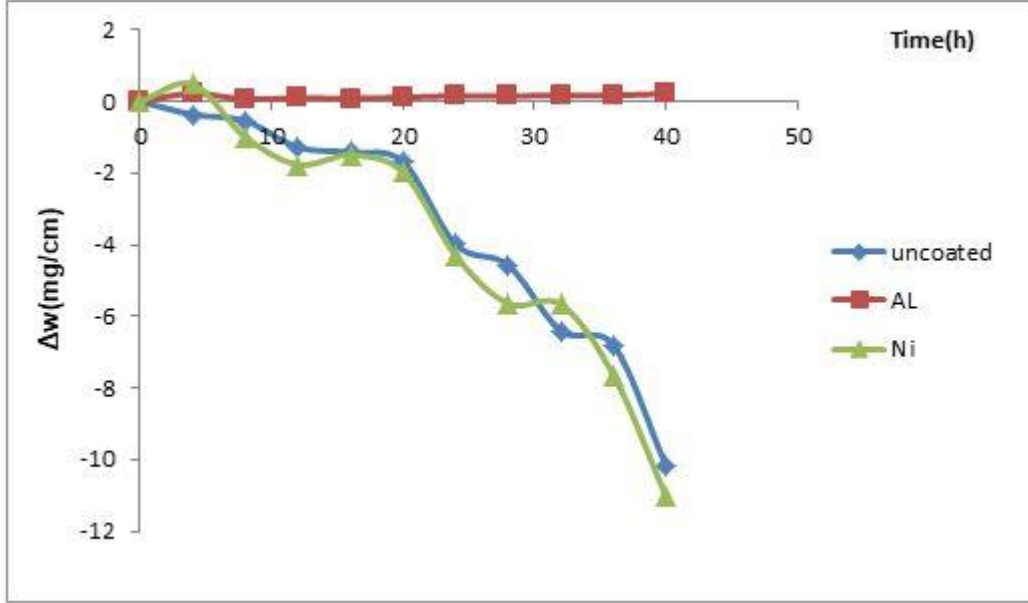
#### الفحص المجهري Microstructure :

أجريت الفحوصات المجهرية بعد عملية الطلاء والاكسدة وذلك بأخذ مقاطع من العينات وقد أجرى عليها التنعيم (Grinding) باستخدام ورق تنعيم بدرجات (1200-400-220) ثم صقلت باستخدام محلول الالومينا ( $Al_2O_3$ )، وغسلت بالماء والصابون وجففت بعد ذلك تمت عملية الاظهار (Etching) باستخدام محلول النايتال (Nital) الذي يتكون من حامض النتريك ( $HNO_3$ ) (2%) والكحول النقي (98%).

### النتائج والمناقشة

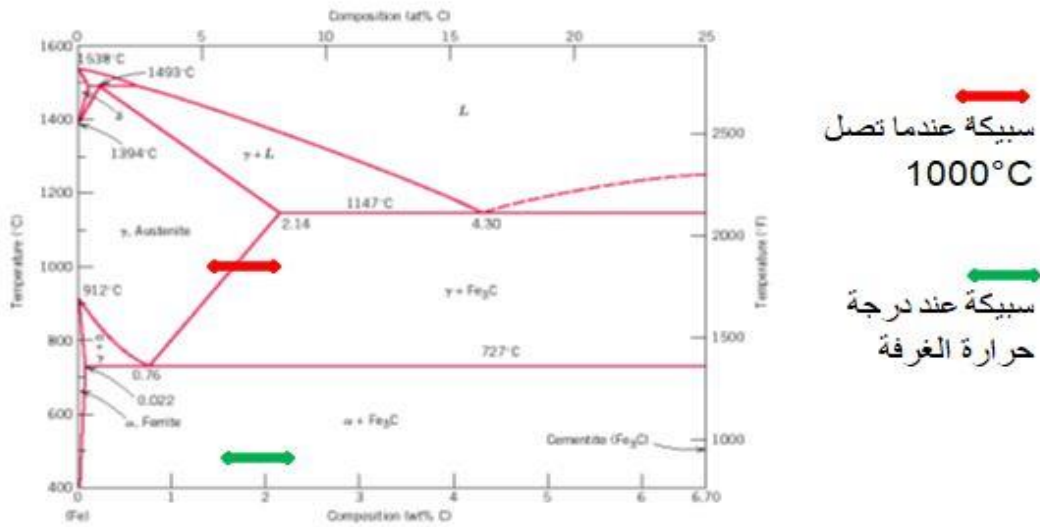
يتضمن الشكل (1) علاقة التغير في الوزن مع الزمن لأكسدة السبيكة المطلية بالالمنيوم والنيكل وغير المطلية خلال تعرضهما للدورات الحرارية، كما ان جميع النماذج خضعت الى الية التآكسد عند نفس الدرجة الحرارية ( $1000^{\circ}C$ ) لقد بدا واضحا" من الشكل (1) ان مقاومة الاكسدة للسبيكة غير المطلية (AISI 1020) أظهر تراجعاً في مقاومتها للأكسدة (من خلال ما سجله فقدان في الوزن من ماكان عليه في الاصل) مقارنة" مع السبيكة المطلية بالالمنيوم والنيكل، أي أن السبيكة غير المطلية ومنذ الساعات الاولى للاكسدة وكما هو واضح من الشكل بدأ بالتناقص، حيث بلغ النقصان في الوزن بعد (40) ساعة ما يقارب من ( $11.5mg/cm^2$ ) ويمثل هذا الفقدان في الوزن اكثر من نصف وزن النموذج قبل الاكسدة .

تأثير تركيز النيكل والالمنيوم على مقاومة التآكل الدوري لسبيكة الصلب الطري (AISI 1020)



الشكل 1 : العلاقة بين التغير الحاصل في الوزن مع الزمن (hr) لأوكسدة السبيكة المطلية بالنيكل والالمنيوم وغير المطلية .

ان التركيب البنوي للصلب (Mild steel AISI 1020) كما هو مستلم [10] يتكون من الطور الفيريت ( $\alpha$ -ferrite) وجسيمات السمنتايت ( $\text{Fe}_3\text{C}$  cementite particles) هذا مايشير اليه مخطط التوازن الحراري الشكل (2) .



الشكل 2 : مخطط التوازن الحراري (كربون - حديد) [11]

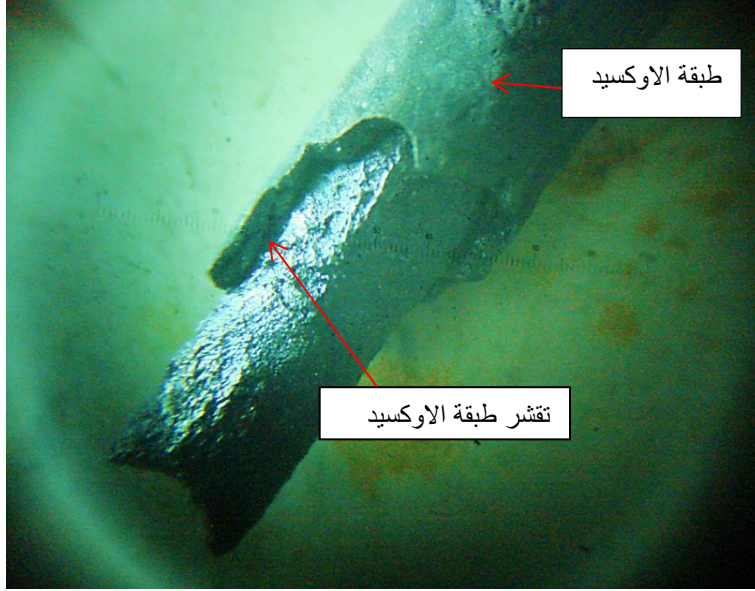
بعد تعريض هذا النموذج لأوكسدة بدرجة حرارية ( $1000^\circ\text{C}$ ) ولمدة اربعين ساعة ان التركيب البنوي قد انهار على شكل قشرات متتالية خلال تعرضها الى دورات حرارية ، الشكل (3). بما ان نسبة الكربون في هذه

## تأثير تركيز النيكل والالمنيوم على مقاومة التأكسد الدوري لسبيكة الصلب الطري (AISI 1020)

السبيكة يتراوح بين (0.18-0.23%C) اي انها من النوع منخفض الكربون وبما ان درجة حرارة الاكسدة هي (1000°C) وهي الدرجة التي اوصلت السبيكة الى مجال الطور الاوستنايتي اعلى من (727°C) كما في مخطط التوازن الحراري الشكل (2) وهي درجة حرارة اليوتكتويدي (eutectoid reaction)، حيث ان البيرلايت تكون عند تبريد الاوستنايت ( $\gamma$ ) بعملية التفاعل اليوتكتويدي الى ما دون (727°C) وحسب التفاعل المتعاكس الاتي :



وبسبب وجود الكربون بنسبة معينة في السبيكة سوف يتخذ اشكالا" مختلفة للكربيدات ، اي على شكل جسيمات السمنتايت اوسمنتايت في البيرلايت ، وكلاهما يؤثران على الخواص الميكانيكية للسبيكة حيث ان الكربيدات معروفة بصلابتها وهشاشاتها اي ان عملية التحول من طور الى الطور الاوستنايتي ثم تحولها الى طور الفيررايت قد تحكمها معدلات التبريد وقد تزداد النسبة الحجمية لحبيبات الفيررايت كلما انخفضت درجة الحرارة. وكذلك تزايد نمو هذه القشرات اسفل الطبقة الخارجية قد يؤدي الى تكسرها كما هو واضح في الشكل (3) وقد تتساقط مع تزايد المدة الزمنية للاكسدة وبهذه الالية يستنزف عنصر الحديد من سطح السبيكة لتكوين القشرة الاوكسيدية ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) بمفردها وربما جميع انواع اكاسيد الحديد الاخرى ( $\text{FeO}$  ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ومع زيادة الزمن وازدياد سمك هذه الاكاسيد تتقشر وتتساقط بسرعة بشكل رقائق واضحة المعالم وان العينة ستكون ذات سلوك حركي يتبع القانون الخطي للحركة [12]، وهذا ما أظهره الفحص المجهرى المختبري لتلك الرقائق، الشكل (3) .



الشكل 3 : التركيب المجهرى لأكسدة السبيكة الصلب الطري (Mild steel AISI 1020) غير المطلية (300X)

أما بالنسبة للسبيكة المطلية بالنيكل لاختلاف عملية التأكسد للطلاء كثيرا" عنه في حالة السبيكة غير المطلية ، لقد تميز هذا النوع من الطلاء الكهربائي بمقاومة عالية نسبيا" وخاصة في الساعات الاولى من التأكسد كما لم يسجل أي تناقص في الوزن الا بعد ما يقرب من (6) ساعات من التعرض للاكسدة. يتبين من الشكل (4) طبقة

## تأثير تركيز النيكل والالمنيوم على مقاومة التآكل الدوري لسبيكة الصلب الطري (AISI 1020)

النيكل تقشر كما هي الحال في السبيكة غيرالمطلية الشكل (3)، وربما تحولت الى اكاسيد احادية لكلا العنصرين النيكل والحديد فضلا عن اطوار ثنائية، هذا ما يعزى الى الزيادة في الساعات الاولى الى وجود اكاسيد احادية مثل ( $NiO, FeO, Fe_2O_3$ ) وبعض الاطوار الثانوية لمركبات النيكل مثل ( $FeNi$ )، اي ان طبقة الطلاء وفرت الحماية للسبيكة بشكل جيد في الساعات الخمسة الاولى فقط اي بسبب تكون القشرة الاوكسيدية ، ان تزايد نمو هذه القشرات اسفل الطبقة الخارجية قد يؤدي الى تكسرها و تساقطها مع تزايد المدة الزمنية للأكسدة وبهذه الالية يستنزف عنصر النيكل من سطح السبيكة بحيث لم يعد قادرا على تكوين طبقة خارجية من اوكسيده وتزايد سرعة نمو اكاسيد الحديد بأنواعها وهي غير قادرة على توفير الحماية للسبيكة كما هو الحال في السبيكة غير المطلية فيحدث الانهيار اي ان العينة ذات سلوك حركي يتبع القانون الخطي [12] ويحصل تقشر في الأكاسيد، في كل الاحوال فأن مقدار النقصان في الوزن الحاصل بعد (40) ساعة يمثل تقريبا اكثر من نصف ما كان عليه في السبيكة قبل الطلاء اذ بلغ معدل فقدان الوزن بحدود ( $10.5mg/cm^2$ ).



الشكل 4: التركيب المجهرى لأكسدة سبيكة الصلب الطري ( Mild steel AISI 1020 )  
المطلية بالنيكل (300X)

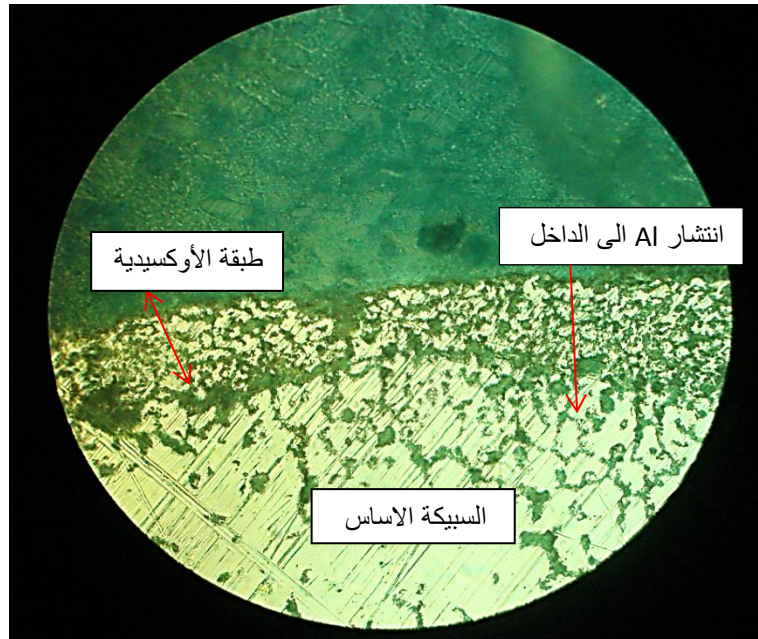
بينما نلاحظ من الشكل (5) ان السبيكة المطلية بالالمنيوم وبطريقة السمنة أبدت تحسنا واضحا في مقاومتها للأكسدة خلال تعرضها للدورات الحرارية حيث لم يسجل خلالها اي نقصان في الوزن بل على العكس سجل زيادة طفيفة خلال الـ (40) ساعة المعرضة للأكسدة، ان سطح السبيكة وكما هو واضح من الشكل (5) فأن طبقة طلاء الالمنيوم يمكن تمييزها أعلى السطح ، كما يجب ان نشير هنا بأن الطلاء الناتج بعملية الالمنة لهذا النموذج هو من الطور ( $Fe_2Al_5, FeAl_3$ ) [13]، فعند تعرضه للتآكل كما هو واضح من الشكل (5) فأن تكوين اوكسيد الالمنيوم ( $\alpha-Al_2O_3$ ) الواقى على سطح النموذج مع وجود الاكاسيد الاخرى كطبقة او طبقات ثانوية (بما أن السطح تكون غنية بالالمنيوم، ووجود الاوكسجين عند التآكل يتكون نوعين من الاكاسيد ( $\gamma-Al_2O_3$ ) وهذا النوع تكون في الساعات الاولى وتسمى النوع المتطاير وتكون غير مستقرة، أما النوع الثاني فتكون النوع المستقر ( $\alpha-Al_2O_3$ )، ومن المعروف ان معدل انتقال الكتلة (mass transport) خلال الالومينا بطيء جدا" اسفل الطبقة الواقية، اي أن طبقة الطلاء السطحية مكونة من طبقتين يفصل بينهما سطح فاصل:



## تأثير تركيز النيكل والالمنيوم على مقاومة التآكل الدوري لسبيكة الصلب الطري (AISI 1020)

أ- طبقة خارجية رقيقة فقيرة بعنصر الحديد تتألف من ألومينايد الحديد ( $FeAl$ ) المتوازن أو مجموعة غنية بمركبات ألمنيوم وتشمل ( $FeAl_3, Fe_2Al_3, FeAl_2$ ) (مخطط التوازن الحراري للثنائي حديد - ألمنيوم) [11] وجزيئات من أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) فضلاً عن محلول صلب ( $\alpha$ ) لعنصر الألمنيوم في الهيكل الشبكي للحديد.

ب- طبقة داخلية حبيبية الشكل تقع تحت الطبقة الأولى، وهي غنية بعنصر الحديد وتحتوي على ألومينايد الحديد والمحلول الصلب في الهيكل الشبكي للحديد، وان السلوك الحركي العام يخضع الى قانون القطع المكافئ ( سلوك الأكسدة الواقية ). ولم يلاحظ خلال هذه الفترة اي تناقص في الوزن مما يدل على التصاق القشرة الأوكسيدية خلال الدورات الحرارية ، وتستمر الى مايقارب 40 ساعة التي مازالت تغطي سطح الطلاء حتى نهاية دورات التعرض بالرغم من اشتراك الاكاسيد الاخرى اسفل القشرة الواقية.



الشكل 5: التركيب المجهرى لأكسدة سبيكة الصلب الطري ( Mild steel AISI 1020 ) المطلية بالالمنيوم (300X)

### الاستنتاجات

- بناءً على المعطيات والنتائج التي حصلنا عليها خلال اجراء البحث يمكن ان نستنتج ما يلي :
- 1- تؤثر درجات الحرارة العالية على مقاومة الاكسدة بسبب التغيرات الطورية الحاصلة للسبيكة الاساس ويعتمد تكوين هذه الاطوار على درجة الحرارة وطريقة تبريد السبيكة وكل طور من هذه الاطوار له خواص ميكانيكية تختلف عن الاخر .
  - 2- تتناقص مقاومة الاكسدة عند طلاء السبيكة بالنيكل بطريقة الترسيب الكهربائي وتكون طبقة طلائية سطحية سمكها لا تتجاوز ( $6-7 \mu m$ ) من عنصر النيكل (تم القياس عن طريق جهاز في المعهد الفني - قسم الميكانيك).

3- تتحسن مقاومة الاكسدة بشكل ملحوظ عند طلاء السبيكة بالالمنيوم بطريقة السمطة باستخدام درجات حرارة مرتفعة تعمل على تلدين السبيكة من جهة وتكوين اطوار سطحية تختلف مواصفاتها الميكانيكية عن السبيكة الاساس .

4- تؤكد نتائج البحث إمكانية استخدام الطلاء الانتشاري بالالمنيوم في رفع الوثوقية ومقاومة الأكسدة عند درجات الحرارة العالية، مما يؤدي إلى زيادة العمر الزمني لعناصر الآلات في محطات توليد الطاقة وريش عنفات الطائرات.

### Acknowledgments

Especial thanks to the University of Mosul and the College of Science for their cooperation to carry out this research.

### المصادر

1. Badaruddin M.; Sugiyanto; Asmi D., Journal of Bulletin of Materials Science, Vol.43,No.11 100 – 120(2020).
2. Epik, A.P.; Majeed, A.Y., Journal, N8, pp 42-50.-Kiev(1993).
3. Guo, S.; Wang, Z.B.; Lu, KAn, Elsevier Ltd., Journal of Materials Science & Technology, Vol.31 P. 1268(2015).
4. Hishamuddin, Hj.; Husain, a Abdul Razak Daud, and Muhama Daud. Diffusion of Aluminum Into Steel Substrates By Means Of Hot Dip Aluminizing. AIP Conf. Proc. January 5, – Vol. 1202, pp. 146-148. - USA(2010).
5. Xiao, Si.; Bining, Lu.; and Zhenbo Wang., J. Mater. Sci. Technol.,Vol.25, N4. China(2009).
6. Venkatakrishna, K.; Tangaraj, V.; Chitharanjan, A., India Journal of Chemical Technology, Vol.15, pp.252-258(2008).
7. Lim, C.Y.; Lee,F.H., Lim and Malaysia Journal of Chemistry, Vol.9,No 1.040 – 050(2007).
8. Majeed, A.Y., Damascus University Journal for Engineering Science,Vol.28, No.1 (2012). (In Arabic).
9. Xing Wang; Yongzhe Fan; Xue Zhao; An Du; Ruina Ma; Xiaoming Cao, metals Journal, Vol.9,No. 648 2-10(2019).
10. Machado, I.F., Journal of Materials Processing Technology 172(2006).
11. Callister, W.D. " Materials Science and Engineering ". 5th edn. John Wiley and Sons, New York(2005).
12. Fontana, F.; Green, G., Corrosion engineering. Mc Graw Hill pub(1978).
13. Matti N. E., Fatigue examination of mild steel coated with nickel and aluminum, M.Sc. Thesis, College of Science, University of Mosul (2011). (In Arabic).