



دراسة كفاءة سبيكة الفولاذ المقاوم للصدأ AISI – 304L المطلية بوجود الحاجز الحراري  $Y_2O_3$  في درجات الحرارة العالية

محمود احمد حمود

طه محمود اخضير

قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل

p-ISSN: 1608-9391

e-ISSN: 2664-2786

**Article information**

Received: 5/ 6/ 2022

Accepted: 17/ 7/ 2022

DOI: 10.33899/rjs.2022.175401

**corresponding author:**

طه محمود اخضير

[taha.20scp16@student.uomosul.edu.iq](mailto:taha.20scp16@student.uomosul.edu.iq)

محمود احمد حمود

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

**الملخص**

يهدف البحث الحالي الى تعديل مكونات بعض السبائك بطريقة هندسة الاسطح من خلال تقنية الطلاء الانتشاري بوجود الحواجز الحرارية بغية الحصول على سبائك جديدة ذات كفاءة عالية في مقاومة الظروف البيئية القاسية وتم في هذا البحث استخدام اختبار قاس لهذه السبائك المنتجة وهو عملية التأكسد في درجات حرارة عالية وفي جو بخار خليط من كلوريد الصوديوم وكبريتيد الصوديوم في درجة حرارة  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  ، ومن ثم مقارنتها مع السبيكة الاساسية وقد اظهرت النتائج ان السبائك المنتجة بهذه الطريقة ذات كفاءة عالية جدا. اظهرت النتائج ان الطلاء بالحاجز الحراري  $Y_2O_3$  هو أفضل انواع الطلاءات المستخدمة، حيث أظهر انه ذو كفاءة عالية في مقاومة التأكسد وقد وفر حماية أفضل ولوقت اطول بالمقارنة مع السبيكة غير المطلية ويعزى ذلك الى طبقة القشرة الأوكسيدية  $Al_2O_3$  التي تكونت ذات الالتصاقية العالية وكذلك الاطوار الغنية بالالمنيوم سواء كانت اطوار الالمنيوم نيكل او الالمنيوم الحديد. وكذلك اظهرت النتائج ان سمك الطلاء والوزن المكتسب للسبيكة يخضع لعلاقة القطع المكافئ مع الزمن.

**الكلمات الدالة:** الطلاء الانتشاري، التآكل الحار، الاكسدة في درجات الحرارة العالية.

### المقدمة

تعد مشكلة التآكل من اكبر المشاكل التي تعاني منها الصناعة أينما وجدت وهو يصيب الاجزاء المعدنية، نتيجة لتفاعل سطح المعدن مع الوسط الموجود فيه والذي يؤدي بالتالي الى انهيار وفشل هذه الاجزاء ومن الجدير بالذكر ان السبب الذي يدعو المعادن لان تتآكل هو ان تأكلها يؤدي بها الى حالة اكثر استقرارا من الحالة التي عليها من قبل حصول التآكل اي بمعنى اخر ان هذا التفاعل يحصل بشكل حر تلقائي بين سطح المعدن والوسط و يؤدي الى تحرير الطاقة (Rahma and Hussein, 1989)، (Eskner, 2004)، (Sedrilcs, 1979)، (Henthorne, 1971).

بالإضافة الى انه هنالك تفاعلا يدعى تفاعل كهروكيميائي وهذا لا يحصل الا عندما يكون الوسط الذي فيه المعدن وسطا ناقلا للكهربائية اي منحل كهربائيا (الكتروليت) وهناك نوع اخر من الفشل الذي يصيب المعادن ولكنه لا يتضمن تفاعلا كهروكيميائيا بين سطح المعدن والوسط الموجود فيه بل يتضمن اتحاد مباشرا بين هذا السطح وبعض العناصر الغازية الموجودة في الوسط مثل الاوكسجين والكبريت يحدث هذا النوع من الفشل عادة عند درجات الحرارة العالية ويعرف بالتآكل في درجات الحرارة العالية اما عملية التآكل وهو نوع من انواع التآكل يحصل فيه الاتحاد بين سطح المعدن والاكسجين وقد يحدث الفشل نتيجة قوة الاحتكاك وحينئذ يدعى هذا الفشل بالبلى (Wear) او التعرية (Erosion) وليس تأكلا وذلك لان سببه ميكانيكي بحت وليس كيميائيا (Al-Jubouri, 2007). وتكون القوة الميكانيكية احيانا عاملا مساعدا في بعض الاوساط لحصول التآكل الكهروكيميائي كما في بعض انواع التآكل، مثل التآكل الأجهادي والتآكل بالتعرية (Al-Jubouri, 2021).

### Oxidation Kinetics

### حركات التآكل

إن معدل التفاعل لأكسدة معدن أو سبيكة يعتمد على عدد من العوامل ومن أهمها درجة الحرارة، ضغط الأوكسجين، تهيئة السطح، المعاملة السابقة (Pre-Treatment) للمعدن. فمن وجهة نظر هندسة التصميم، حركات التآكل مهمة جداً، ذلك لأنه يمكن بواسطتها تخمين عمر القطعة المصممة المراد استخدامها في درجة حرارة معينة وأجواء تآكلية معينة. إن عمليات تأكسد المعادن والسبائك تحت مختلف الظروف تتم بمعدلات نمو مختلفة، وتخضع للقوانين الآتية، (Khana, 2002):

### Logarithmic Law

### القانون اللوغاريتمي

إن سلوك التآكل اللوغاريتمي يمثل عادة الأكسدة في درجات الحرارة المنخفضة ولطبقة رقيقة جداً من الاوكسيد أقل من  $(1000 A^\circ)$ ، ويتصف بأن معدل التفاعل في البداية يكون عالياً جداً ثم ينخفض إلى معدلات أقل. يمثل قانون معدل التفاعل اللوغاريتمي بالعلاقة الآتية (Khana, 2002)، (Al-Obaidi, 2005):

$$(Direct Logarithmic Law) W = K \log(t) + a_1 \dots\dots\dots(1)$$

اذ أن:

$W$  : الوزن المكتسب لوحدة المساحة.

$K$  : ثابت معدل التآكل اللوغاريتمي.

$a_1$  : ثابت التكامل.

$t$  : زمن التآكل.

### Parabolic Law

### قانون القطع المكافئ

يعد قانون القطع المكافئ ذا أهمية كبيرة وذلك لأن حركية التآكل لمعظم المعادن والسبائك الهندسية تخضع لهذا القانون. وقد تم تحقيق هذا القانون لأول مرة من قبل العالم Wagner وذلك بالاعتماد على عملية انتشار الأيونات والإلكترونات خلال طبقة الأوكسيد. ان عملية نمو الأوكسيد عادة تكون محكومة بانتشار الأيونات والإلكترونات خلال القشرة الأوكسيدية المتكونة أولاً، حسب هذا القانون فان نمو الأوكسيد يحدث مع تناقص مستمر في معدل التآكل ولذلك معدل التفاعل يتناسب عكسياً مع وزن الأوكسيد المتكون أو سمك القشرة المتكونة، كما في العلاقة:

$$W^2 = 2K_p t + a_3 \quad (2)$$

اذ إن:

Kp ثابت معدل تأكسد القطع المكافئ.

#### • القانون الخطي Linear Law

ويمكن تمثيل القانون الخطي بالعلاقة الآتية:

$$W = K_1 t + a_4 \quad (3)$$

اذ إن:

K<sub>1</sub> ثابت معدل التأكسد الخطي.

#### الجزء العملي:

تم تحضير العينات من سبيكة الفولاذ الاوستنايتي المقاوم للصدأ (Stainless Steel ، AISI – 304L) كما في (الجدول 1)، بأبعاد واحجام مختلفة وتم تنظيف العينة تنظيف جيداً حيث تعد عملية التحضير من الوسائل الضرورية لعملية الطلاء.

الجدول 1: تركيبة سبيكة الصلب المقاوم للصدأ (AISI – 304 L)

Component	C	Mn	P	Ni	S	Si	Cr	Fe
Wt%	0.07	2.00	0.045	10.50	0.030	1.00	19.50	BAL

#### المواد والاجهزة المستخدمة:

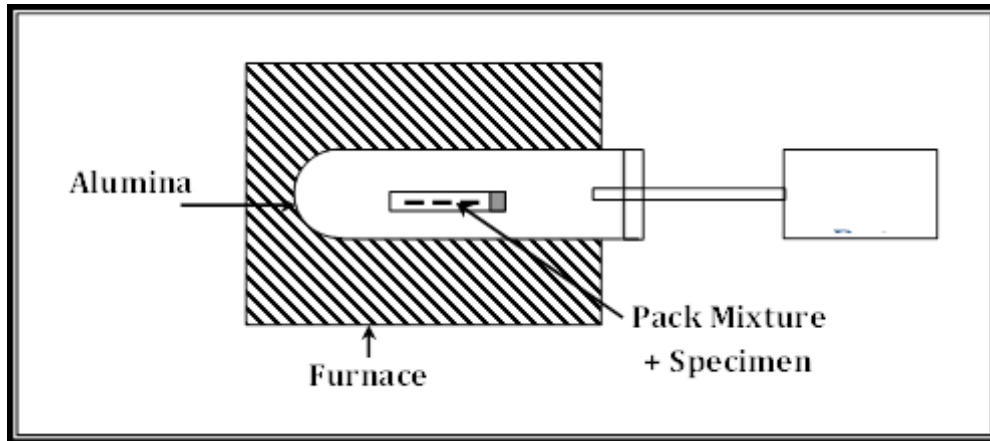
- مزيج من مسحوق الألمنيوم النقي ومسحوق كلوريد الأمونيوم (NH<sub>4</sub>Cl) كمادة منشطة وأوكسيد الألمنيوم النقي (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) لمنع تكتل المزيج، وبالنسب الوزنية الآتية (25%)، (5%) و (70%) لكل من (AL)، (NH<sub>4</sub>CL)، (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، على التوالي.
- أنبوبة مصنوعة من مادة الألومينا المقاومة للحرارة مفتوحة من أحد الطرفين ومسدودة من الطرف الآخر (Hodge and Dunand, 2001).
- مسيطر لدرجة الحرارة.
- ماكينة التجليخ.
- ميزان كهربائي حساس دقته (0.0001 gm).
- جهاز حيود الأشعة السينية XRD.
- جهاز المجهر الالكتروني الماسح.
- مجهر ضوئي مجهز بكاميرة.
- مضخة تفريغ.
- أفران كهربائية تصل درجة حرارتها إلى (1150 C°).
- مجهر نوع (AHSLER Type V- Tester 2) لقياس سمك الطلاء.
- جهاز قياس السمك نوع (AHSLER Type V- Tester 2).
- مسيطر لدرجة الحرارة نوع (Temperature Controller).

### تهيئة العينات للطلاء (Sample preparation for coating)

تعد عملية تهيئة العينات للطلاء من الوسائل الضرورية والمهمة جداً لنجاح عملية الطلاء. فبعد عملية تقطيع السبيكة تمت عملية التهيئة للعينات على عدة مراحل، إذ تم إجراء عملية التنعيم (Grinding) والصلقل (Polishing) للعينات لإزالة الأكاسيد الموجودة على السطح باستخدام ورق التنعيم المصنوع من مادة كاربيد السيليكون وبدرجات نعومة مختلفة ابتداء من (270) ومروراً بـ (400 و 600 و 1000 و 1200) لحين الوصول إلى الدرجة النهائية (2000)، (Hamdan, 1983) و (Al-Mazouri, 2006). تم غسل العينات بالماء الدافئ ومسحوق الغسيل ومن ثم بالميثانول لإزالة المواد الدهنية العالقة وبعدها بالأسيتون للتجفيف السريع ثم بالماء المقطر، كل ذلك للحصول على سطح ملائم لإجراء عملية الطلاء (Al-Jubouri, 2007).

### عمليات الطلاء (Coating Processes)

تمت عملية طلاء العينات المحضرة باستخدام طريقة السمنتة (Pack Cementation) وهي إحدى طرائق الطلاء الانتشاري وقد استخدمت هذه الطريقة في طلاء جميع العينات المحضرة في هذا البحث، تحتوي بودقة السمنتة على مسحوق الألمنيوم النقي بنسبة (25%) ويستخدم كمصدر للطلاء ومسحوق كلوريد الألمنيوم بنسبة (5%) كمادة منشطة ويعمل على نقل الألمنيوم من الخليط إلى العينة المراد طلاؤها (Hodge and Dunand, 2001)، (Houngninou et al., 2003) والمتبقي من المسحوق هو مادة الألومينا ( $Al_2O_3$ ) وتستخدم كمادة تمنع تكثف المزيج، وبعد مزج الخليط بصورة جيدة لعدة ساعات يتم وضع العينة المراد طلاؤها داخل بودقة السمنتة، وتغلق بصورة جيدة من الطرفين، ثم يتم إدخالها إلى داخل فرن كهربائي مفرغ، وتمت عملية الطلاء في درجة حرارة ( $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ولعدة عينات وبأزمان (2، 4، 6 و 8) ساعة والشكل (1) يوضح رسماً تخطيطياً لعملية الطلاء باستخدام الفرن المفرغ (Vacuum Furnace).



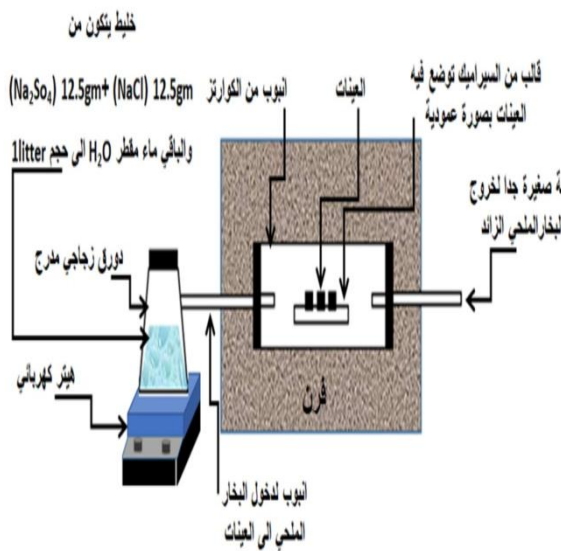
الشكل 1: رسم تخطيطي يوضح عملية الطلاء في الفرن الكهربائي

### التآكل الحار

ان عملية التآكل الحار هي عملية يتم فيها تحويل الفلز من صورته الانتقالية (الحررة) الى صورته الانتقالية الثابتة اي عكس التفاعل الاساس لاستخراج المعادن لان معظم الفلزات تستخلص من خاماتها عن طريق امدادها بمقدار معين من الطاقة اذ تكون في الحالة المنفردة في مستويات طاقة اعلى من الصورة الاتحادية وفقا للقانون الثاني للثرموداينميك الحراري، فان الحالة الاخيرة هي العودة الى أدنى مستوى طاقة ممكنة اي العودة الى الصورة الاتحادية من جديد وهذه العملية تسمى التآكل الحار (Henthorne, 1971)، (Al-Khazraji and Al- Sharif, 1987)

## اختبار التآكل الحار Hot Corrosion Testing

لقد تم إجراء اختبار التآكل الحار في الفرن المصنع لهذا الغرض بطريقة الاكسدة الدورية او الدورات الحرارية عند درجة حرارة ( $900^{\circ}\text{C}$ ) كما في الشكل (2) وتحت الضغط الجوي الاعتيادي وكانت مدة كل دورة خمس ساعات وفي جو من خليط من بخار كبريتات الصوديوم وكلوريد الصوديوم وذلك وباستخدام دورق يحتوي على خليط من كبريتات الصوديوم وكلوريد الصوديوم مع لتر ماء ووضعه على المسخن حتى يصل الى درجة الغليان وبذلك ينتقل بخار الخليط الى داخل الفرن وفي درجة حرارة ( $900^{\circ}\text{C}$ ) وذلك بغية اختبار سلوك العينات غير المطلية والمطلية بأنواع الطلاءات المستخدمة (Beltran, 1995)، (Hamdan, 1983)، (Sheffield, 1994). الطلاء الألوميني الاعتيادي (السمنتة) (Pack Cementation) وهو على اربع مدد زمنية (2، 4، 6، 8) ساعة



الشكل 2: المنظومة المستخدمة في عملية الاكسدة الدورية

تم وزن العينات قبل الاختبار وثبتت أبعادها لمعرفة التغير بالوزن الحاصل بعد الاختبار (Ying Zhang, 2008) وبعد ذلك توضع في قالب يحتوي على تجاويف لتثبيت العينات عليه (Stringer, 1987)، ومن ثم يتم إدخالها إلى الفرن بعد وصوله الدرجة الحرارية المطلوبة وهي ( $900^{\circ}\text{C}$ ). تخرج العينات من الفرن بعد خمس ساعات ثم تبرد لمدة (30) دقيقة وتغسل بعد ذلك بالماء ومسحوق الغسيل وتجفف ثم توزن. تعاد هذه العملية بشكل دوري ولغاية (200) ساعة كحد أقصى للاختبار وتقارن مع النموذج غير المطلي لمعرفة الطلاءات التي وفرت حماية أفضل (AL-Lami, 1989), (Pint, 2011), (Villat, 1976).

## الفحص المجهرى Microscopic Test

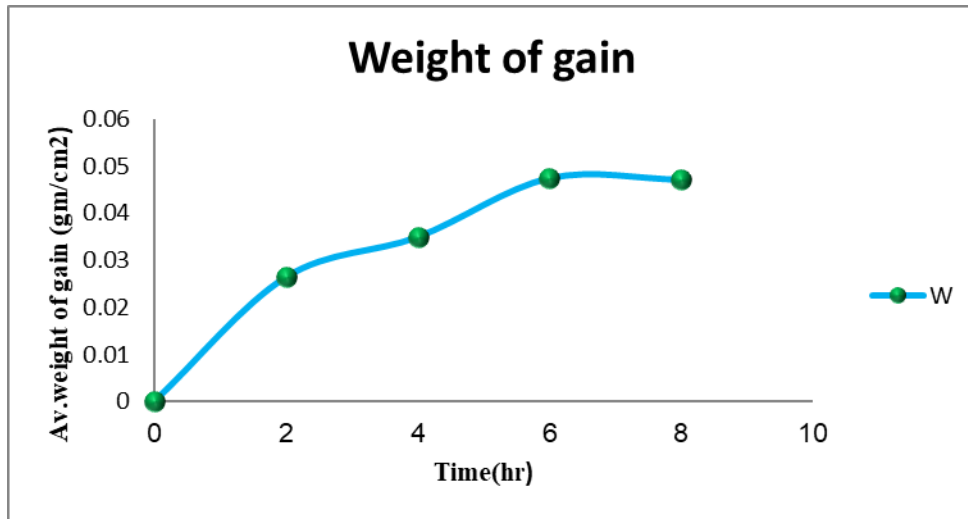
خصصت عينات للفحص المجهرى بعد الانتهاء من عمليات الطلاء، حيث أجريت عليها عمليات الاسناد على البارد وتجري عليها عملية التنعيم والصفل ثم اجراء الفحص المجهرى لمعرفة سمك الطلاء والتراكيب التي ظهرت نتيجة الطلاء (Al-Hashimi, 2003) (Naim, 1990) اما فيما يتعلق بعملية الإظهار (Etching) فتمت باستخدام محلول الاظهار وهو محلول مكون من كلوريد الحديدك ( $5\text{ gm FeCl}_3$ ) و حامض الهيدروكلوريك ( $50\text{ ml HCl}$ ) وماء مقطر ( $100\text{ ml}$ ). و للحد من التآكل الحار والاكسدة المتبعة في بحثنا هذا هو الطلاء الألوميني البسيط او ما يعرف بالطلاء الانتشاري (Eskner, 2004) ، (Zuo, 1987)

### النتائج والمناقشة

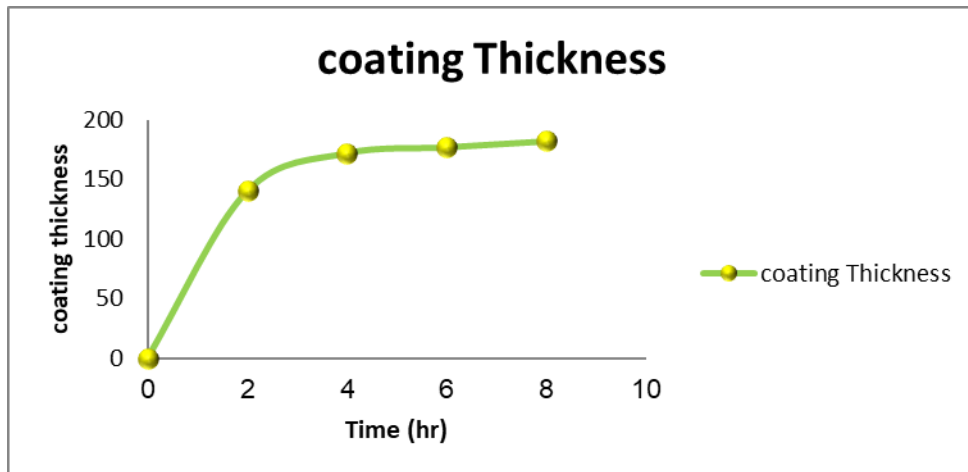
يتضمن (الجدول 2) النتائج التي تم الحصول عليها من عمليات الطلاء بهذه الدرجة، إذ يضم معدلات الوزن المكتسب والسمك الناتج من الطلاء بالألمنيوم بدرجة حرارة ( $1000C^{\circ}$ ) لأزمنة الطلاء الأربعة، ويبين الشكلان (3 و 4) وجود علاقة القطع المكافئ عند رسم معدلات الوزن المكتسب وكذلك السمك كدالة للزمن بشكل متتابع مما يشير إلى أن عملية الانتشار هي التي تحكم عملية الطلاء (Al-Mawla,1998).

الجدول 2: تفاصيل الوزن المكتسب وسمك الطلاء الناتج بوجود الحاجز الحراري  $Y_2O_3$  بدرجة حرارة  $1000C^{\circ}$

Temp. $c^{\circ}$	Coating Time (h)	Av. Thickness of Coating ( $\mu m$ )				Av. Weight gain ( $gm/cm^2$ )
		Outer layer	Inter diffusion zone	Inner layer	Total	
1000	2	70	10	60	140	0.02645768
	4	105	13	54	172	0.03499335
	6	109	20	48	177	0.04747194
	8	112	23	47	182	0.04791599



الشكل 3: الوزن المكتسب الناتج من الطلاء بوجود الحاجز الحراري  $Y_2O_3$  بدرجة حرارة  $1000C^{\circ}$  كدالة للزمن



الشكل 4: سمك الطلاء الناتج بوجود الحاجز الحراري  $Y_2O_3$  بدرجة حرارة  $1000C^{\circ}$  كدالة للزمن

أظهرت نتائج الفحص المجهرى لهذا النوع من الطلاء وللمُدَد الزمنية الأربعة (8,6,4,2 ساعة)، الشكل (5)، بأنه يتكون من طبقتين خارجية وداخلية وتتميز بما يأتي :

1. طبقة خارجية (Outer Layer) متعددة الأطوار (Multiphase Layer) يبلغ سمكها بحدود (70  $\mu\text{m}$ )؛ (105  $\mu\text{m}$ )؛ (109  $\mu\text{m}$ )، (112  $\mu\text{m}$ ) للمُدَد الزمنية (8,6,4,2 ساعة) على التوالي، أي يزداد سمكها مع زيادة زمن الطلاء ويمكن تمييز الحجم الحبيبي لهذه الطبقة والتي تحتوي على ترسبات كاربيدية عند الحدود الحبيبية. تم اخذ القياسات في الجامعة التقنية الشمالية و في مختبرات المعهد التقني في قسم الميكانيك
2. منطقة التبادل الانتشاري (Inter diffusion Zone) يبلغ سمكها بحدود (10  $\mu\text{m}$ )، (13  $\mu\text{m}$ )، (20  $\mu\text{m}$ )، (23  $\mu\text{m}$ ) للمُدَد الزمنية (8,6,4,2 ساعة) على التوالي.
3. طبقة داخلية (Inner Layer) لها مظهر الطور الواحد ويزداد سمكها مع زمن الطلاء إذ يبلغ سمكها بحدود (60  $\mu\text{m}$ )، (54  $\mu\text{m}$ )، (48  $\mu\text{m}$ )، (47  $\mu\text{m}$ ) للمُدَد الزمنية (8,6,4,2 ساعة)، وتتميز الحبيبات بكونها ذات حجم أصغر مقارنة بالحبيبات الموجودة في الطبقة الخارجية.



الشكل 5: التركيب المجهرى للطلاء الناتج بوجود الحازر الحراري ايتريوم  $\text{Y}_2\text{O}_3$  بدرجة حرارة  $1000\text{C}^\circ$  للمُدَد الزمنية 4hr ؛ 8hr

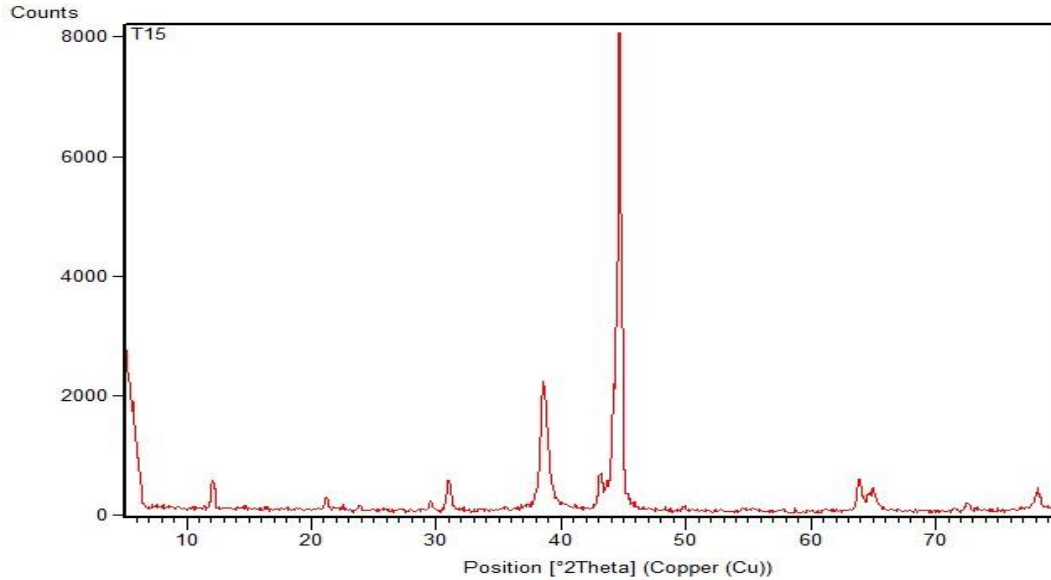
أثبتت نتائج حيود الأشعة السينية XRD لهذا الطلاء ظهور الطور (FeAl) بشكل أساسي في أزمنة الطلاء الأربعة، ويبين الجدول (3) النتائج المستحصلة من فحص حيود الأشعة السينية للعينة المطلية بعد 8 ساعات كنموذج لهذا الطلاء، فقد أظهر نموذج الحيود، الشكل (6)، وجود ذرات قوية جداً تعود إلى الطور (FeAl) وذرات قوية للطور ( $\text{Fe}_2\text{Al}_3$ ) وسبب ظهور هذين الطورين معاً هو أن الطور الغني بالألمنيوم ( $\text{Fe}_2\text{Al}_3$ ) والذي وجد في درجة حرارة  $1000\text{C}^\circ$  قد بدأ بالتحول إلى الطور المستقر (FeAl)، كما أن هناك ذرات ضعيفة تشير إلى وجود ما يعتقد بأنه الطور ( $\text{Fe}_3\text{Al}$ ) و ( $\text{Al}_5\text{Cr}$ ) ويرجح أن يكون الأخير هو من الأطوار المترسبة في طبقات الطلاء بسبب محدودية ذوبان الكروم في هذه الأطوار. وتأتي نتائج الأشعة السينية متطابقة مع الفحص المجهرى كما أشرنا حيث أظهر الفحص المجهرى وجود أكثر من طور واحد لأن محلول الإظهار قد يهاجم أحد الأطوار أكثر من الآخر (Morsi, 2001).

الجدول 3: نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) للعينة المطلية بوجود الحازر الحراري بدرجة حرارة  $1000\text{C}^\circ$  لمدة 8 ساعات

نوع الطور	الشدة النسبية
FeAl	Vs
$\text{Fe}_2\text{Al}_3$	S
$\text{Fe}_3\text{Al}$	W
$\text{Al}_5\text{Cr}$	W

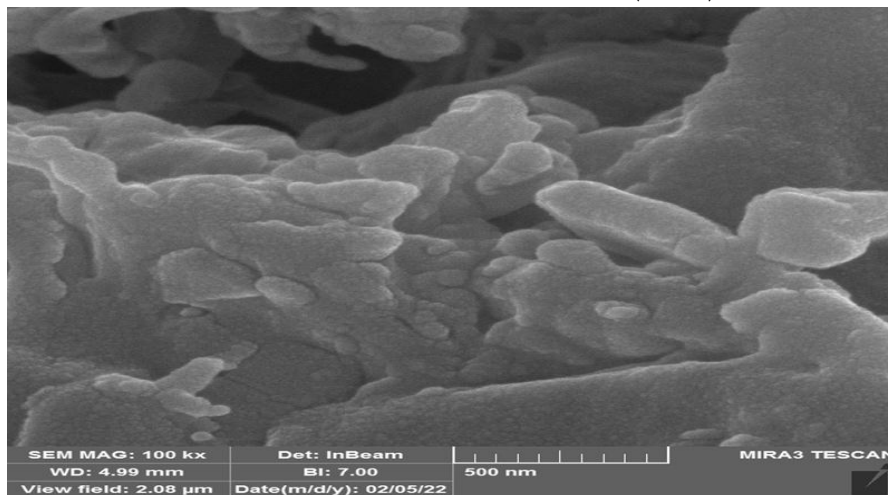


أظهرت النتائج تكوّن طبقتين منفصلتين، طبقة خارجية مؤلفة من مزيج من الطورين  $FeAl$  و  $Fe_2Al_3$  وكلاهما تكوّن أساساً بفعل الانتشار الداخلي للألمنيوم، أما الطبقة الداخلية فقد تكونت بفعل انتشار جزء من الألمنيوم من الطبقة الخارجية إلى عمق السبيكة ليسهم عنصر الحديد الموجود أصلاً في السبيكة بتكوين طبقة غنية بالحديد يعتقد بأنها تمثل الطور  $Fe_3Al$  حيث أظهرت نتائج الأشعة السينية وجود هذا المركب بذروات ضعيفة.



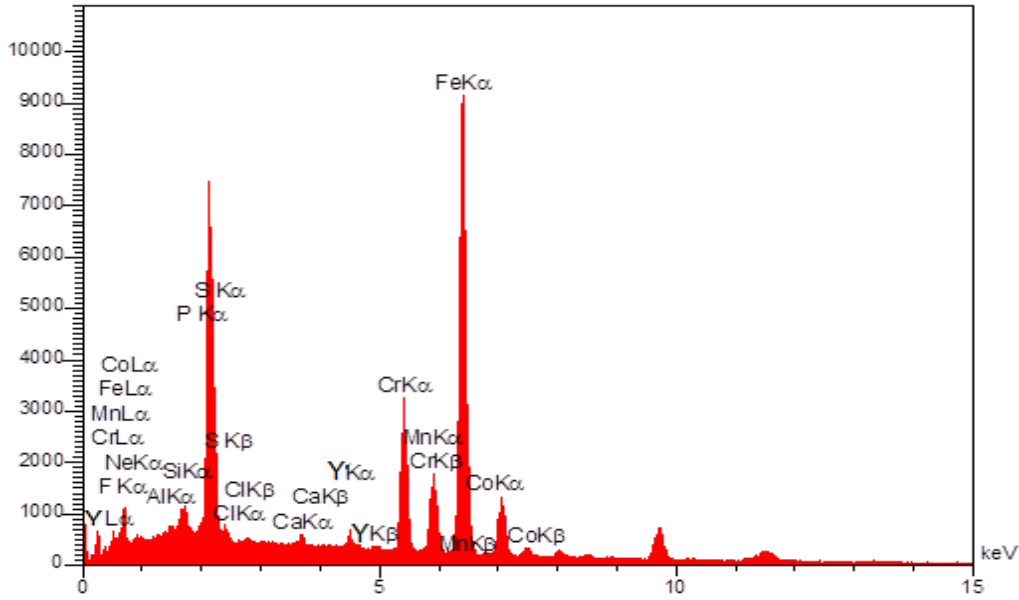
الشكل 6: مخطط حيود الأشعة السينية للعينة المطلية بوجود الحاجز الحراري اليتيريوم  $Y_2O_3$  بدرجة حرارة  $1000C^\circ$  ولمدة 4 ساعات

تم اجراء التحليل الكمي والنوعي لمواقع على الطلاء بالقرب من السطح واستخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM-EDS) الشكل (7) و (الجدول 4). وقد اظهرت نتائج الفحص وجود نسبة (3.65% wt) من عنصر اليتيريوم (Y) داخل طبقة الطلاء وهذا يؤكد انتشار ايون اليتيريوم الذي هو اصلا غير موجود في تركيب السبيكة الاساس والتي وضحها الماسح الالكتروني (SEM) الشكل (7) ان ما جاء في التحليل باستخدام هذه التقنية ينطبق الى حد بعيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل حيود الاشعة السينية (XRD).



الشكل 7: التركيب المجهرى بالجهاز الالكتروني الماسح (SEM) لسبيكة الفولاذ المقاوم للصدأ (AISI-304L) المطلية بالالمنيوم بوجود الحاجز الحراري او اكسيد اليتيريوم  $Y_2O_3$  بدرجة حرارة  $1000C^\circ$  ولمدة 8 ساعة





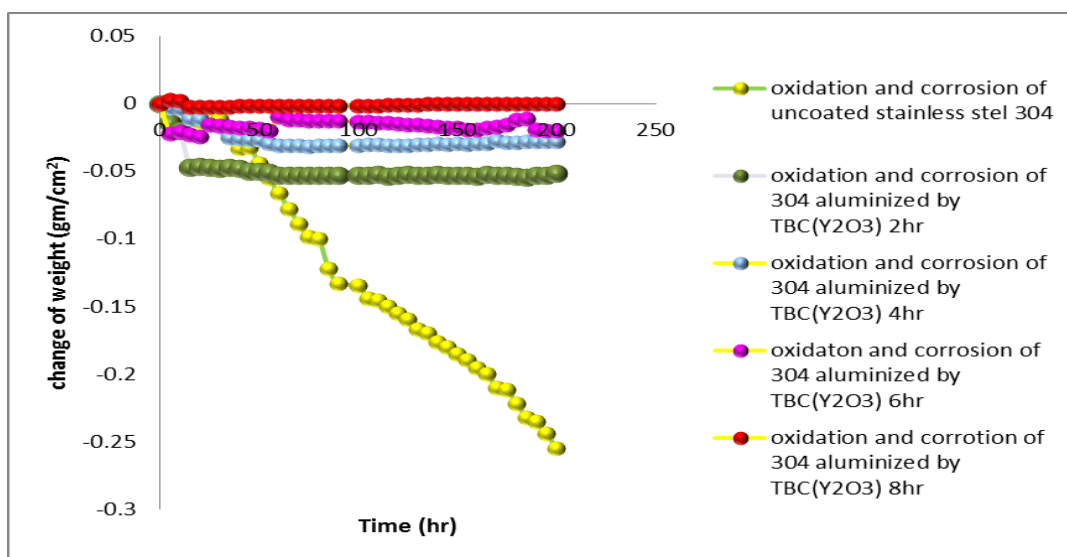
الشكل 8: مخطط طيف الفحص الكمي والنوعي بالجهاز الإلكتروني الماسح (SEM-EDS) لسبيكة الفولاذ المقاوم للصدأ (AISI-304L) المطلية بالألمنيوم بوجود الحاجز الحراري اوكسيد اليتيريوم ( $Y_2O_3$ ) وبدرجة حرارة ( $1000C^\circ$ ) ولمدة 8 ساعة

الجدول 4: تفاصيل النسب الوزنية والنوعية بالجهاز الإلكتروني الماسح (SEM-EDS) لسبيكة الفولاذ المقاوم للصدأ (AISI-304L) المطلية بالألمنيوم بوجود الحاجز الحراري اوكسيد اليتيريوم  $Y_2O_3$  بدرجة حرارة  $1000C^\circ$  ولمدة

8 ساعة

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Pk/Bg	Ox%	LConf	HConf	Cat#
C	Ka	66.1	159.114	0.0088	0.0068	6.10	18.08	0.1109	52.56	0.00	5.82	6.37	0.00
F	Ka	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.2351	97.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	Ka	74.9	159.114	0.0103	0.0079	5.14	9.08	0.1545	49.90	0.00	4.93	5.36	0.00
Al	Ka	129.0	598.733	0.0185	0.0143	3.01	3.97	0.4740	29.53	0.00	2.91	3.10	0.00
Si	Ka	194.3	598.733	0.0283	0.0218	2.70	4.56	0.6060	36.08	0.00	3.50	3.69	0.00
P	Ka	126.5	598.733	0.0187	0.0144	2.12	2.43	0.6818	19.98	0.00	2.05	2.18	0.00
S	Ka	1246.4	598.733	0.1879	0.1446	18.50	20.55	0.7816	33.62	0.00	18.3 1	18.69	0.00
Cl	Ka	116.2	598.733	0.0178	0.0137	1.92	1.93	0.7162	6.86	0.00	1.85	1.98	0.00
Ca	Ka	154.2	83.3317	0.0251	0.0193	2.07	1.84	0.9320	9.37	0.00	2.01	2.14	0.00
Y	Ka	195.4	83.3317	0.0332	0.0256	3.65	2.05	0.9291	10.83	0.00	2.68	2.83	0.00
Cr	Ka	786.6	83.3317	0.1401	0.1078	11.13	7.62	0.9683	33.50	0.00	10.9 8	11.27	0.00
Mn	Ka	403.1	83.3317	0.0735	0.0565	6.24	4.05	0.9060	20.69	0.00	6.13	6.35	0.00
Fe	Ka	2276.4	83.3317	0.4251	0.3271	36.33	23.17	0.9003	98.60	0.00	136.	36.61	0.00
Co	Ka	65.8	83.3317	0.0126	0.0097	1.10	0.66	0.8810	8.17	0.00	1.05	1.15	0.00
				1.0000	0.7695	100.0	100.0			0.00			0.00

يبين الشكل (9) الاكسدة و التآكل الحار للطلاء بوجود الحاجز الحراري  $Y_2O_3$  للسبيكة للمدد الزمنية (8,6,4,2) ساعة ومن ملاحظة مخطط الزمن مع تغير الوزن نلاحظ استمرار ثبات الوزن و عدم التناقص بشكل تقريبي خاصة للطلاء لمدة (8,6) ساعة الى ما بعد الـ 200 ساعة و اظهرت الفحوصات ان طبقة الطلاء و خاصة عند 8 ساعة ذات كفاءة جيدة في مقاومة التآكل الحار و هذا يدل على عدم تساقط القشرة الاوكسيدية الواقية  $Al_2O_3$  و انها تتمتع بالتصاقية جيدة اما ساعات الطلاء الاخرى فان الوزن بدأ بالتناقص الطفيف مع الدورات الحرارية و الى نهاية التعرض مقارنة مع السبيكة غير المطلية و التي انهارت منذ الساعات الاولى من الدورات الحرارية . اما بالنسبة للسبيكة المطلية يعزى التناقص الطفيف في الوزن الى تكون الاوكسيد غير المستقر  $Al_2O_3$  والذي يتكون خلال التأكسد الانتقالي (Transient oxidation) قبل تكوين القشرة الاوكسيدية الواقية  $Al_2O_3$  التي تكونت خلال الدورات الحرارية وان معدلات تناقص الوزن كانت لا تتجاوز (0.0541 gm) بعد مرور أكثر من 200 ساعة تقريبا كما ان الفحص المختبري كان يشير الى ان النموذج ما زال يتمتع بالتصاقية جيدة.



الشكل 9: الاكسدة والتآكل الحار للطلاء بوجود الحاجز الحراري  $Y_2O_3$  للسبيكة للمدد الزمنية (8,6,4,2) ساعة

#### المصادر

- Al-Hashimi, A.A.A. (2003). Preparation of metallic coatings on the stainless-steel alloy (AISI-321) and its resistance to oxidation. Master's thesis, submitted to the College of Science, University of Mosul.
- Al-Jubouri, Kh.A. (2021). Surface modification of super alloys using coatings in the presence of thermal barriers. PhD thesis submitted to the College of Science, University of Mosul.
- Al-Jubouri, M.A.H. (2007). The mechanism of formation and breakdown of aluminum coatings in the presence of some oxides of rare elements ( $TiO_2$ ,  $Dy_2O_3$ ,  $Y_2O_3$ ) on super alloys. PhD thesis, College of Education, University of Mosul.
- Al-Khazraji, Q.Kh.M.; Al- Sharif, A.M.A. (1987). "Corrosion-its Causes-Types of- Protection Methods". University of Baghdad.
- Al-Lami, M.R. (1989). Hot corrosion of types of diffusion coating on a nickel-based alloy using a factory device that burns Iraqi fuel. Master's thesis, Department of Production and Luminescence Engineering, University of Technology.
- Al-Mawla, Y.A.S. (1998). Oxidation of ferrous alloys at high temperatures. Master's thesis, submitted to the College of Science, University of Mosul.

- Al-Mazouri, H.B. (2006). Study of aluminum coatings Duplex Alloy (AISI-316L) by Cementing Method. Master Thesis, College of Science, Department of Physics.
- Al-Obaidi, I.; Idan, Gh. (2005), Hot corrosion of the coating (Ni-Al). On Stainless Steel (321). Master Thesis, College of Science, University of Mosul.
- Sheffield. (1994). Corrosion Handbook for Stainless Steels.
- Beltran, L. (1995). "Stainless Steel and Their Properties". US, British Standard on Stainless Steels.
- Callister, W.D. (2000). "Fundamentals of Materials Science and Engineering". (Vol. 471660817). London: Wiley.
- Eskner, M. (2004). "Mechanical Properties of Gas Turbine Coatings". (Doctoral dissertation), Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Hamdan, K.E. (1983). Dimensional change due to diffusion in systems Binary. Master's Thesis, Department of Production and Metallurgy Engineering, University of Technology.
- Henthorne M. (1971). Materials selection for corrosion control. *Chem. Engineer.*, 1139-146.
- Hodge, A.M.; Dunand, D.C. (2001). Synthesis of nickel–aluminide foams by pack-aluminization of nickel foams. *Intermetallics*, **9**(7), 581-589.
- Houngninou, C.; Chevalier, S.; Larpin, J.P. (2003). Aluminide coatings on stainless steels by pack cementation: High temperature reactivity. In *Annales de Chem.* **28**, S175-S184. Lavoisier.
- Khana, A.S. (2002). Introduction to high temperature oxidation and corrosion. *ASM international*.
- Li, X.; Valadez, A.V.; Zuo, P.; Nie, Z. (2012). Microfluidic 3D cell culture: potential application for tissue-based bioassays. *Bioanalysis*, **4**(12), 1509-1525.
- Morsi, K. (2001). Reaction synthesis processing of Ni–Al intermetallic materials. *Materials Sci. and Engineer.* **A**, **299**(1-2), 1-15.
- Naim, I.S. (1990). Studying the porosity in different coating systems for low carbon steel alloys. Master's thesis, Department of Production and Metallurgy Engineering, University of Technology.
- Pint, B.A.; Zhang, Y. (2011). Performance of Al - rich oxidation resistant coatings for Fe - base alloys. *Materials and Corrosion*, **62**(6), 549-560.
- Rahma, H.; Hussein, B. (1989). Corrosion engineering and metal surface protection. University of Technology, Baghdad.
- Sedrilcs, A.J. (1979). "Corrosion Stainless Steels". Jhon Wiley and Sons.
- Stringer, J. (1987). High-temperature corrosion of superalloys. *Mater. Sci. and Technol.*, **3**(7), 482-493
- Villat, M.; Felix, P. (1976). "High Temperature Corrosion Protective Coating for Gas Turbine". Sulzer Technical Review. 98 p.
- Ying zhang, (2008). " Performance of Al-Rich oxidation Resistant Coatings for Fe-Base Alloys".
- Zuo, Y. (1987). National association of corrosion engineering. **43**(1), January 1987.
-

## Efficiency Study of AISI-304L Stainless Steel Alloy Coated with the Presence of the Thermal Barrier $Y_2O_3$ at High Temperatures

Taha M. Ikhdhayir

Mahmoud A. Hammoud

*Department of Physics/ College of Science/ University of Mosul*

### ABSTRACT

The current research aims to modify the components of some alloys by means of surface engineering through the diffusion coating technique with the presence of thermal barriers in order to obtain new alloys with high efficiency in resisting harsh environmental conditions. vapor atmosphere of a mixture of sodium chloride and sodium sulfide at a temperature of 900 °C, and then compare it with the base alloy. The results showed that the alloys produced in this way are very efficient. The results showed that the coating with the thermal barrier  $Y_2O_3$  is the best type of coating used, as it appeared to have high efficiency in resisting oxidation and provided better protection for a longer time compared to the uncoated alloy due to the oxide crust layer  $Al_2O_3$  formed with high adhesion as well as the aluminum-rich phases. Whether the phases are nickel aluminum or iron aluminum.

The results also showed that the thickness of the coating and the weight gained of the alloy are subject to the parabola relationship with time.

**Keywords:** diffusion paint, hot corrosion, high temperature oxidation.