

Effect of Lanthanum Oxide as Thermal Barrier on the Aluminization Process of Nickel Base Superalloy (BV-18)

M. M. Mahmood^{(1)*} , M. A. Hamood⁽²⁾ , S. M. Ahmed⁽³⁾ 

^(1,2,3)Department of Physics, College of Science, University of Mosul, Mosul, Iraq

Article information

Article history:

Received: August 31, 2024

Revised: September 25, 2024

Accepted: September 30, 2024

Available online: January 01, 2025

Keywords:

Diffusion Coating

Hot Corrosion

Surface Engineering

Correspondence:

Mahmood Majed Mahmood

mahmood.21sc16@student.uomosul.edu.iq

Abstract

This research studied, the effect of lanthanum oxide as a thermal barrier on the highly effective aluminization process of a nickel-base superalloy was studied. The aluminization process was carried out using the solid cementation method at a temperature of (1000°C) in a vacuum atmosphere and for Periods of (2, 4, 6) hours after stabilizing the thermal barrier material (lanthanum oxide) on the samples. It was observed that the rate of mass gained and the rate of thickness of the resulting coating increase with time until it reaches the saturation point and takes the form of a parabolic curve. Examination with a scanning electron microscope (SEM-EDS) of the surface of a sample painted for six hours showed the presence of a high percentage of aluminum of the element lanthanum in addition to other elements of the base alloy material, Optical microscope examination showed that the coating layers are composed of three multi-phase regions (the outer layer, the inner layer, and the Interdiffusion zone), while X-ray analyses showed presence of some phases with a high melting point, such as (LaNi₅, Al₂La, and NiAl), which reflected positively on the alloy's resistance to hot corrosion, evident through the stability in the mass of the coated samples after testing them at a temperature of (900°C) in the presence of salt vapor from a mixture of sodium sulphate and sodium chloride.

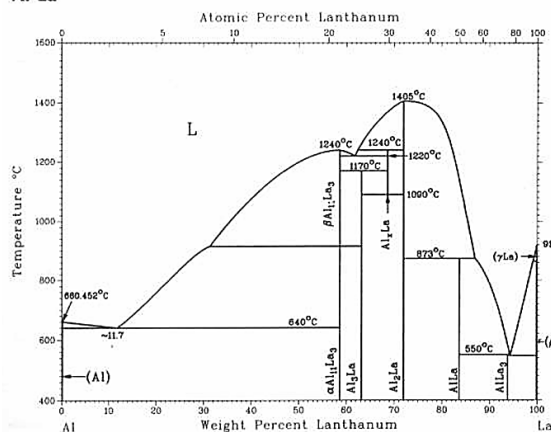
DOI: [10.33899/edusj.2024.153234.1499](https://doi.org/10.33899/edusj.2024.153234.1499), ©Authors, 2025, College of Education for Pure Science, University of Mosul.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

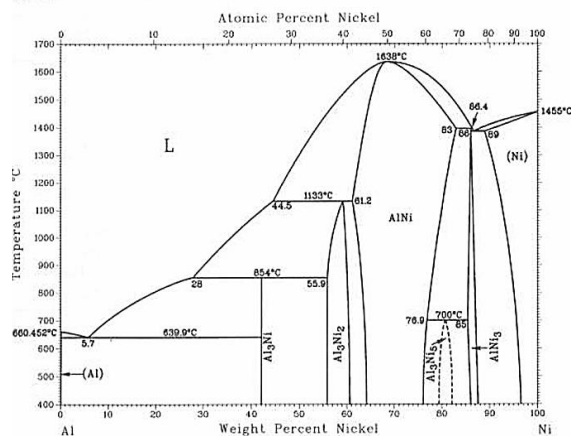
1. المقدمة.

السبائك المحسنة ذات أساس نيكيل من السبائك المهمة والمستخدم في ريش التوربينات الغازية لما لها من خصائص ميكانيكية كالمقاومة الزحف، إلا أنها تتأثر بالتآكل الحر والعوامل البيئية القاسية، من الطرائق الشائعة الاستخدام في حماية هذه السبائك هي عملية الألمنة، والتي يستند مبدأ عملها على انتشار الألمنيوم إلى سطوح تلك السبائك لتكوين طبقة طلاء واقية. تعتمد عملية الألمنة على الطريقة المستخدمة في عملية الطلاء، وبنية السبيكة، ودرجة الحرارة، وزمن الطلاء، ونوع المنشط المستخدم ونسبته في الخليط، وتركيب خليط الألمنة، إذ إنّ تركيز الألمنيوم في الخليط —ط تأثيراً كبيراً على الأطوار المتكونة، ويمكن الاستعانة بمخطط التوازن للنيكل والألمنيوم في شكل (1. a) لمعرفة الأطوار المتكونة بين (Ni-Al) وشكل (1. b) لمعرفة الأطوار المتكونة بين (Al-La) [6-1].

تتم عملية الألمنة بعدة تقنيات منها طريقة السمّنة، الخليط المستخدم للطلاء بطريقة السمّنة يتكون من نسبة معينة من (Al) وأوكسيد خامل (Al₂O₃) وعامل منشط بشكل مسحوق، هناك ثلاثة أنواع من الياقات تنفذ الطلاء بالاعتماد على نشاطية الألمنيوم وعلى درجة حرارة الألمنة، النوع الأول هو الطلاء الانتشاري ذو الفاعلية العالية ودرجة الحرارة المنخفضة (Law Temperature High (760-950°C) (Active/ LTHA)، في هذا النوع تكون طبقة الطلاء غنية بالألمنيوم من الطور (Ni₂Al₃(δ)، أما النوع الثاني هو الطلاء الانتشاري ذو الفاعلية القليلة بدرجة حرارة عالية (1000-1100 °C) (High Temperature Law Active /HTLA)، يكون معدل تجهيز الألمنيوم أثناء التفاعل للسطح أقل من النوع الأول، حيث يمكن تمييز طبقتين للطلاء أحدهما طبقة خارجية تمثل طور (NiAl) الغني بالنيكل وتتكون نتيجة لانتشار النيكل إلى الخارج، أما الطبقة الثانية هي منطقة انتشار داخلية وتتكون نتيجة لإزالة النيكل من السبيكة وتحوي على مختلف ترسبات العناصر، حيث تقل نسبة الألمنيوم باتجاه السطح البيني بين السبيكة وطبقة الطلاء لتتكون أطوار أخرى ذات نسبة ألمنيوم أقل كالطورين (Ni₃Al) أو (NiAl) [7-10]، النوع الثالث هو الطلاء الانتشاري ذو الفاعلية العالية بدرجة حرارة عالية (High Temperature High Active/ HTHA)، يمكن تحديد ثلاث طبقات متميزة في هذا النوع، طبقة خارجية ذات طور (Ni₂Al₃(δ-) مع المسام والرواسب الموزعة في جميع أنحائها. تحت هذه طبقة غنية بالألمنيوم —وم (β-NiAl) مع رواسب Cr، وأخيراً طبقة انتشار متبادل رقيقة غنية ب Cr و Ti وعناصر حرارية أخرى مثل W و Mo حسب تركيب السبيكة الأساس [11-13].



الشكل (1. b): مخطط الاطوار للنظام الثنائي (Al-La).



الشكل (1. a): مخطط الاطوار للنظام الثنائي (Ni-Al).

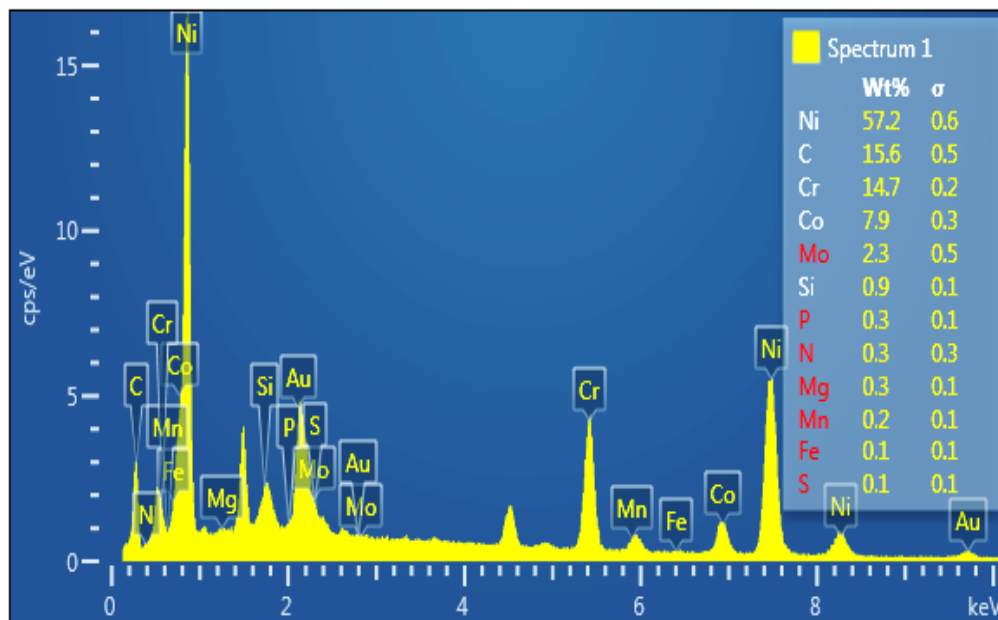
مع التطور الحاصل في مجال الصناعة لا يمكن لطلاءات الألمنيوم التقليدية أن تلبي متطلبات ظروف الخدمة. بشكل عام، فإن التطبيق المحتمل لطلاءات الألومينييد البسيطة محدود بسبب عيبين رئيسيين، ضعف الالتصاق ومقاومة التآكل الساخن في درجات الحرارة العالية [14]،، للتغلب على العائق، تم التعديل على طريقة الأمانة لتحسين أداء التآكل الحار وتحسين مقاومة الأكسدة من خلال استخدام طبقة من الأكاسيد النادرة مثل أكسيد الديسبرسيوم الذي يعمل كحاجز حراري وحاجز انتشاري [15-16]. إن طلاء الأمانة (NiCrAlYSi) المعدل بالـ (Pt) مقاومة أكبر للتآكل الحار في الأملاح المختلطة من (Na₂SO₄ + K₂SO₄) و (NaCl + Na₂SO₄) عند 900 درجة مئوية لسبيكة محسنة ذات أساس نيكيل [17].

في هذا البحث تم اختبار تعديل عملية الأمانة باستخدام أكسيد اللانثانوم كحاجز حراري ولمدد زمنية مختلفة ودراسة تأثيره على تركيب الطلاء باستخدام مجموعة من الفحوصات المجهرية (Microscopic, SEM-EDS) وتحليل الأشعة السينية (XRD)، إضافة إلى اختبار العينات المطلوبة ضد التآكل الحار من خلال حساب مقدار التغير في الكتلة للعينات المطلوبة عند كل دورة حرارية.

2. المواد وطرائق العمل

2.1. الشبكة الأساسية

استخدمت السبيكة المحسنة ذات أساس نيكل (BV-18)، وهي من ريش المحركات التوربينية المستخدمة في المحطات الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية ومواصفاتها الكمية والنوعية موضحة في الشكل (2). استخرجت هذه المواصفات من فصوص طيف طاقة التشتت (EDS) لنقطة على سطح عينة غير مطلية من السبيكة بعد التطعيم والتنظيف.

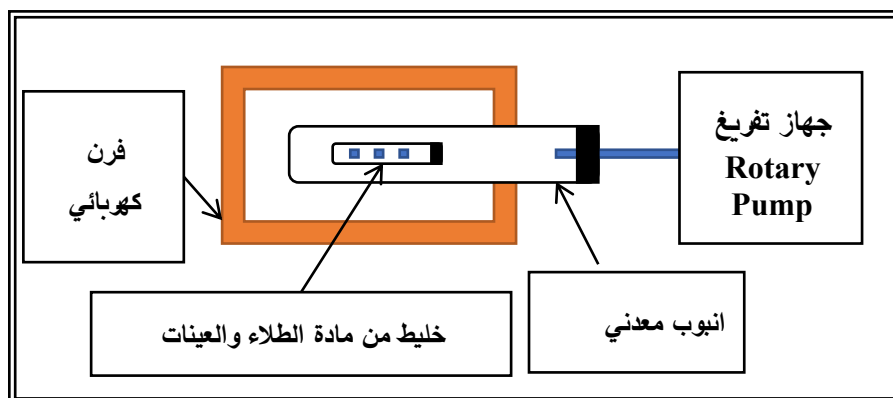


الشكل (2): مخطط طيف طاقة التشتت الـ(EDS) للسيكة (BV-18) غير المطلية.

2.2. عمليات الطلاء Coating Processes

2.2.1. السمّنة الصلبة. Pack-Cementation

نظرا لمميزات هذه الطريقة من حيث الكلفة والحماية التي توفرها ضد التآكل أصبحت من أوسع طرائق الطلاء الانتشاري استعمالا [13], [18]- [20], تمت عملية السمّنة لجميع العينات للسبيكة المحسنة (BV-18) باستخدام خليط من مسحوق الألمنيوم بنسبة (30%) على اعتباره مادة الطلاء، وأوكسيد الألمنيوم (الألومينا) بنسبة (66%) كمادة تساعد على منع تكثف المزيج ومسحوق كلوريد الألمنيوم بنسبة (4%) كمادة منشطة، يوضع المزيج بعد الخلط الجيد داخل البودقة بالتدريج أثناء وضع العينات المراد طلاؤها فيها وتغلق البودقة وتوضع داخل فرن مفرغ من الهواء حسب الشكل (3)، تثبت درجة حرارة الفرن على الدرجة المطلوبة وهي (1000°C)، تستمر عملية السمّنة لمدة (2, 4, 6h) ساعة، وبعد انتهاء عملية الطلاء تبرّد العينات داخل الفرن إلى أن تصل درجة الحرارة (200°C) مع الاستمرار بتشغيل جهاز التفريغ ثم تخرج النماذج وتنظف ثم توزن وتحفظ جيدا إلى حين إجراء الاختبارات عليها.



الشكل(3): رسم تخطيطي لمنظومة الطلاء.

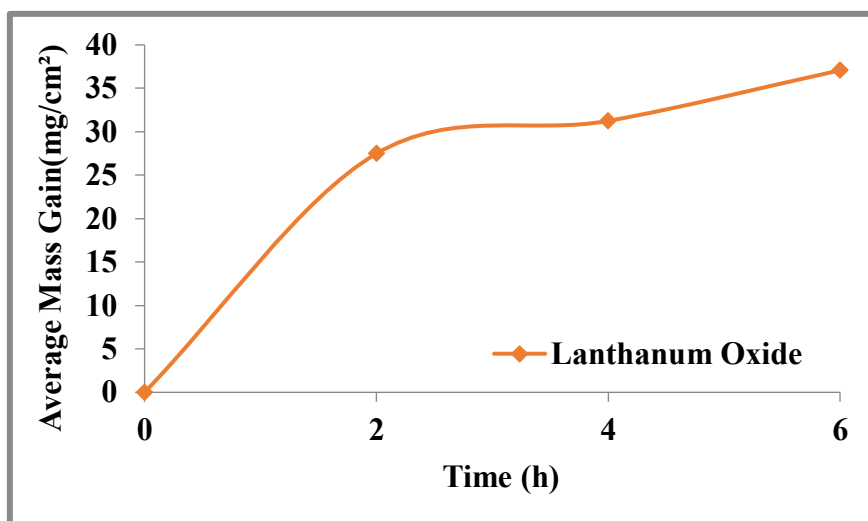
2.2.2. الطلاء بالحاجز الحراري. Thermal Barrier Coating(TBC)

هناك تقنيات مختلفة لتثبيت مادة الحاجز الانتشاري على سطح العينة منها الطلاء بالتبخير الكيميائي (CVD) أو الفيزيائي (PVD) والطلاء بالليزر وغيرها [21]، في هذا البحث استخدمت طريقة العالق (Slurry) لتثبيت مادة الحاجز الحراري على العينات، يوضع النموذج بصورة مستوية ويفرغ على سطحه بعضا من مادة التثبيت ثم يتم رش كمية محددة من مادة الحاجز الانتشاري، تكرر هذه العملية حتى يتم تغطية جميع أوجه العينة بمادة الأوكسيد بصورة متجانسة قدر الإمكان وبعدها تتم عملية السمّنة الاعتيادية.

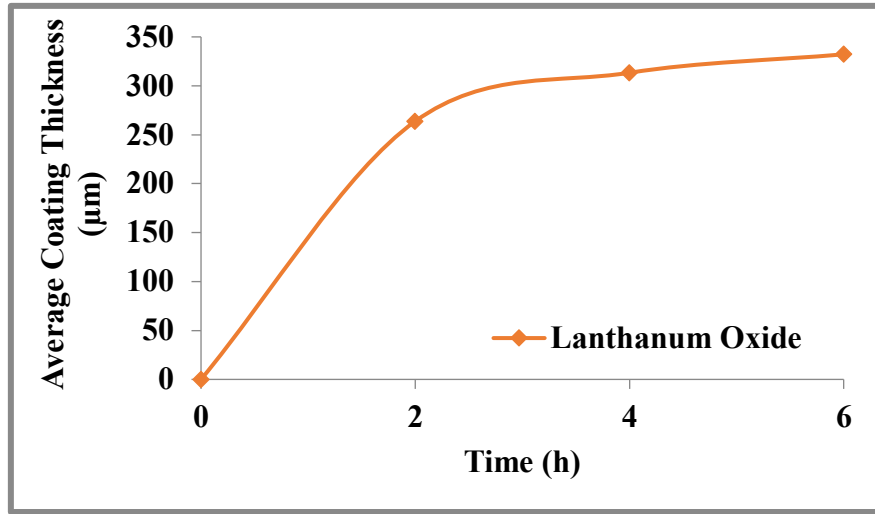
3. النتائج والمناقشة.

3.1. معدل الكتلة المكتسبة وسمك الطلاء

تمت عملية الألمنة بوجود الحاجز الحراري (La_2O_3) لمدد زمنية مختلفة، يبين الشكل(4) العلاقة بين معدل الكتلة المكتسبة وزمن الطلاء، كما يبين الشكل(5) العلاقة بين معدل سمك الطلاء الناتج عن عملية الألمنة وزمن الطلاء.



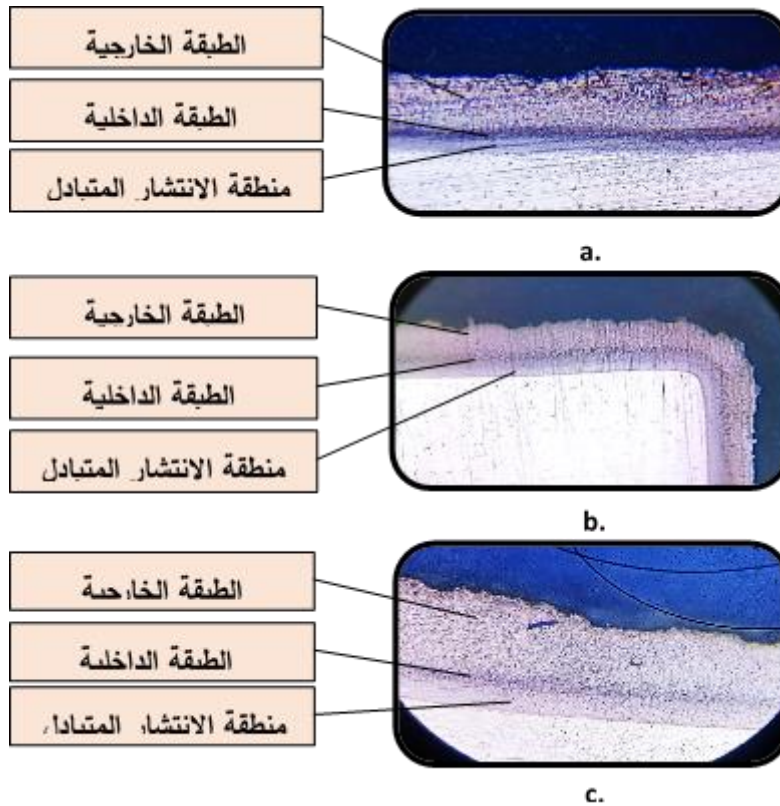
الشكل (4): معدل الكتلة المكتسبة الناتجة عن الألمنة بوجود الحاجز الحراري (La_2O_3).



الشكل (5): سمك الطلاء الناتج عن الألمنة بوجود الحاجر الحراري (La_2O_3).

3.2. الفحص بالمجهر الضوئي

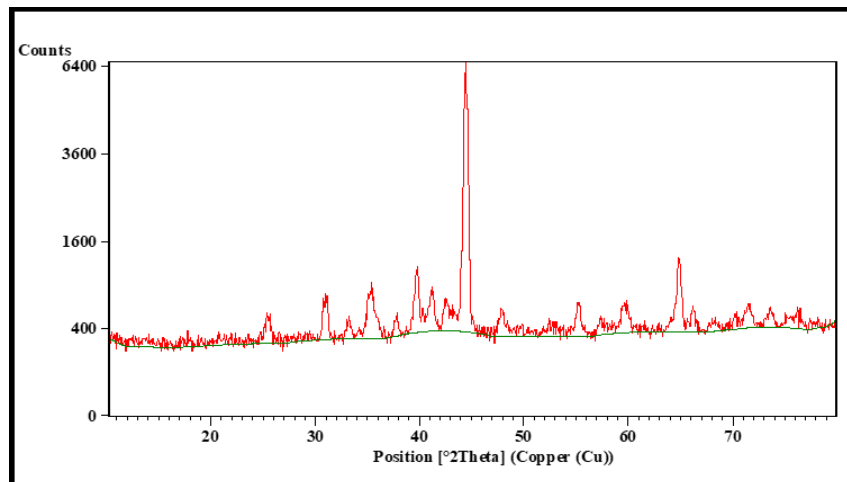
أظهر الفحص المجهرى للمقاطع العرضية للعينات المطلية للمدد (2, 4, 6h)، بعد إجراء عمليات الإنهاء السطحي للعينات المطلية من تجليخ (Grinding) وصل (Polishing) وتنميش (Etching) باستخدام محلول إظهار مكون من (حامض الهيدروفلوريك HF، حامض الهيدروكلوريك HCl، حامض النتريك HNO_3 ، ماء مقطر)، أن بنية طبقة الطلاء مكونة من ثلاث مناطق ولجميع المدد الزمنية كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6): التركيب المجهرى للسبيكة (BV-18) المؤلمنة بوجود الحاجر الحراري (La_2O_3) لمدة (a.2, b.4, c.6h).

3.3. الفحص بالأشعة السينية (XRD)

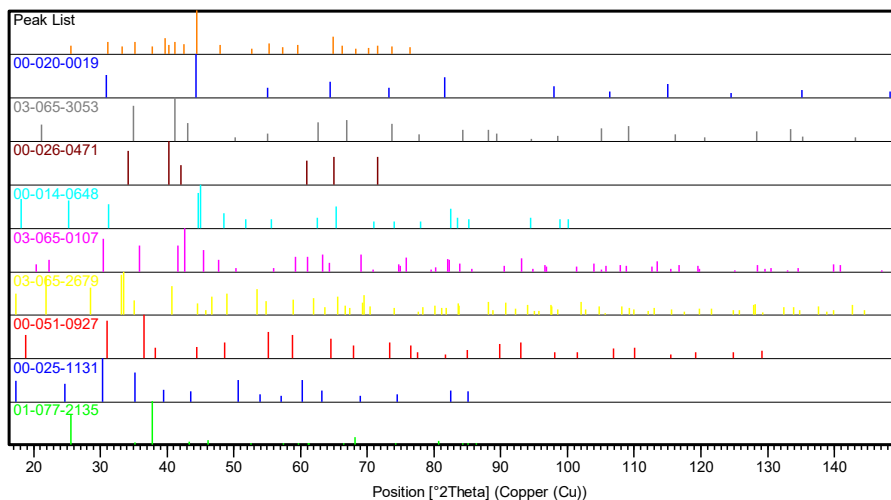
الشكل (7) يوضح مخطط حيود الأشعة السينية للعينة المؤلمنة بوجود الحاجز الحراري (La_2O_3) لمدة (6h)، وتبين أن طبقة الطلاء مكونة من أطوار مختلفة، هذا ما أكدته البيانات المذكورة في الجدول (2) والمستخرجة من برنامج (X'Pert HighScore Plus) بعد مطابقة الخطوط الطيفية للأشعة السينية التي حصلنا عليها بفحص عينة السبيكة المطلوبة مع تلك المخزونة في قاعدة بيانات البرنامج، الشكل (8) يبين المقارنة بين هذه الخطوط.



الشكل (7): مخطط حيود الأشعة السينية للسبيكة (BV-18) المؤلمنة بوجود الحاجز الحراري (La_2O_3) لمدة (6h).

الجدول (1): الأطوار المتوقعة المستخرجة من نتائج فحص حيود الأشعة السينية (XRD) للسبيكة المحسنة (BV-18) المؤلمنة بوجود الحاجز الحراري (La_2O_3) لمدة (6h) عند درجة حرارة (1000°C).

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-020-0019	Aluminum Nickel	Al Ni
03-065-3053	Lanthanum Nickel	La Ni ₂
00-026-0471	Cobalt Lanthanum	Co ₂ La
00-014-0648	Aluminum Nickel	Al ₃ Ni ₂
03-065-0107	Lanthanum Nickel	La Ni ₅
03-065-2679	Aluminum Lanthanum	Al ₄ La
00-051-0927	Aluminum Lanthanum	Al ₂ La
00-025-1131	Aluminum Lanthanum	Al La ₃
01-077-2135	Aluminum Oxide	Al ₂ O ₃



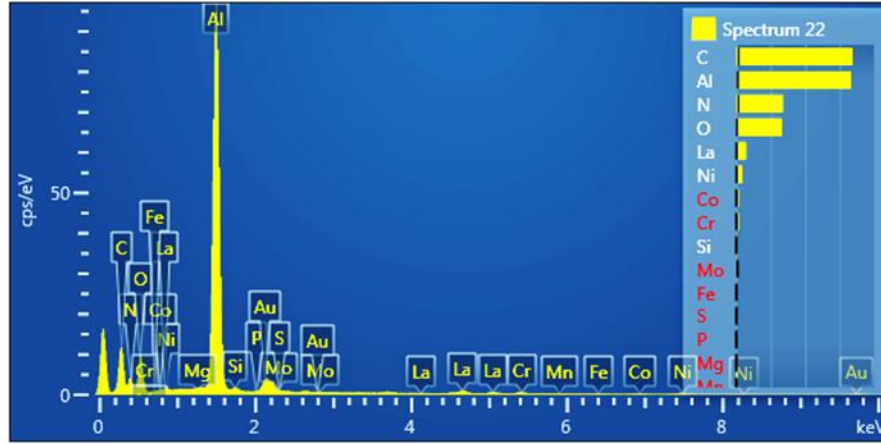
الشكل (8): خطوط طيف (XRD) للأطوار المتوقعة والمستخرجة من برنامج (X'Pert High Score Plus) للسبيكة المحسنة نوع (BV-18) المؤلمة بوجود الحاجز الحراري (La₂O₃) للمدة (6h) عند درجة حرارة (1000°C).

الجدول (2): بعض معلمات نتائج فحص الاشعة السينية للعينة المؤلمة بوجود الحاجز الحراري (La₂O₃) لمدة (6h).

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	d-spacing [Å]	Matched by
25.5400	215.64	3.48780	00-014-0648; 01-077-2135
31.1033	461.06	2.87548	00-020-0019; 00-014-0648; 00-051-0927
33.2401	175.07	2.69536	03-065-2679
35.2337	436.85	2.54729	03-065-3053; 03-065-2679; 00-025-1131; 01-077-2135
37.7334	160.48	2.38409	01-077-2135
39.7045	745.44	2.27016	00-025-1131
40.2847	238.84	2.23879	00-026-0471; 03-065-2679
41.1927	447.36	2.19152	03-065-3053; 03-065-0107
42.5458	308.75	2.12490	00-026-0471; 03-065-0107
44.4427	5806.77	2.03852	00-020-0019; 00-014-0648; 03-065-2679; 00-051-0927
47.9186	267.09	1.89845	03-065-0107
52.7156	95.03	1.73644	01-077-2135
55.2649	336.26	1.66223	00-020-0019; 03-065-3053; 00-014-0648; 00-051-0927
57.3431	152.28	1.60683	00-025-1131; 01-077-2135
59.5346	267.63	1.55281	03-065-0107; 01-077-2135
64.9262	936.05	1.43629	00-020-0019; 00-026-0471; 00-014-0648; 00-051-0927
66.2886	199.19	1.41004	03-065-2679; 01-077-2135
68.2331	94.15	1.37452	00-051-0927; 01-077-2135
70.2360	119.92	1.34015	03-065-2679
71.5929	222.52	1.31805	00-026-0471
73.6815	180.42	1.28577	00-020-0019; 03-065-3053; 00-014-0648; 03-065-2679; 00-051-0927
76.3737	136.97	1.24701	03-065-0107; 00-051-0927

3.4. الفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح وطيف طاقة التشتت (SEM-EDS).

أظهر فحص المجهر الإلكتروني لطيف طاقة التشتت في نتائج فحص (EDS) في الشكل (9) تواجد العناصر الأساسية في الطلاء وهي الألمنيوم واللاتانيم (مادة الطلاء) والنيكل (العنصر الرئيس في السبيكة الاساس)، وهذا ما يدعمه الجدول (3) المذكور فيه النسب الوزنية لكل عنصر من عناصر الطلاء والمستخرج من ذات الفحص.



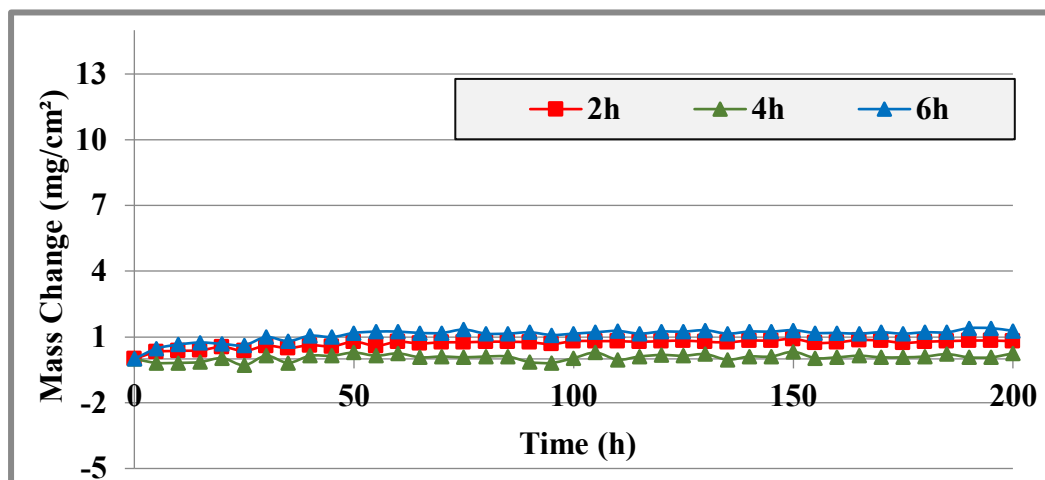
الشكل (9): مخطط طيف طاقة التشتت الـ(EDS) للسبيكة (BV-18) المؤلمنة بوجود (La₂O₃) للمدة (6h) عند (1000°C).

الجدول (3): النسب الوزنية لعناصر الطلاء المستخرجة من فحص الـ(EDS) للسبيكة (BV-18) المؤلمنة بوجود الحاجز الحراري (La₂O₃) للمدة (6h) عند درجة حرارة (1000°C).

Element	Wt%
C	33.63
N	13.45
O	13.08
Al	33.20
Si	0.37
S	0.06
Cr	0.59
Fe	0.29
Co	0.60
Ni	1.61
Mo	0.35
La	2.75
Total:	100.00

3.5 اختبار التآكل الحار

تشير حركية التآكل الحار من خلال الأكسدة الدورية بوجود البخار الملحي لمدة (200h) إلى استقرارية في كتلة العينات طيلة فترة الاختبار ولجميع المدد الزمنية، كما هو موضح في الشكل (10).



الشكل (10): التآكل الحار في البخار الملحي ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$) عند درجة حرارة (900°C) للسبيكة المحسنة (BV-18) المؤلمة بوجود الحاجز الحراري (La_2O_3) لمدة (2, 4, 6h).

4. الاستنتاج

من نتائج الدراسة أعلاه يستنتج ان تأثير إضافة أوكسيد اللانثانيوم على عملية الألمنة للسبيكة (BV-18)، زيادة في معدل الكتلة المكتسبة ومعدل سمك الطلاء الناتج عن عملية الألمنة بوجود الحاجز الحراري مع الزمن، إضافة إلى ظهور عناصر الطلاء (الالمنيوم واللانثانيوم) وظهور بعض عناصر السبيكة الأساس في فحص (EDS) مما يدل على حدوث عملية الانتشار (The Diffusion Process) التي تحكم عملية الطلاء. فحص الأشعة السينية أثبت وجود أطوار مختلفة ناتجة عن ارتباط عناصر الطلاء مع بعضها أو مع عناصر السبيكة، وأهم هذه الأطوار هم (LaNi_5 , Al_2La , NiAl) وهي من الأطوار المستقرة حسب مخططات الأطوار المذكورة في [6] مما يدعم مقاومة الطلاء للتآكل الحار وعدم انهياره في درجة حرارة الاختبار العالية، إلا أن الطور الأكثر تطابقاً في فحص الأشعة السينية هو للمركب (Al_2O_3) ذي الرقم (pdf 01-077-2135) وهو الأكثر استقراراً من بين أطوار المركب (Al_2O_3). يبدو من خلال اختبار التآكل الحار أن القشرة الأوكسيدية الواقية قد تكونت بسرعة في المراحل الأولى من الاختبار، وهي تتمتع بالتصاقية جيدة طيلة فترة التعرض. أثبت هذا النوع من الطلاء كفاءة عالية لمقاومة التآكل الحار.

تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أنه لا يوجد تضارب في المصالح فيما يتعلق بنشر و/أو تمويل هذه الدراسة.

References.

- [1] M. R. Khajavi and M. H. Shariat, "Failure of first stage gas turbine blades," *Engineering Failure Analysis*, vol. 11, no. 4. pp. 589–597, 2004. doi: 10.1016/j.engfailanal.2003.08.010.
- [2] H. Okamoto, "Al-Ni (aluminum-nickel)," *J. Phase Equilibria Diffus.*, vol. 25, no. 4, p. 394, 2004, doi: 10.1007/s11669-004-0163-0.
- [3] M. O. Cojocaru, M. Branzel, and L. N. Druga, "Aluminide Diffusion Coatings on IN 718 by Pack Cementation," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 15, 2022, doi: 10.3390/ma15155453.
- [4] C. Houngrinou, S. Chevalier, and J. P. Larpin, "Synthesis and characterisation of pack cemented aluminide coatings on metals," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 236, no. 1, pp. 256–269, 2004, doi: https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.04.026.
- [5] G. W. Goward and L. W. Cannon, "Pack Cementation Coatings for Superalloys: A Review of History, Theory, and Practice," *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 110, no. 1, pp. 150–154, Jan. 1988, doi: 10.1115/1.3240078.
- [6] H. Okamoto, M. E. Schlesinger, and E. M. Mueller, *Alloy phase diagrams*. ASM international, 2016.
- [7] G. Bonnet *et al.*, "Initial Aluminizing Steps of Pure Nickel from Al Micro-Particles," *Defect Diffus. Forum*, vol. 323–325, pp. 381–386, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.323-325.381.
- [8] C. Grimme, C. Oskay, L. Mengis, and M. C. Galetz, "High temperature wear behavior of δ -Ni $_{21}$ Al $_3$ and β -NiAl coatings formed on pure nickel using pack cementation process and diffusion heat treatment," *Wear*, vol. 477, p. 203850, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203850.
- [9] X. Montero, M. C. Galetz, and M. Schütze, "Low-activity aluminide coatings for superalloys using a slurry process free of halide activators and chromates," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 222, pp. 9–14, 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.01.033.
- [10] J. Romanowska, "Aluminum diffusion in aluminide coatings deposited by the CVD method on pure nickel," *Calphad*, vol. 44, pp. 114–118, 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.calphad.2013.09.003.
- [11] T. S. Jo, S. H. Kim, and Y. Do Kim, "Microstructural changes of aluminized Alloy 617 during high-

- temperature aging,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 205, no. 20, pp. 4743–4749, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.03.017>.
- [12] M. Mojaddami, S. Rastegari, H. Arabi, and H. Rafiee, “Effect of heat treatment on coating microstructure applied by high activity diffusion process on IN738LC,” *Surf. Eng.*, vol. 28, no. 10, pp. 772–777, Oct. 2012, doi: 10.1179/1743294412Y.0000000064.
- [13] E. Pauletti and A. S. C. M. d’Oliveira, “Study on the mechanisms of formation of aluminized diffusion coatings on a Ni-base superalloy using different pack aluminization procedures,” *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 36, no. 4, p. 41504, Jun. 2018, doi: 10.1116/1.5026272.
- [14] J. Kohlscheen and H. R. Stock, “Deposition of silicon enriched nickel aluminide coatings on internally cooled airfoils,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 203, no. 5, pp. 476–479, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.07.024>.
- [15] M. A. Hamood, R. H. Mahmood, and E. E. Kidder, “The Use of Dy₂O₃ as Thermal Barrier in Aluminide Coating on One Type of Stainless Steel,” *Rafidain J. Sci.*, vol. 27, no. 1, pp. 125–134, 2018, doi: 10.33899/rjs.2018.141105.
- [16] M. Qiao and C. Zhou, “Hot corrosion behavior of Co modified NiAl coating on nickel base superalloys,” *Corros. Sci.*, vol. 63, pp. 239–245, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.06.027>.
- [17] J. Sun *et al.*, “Hot corrosion behaviour of Pt modified aluminized NiCrAlYSi coating on a Ni-based single crystal superalloy,” *Corros. Sci.*, vol. 149, pp. 207–217, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.01.014>.
- [18] A. Naji, M. C. Galetz, and M. Schütze, “Design model for diffusion coatings formed via pack cementation,” *Materials and Corrosion*, vol. 65, no. 3, pp. 312–318, 2014. doi: 10.1002/maco.201307393.
- [19] Z. Liu, X. Zhao, and C. Zhou, “Improved hot corrosion resistance of Y-Ce-Co-modified aluminide coating on nickel base superalloys by pack cementation process,” *Corrosion Science*, vol. 92, pp. 148–154, 2015. doi: 10.1016/j.corsci.2014.11.043.
- [20] G. W. Goward and L. W. Cannon, “Pack Cementation Coatings for Superalloys : a Review of History , Theory , and Practice,” vol. 110, pp. 150–154, 1988.
- [21] I. Barwinska, M. Kopec, D. Kukla, C. Senderowski, and Z. L. Kowalewski, “Thermal Barrier Coatings for High-Temperature Performance of Nickel-Based Superalloys: A Synthetic Review,” *Coatings*, vol. 13, no. 4, 2023. doi: 10.3390/coatings13040769.

تأثير أوكسيد اللانثانيوم كحاجز حراري على عملية الألمنة لسبيكة محسنة ذات أساس نيكل (BV-18)

محمود ماجد محمود⁽¹⁾ محمود احمد حمود⁽²⁾ سمير محمود احمد⁽³⁾

^(1,2,3) قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الموصل، الموصل، العراق

الخلاصة:

درّس في هذا البحث تأثير أوكسيد اللانثانيوم كحاجز حراري على عملية الألمنة ذات الفاعلية العالية لسبيكة محسنة ذات أساس نيكل. تمت عملية الألمنة باستخدام طريقة السمينة الصلبة عند درجة حرارة (1000°C) وفي جو مفرغ من الهواء وللمدد الزمنية (2, 4, 6) ساعة بعد تثبيت مادة الحاجز الحراري (أوكسيد اللانثانيوم) على العينات، لوحظ أن معدل الكتلة المكتسبة ومعدل سمك الطلاء الناتج يزداد مع الزمن إلى أن يصل إلى حد الإشباع ليأخذ شكل منحني القطع المكافئ. أظهر فحص المجهر الإلكتروني (SEM-EDS) لسطح عينة مطلية لمدة ست ساعات وجود نسبة عالية من الالمنيوم ونسبة من عنصر اللانثانيوم إضافة إلى عناصر أخرى من مادة السبيكة الأساس، بين الفحص بالمجهر الضوئي أن طبقات الطلاء مكونة من ثلاث مناطق متعددة الأطوار (الطبقة الخارجية، الطبقة الداخلية، منطقة الانتشار المتبادل)، فيما أظهر فحص الأشعة السينية وجود بعض الأطوار ذات درجة انصهار عالية مثل (LaNi₅, Al₂La, and NiAl)، وهو ما انعكس بشكل إيجابي على مقاومة السبيكة للتآكل الحار والظاهر من خلال الاستقرار في كتلة العينات المطلية بعد اختبارها عند درجة حرارة (900°C) بوجود البخار الملحي لخليط من كبريتات الصوديوم وكلوريد الصوديوم.