



# دراسة استخدام مركب لاعضوي (السيوم - المنيوم هيدرايد) في إنتاج وخواص سبائك الألمنيوم - لسيوم

رسالة مقدمة من قبل المهندسة

سرى عبد الزهرة محسن الفثاوي

الى

مجلس كلية الهندسة / جامعة بابل وهي جزء من  
متطلبات نيل درجة الماجستير علوم في هندسة المعادن

بإشراف

الأستاذ المساعد

الأستاذ الدكتور

د. جليل كريم احمد الخفاجي

عبد الواحد كاظم راجح البكري

1429 هـ - 2008م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نُزِّلْنَاهُ فِي لَيْلَةِ الْقَدْرِ وَإِنَّا كُنَّا نُنزِّلُهُ فِي الْقُرْآنِ الْكَرِيمِ

عَلَّمَ الْقُرْآنَ وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الْعَلِيِّ الْعَظِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ  
الْعَلِيِّ الْعَظِيمِ

سورة يوسف: من الآية (76)

قال رسول الله صلى الله عليه وعلى آله وسلم

إفوا عسرت بأمر فقدير عاقبته فإفكافا رسدرا فأمضه وإفكافا غيا

فاته عمنه

صدق رسول الله صلى الله عليه وآله وسلم

الإهداء

إلى مروح والدي الطاهرة.....

إلى والدي وإخوتي عرفانا مني بالجميل

.....

إلى أستاذي الفاضلين وزملائي في الدراسة.....

إلى كل من ساندني ووقف بجانبني

.....

سرى

## شكر وتقدير

وأنا انهي بحثي هذا وبعد شكر الله تعالى، لا يسعني إلا أن أتقدم بوافر الشكر وعميق التقدير إلى أستاذي الفاضلين الأستاذ الدكتور عبد الواحد كاظم راجح والدكتور جليل كريم احمد لعظيم نفسيهما وكرم علمهما معي، ولما قدماه لي من اهتمام علمي وجهد قيم في انجاز هذا العمل فجزاهم الله عني خير جزاء المحسنين.

وأتقدم بالشكر إلى الدكتور محمد حمزة المعموري لما قدم لي من مساعدة قيمة في انجاز هذا البحث.

وأتوجه بشكري إلى قسم هندسة المواد في كلية الهندسة / جامعة بابل على منحي هذه الفرصة، كذلك لا يفوتني أن اشكر منتسبي مختبر المعادن ومختبر المواد الالمعدنية والورش الهندسية لما قدموه من تسهيلات في انجاز هذا البحث.

وأتقدم بجزيل الشكر الى منتسبي مختبر التحليل الآلي في قسم علوم الكيمياء في جامعة بابل.

وأتقدم بالشكر إلى مدير مستشفى الولادة والأطفال في الحلة الدكتور حسين نور، وكذلك منتسبي مختبر الكيمياء في المستشفى لما قدموا لي من مساعدة قيمة في انجاز هذا البحث.

وأخيرا أتقدم بعظيم الشكر والامتنان لكل من فاتني ذكره وقد ساهم في إظهار هذا البحث إلى الوجود.

## المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
	(الجزء النظري)	
11	الفصل الأول	
12	المقدمة	1-1
14	الألمنيوم	2-1
17	سبائك الألمنيوم	3-1
17	تصنيف سبائك الألمنيوم	4-1
24	عمليات السباكة	5-1
24	تأثير عناصر السبك	6-1
24	السيليكون	1-6-1
25	النحاس	2-6-1
25	المغنيسيوم	3-6-1
25	الحديد	4-6-1
26	المنغنيز	5-6-1
26	النيكل	6-6-1
26	الخرصين	7-6-1
26	الرصاص	8-6-1
26	التيتانيوم	9-6-1
27	الفسفور	10-6-1
27	الصوديوم	11-6-1
27	الليثيوم	12-6-1
29	تطبيقات سبائك الألمنيوم	7-1
30	الهدف من البحث	8-1
31	الفصل الثاني	
32	سبائك ألمنيوم-ليثيوم	1-2
32	نبذة تاريخية عن تطور سبائك ألمنيوم-ليثيوم	2-2
34	أهمية خفض الكثافة	3-2
35	تركيب سبيكة ألمنيوم-ليثيوم	4-2
36	التحولات الطورية في سبائك الألمنيوم-ليثيوم	5-2
39	عمليات تصنيع سبائك الألمنيوم-ليثيوم	6-2
44	تأثير الأوساط على سبائك الألمنيوم	7-2

44	التآكل	1-7-2
45	التآكل أنقري	1-1-7-2
45	التآكل بين الحبيبات	2-1-7-2
46	التآكل بالتعرية	3-1-7-2
46	تآكل الألمنيوم النقي	2-7-2
48	تآكل سبائك الألمنيوم -ليثيوم	3-7-2
50	الجزء العملي الفصل الثالث	
51	المقدمة	1-3
51	المواد المستخدمة	2-3
53	تحضير النماذج	3-3
53	عملية الصب والصب	1-3-3
54	تحضير العينات	2-3-3
55	المواد الكيميائية المستخدمة	4-3
55	تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة (LAH)	5-3
56	الفحص بفلورة الأشعة السينية	6-3
56	اختبار الامتصاص الذري	7-3
58	تقييم أداء السبائك المحضرة	8-3
58	اختبار الصلادة	1-8-3
59	اختبارات التآكل	2-8-3
59	طريقة فقدان الوزن	1-2-8-3
60	اختبار التآكل/تعرية	2-2-8-3
61	الفحص بالمجهر الضوئي	9-3
63	النتائج والمناقشة الفصل الرابع	
64	المقدمة	1-4
65	نتائج تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة (LAH)	2-4
68	نتائج الفحص بفلورة الأشعة السينية	3-4
73	نتائج اختبار الامتصاص الذري	4-4
75	تقييم أداء السبائك المحضرة	5-4
75	نتائج اختبار الصلادة	1-5-4
77	نتائج اختبارات التآكل	2-5-4
77	طريقة فقدان الوزن	1-2-5-4
81	نتائج اختبار التآكل / تعرية	2-2-5-4
83	نتائج الفحص بالمجهر الضوئي	6-4
88	الاستنتاجات	

89	التوصيات	
90	المصادر	

## الرموز والمختصرات

الرمز	المعنى	الوحدات
$\Delta H$	الانثالبي	$\text{kJ.mol}^{-1}$
$\rho$	الكثافة	$\text{g.cm}^{-3}$
$\Delta$	نسبة الحجم الذري	—
$a$	قطر الذرة	$\text{\AA}$
ppm	جزء لكل مليون	—
pH	الأس الهيدروجيني	—
R.T	درجة حرارة الغرفة	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta W$	التغير بالوزن	g
A	المساحة	$\text{mm}^2$
rpm	دورة لكل دقيقة	—
hr	ساعة	—
wt%	النسبة الوزنية المئوية	—
$\alpha$	محلول جامد	—
$\delta$	مركب معدني (AlLi)	—
$\delta'$	مركب معدني ذو شبكة منتظمة (Al <sub>3</sub> Li)	—
amu	وحدة الكتلة الذرية	—
corrosion	التآكل الكيميائي	—
LAH	ليثيوم-ألومنيوم هيدرايد	—

## الخلاصة:

البحث الحالي يمثل محاولة لإيجاد وسيلة مبسطة تخلو من التعقيد المرافق لتحضير سبائك الألمنيوم-ليثيوم، إذ تكون سهلة وذات كلفة اقل من الطرق السابقة ، ففي هذه الطريقة تم استخدام مركب كيميائي لاعضوي، إذ إن هذا المركب يتفكك ليعطي الليثيوم النقي بمجرد دخوله لمنصهر الألمنيوم ويمنع من تأكسد الليثيوم ، إذ إن معظم الطرق السابقة التي تستخدم في تحضير هذه السبائك تعاني من مشاكل عدة لعل أهمها تأكسد الليثيوم.

ولغرض التأكد من نسب الليثيوم الموجودة في السبيكة ومدى مطابقتها مع الكمية المضافة خلال البحث، فقد أجريت اختبارات عدة منها الفحص بفلورة الأشعة السينية الذي اثبت وجود الليثيوم في السبائك، واختبار الامتصاص الذري الذي أعطى نسب ليثيوم مقاربة جدا لقيمتها المحسوبة نظريا وعمليا ، وكذلك اختبار الصلادة والذي أعطى قيم صلادة تزداد بزيادة نسبة الليثيوم في السبيكة.

ولغرض تقييم الأداء الفعلي لهذه السبائك، فقد أجريت اختبارات عدة منها قياس معدل التآكل لهذه السبائك ومقارنتها مع معدل التآكل للألمنيوم النقي بطريقة فقدان الوزن، واختبار التآكل/تعرية ، ودراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة المركب ليثيوم-ألمنيوم هيدرايد (LAH) ، وفحص المجهر الضوئي .

ففي طريقة فقدان الوزن تم ملاحظة إن الألمنيوم النقي يكون فقدان الوزن فيه اقل مما في حالة سبائك الألمنيوم-ليثيوم، وقد ازداد فقدان الوزن بزيادة نسبة الليثيوم في السبائك. أما في اختبار التآكل/تعرية فقد وجد إن السبيكة التي تحوي على أعلى نسبة من الليثيوم هي التي تبدي مقاومة أعلى.

الاختبار الذي اجري لبيان تأثير درجة الحرارة على المركب اظهر مدى مقاومة المركب للتآكسد عند تعرضه لدرجات حرارية مختلفة .

أما الفحص بالمجهر الضوئي فقد بين السطوح المعدنية قبل تعرضها للأوساط التاكلية ومظاهر التآكل التي حصلت على هذه السطوح بعد تعرضها للأوساط التاكلية.



*Study of using inorganic compound  
(Lithium-Aluminum Hydride) for  
production and properties of  
(Aluminum-Lithium) alloys*

**A Thesis**

**Submitted to the Council of the College of  
Engineering / University of Babylon in Partial Fulfillment  
of the Requirements for the Master Degree of Science in  
Metals Engineering.**

**By**

*Sura Abd-Alzahra Muhsin Alfatlawe*

**(B.Sc.)**

**Supervised by**

**Prof.Dr. A. K. AL-Bikri**

**Dr. J. K. AL-Khafaji**

**(January,2008)**

## *Abstract*

This research represents a trial to find a simple method without the complication that accompanies the preparation of Aluminum-Lithium alloys so that it would be easy to prepare with less cost of other methods.

In this method, we used inorganic chemical compound. This compound to result the pure Lithium as it enters to Lithium melt and prevents Lithium oxidation. All the previous methods that were used in the preparation of this alloy had troubles such as Lithium oxidation.

To assure that the percentage of Lithium in the alloy is right and confirms the quantity added through the research, we made several tests such as X-ray flourcent test which proved the Lithium presence in the alloys.

There is also the atomic absorption test which resulted rates of Lithium very approximate to its rate that was measured theoretically and practically.

There is also the hardness test that gives us values of hardness that increase whenever we add Lithium to the alloy.

To evaluate the real performance of this alloy, many tests were applied on it such as measuring the percentage of their corrosion in comparison with pure Aluminum by loosing weight. By the corrosion\Erosion test, we found that the alloy that carries more percentage of Lithium appears to have more resistance.

The test that was applied to find the effects of high temperature on the compound showed the resistance of oxidation in different high temperature.

The test of the microscopic test showed the metal surfaces before exposing to corrosion environment and the appearance of corrosion that happened after exposing to those environments.

# الجزء النظري

## *Theoretical Part*

# الفصل الأول

- المقدمة.
- الألمنيوم.
- سبائك الألمنيوم.
- تصنيف سبائك الألمنيوم.
- عمليات السباكة.
- تأثير عناصر السبك.
- تطبيقات سبائك الألمنيوم.
- الهدف من البحث.

## 1.1 المقدمة: Introduction

تتميز سبائك الألمنيوم- ليثيوم بخواص فريدة ومتميزة مثل الكثافة القليلة، ومعامل المرونة العالي، ومقاومة الشد، ومقاومة التآكل، والكلال الجيدة، والصلادة العالية، بالمقارنة مع سبائك الألمنيوم التقليدية، لذا فهي مناسبة لاستخدامات الفضاء. [1, 2]

صناعات الفضاء تتطلب دائماً مواد تتميز بخفة الوزن، والمقاومة العالية (High strength)، ومقاومة الكلال (Fatigue)، والتآكل الكيميائي (Corrosion)، والاستقرارية الحرارية (Thermal stability).

إن السبائك التقليدية للألمنيوم مثلاً (Al-Cu-Mg) و (Al-Zn-Mg) تتميز بخواص ميكانيكية جيدة زيادة على انخفاض كثافتها، وعلى الرغم من ذلك فإن تطور هذه الصناعة اوجد حاجة مستمرة إلى سبائك اخف وزناً لأسباب عدة منها:-

زيادة مدى عمل الطائرات ، وتقليل استهلاك الوقود ، وتحسين خواص الطيران ، وعليه ازداد الاهتمام بسبائك الألمنيوم-ليثيوم. [1, 3]  
إن الليثيوم اخف العناصر الفلزية إذ تبلغ كثافته  $0.534 \text{ g.cm}^{-3}$  وهو أول معدن وثالث عنصر في ترتيب الجدول الدوري ( ${}^7\text{Li}$ )، ويدخل في صناعة القنبلة النووية مع الهيدروجين الثقيل لخفة وزنه، ولكون الطاقة الرابطة لنواة الليثيوم قليلة بالإمكان دمجها مع نوى الهيدروجين الثقيل، لذا فعند سبكه مع الألمنيوم الذي تبلغ كثافته  $2.7 \text{ g.cm}^{-3}$  سيخفض من كثافة السبيكة الناتجة إلى أقل من كثافة الألمنيوم.

وإن الليثيوم هو المعدن الوحيد الذي عند دخوله مع الألمنيوم في السبيكة يزيد من معامل المرونة (Modulus of elasticity) ويقلل الكثافة، حيث إن كل نسبة مئوية واحدة من الليثيوم تضاف إلى الألمنيوم تقلل الكثافة حوالي  $0.08 \text{ g.cm}^{-3}$ . [1, 2, 4]  
وتتميز هذه السبائك بمقاومة عالية جداً للتآكل الكيميائي مقارنة مع بقية السبائك ذات الأساس ألمنيوم-ليثيوم، وتمتلك هذه السبائك استقرارية حرارية في الخواص أعلى من سبائك الألمنيوم الأخرى. [2,3]

لكن المشكلة الرئيسية في استخدام هذه السبائك تكمن في الصعوبات والمعوقات التي تكتنف تحضيرها، إذ إن الليثيوم هو عنصر فعال جداً ويحترق بسرعة عند تعرضه للهواء الجوي لذلك يصعب الحصول عليه بصورة نقية، إذ يكون بشكل اوكسيد لذلك يصعب إضافته بشكل حر إلى الألمنيوم في الظروف الاعتيادية، وهناك بحوث عديدة تجرى لحل هذه المشكلة مثل:-

عملية حماية جزئية لليثيوم برقائق الألمنيوم لمنع تعرضه للهواء، أو إضافته في جو مفرغ من الهواء (vacuum)، أو تحت جو من غازات خاملة مثل الاركون، وذلك لا يمنع من تأكسده إضافة إلى كلف المعالجة التي تصاحب مثل هذه الطرق وما يمكن أن تسببه الاكاسيد أو سواها في منصهر السبيكة بعد تجمده.

إن أولى تجارب استخدام الليثيوم بوصفه عنصر سبك مع الألمنيوم كانت قبل أكثر من نصف قرن، ولقد مرت هذه السبيكة بمراحل تطور عديدة ، واجري لهذا الغرض العديد من البحوث في الجامعات والشركات الصناعية، ولم تستخدم هذه السبيكة بصورة تجارية حتى سنة 1958 ، وذلك لوجود صعوبات تصنيعية وكذلك لهشاشتها العالية. [1, 3, 4]

## 2.1 الالمنيوم: *Aluminum*

يعد الالمنيوم معدنا جديدا نسبيا بين المعادن [5,6] وان أول إنتاج للالمنيوم في المختبر كان عام 1825 باختزال كلوريد الالمنيوم [7,8]، وقد ظهر لأول مرة في معرض باريس العالمي 1855.

وسرعان ما عرفت خواصه الممتازة عندما كتب جول فرن (Jule Feern) قصته "من الأرض إلى القمر" (From the earth to the moon) سنة 1865 حول أول محاولة افتراضية لارسال رجل إلى الفضاء، وكانت المادة التي اختارها لبناء كبسولته الفضائية من الالمنيوم فهي المادة الوحيدة التي تتميز بخفة الوزن والمقاومة لانجاز هذا المشروع حسب رأيه. [6]

ويعد الالمنيوم المادة الهندسية الاساسية لمجموعة المعادن الخفيفة التي تشمل إضافة إليه الليثيوم والمغنيسيوم والبريليوم والسيليكون والتيتانيوم وغيرها. [9] والالمنيوم من أكثر المعادن وفرة في الطبيعة ويشكل بحدود 8% من القشرة الأرضية ولا يتفوق عليه في ذلك الا السليكون والأوكسجين. [5, 6, 7, 10, 11]

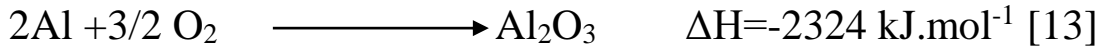
الالمنيوم هو معدن ثلاثي التكافؤ الكيماوي وله وزن ذري يبلغ  $2.7 \text{g.cm}^{-3}$  وتتراوح درجة انصهاره بين  $658 - 660^\circ \text{C}$ ، ويغلي الالمنيوم في درجة  $2270^\circ \text{C}$  [9]

أول إنتاج تجاري للالمنيوم كان بحدود سنة 1890. [8, 10] وقد اكتشف حديثا بان اول طائرة الية ناجحة التي حلق بها الاخوان (Wright) سنة 1903 كان حوض محركها (Crank Case) قد صنع من سبائك الالمنيوم. [12] والالمنيوم لا يوجد نقيا وبصورة حرة في الطبيعة إلا أنه يتوفر بكميات كبيرة على شكل مركبات مع الاوكسجين والكبريت.

ويكثر وجوده على شكل اوكسيد الالمنيوم في المركبات ويشكل البوكسايت المادة الاولية لاستخلاص الالمنيوم، وهو عبارة عن اوكسيد الالمنيوم المائي وتركيبه

الكيماوي هو  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ ، وينتج الالمنيوم بالتحليل الكهربائي في عملية اختزال تسمى عملية هال (Hall Process). [9,10]

الالمنيوم عنصر فعال جدا يتخلى عن الكترونات التكافؤ (Valance electrons) بسهولة.



يتأكسد الالمنيوم في الهواء الخارجي مكونا قشرة اوكسيدية رقيقة تحمي سطحه من الاستمرار في التاكسد في حين ان هذه القشرة الاوكسيدية في حالة الحديد والصلب تكون ليست واقية وتؤدي الى تلف هذه المواد باستمرار التأكسد. [9]  
ويقاوم الالمنيوم التآكل بواسطة الماء والحوامض وخاصة الحوامض اللاعضوية , ويقاوم التآكل بواسطة ماء البحر، والعديد من الحوامض العضوية، والقواعد، والصودا الكاوية، والمواد الإنشائية مثل:-

السمنت، والجص، وتحسن مقاومة تاكل الالمنيوم مع ازدياد نقاوته. [9]

- الالمنيوم عنصر ابيض لامع ويتميز بخواص فيزيائية مهمة هي [11] :-

- الالمنيوم معدن خفيف اذ تبلغ كثافته ثلث كثافة الحديد تقريبا  
 $\rho_{Al} = 2.70 \text{ g.cm}^{-3}$  ،  $\rho_{Fe} = 7.87 \text{ g.cm}^{-3}$
- تكون نسبة المقاومة الى الوزن للالمنيوم جيدة.
- يمتلك الالمنيوم قابلية توصيل كهربائي وحراري عالية جدا.
- يمتلك الالمنيوم مقاومة ممتازة للتآكل.
- له مظهر جيد.
- غير مغناطيسي (Non magnetic).
- من الممكن سباكته وتشكيله باي طريقة معروفة والى اي سمك مرغوب فيه. [14]
- الالمنيوم سهل التشغيل.
- غير سام (Nontoxic).
- الالمنيوم هو الوحيد من بين جميع المعادن الخفيفة الذي يمتلك بنية مكعبة متمركزة الوجه (Face centered cubic F.C.C). [8,9,10]

- أما عيوب أو مساوي الالمنيوم هي [11] :-

- كلفة تحضيره أو استخلاصه عالية نسبيا.
- معامل المرونة للالمنيوم (Modulus of elasticity) يكون حوالي ثلث معامل المرونة للحديد.
- الجدول (1-1) يبين بعض الخواص الفيزيائية لمعدن الالمنيوم.

جدول (1-1) يبين بعض الخواص الفيزيائية لمعدن الالمنيوم. [11]

Symbol of element	Al
Atomic Number of Aluminum	13
Atomic mass	26.98amu
Melting point	660.37 <sup>0</sup> C(933.52 K)
Boiling point	2467.0 <sup>0</sup> C(2740.15 K)
Crystal structure	F.C.C
Density at 293K	2.702 g.cm <sup>-3</sup>
Color of Aluminum	silvery

### 3.1 سبائك الالمنيوم: *Aluminum alloys*

تتغير خواص الالمنيوم سواء سلبيا أم ايجابيا بشكل بالغ عند اضافة عناصر سبك معينة إليه، ويستهلك حوالي ثلاثة اخماس الالمنيوم المنتج في العالم لصناعة سبائك الالمنيوم، وذلك لسد الحاجة الى خواص معينة في هذا المعدن، ويحتوي معظم سبائك الالمنيوم على ما لا يقل عن 87% من الالمنيوم .  
واهم عناصر السبك المضافة الى الالمنيوم هي النحاس ، الخارصين ، المغنيسيوم ، السيليكون ، الليثيوم ، المنغنيز .  
وبصورة عامة فان عناصر السبك المضافة الى الالمنيوم تحسن خواص المقاومة والصلادة وقابلية السباكة فيه، إلا أن خواصا أخرى تتأثر بهذه الإضافات مثل:-  
المطيلية، وقابلية التشكيل، والتشغيل، واللحام، والصقل، وقابلية التآكل، والتوصيل الكهربائي.  
بصورة عامة يمكن القول بانه عند تحسين بعض الخواص الميكانيكية نتيجة اضافة عناصر السبك فان خواص المطيلية ومقاومة التآكل سوف تتأثر سلبيا. [9]

### *Aluminum alloys classification*

### 4.1 تصنيف سبائك الالمنيوم

تصنف سبائك الالمنيوم بصورة عامة الى صنفين هما:- [7,15,16]

1. سبائك الالمنيوم المشكلة (Wrought Aluminum alloys).
2. سبائك الالمنيوم المسبوكة (Cast Aluminum alloys).

إن نظام تصنيف الالمنيوم من قبل رابطة الالمنيوم "AA" (Aluminum Association) للسبائك المشكلة يتمثل بنظام أرقام رباعي المراتب، إذ تمثل المرتبة الأولى المجموعة، والمرتبة الثانية تتضمن تحديد السبيكة أو حدود الشوائب أما المرتبتان الأخيرتان فتستخدمان في تعيين سبائك الالمنيوم المختلفة في المجموعة هذا بالنسبة للسبائك المشكلة. [14, 15, 17, 16]

- 1XXX ألمنيوم نقي 99.00% أو أكثر.
- 2XXX سبائك قابلة للاصلاذ بالتعتيق تحتوي على النحاس.
- 3XXX سبائك تحتوي على المنغنيز، وقابلة للاصلاذ بالتشكيل.
- 4XXX سبائك تحتوي على السيليكون.
- 5XXX سبائك تحتوي على المغنيسيوم، وقابلة للاصلاذ بالتشكيل.
- 6XXX سبائك تحتوي على السيليكون، والمغنيسيوم، وقابلة للمعاملة الحرارية.
- 7XXX سبائك تحتوي على الخارصين، وقابلة للمعاملة الحرارية.
- 8XXX سبائك تحتوي على الليثيوم وسبائك أخرى قابلة للمعاملة الحرارية.

أما الطريقة لبيان حالة المعاملة التي خضعت لها السبيكة فتكون باضافة حرف بعد رمز السبيكة يتبعه بعض المراتب الرقمية تبين مقادير المعاملة وهي كالاتي:-  
[10,14]

F: الحالة المصنعة

O: الحالة المخمرة

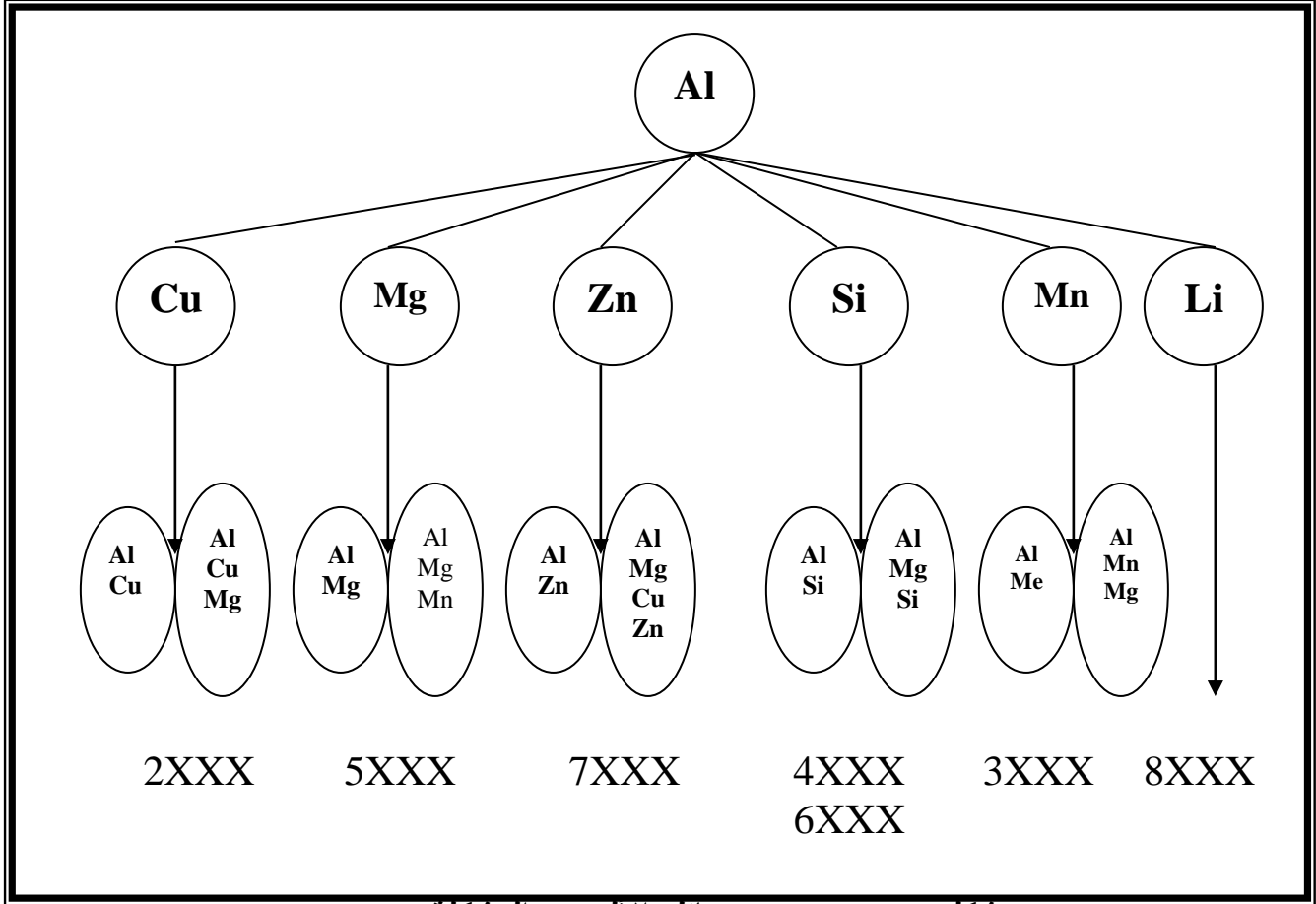
H: مصلدة بالتشكيل

T: تستخدم للسبائك القابلة للاصلاذ التي عادة تعامل محلوليا وتعنى الى الحالة المستقرة.  
[10]

-السبائك المشكلة ممكن ان تصنف بسهولة الى مجموعتين اساسيتين هما:-

1. السبائك غير القابلة للمعاملة الحرارية التي تحصل على مقاومة اعلى، اما بالاصلاذ الانفعالي، أو بواسطة المحلول الجامد.
2. السبائك القابلة للمعاملة الحرارية التي يمكن ان تحصل على مقاومة اعلى بالمعاملة الحرارية (الاصلاذ بالترسيب) [18].

تصنيف مبسط لسبائك الالمنيوم المشكلة موضح بالشكل (1-1) :- [19]



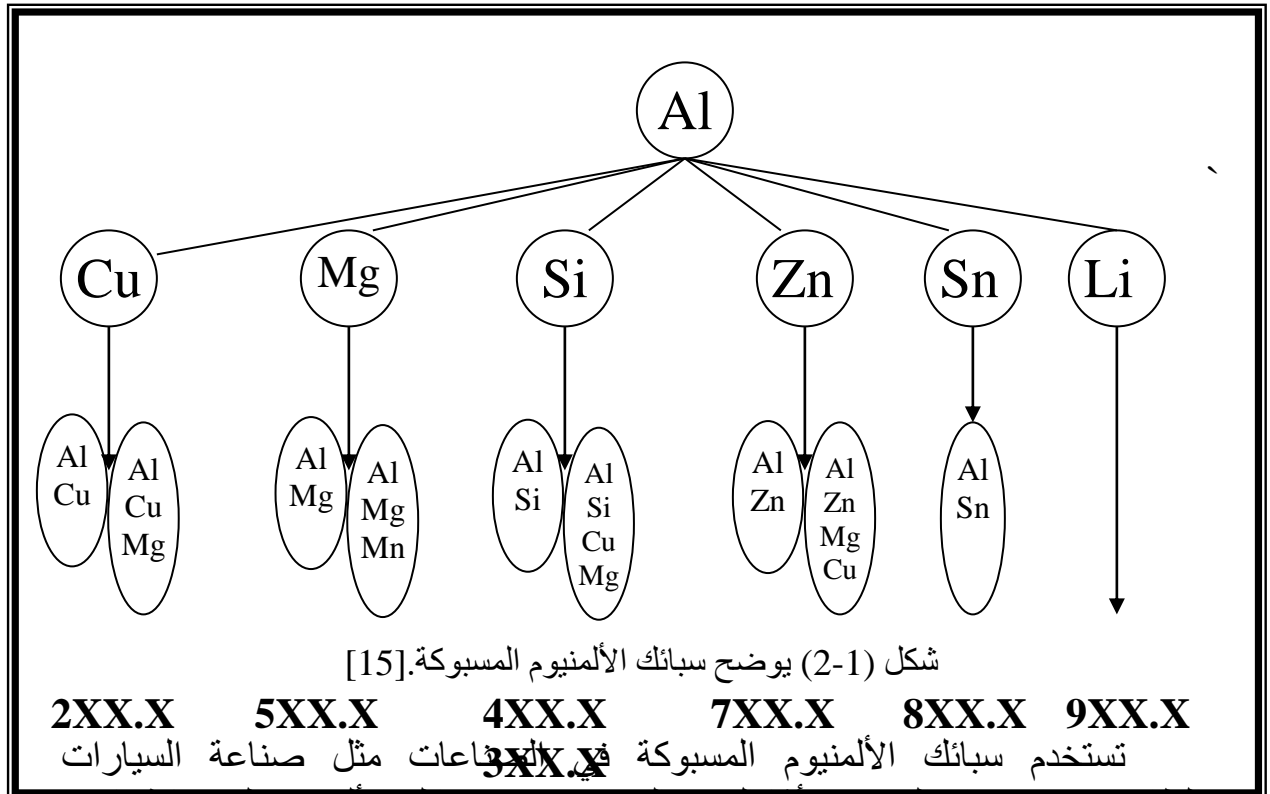
شكل (1-1) يوضح سبائك الالمنيوم المشكلة. [19]

أما بالنسبة لسبائك الالمنيوم المسبوكة فقد تم تصنيفها من قبل رابطة الالمنيوم في الولايات المتحدة (Aluminum Association of The United States)، إذ تتكون من نظام ارقام رباعي المراتب وتفصل نقطة بين المرتبة الثالثة والرابعة، إذ تمثل المرتبة الاولى المجموعة، والمرتبة الثانية والثالثة تتضمن تحديد السبيكة، أما المرتبة الاخيرة فتمثل شكل المنتج إذ يستخدم (0) للمسبوكات المنتجة بشكل نهائي (casting) ويستخدم (1) للصبات الجاهزة (ingot) [15]

- 1XX.X أالمنيوم نقي 99.00% أو أكثر.
- 2XX.X سبائك تحتوي على النحاس بوصفه عنصراً رئيسياً.
- 3XX.X سبائك تحتوي على السيليكون مع النحاس او المغنيسيوم.
- 4XX.X سبائك تحتوي على السيليكون.

- 5XX.X سبائك تحتوي على المغنيسيوم.
  - 7XX.X سبائك تحتوي على الخارصين.
  - 8XX.X سبائك تحتوي على القصدير.
  - 9XX.X سبائك تحتوي على الليثيوم، وسبائك أخرى.
- سبائك الالمنيوم المسبوكة يمكن ان تصنف ايضا الى مجموعتين اساسيتين:-
1. السبائك غير القابلة للمعاملة الحرارية (Non-heat treatable alloys).
  2. السبائك القابلة للمعاملة الحرارية (Heat treatable alloys).

تصنيف مبسط لسبائك الالمنيوم المسبوكة موضح بالشكل (2-1) :- [15]



متوفرة في السبائك الحديدية مثل اختزال الوزن وهذا يؤدي إلى توفير في الوقود مما أدى إلى استبدال الأجزاء المصنوعة من السبائك الحديدية إلى سبائك الالمنيوم. وقد ازدادت امكانية استعمال سبائك الالمنيوم المسبوكة حالياً بشكل واسع، ففي أوروبا عام 1992 كان (60-50 kg) من وزن السيارة يصنع من سبائك الالمنيوم المسبوكة اما في عام 2000 فقد تضاعفت هذه النسبة. [20]

### ومن أهم خواص الالمنيوم التي تجعله مناسباً للسبائك هي:-

1. درجة انصهاره واطئة ( $660^{\circ}\text{C}$ ).
2. يمتلك الالمنيوم وسبائكه سيولة جيدة.
3. من الممكن السيطرة على بنية الحبيبات في سبائك الالمنيوم.
4. قابلية ذوبان الغازات فيه قليلة ماعدا الهيدروجين.
5. من الممكن زيادة مقاومة بعض سبائك الالمنيوم بالمعاملات الحرارية (الاصداد بالترسيب).
6. يمتلك انهاء سطحي جيد.

وعندما تتم عملية السبائك للالمنيوم، فان هناك عيوباً كثيرةً سوف تحدث في الجزء المسبوك واهم هذه العيوب هي:- [11, 20]

1. الانكماش Shrinkage يحدث فيه انكماش كبير حوالي (4-8) %، مما يؤدي إلى حدوث العيوب مثل المسامية.
  2. المسامات الغازية Gaseous porosity منصهر الالمنيوم له قابلية عالية لجذب الهيدروجين اليه وذوبانه فيه، ومن ثم فان الهيدروجين اثناء انجماد المنصهر يسبب مسامات.
  3. المتضمنات الاوكسيدية Oxide inclusions بما ان منصهر الالمنيوم يكون معرضاً للهواء الجوي، مما يؤدي الى حدوث طبقة اوكسيدية وهذه الاكاسيد قد تدخل ضمن المسبوكة بعد الانجماد وتسبب عيوباً.
  4. سهولة حدوث التشقق الساخن فيه.
  5. تمتلك سبائك الالمنيوم مطيلية منخفضة.
- بسبب هذه العيوب التي تحدث في عملية السبائك هذا يؤدي إلى حدوث تغيرات في الخواص الميكانيكية من سبيكة الى أخرى، وقد تحدث تغيرات في الخواص من منطقة الى اخرى ضمن المسبوكة نفسها .
- في السنوات الأخيرة اتجه الباحثون الى تقليل التغير في الخواص الميكانيكية في المسبوكة لذلك اتجهوا إلى سبائك المقاطع ذات السمك القليل والقليلة الوزن لتقليل هذا التغير الى اقل حد ممكن. [20]

وان من أهم العمليات التي استخدمت لمعالجة هذا التغير في الخواص هي:- [20]

1. طرد الغازات بشكل كفوء Efficient degassing.
2. تنعيم الحبيبات Grain refinement.
3. تحويل التركيب Modification of structure.
4. الترشيح المعدني Metal filtration.
5. ملء القالب بصورة غير مضطربة Non turbulent filling of moulds.

السباكة في القوالب المعدنية تعطي امكانية الحصول على مسبوكة جيدة وخالية من العيوب تقريبا اكثر مما في حالة السباكة الرملية، إذ يكون في القوالب المعدنية معدل الانجماد اعلى، ومن ثم هذا يقود الى تقليل حجم الحبيبات، كذلك يمكن الحصول على مسبوكة خالية من المسامات الغازية، وذلك باستعمال ضغط خارجي (external pressure) عالٍ وهذا يكون في حالة القوالب المعدنية فقط. ومن الممكن اختزال العيوب التي تحصل في المسبوكة، وذلك عن طريق السباكة في جو مفرغ (vacuum)، وباستخدام غازات خاملة (Inert gases) مثل:- الاركون وهذه التقنية هي الاكثر استعمالا في الوقت الحاضر، على الرغم من كون كلفتها عالية. [11]

### 5.1 عمليات السباكة: *Casting processes*

- إن سبائك الالمنيوم من الممكن سبائها بالطرق الآتية:- [20]
1. السباكة الرملية Sand casting.
  2. السباكة بالقوالب المعدنية.
  3. السباكة بالضغط Pressure die casting.
  4. سباكة الشمع المفقود Lost wax.
  5. السباكة الدورانية او المركزية Squeeze casting.

تعد السباكة بالقوالب المعدنية التي تتضمن صب المعدن المنصهر في قالب معدني، هي الطريقة الاكثر استعمالا في تصنيع سبائك الالمنيوم وخاصة في تصنيع الاجزاء المستعملة في صناعات الفضاء، لكون هذه الطريقة اقل عيوباً من الطرق الاخرى.

## 6.1 تأثير عناصر السبك: [20,21, 22] Effect of alloying elements

هناك مجموعة من عناصر السبك التي تضاف الى الالمنيوم لتكوين سبائك الالمنيوم والتي تؤثر على خواص المسبوكة بصورة كبيرة واهم هذه العناصر هي:-

### 1.6.1 السيليكون: Silicon

إن السيليكون يعد من عناصر السبك الاساسية التي تضاف الى الالمنيوم إذ إن معظم سبائك الالمنيوم تحتوي على هذا العنصر، إذ انه يزيد من قابلية السيولة (fluidity)، مما يسهل من عملية ملء القالب، وكذلك يزيد من صلادة (Hardness) السبائك، ولكنه في الوقت نفسه يقلل المطيلية (ductility)، وقابلية التشغيل (machinability) لهذه السبائك.

### 2.6.1 النحاس Copper

يضاف النحاس الى سبائك الالمنيوم لتحسين المقاومة (strength)، والصلادة (Hardness)، وقابلية التشغيل (machinability)، والنحاس يقلل من قابلية السبك (castability)، وكذلك يقلل من مقاومة المسبوكة للتشقق الساخن (hot tears)، ويقلل مقاومة التآكل ايضا (corrosion resistance).

### 3.6.1 المغنيسيوم Magnesium

إن إضافة نسبة قليلة من المغنيسيوم بحدود (0.5-0.25) % إلى سبائك الالمنيوم-سيليكون سيؤدي إلى حدوث الاصلاذ بالتعامل الحراري. والمغنيسيوم يؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية لسبائك الالمنيوم، وكذلك يضاف للحصول على مظهر جيد ولماع يستخدم في الديكورات، وعادة المغنيسيوم تتم سباكته بواسطة السباكة بالضغط لتجنب حدوث التقصف الهيدروجيني (embrittlement)، وإن وجود المغنيسيوم يزيد من اكسدة منصهر الالمنيوم، ولكن سبائك الالمنيوم-مغنيسيوم ذات مقاومة عالية للتآكل بماء البحر.

### 4.6.1 الحديد Iron

في حالة وجود الحديد بنسبة عالية في سبائك الالمنيوم، فانه يقلل من المطيلية (ductility)، ومقاومة الصدمة (Impact resistance)، وكذلك يقلل من قابلية التشغيل (machinability).

### 5.6.1 المنغنيز Manganese

يحسن من صلابة السبائك (casting stiffness) لحد نسبة 0.5% والمنغنيز يسيطر على شكل المركبات شبه المعدنية (Intermetallic) المتكونة من الحديد الموجود في سبائك الألمنيوم، ومن ثم فإنه يقوم بتحسين المطيلية (ductility)، ويقلل الانكماش (Shrinkage).

### 6.6.1 النيكل Nickel

عند اتحاده مع الحديد الموجود ضمن سبائك الألمنيوم، فإنه يحسن المقاومة (strength)، والصلادة (Hardness) عند درجات الحرارة المرتفعة.

### 7.6.1 الخارصين Zinc

عند اتحاد الخارصين مع النحاس والمغنيسيوم ضمن سبائك الألمنيوم تكون السبيكة الناتجة قابلة للتعامل الحراري، وتحسن قابلية التعتيق الطبيعي (Natural ageing) لهذه السبيكة. السيولة (fluidity) تتحسن، ولكن الانكماش (Shrinkage) يزداد ويصبح مشكلة.

### 8.6.1 الرصاص Lead

يحسن قابلية التشغيل (machinability) عند نسب اعلى من 0.1%.

### 9.6.1 التيتانيوم Titanium

عند اتحاده مع البورون سيؤدي إلى تنعيم الحبيبات.

### 10.6.1 الفسفور Phosphorus

يؤدي الى تنعيم الحبيبات في الاطوار ما قبل اليوتكتك (hypoeutectic) التي تحتوي على السيليكون ، كذلك فان نسبة قليلة منه ستؤدي إلى تقليل تأثير الصوديوم على معدل اليوتكتك (eutectic).

### 11.6.1 الصوديوم (Sodium)

يضاف الصوديوم إلى سبائك الألمنيوم لتعديل بنية اليوتكتك (eutectic structure).

### 12.6.1 الليثيوم Lithium

هو من أهم عناصر السبك الحديثة التي تضاف الى الالمنيوم لتحسين الخواص الميكانيكية (mechanical properties)، إذ يعمل على خفض الكثافة، وزيادة المقاومة، وزيادة معامل المرونة. [23, 24, 25]

وعند إضافة الليثيوم بنسبة اعلى من 0.5% فإنه يقلل من تاثير الصوديوم على السبيكة، ولكنه في الوقت نفسه سيؤدي إلى حدوث المسامية (porosity). الليثيوم هو اخف العناصر المعدنية، إذ تكون كثافته اقل من نصف كثافة الماء تقريباً. [26]

والليثيوم عند إضافته للألمنيوم لتكوين سبيكة يقلل من وزن السبيكة عن طريق تكوين محلولاً جامداً استبدالياً وليس تداخلياً او تغلغلياً، لان المحلول الجامد التداخلي يؤدي الى زيادة وزن السبيكة ، ان اختلاف الحجم الذري بين ذرات المعدنين هو الذي يحدد ان كان المحلول الجامد استبدالياً او تداخلياً ويحدد الحجم الذري بالنسبة ( $\Delta$ )

$$\Delta = \Delta a/a$$

إذ إن:

$\Delta$  =نسبة الحجم الذري.

$\Delta a$  =الفرق بين الأقطار الذرية.

$a$  =القطر الذري للشبكة الأساسية.

فإذا كانت ( $\Delta > 15\%$ ) فإن المحلول الجامد يكون استبدالياً وفي حالة (Li) فإن قطر ذرته ( $3\text{Å}$ ) وقطر ذرة الالمنيوم ( $\sim 2.8\text{Å}$ ) فإن ( $\Delta = 7\%$ )، وهذا يعني إن الالمنيوم والليثيوم يكونان محلولاً جامداً استبدالياً، ومن ثم فإن هذا سيؤدي إلى تقليل الكثافة لسبائك الالمنيوم- ليثيوم.

والشيء الآخر المهم من اضافة الليثيوم الى الالمنيوم هو زيادة مقاومة السبيكة المتكونة بواسطة الاصلاد بالترسيب.

إن ذوبان الليثيوم في الالمنيوم يشابه تماماً ذوبان الملح في الماء، إن لليثيوم ذوبانية محددة في الالمنيوم مع تغير درجة الحرارة، فعندما يتجاوز تركيز الليثيوم حد قابلية الذوبان فإنه يترسب بشكل مركب ( $\text{Al}_3\text{Li}$ )، مما يتيح الفرصة لتقوية سبائك الالمنيوم عن طريق الاصلاد بالترسيب (Precipitation hardening). [26, 27]

والليثيوم النقي هو معدن لين لونه فضي لامع ولكنه يتفاعل ويتأكسد بسرعة في الهواء والماء.



ولا يوجد الليثيوم في الطبيعة بشكل حر بسبب نشاطه التفاعلي، عند تعريض الليثيوم مباشرة الى اللهب يعطي لونا احمرًا مزرقاً قوياً، ولكنه عند الاحتراق يصبح لون اللهب ابيضاً والليثيوم اكثر عنصر نشط في التفاعلات، اكتشف الليثيوم على يد العالم يوهان ارفيدسون في عام 1817 أثناء تحليله للمركب ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ) المستخرج من

صخور وجدت قرب ستوكهولم في السويد وفي عام 1818 لاحظ كريستيان جميلين ان املاح الليثيوم تعطي وهجا احمرأ عند تعرضها للهب المباشر، ولكن كلا العالمين فشلا في الحصول على الليثيوم بشكل نقي، ولم يتم فصل العنصر بشكل نقي حتى قام و.ط.براندي والسيرهمفري ديفي بفصل العنصر عن طريق التحليل الكهربائي لأكسيد الليثيوم، أما الإنتاج التجاري لليثيوم تم في عام 1923 على يد شركة التعدين الالمانية (Metallgesellschaft AG) عن طريق التحليل الكهربائي لمنصهر كلوريد الليثيوم [24, 27, 30]، وأطلق عليه اسم الليثيوم، لأنه اكتشف في الصخور وبال يونانية (lithous) وتعني الحجر او الصخر على عكس الفلزات القلوية الاخرى التي اكتشفت في الانسجة النباتية.

والليثيوم شديد الاشتعال وقابل للانفجار في شكله الحر عند تعرضه للهواء وخاصة عند تعرضه للماء. [25,29]

### -وبعض خواص الليثيوم الفيزيائية مدرجة في الجدول (2-1).

جدول (2-1) يوضح بعض خواص الليثيوم الفيزيائية. [25]

Symbol of element	Li
Atomic Number of lithium	3
Atomic mass	6.941 amu
Melting point	180.54 <sup>0</sup> C(453.69K)
Boiling point	1347.0 <sup>0</sup> C(1620.15K)
Crystal structure	cubic
Density at 293 <sup>0</sup> K	0.53 g.cm <sup>-3</sup>
Color of lithium	silvery

### 7-1 تطبيقات سبائك الالمنيوم *Application of Aluminum alloys*

مع زيادة الحاجة الى الاقتصاد في الوقود والى خفة الوزن ازداد استخدام سبائك الالمنيوم في صناعة السيارات، وكذلك فان سبائك الالمنيوم تمتلك خاصيتين مهمتين هما التوصيل الحراري والكثافة المنخفضة، مما زاد من استخدامها أكثر، إذ كانت قبل حوالي 15 سنة تدخل في صناعة السيارات بحدود 5%، أما الآن فهي تدخل في صناعة السيارات بحدود 13%، إذ تدخل في صناعة المحركات والمكابس (pistons) والاسطوانة الرئيسية (cylinder head) وتدخل في صناعة ابدان السيارات [15]، وهناك خواص مهمة اخرى لسبائك الالمنيوم مثل المقاومة العالية للبلى (wear)، وكذلك مقاومة عالية للتآكل (corrosion)، هذا فضلاً عن خاصية الكثافة المنخفضة، إذ تمتلك نسبة (volume/weight) جيدة، مما جعلها تدخل في صناعة الطائرات، إذ تدخل في

صناعة (wing spars)، وهيكل الطائرة (fuselage)، وكذلك في اجهزة الهبوط والاقلاع في الطائرة [31].  
كذلك تستخدم سبائك الالمنيوم في بعض ديكورات البناء، وذلك لخفة وزنها ومقاومتها للظروف الجوية ولمظهرها الجميل.

### **8.1 الهدف من البحث**

هناك اهتمام واسع في تحضير سبائك الالمنيوم-ليثيوم لكونها تستخدم في صناعات الفضاء وتمتاز بخواص جيدة.  
ويهدف هذا البحث إلى استخدام طريقة جديدة لتحضير سبائك ألمنيوم-ليثيوم والتحكم بنسب الليثيوم بدقة عالية، وذلك عن طريق اضافة الليثيوم بصورة مركب من خلال استخدام المركب ليثيوم - ألمنيوم هايدرايد الحاوي على نسبة دقيقة من الألمنيوم والليثيوم على شكل سبيكة، الذي يتفكك بالحرارة لطرح الهيدروجين الذري منه والذي يقوم باختزال المركبات الاوكسيدية والكبريتية والفوسفورية ان وجدت، ويحقق تجانس للسبيكة من خلال التحريك الميكانيكي للسبيكة عند خروجه.

# الفصل الثاني

- سبائك الألمنيوم-ليثيوم
- نبذة تاريخية عن تطور سبائك الألمنيوم-ليثيوم.
- أهمية خفض الكثافة.
- تركيب سبيكة الألمنيوم-ليثيوم.
- التحولات الطورية في سبائك الألمنيوم-ليثيوم.
- عمليات تصنيع سبائك الألمنيوم-ليثيوم.
- تأثير الأوساط على سبائك الألمنيوم.

إن الكثافة المنخفضة والخواص الميكانيكية الجيدة لهذه السبائك ادى الى استخدامها بشكل واسع في معظم التطبيقات وخاصة التطبيقات العسكرية وصناعات الفضاء. [26,32]

إذ تتميز هذه السبائك فضلاً عن الكثافة المنخفضة بمعامل المرونة العالي، ومقاومة التآكل، والكلال الجيدة [33]، هذا بالمقارنة مع سبائك الألمنيوم العالية المقاومة، لكن مايجول من دون استخدامها بصورة واسعة لحد الآن هو مطيليتها القليلة الناتجة عن قابلية القص العالية للطور الأساس ( $Al_3Li$ ). [22, 34]

إن هذه السبائك يفضل استخدامها أكثر من المواد المركبة التي ممكن أن تعطي خواصاً مماثلة لخواص هذه السبائك، بالرغم من ارتفاع كلفة هذه السبائك بالمقارنة مع كلفة المواد المركبة. [35, 36, 37]

## 2.2 نبذة تاريخية عن تطور سبائك الألمنيوم-ليثيوم

إن أولى تجارب استخدام الليثيوم بوصفه عنصر سبك مع الألمنيوم كانت قبل أكثر من نصف قرن، ولقد مرت هذه السبيكة بمراحل تطور عديدة ، وعمل لهذا الغرض العديد من الباحثين في الجامعات والشركات الصناعية، ولم تستخدم هذه السبيكة بصورة تجارية حتى سنة 1958، وذلك لوجود صعوبات تصنيعية وكذلك لهشاشتها العالية. [33]

إن أول براءة اختراع أعطيت في الولايات المتحدة حول سبائك الألمنيوم-ليثيوم كانت في سنة 1927 لزوكرالسكي (Czochralski) الذي سبق وان نشر مخطط التوازن الثنائي سنة 1924.

أما الباحث (Assman) فقد قدم شرحاً تفصيلياً عن سبائك الألمنيوم- ليثيوم الثنائية التي تحتوي على الألمنيوم والليثيوم فقط والثلاثية والتي تحتوي على عنصر سبك آخر فضلاً عن الليثيوم والرابعية والتي تحتوي على عنصري سبك فضلاً عن الليثيوم سنة 1926، لكنه فشل في الحصول على أي فوائد تذكر منها لعدم الاختيار الموفق لظروف التعتيق، وكذلك لعدم استخدامه المعاملات الحرارية-الميكانيكية. [34]

ومنح لي-بارون (Le-Baron) سنة 1945 براءة اختراع لسبيكة (Al-Cu-Li-Cd) الذي حاول زيادة المقاومة بإضافة الليثيوم بوصفه عنصر تصليد، وعرف عندها تأثير آخر لليثيوم وهو زيادة معامل المرونة. [34]

وبعد تطورات إضافية على سبيكة لي-بارون تم إعلان السبيكة (2020) سنة 1958 ذات المقاومة العالية والاستقرارية الحرارية، ولكنها كانت تتضمن عيباً أساسياً هو انخفاض مطيليتها، مقارنة مع بقية سبائك الألمنيوم العالية المقاومة، مما أدى إلى توقف إنتاجها التجاري سنة 1969. [33]

وفي بداية السبعينات طرحت فكرة استخدام تكنولوجيا المساحيق (Powder Technology) في انتاج هذه السبائك، لان هذه الطريقة تعطي حبيبات ناعمة (Fine Grains)، مما تزيد من المطيلية ومتانة الكسر. [38]

وحدثت تطورات أخرى في الفترات اللاحقة مثل استخدام أساليب جديدة من المعاملات الحرارية-الميكانيكية واستخدام عناصر سبك إضافية، وكذلك استخدام طريقة التجمد السريع  $10^8-10^4$  °C/s (Rapid Solidification) ، وفي عام 1983 تم استخدام سبائك الألمنيوم - ليثيوم ولأول مرة في صناعة اجزاء من طائرات البوينغ 767 ، 757 ، 707 وطائرة الايرباص، فضلاً عن دخولها في صناعة أجزاء كبيرة من طائرات الجاكوar والكونكورد. [39]

ومن الجدير بالذكر انه عقدت أربعة مؤتمرات خلال الفترة من سنة 1980 إلى سنة 1987 حول هذه السبائك (Al-Li)، أولها:-

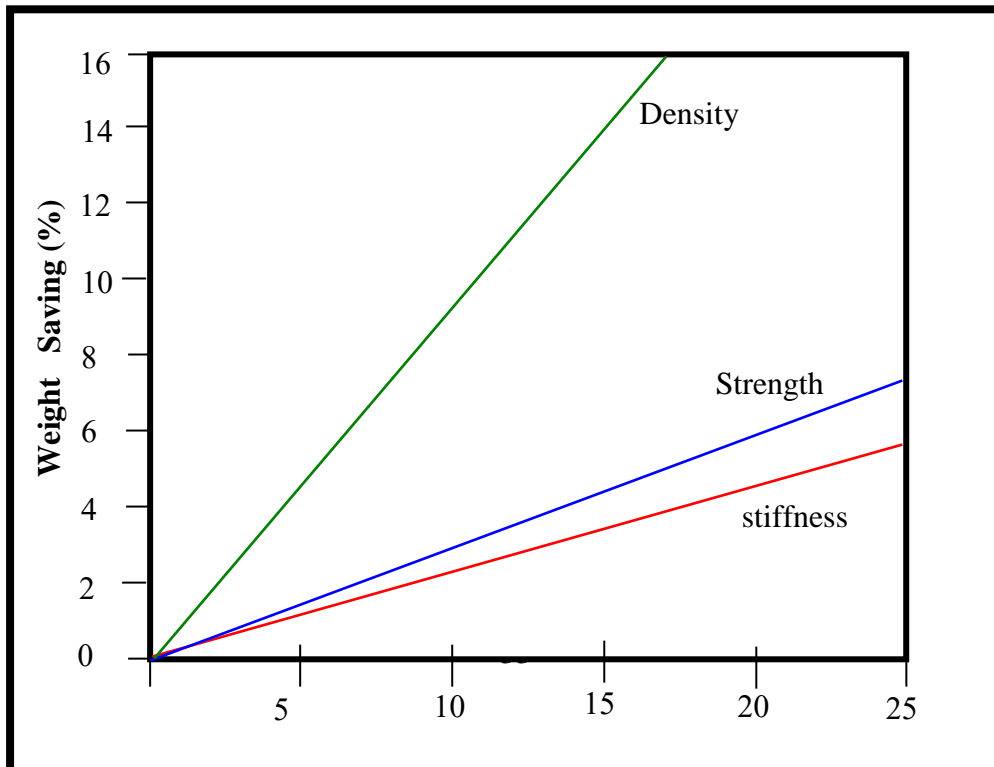
في ستون-ماونتن (Stone Mountain) في جورجيا سنة 1980 والأخير في باريس (Paris) سنة 1987. [34]

### 3.2 أهمية خفض الكثافة Advantage of Density Reduction

تتطلب صناعات الفضاء وخصوصاً الطائرات مواداً خفيفة الوزن ، فمن البديهي ان خفض كثافة السبيكة سيؤدي إلى خفض وزن الطائرة ، وهذا سيحسن الكثير من خواصها مثل:-

تقليل استهلاك الوقود، وتحسين خواص الطيران، وزيادة حمولتها .

إن زيادة كفاءة السبيكة تتم بعدة أساليب أهمها زيادة المقاومة (Strength) أو معامل المرونة (Modulus of elasticity) [2,39] ، لكن أسهل الطرق وأكثرها تأثيراً هي خفض الكثافة كما مبين بالشكل (1-2) .



### Property Improvement %

الشكل (1-2) يوضح تأثير تغيير كل من المقاومة والصلابة والكثافة على وزن السبائك المستخدمة في أبدان الطائرات. [2,39]

## 4.2 تركيب سبيكة الألمنيوم-ليثيوم:

### Al-Li alloy composition

تتركب هذه السبيكة من عنصرين مختلفين تماما، إذ تتكون من الألمنيوم الذي هو أكثر المعادن وفرة على الأرض، وهو معدن فلزي ويستخدم في التطبيقات الفضائية الثقيلة، نظرا لامتلاكه مقاومة، ومتانة، ومقاومة تآكل، وقابلية تشكيل جيدة، والليثيوم الذي هو معدن قلوي فعال جدا يستخدم في الأسلحة النووية (nuclear weapons) [40].

أكثر السبائك تحتوي 0.5-3 % ليثيوم مع نسب معينة من النحاس والمغنيسيوم، وتكون بنية هذه السبائك هي بلورات مكعبة متمركزة الجسم (B.C.C)، وبالمقارنة مع سبائك الألمنيوم التقليدية تكون اقل كثافة بحوالي 10% من سبائك الألمنيوم الأخرى، ولها معامل مرونة أعلى بحوالي 10% من سبائك الألمنيوم الأخرى [21]، وبالرغم من إن الليثيوم قابل للذوبان جدا لحد نسبة 5.2% في الألمنيوم، إلا أنه في حالة التبريد الطبيعية (naturally cooled) لايمتزجان نهائيا، وهذه السبيكة تشكل بواسطة الإخماد السريع (Rapid quenching) [41]. إن صلادة هذه السبائك تكون مشابهة لصلادة طور المارتنسايت في الفولاذ وتكون هذه السبيكة ذات مقاومة أعلى من كثير من المواد المركبة وأعلى من مقاومة التيتانيوم.

### -إلا أن من عيوب هذه السبائك هي:- [42]

- هذه السبائك غير قابلة للحام، لان الحرارة تؤدي إلى خروج الليثيوم من المحلول، وكذلك غير قابلة للربط.
- عمليات إنتاج هذه السبائك تكون مكلفة جدا بسبب تطاير الليثيوم واشتعاله بسرعة.

- التفاعل الكلفاني بين العناصر المكونة للسبيكة ممكن أن يحدث مما يسبب حدوث التآكل.
- كلفة سبائك الألمنيوم-ليثيوم أعلى بكثير من كلفة سبائك الألمنيوم الأخرى وكذلك أعلى من كلفة المواد المركبة والتيتانيوم.

استخدمت هذه السبيكة في صناعة خزانات الوقود في المكوك الفضائي إذ تقلل الوزن، والبحوث الحديثة تركز على تحسين التقنيات الصناعية لتخفيض كلفة تصنيع هذه السبائك.

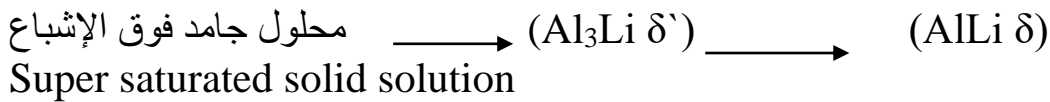
## 5.2 التحولات الطورية في سبائك الألمنيوم-ليثيوم

### *Phase transformation in Aluminum-Lithium alloys*

منحنى التوازن الطوري المبين في الشكل (2-2) يبين وجود نظام يوتكتيكي بين المحلول الجامد من الليثيوم في الألمنيوم، ذو التركيب المكعب المتمركز الوجه (Face centered cubic) (الطور  $\alpha$ )، والطور (AlLi) الذي يرمز له ( $\delta$ ) ذو التركيب المكعب المتمركز الجسم (Body centered cubic). [34]

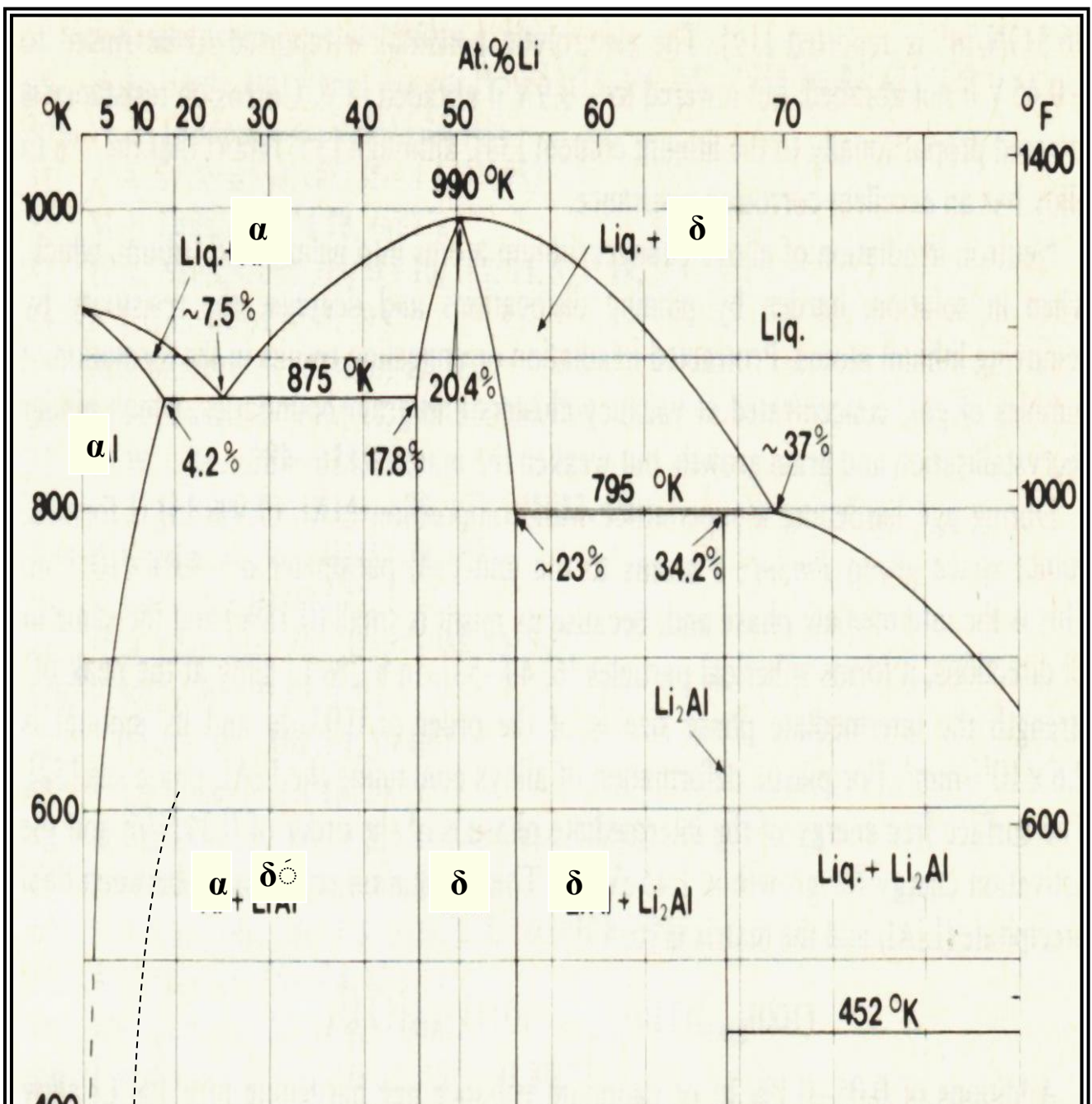
لقد درس عدد من الباحثين عملية التحول الطوري في أثناء الترسيب في هذه السبيكة، إذ أن الحصول على الطور النهائي (AlLi) يمر بمراحل.

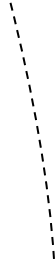
إن أول الدارسين لهذا الموضوع هو سلوكوك (Silcock) [2,34] الذي استخدم تقنية حيود الأشعة السينية (X-Ray diffraction)، وبين إن تسلسل عملية الترسيب يتم حسب ما يأتي:-



وأجريت دراسات إضافية باستخدام تشتت الأشعة السينية بزواوية قليلة (small angle x-ray scattering)، والمجهر الإلكتروني النافذ (Transmission electron microscope)، والتحليل الحراري (Thermal analysis)، وجميع هذه الدراسات أكدت التسلسل الطوري السابق [2,34].

الطور ( $\delta \square'$ ) ذو شبكة منتظمة (ordered)، وهي متطابقة كلياً (Fully coherent) مع شبكة الألمنيوم [34]، ونتيجة للتشابه الكبير في التركيب وأبعاد الشبكة البلورية بين الطور ( $\delta'$ ) والأرضية، فإن مقياس عدم التطابق (Misfit) بينهما واطئ حوالى 0.018 %، وهذا سيؤدي إلى جعل الطور كروياً، وكذلك إلى انعدام مجال انفعال التطابق بينهما. [2, 43]





شكل (2-2) يوضح منحني التوازن الطوري لسبيكة (الألمنيوم-ليثيوم). [41]

## 6.2 عمليات تصنيع سبائك الألمنيوم-ليثيوم:

الليثيوم هو عنصر فعال جدا و متطاير عند تعرضه للظروف الجوية ويتطاير بسرعة عالية جدا ويشتعل عند تعرضه للهواء، ولهذا فان عمليات استخدام الليثيوم تكون صعبة وتحتاج إلى تقنيات خاصة تختلف عن عمليات تحضير سبائك الألمنيوم الأخرى. [22, 26]

-توجد طريقتان لتحضير سبائك الألمنيوم-ليثيوم هي:-

1. السباكة (casting).
2. الترسيب بالرذاذ (Spray deposition).

-تتضمن طريقة السباكة ماياتي:

بما إن عنصر الليثيوم ذو فعالية كيميائية عالية إذ أن جهده الكهروكيميائي القياسي (Standard electrode potential) يساوي (+3.02) فولت [15] ، فان عمليات الصب والصبهر لسبيكة الألمنيوم-ليثيوم تتم دائما في جو مفرغ (vacuum) من الهواء وبوجود غاز خامل (Inert gas)؛ مثل الاركون لتجنب تأكسده واشتعاله، وأحيانا يستخدم الجو الخامل في إجراء المعاملات الحرارية الأخرى مثل التجانس (Homogenizing) والمعاملة المحلولية (Solution treatment)، وان هذه الطريقة مهما كانت الدقة فيها فإنها تؤدي إلى حدوث عيوب السباكة وخاصة المسامية (porosity) نتيجة ذوبان غاز الهيدروجين في المنصهر الذي يعد من أكثر الغازات قابلية على الذوبان في منصهر الألمنيوم-ليثيوم، لذلك تعد هذه الطريقة صعبة وذات كلفة عالية، فضلاً عن انه يصعب الحصول على الليثيوم في السبيكة بالنسب الدقيقة. [26,36]

**-أما طريقة الترسيب بالرذاذ spray deposition :-**

هذه الطريقة تتضمن تحويل منصهر الألمنيوم-ليثيوم إلى ذرات تضخ بسرعة عالية جدا هذه القطرات تتجمد بسرعة اثناء الضخ وترسب على قاعدة دوارة وتكون سبيكة، وهذه الطريقة تتطلب تقنيات خاصة جدا، وهي ذات كلفة عالية أيضاً. [37] من خلال الاستعراض السابق يبدو واضحاً بان هناك مشاكل تقنية كبيرة في إنتاج سبائك الألمنيوم-ليثيوم لشدة فعالية عنصر الليثيوم مع الأوكسجين والماء، لذا فان هذا المعدن يحفظ تحت سائل البرافين لعزله عن الجو، لذا فان استخدامه بشكل مباشر في السبائك سيكون معظمه على شكل اوكسيد وليس على شكل معدن حر، ومن ثم فان السبيكة ستفقد خواصها المطلوبة بسبب وجود اوكسيد الليثيوم وليس الليثيوم نفسه ، إن استخدام الضغط المخلخل (الفراغ) أو غازات خاملة ليس بالشيء اليسير، إذ يتطلب ذلك إنشاء وحدات كاملة لهذا النظام، وقد لاتفلح في إضافة الليثيوم بوصفه عنصراً نقياً إذ أن قسماً منه يتحول إلى اوكسيد خلال المناولة قبل دخوله إلى الجو الخامل ، كل ذلك دفعنا للتفكير بإيجاد طريقة سهلة وأمينة ودقيقة لإضافة نسب الليثيوم.

إذ اهتدينا إلى مركب لاعضوي يحوي على الليثيوم والألمنيوم والهيدروجين، وعند دراسة خواصه الفيزيائية والكيميائية وجدنا بأنه مركب ملائم جداً لهذا الغرض، إذ يتفكك بالحرارة طارحاً الهيدروجين ويكون على شكل (Al-Li) كسبيكة مقاومة للتأكسد والحرارة حتى  $600^{\circ}\text{C}$  قبل انصهارها بقليل.

***Lithium Aluminum Hydride*****ليثيوم-ألومنيوم هايدرايد**

هو مركب كيميائي لاعضوي من إنتاج شركة (BDH) البريطانية ويرمز له اختصاراً (LAH) وهو غير متطاير، وهو عبارة عن دقائق بلورية (Crystalline)، وهذا المركب قد يكون ابيض اللون أو رمادي ، ويبقى هذا المركب مستقراً إلى درجة حرارة  $120^{\circ}\text{C}$ . [44,45, 46]

**والجدول (1-2) يوضح بعض صفاته الفيزيائية.**

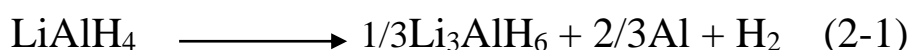
جدول(1-2) يوضح بعض الصفات الفيزيائية لمركب ليثيوم-ألومنيوم هايدرايد [44,45]

Symbol of compound	LiAlH <sub>4</sub>
Molecular weight	37.95 g.mol <sup>-1</sup>
Appearance	White crystals but as usually seen grey
Density and phase	0.917 g.cm <sup>-3</sup> , solid
Solubility in water	reactive
Melting point	150 <sup>0</sup> C(423 K ), decomposing
Crystal structure	monoclinic
specific gravity	0.91 - 0.92

ويعد هذا المركب (LAH) عاملاً مختزلاً قوياً، إذ أنه أقوى اختزالاً من الصوديوم، وذلك بسبب ضعف الأصرة الموجودة بين الألمنيوم والهيدروجين (Al-H).

وان هذا المركب فعال جدا عند تعرضه للماء أو الرطوبة الموجودة في الجو، إذ سرعان ما يتغير لونه وتركيبه ويتحول إلى خليط من هيدروكسيد الألمنيوم وهيدروكسيد الليثيوم. [47, 48]

إن المركب (LAH) يكون مستقراً حتى درجة 120<sup>0</sup>C وأثناء التخزين الطويل، فإنه من الممكن أن يتجزأ إلى (Li<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub>) و (LiH)، وعند تسخين (LAH) فإنه يتجزأ (Decompose) في ثلاث مراحل هي:- [44,45,49]



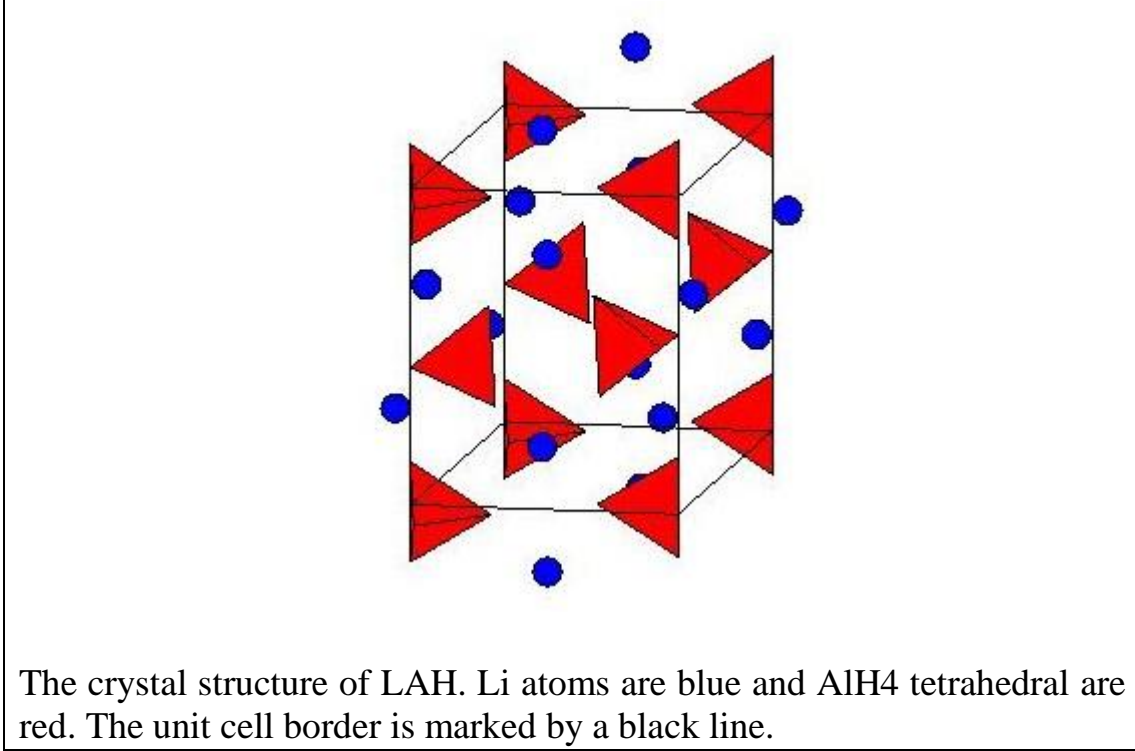
التفاعل الأول (2-1) يبدأ بذوبان المركب (LAH) في درجة حرارة تتراوح 170-150<sup>0</sup>C، ويحدث بعدها مباشرة تجزأ إلى (Li<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub>).

وفي درجات الحرارة 250-200<sup>0</sup>C فإن (Li<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub>) سوف يتجزأ إلى (LiH) وهو التفاعل الثاني (2-2)، والذي بدوره سوف يتحول إلى (LiAl) عند درجات حرارة أعلى من 400<sup>0</sup>C.

التفاعل الأول (2-1) هو تفاعل غير انعكاسي (irreversible) بسبب إن المركب (LiAlH<sub>4</sub>) يكون شبه مستقراً (metastable).

أما انعكاسية (reversibility) التفاعل الثاني (2-2) فإنها لم تثبت لحد الآن، ولكن التفاعل الثالث (2-3) فإنه يمكن عكسه عند ضغط (0.25 bar) ودرجة حرارة 500<sup>0</sup>C.

إن التفاعلين الأول والثاني من الممكن أن تحصل في درجة حرارة الغرفة بوجود المحفزات المناسبة (catalyst).  
 وطبقا للتفاعلات السابقة فإن المركب  $(LiAlH_4)$  يحتوي على الهيدروجين بنسبة (10.6 %) وزنا، مما يجعل هذا المركب كوسط لخزن الهيدروجين.  
 إن التركيب البلوري لهذا المركب (LAH) يعود إلى نظام أحادي الميل (monoclinic) البلوري، وهذا التركيب موضح في الشكل الآتي:- [44,46,47]



الشكل (3-2) يوضح البنية البلورية للمركب (LAH).

حيث تكون كل ذرة ليثيوم محاطة بخمس جزيئات من الرباعي (Tetrahedral)  $(AlH_4)$ ، وكل ذرة ليثيوم ترتبط بذرة هيدروجين واحدة من الترتيب الرباعي (Tetrahedral) المحيط بها، مما يؤدي إلى تكوين شكل هرم مزدوج (Bipyramid).  
 إن الأطوال الجانبية لوحدة الخلية (unit cell) هي:

$$a = 4.82 \text{ \AA} \quad , \quad b = 7.81 \text{ \AA} \quad , \quad c = 7.92 \text{ \AA}$$

والزاوية  $\beta = 112^\circ$

وعند الضغوط العالية أعلى من (2.2 GPa)، فإن هذا التركيب البلوري يتحول إلى تركيب بلوري آخر هو (LAH-) [48,49].

## 7-2 تأثير الأوساط على سبائك الألمنيوم

### *Influence of environments on Aluminum alloys*

تتعرض معظم سبائك الألمنيوم أثناء الاستخدام وخاصة التي تدخل في صناعة الصواريخ، والطائرات، والمحركات النفاثة، والمفاعلات النووية مثل؛ سبائك الألمنيوم-ليثيوم لمهاجمة مختلف الأوساط المعادية وبصورة مستمرة وتلعب الطبقة السطحية التي تتكون عليها نتيجة هذا التفاعل دورا بالغ الأهمية في تحديد العمر الفعال لأي من هذه المواد.

يعتمد مقدار الضرر الذي يصيب هذه السبائك على عدد من العوامل منها:-

1. درجة الحرارة.
2. خواص الوسط والقوى المؤثرة.
3. التركيب الكيميائي للسبيكة.

ومن المشاكل التي تلحق ضررا بسبائك الألمنيوم هي التآكل (corrosion) . [1, 50]

### 1.7.2 التآكل corrosion

التآكل هو موضوع واسع جدا بسبب المتغيرات الكثيرة التي يتضمنها. والتآكل هو عبارة عن فشل أو انحلال سطحي يحدث بالمعادن بسبب وجودها في وسط يكون في حالة تلامس مباشر معها، سواء أكان هذا المحيط هو الهواء الجوي الاعتيادي أم أي محيط كيميائي آخر وفي أي درجة حرارة كانت. [51] إن التآكل يأخذ أشكالا متعددة فقد يسبب تلفا منتظما للمادة ويجعل السطح معتما (Tarnishing)، أو قد يكون طبقة صدأ (Rusting) على سطح المعدن تكون مسامية في اغلب الأحيان ، وقد يكون تأثيره موضعيا (Localized) كما في حالة التآكل التنقري (pitting corrosion)، والتآكل الاجهادي (stress corrosion). وفي حالات أخرى تتركز مهاجمة الوسط على المساحات المحاذية لمعدن آخر أكثر نبلا، أو على نقاط تكون كمية الأوكسجين فيها محدودة، إضافة لإمكانية إزالة احد مكونات السبيكة. [50, 52]

من المعروف إن عملية التآكل تلحق ضررا لكن في بعض الحالات، يعد التآكل مفيدا كما في التشغيل الكيميائي (Chemical machining) للمعادن والمواد الهندسية ذات المقاومة العالية (High strength)، وكذلك في حالة المعاملة الانودية للألمنيوم (Anodizing) التي تستعمل لتحسين المظهر فضلاً عن تكوين طبقة اوكسيد حامية على سطح المعدن. [50, 51, 52]

ومن أهم أنواع التآكل الذي يحدث في الألمنيوم وسبائكه هي :-

### 1.1.7.2 التآكل النقري Pitting Corrosion

هو عبارة عن تآكل موضعي شديد ، يؤدي إلى حصول حفر أو ثقوب في سطح المعدن، مما يؤدي إلى خشونة السطح . يعد هذا النوع من التآكل خطيراً بسبب صعوبة الكشف عن النقر لصغر حجمها، فضلاً عن تغطيتها بنواتج التآكل ويحدث نتيجة وجود أيونات الكلوريد مثل تنقر الألمنيوم، ويحدث هذا النوع بشكل واسع في الألمنيوم وسبائكه. [45, 53]

### 2.1.7.2 التآكل بين الحبيبات Intergranular Corrosion

هو نوع من أنواع التآكل الموضعي الذي يحصل على طول منطقة حدود الحبيبات ، يحصل هذا النوع من التآكل نظراً لوجود اختلاف في الخواص الميتالورجية لهذه المنطقة عن المناطق الأخرى، فتكون حدود الحبيبات أكثر نشاطاً للتفاعل مع الوسط من الحبيبات نفسها. [54]

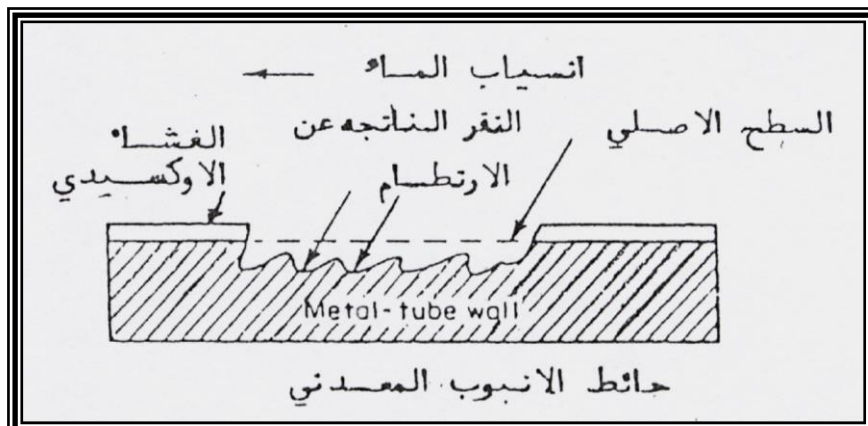
### 3.1.7.2 التآكل بالتعرية Corrosion Erosion

هو تآكل موضعي يسببه التأثير الميكانيكي مع الطبيعة الكهروكيميائية لوسط التآكل ، يتضمن انحلال المعدن من السطح بشكل أيونات ذائبة ، وقد تشكل هذه الأيونات نواتج تآكل راسبة تنجرف بعيداً عن سطح المعدن ، ومثال على ذلك التآكل الحاصل في أنبوب مبادل حراري يتعامل مع الماء ، أو انفجار فقاعات بخار الماء على سطح المعدن ، أو التآكل بسبب الحركة الاهتزازية بين سطحي المعدنين ، من حالاته الخاصة التلف التجويفي (Cavitation Damage) والتآكل بالحك (Fretting Corrosion). [51,55]

التآكل بالتعرية ممكن أن يتفاقم نتيجة التشغيل الخاطئ مثلاً ، التكتلات المتروكة في نهايات تقاطع الأنابيب التي ممكن أن تعكس مجرى المياه ، مسببة اضطراباً موضعياً وسرع جريان عالية والتي تؤدي إلى التآكل بالتعرية، وإن مصاحبة التآكل للتعرية ممكن أن يؤدي إلى معدلات تنقر عالية. [56]

إن الميكانيكية الأساسية للتعرية هي إزالة المعدن بواسطة تشوه لدن ناتج من الجريان المضطرب (Turbulent Flow) للغاز، أو البخار، أو السائل، أو انهيار فقاعة، وإحداث فجوة، أو تجويف. [57]

يوصف شكل التآكل المصاحب للتعرية بظهور تثلثات وأخاديد أو تموجات أو حفر مستديرة [50,57] كما في الشكل (2-4).



الشكل (2-4) يوضح التآكل بالتعرية في جدار أنبوب مكثف . [50]

أما العوامل التي تؤثر في التآكل بالتعرية فهي طبيعة المعدن أو السبيكة من حيث الصلادة ، التركيب الكيميائي ونوع طبقة الاوكسيد المتكون فضلاً عن سرعة السائل وطبيعة الجريان والتصميم ، إن الأوساط التآكلية التي تسبب التآكل بالتعرية كثيرة أهمها الغازات ، المحاليل المذابة ، المواد العضوية، والمعادن المصهورة . وتعد الأجسام الصلبة العالقة بالسوائل عوامل مساعدة لحدوثه . أما الأجزاء التي تتعرض لهذا النوع من التآكل فهي أنابيب المبادلات الحرارية ، ريش التوربين ، فتحات مجاري المياه، والأجهزة المعرضة للرداذ وغيرها. [50]

### **2.7.2 تآكل الألمنيوم النقي (ذو النقاوة أعلى من 99.00%)**

#### **Corrosion of pure Aluminum**

يعد الألمنيوم ذو مقاومة جيدة للتآكل الجوي في الأوساط الصناعية والبحرية والملاحية، إذ أن أعلى نقاوة تقابلها أعلى مقاومة للتآكل. إن التنقر العقدي (Nodular pitting) يمثل احد أشكال التآكل بالتنقر الشديدة التي تسبب حالات الفشل (Failure) لأغلب أنابيب المياه المصنعة من الألمنيوم. كما أشارت الرابطة البريطانية للمعادن اللاحديديّة (British Non-Ferrous Association) [58]، إن حدوث هذا النوع من التآكل يتطلب احتواء الماء على بيكاربونات الكالسيوم، الكلوريدات، أملاح النحاس، أو كسجين مذاب ، فعلى سبيل المثال إن كمية قليلة من النحاس بحدود (0.02 ppm) تكون كافية لحدوث تآكل شديد. ويعتمد اختبار التآكل في الكثير من الحالات على قياس النقصان في الوزن بالنسبة لوحدة المساحة، أو التغير في متانة الشد العظمى. [59,60,61,62]

### **3.7.2 تآكل سبائك الألمنيوم-ليثيوم**

#### **Corrosion of Aluminum- Lithium alloys**

إن الدراسات التي تناولت سلوك التآكل لسبائك الألمنيوم بشكل عام والتآكل على الحدود البلورية (Intergranular corrosion) بشكل خاص لم تتمخض عن أي

نتائج ملفتة للنظر؛ ربما لأن اغلب هذه السبائك تمتلك مقاومة جيدة (Corrosion Resistance) في الأجواء الاعتيادية (Normal atmospheres) [63].

إن السبائك القابلة للمعاملة الحرارية (Heat treatable) كثيرا ماتكون عرضة للتآكل على الحدود البلورية وعند درجات حرارة معينة، وذلك نتيجة لتكون خلايا كهروكيميائية موضعية بواسطة الترسبات (precipitates) والمناطق الخالية من هذه الترسبات. [1,64]

إن المعاملة الحرارية وعمليات التصنيع تجري أساسا لتحسين مقاومة المعدن للتآكل ومن ثم تقود إلى تحسين مقاومة التآكل الاجهادي (stress corrosion).

وعلى الرغم من إن سبائك الألمنيوم-ليثيوم على درجة عالية من الأهمية لكونها تتمتع بانخفاض في الوزن النوعي (specific weight) مع زيادة في معامل المرونة (modulus of elasticity) [65,66]، إلا أنها تكون عرضة للتآكل على الحدود البلورية نتيجة لطبيعة دقائق الليثيوم المترسبة التي سوف تكون مصعدا (Anode) بالنسبة للأرضية (matrix). [1, 67]

إن إضافة المغنيسيوم لسبائك الألمنيوم-ليثيوم سوف يحسن من مقاومتها للتآكل العام، لقد درس شيبارد وبارسون (Shippard and Parson) تأثير عناصر السبك على مقاومة التآكل لسبائك الألمنيوم-ليثيوم، وقد تبين إن التآكل على الحدود البلورية يعتمد على إمكانية حصول عملية إعادة تبلور كاملة (Fully recrystalized) أو وجود مناطق يكون فيها تركيز الذرات المذابة (Solute depleted zone) منخفضاً، وظهر بان زيادة النحاس تقلل من الوزن المفقود.

أما مقاومة التآكل على الحدود البلورية فإنها تقل بزيادة زمن التعتيق (Age time) ومحتوى النحاس، إن ذلك يرجع إلى زيادة الترسبات ذات الحدود البلورية العالية الزاوية (High angle boundary)، أما إذا ازداد محتوى النحاس في سبائك الألمنيوم-ليثيوم عن 0.4 % فإن التآكل يصبح عاما في طبيعته. [1, 64]

# الفصل الثالث

## الجزء العملي

### *Experimental Part*

- المقدمة.
- تحضير النماذج.
- المواد الكيميائية المستخدمة.
- تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة.
- الفحص بفلورة الأشعة السينية.
- اختبار الامتصاص الذري.
- تقييم أداء السبائك المحضرة.
- الفحص بالمجهر الضوئي.

#### Introduction 1-3 المقدمة

يتضمن هذا الفصل عمليات الصهر والصب وتحضير عينات الفحص للسبائك التي اشتمل عليها البحث، وكذلك التحليل الكيمياوي للسبائك المستخدمة في البحث.

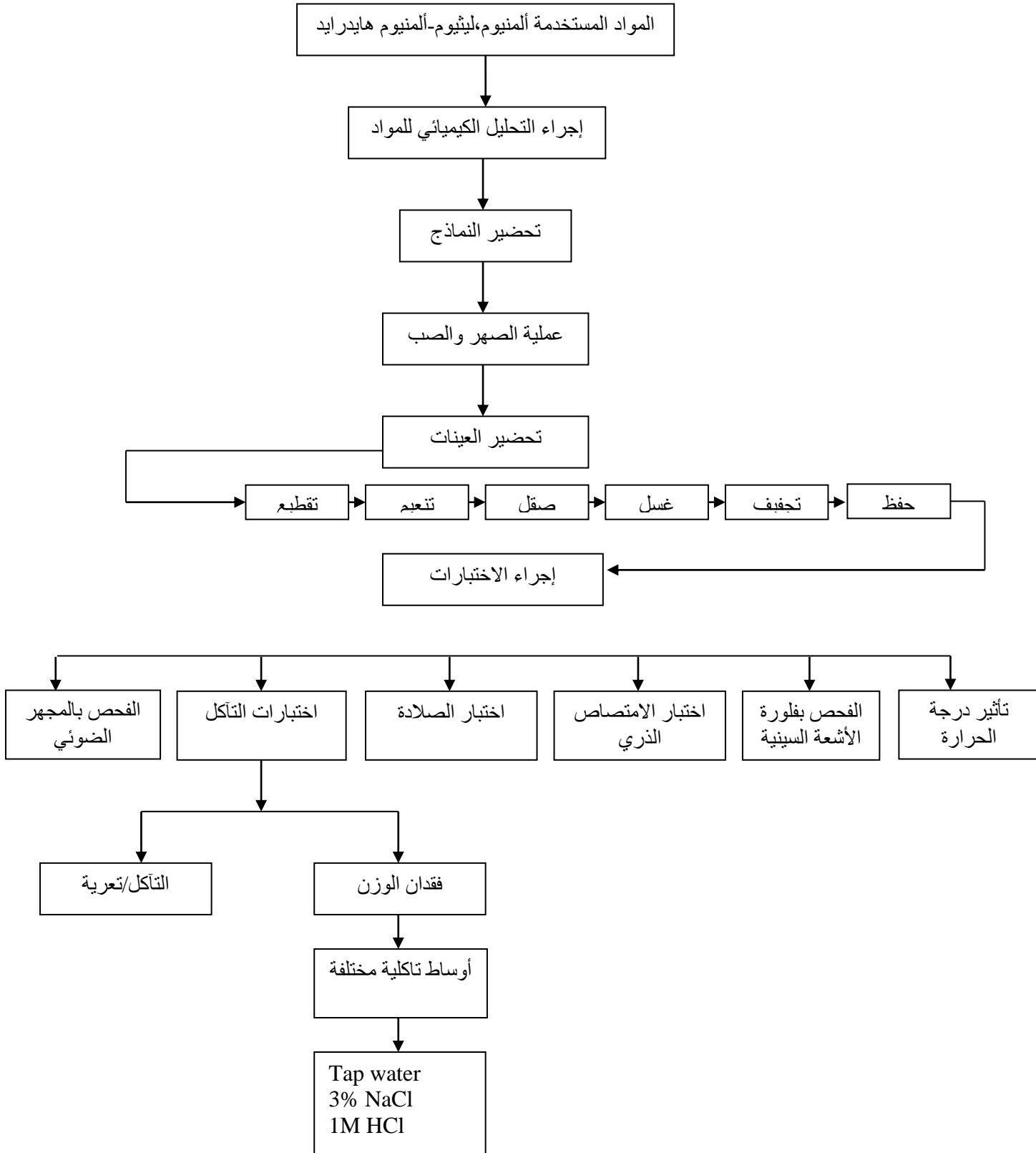
تضمن العمل دراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة المركب (LAH)، وإجراء فحص فلورة الأشعة السينية، وإجراء اختبار الامتصاص الذري، وكذلك إجراء اختبارات مقاومة التآكل (Corrosion Resistance) في محاليل الكتروليتية مختلفة واختبارات التآكل/تعرية (Corrosion/Erosion)، ويتضمن اختبار الصلادة للعينات (Hardness Test).

ويشمل اختبارات المجهر الضوئي لفحص البنية المجهرية للسبائك، وكذلك تصوير السطح للسبائك بعد إجراء الاختبارات. والشكل (1-3) يبين المخطط العام للمراحل العملية المستخدمة في الدراسة قيد البحث.

### 2.3 المواد المستخدمة: *(Used Materials)*

الجدول (1-3) يبين المواد المستخدمة في الدراسة الحالية:-  
جدول(1-3) يبين المواد المستخدمة في الدراسة الحالية

الملاحظات	النقاوة	المادة
تم شراؤه من السوق المحلي.	99.5% حسب الفحص الذي اجري عليه في مختبرات شركة ابن سينا العامة وباستخدام تقنية Atomic ) (Absorption).	أسلاك ألومنيوم
إنتاج شركة (BDH) البريطانية.	اجري فحص فلورة الأشعة السينية عليه واثبت نقاوته	ليثوم-ألومنيوم هايدرأيد
فرنسية الصنع.	—	بودقة كوارتز
فرنسية الصنع.	—	بودقة كرافيتية



شكل (3-1) يبين المخطط العام للمراحل العملية المستخدمة في البحث.

### 3.3 تحضير النماذج *Samples preparation*

إن تحضير النماذج المعدنية لغرض استخدامها لاحقاً يشتمل على عدة مراحل وهي:-

### 1.3.3 عملية الصهر والصب

وزنت قطع من أسلاك الألمنيوم وحسبت الكميات المقابلة لها من المركب الذي يحتوي على الليثيوم للحصول على النسب الوزنية المطلوبة لتحضير السبائك. وقد تم استخدام فرن غازي في عملية الصهر وبودقة كرافيتية، وقد تمت عملية الصب والصهر من دون الحاجة إلى استخدام جو مفرغ (vacuum)، وكذلك من دون وجود غازات خاملة (Inert gases) نظراً لاستخدام مركب كيميائي لاعضوي يحتوي على الليثيوم بشكل سبيكة مع الألمنيوم، وعند إضافته إلى منصهر الألمنيوم يعمل على تحرير غاز الهيدروجين مما يمنع من تأكسد الليثيوم، ويكون هذا المركب بشكل مسحوق، وقد تمت حمايته بواسطة رقائق من الألمنيوم لمنع تعرضه للمحيط الخارجي قبل إضافته إلى منصهر الألمنيوم.

#### السبائك المحضرة

العينات المستخدمة في البحث الحالي هي ألمنيوم نقي وسبائك ألمنيوم-ليثيوم والجدول (2-3) يبين التركيب الكيميائي لهذه السبائك:  
جدول(2-3) يبين التركيب الكيميائي للسبائك المحضرة.

Alloy	Al%	Li%
A	99.5	-
B	Rem.	0.5
C	Rem.	0.75
D	Rem.	1

لقد جرت عملية تحضير العينات بطريقة السباكة، وتبدأ عملية الصهر بصهر عنصر الألمنيوم الذي يكون بهيئة أسلاك، ثم إضافة المركب إليه وتحريك المنصهر بواسطة قضيب كرافيتي لكي يذوب ويتجانس المنصهر مع استمرار تحريك المنصهر لمدة تصل إلى عشر دقائق بعدها تمت عملية الصب بصورة سريعة جداً باستخدام قالب معدني للصب، وقد تم تسخينه مسبقاً لتلافي انجماد المعدن المنصهر بسرعة عند ملامسته جدار القالب البارد.

### 2.3.3 تحضير العينات

تم صب العينات في قالب معدني اسطواني أبعاده هي الطول (75mm) والقطر (14mm)، بعد ذلك جرى تقطيع العينات بشكل أقراص ذات قطر (10mm) وسمك (3mm)، وتم تثقيبها بقطر (1.5mm) لغرض تعليقها في المحاليل، ولغرض إجراء اختبارات التآكل والصلادة والفحص المجهرية، فقد

أجريت عملية تهيئة العينات ، وبدأت بعملية التنعيم باستخدام ورق تنعيم من اوكسيد الألمنيوم ذي تدرجات (2000,1200,1000,800,600,400,180).  
بعدها أجريت عملية الصقل باستخدام جهاز الصقل الميكانيكي نوع (Hergon) وموضح بالشكل (2-3) واستخدم في العملية مسحوق الالومينا والماء، وأجريت عملية الغسل والتجفيف بالهواء الساخن بين كل عملية تنعيم أو صقل أخرى.



الشكل (2-3) يوضح جهاز الصقل الميكانيكي

### 4.3 المواد الكيميائية المستخدمة Chemical Used Materials

الجدول (3-3) يبين المواد الكيميائية المستخدمة في الدراسة الحالية:-

الجدول (3-3) يبين المواد الكيميائية المستخدمة في الدراسة الحالية.

التركيز	المادة
36 %	حامض الهيدروكلوريك
60 %	حامض النتريك
-	كلوريد الصوديوم
-	ماء مقطر
99.8 %	كحول الايثانول

### 5.3 تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة (LAH)

#### Effect of temperature on used material (LAH)

لقد تم دراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة المركب (LAH) ومعرفة الدرجة التي من الممكن أن يتأكسد عندها هذا المركب، إذ تم اخذ وزن معين من

المركب وتعرضه لدرجات حرارية باستخدام بودقة من الكوارتز وفرن كهربائي، كما موضح بالشكل (3-3) وبعد كل درجة حرارية يتم قياس الوزن لمعرفة مدى الزيادة أو فقدان في الوزن، ومعرفة الدرجة الحرارية والتي يستقر فيها تقريبا وزن المركب، وقد كان المكوث ساعة واحدة لكل اختبار.



شكل (3-3) الفرن الكهربائي المستخدم

### 6.3 الفحص بفلورة الأشعة السينية *X-Ray fluorescent test*

لقد تم إجراء هذا الاختبار في وزارة العلوم والتكنولوجيا، وتم إجراءه للنماذج التالية (B,C,D) كما في الجدول (2-3) بالإضافة إلى نموذج من مسحوق المركب (LAH) المستخدم في التسبيك.

### 7.3 اختبار الامتصاص الذري *Atomic Absorption Test*

لقد تم إجراء هذا الاختبار في جامعة بابل/كلية العلوم-قسم علوم الكيمياء في مختبر التحليل الآلي المتقدم، وتم إجراءه لعينات السبائك (B ,C ,D) كما في الجدول (2-3) ، وذلك لتحديد نسبة الليثيوم الموجودة في السبائك المستخدمة في الدراسة الحالية.

لقد اجري هذا الاختبار باستخدام جهاز (Atomic Absorption Spectrophotometer, SP9 pye unicu-Philips) الموضح في الشكل (4-3) وتضمن الاختبار تحضير المحاليل القياسية الخاصة بسبائك الألمنيوم-ليثيوم من مادة كلوريد الليثيوم (LiCl) وبتراكيز مختلفة تشمل:  
ppm (0.1, 1, 5, 10, 20) في حجم (100) ملتر ماء مقطر.

ومن ثم قراءة الامتصاصية لهذه المحاليل وكانت كالاتي:-

جدول (3-4) يوضح الامتصاصية للمحاليل القياسية

Standered Concentration (ppm)	absorption
0.1	0.002
1	0.004
5	0.0013
10	0.025
20	0.048

ومن هذه القيم يمكن رسم منحنى العلاقة بين الامتصاصية (absorption) والتركيز (concentration)، إذ يتم الحصول على معادلة خط مستقيم يمكن من خلالها حساب نسبة الليثيوم في السبائك. أما عينات السبائك فقد تم قياس أوزانها، ومن ثم إذابتها في مزيج من حامض الهيدروكلوريك (HCl) وحامض النتريك ( $HNO_3$ )، ومن ثم قياس الامتصاصية لهذه العينات وبعد ذلك استخدام المعادلة (1-4) للحصول على نسب الليثيوم.



شكل (3-4) جهاز الامتصاص الذري

### 8.3 تقييم أداء السبائك المحضرة: -

#### 1.8.3 اختبار الصلادة Hardness Test

جرى هذا الاختبار لعينات السبائك (A , B , C, D) المستخدمة في البحث الحالي.

وتم قياس الصلادة باستخدام طريقة قياس الصلادة الفيكرزية ( Vickers Hardness) بجهاز (Micro hardness Tester Hv-1000) ، وكان الحمل المستخدم أثناء القياسات (100) غرام وزمن تحميل (30) ثانية ، وتعد كل قيمة من

قيم الصلادة المسجلة معدلاً لثلاثة قياسات لكل عينة ، ومن كل سبيكة تم اخذ خمس عينات، وتم رسم العلاقة بين قيم الصلادة ونسب الليثيوم المختلفة في السبائك .



الشكل (3-5) يوضح جهاز اختبار الصلادة.

### **2.8.3 اختبارات التآكل Corrosion Tests**

تشتمل اختبارات التآكل على طريقة فقدان الوزن (weight loss) والتقنية الدورانية لقياس معدل التآكل بطريقة التآكل/ تعرية (erosion corrosion).

#### **1.2.8.3 طريقة فقدان الوزن Weight Loss Method**

إن طريقة فقدان الوزن هي ابسط طرق قياس معدل التآكل أو ما تسمى بطريقة الغمر البسيط، إذ تم غمر العينات المحضرة مسبقا في المحاليل الالكتروليتيّة المعدة، وبشكل كلي والأوساط التآكلية المستخدمة هي:-

- 1- ماء الحنفية الاعتيادي (PH=7).
  - 2- محلول ملحي من كلوريد الصوديوم وبتركيز (3%, PH=9) وزنا.
  - 3- محلول حامض الهيدروكلوريك وبتركيز (1M, PH=0.6).
- مدة غمر العينات في المحاليل تباينت اعتمادا على نوع المحلول، بالنسبة للعينات في الماء الاعتيادي، والمحلول الملحي بلغت مدة الغمر (15) يوما، في حين بلغت مدة الغمر في محلول حامض الهيدروكلوريك (6) ساعات .
- اختبار الغمر البسيط تم عند درجة حرارة الغرفة، تم قياس أوزان العينات بواسطة الميزان الحساس نوع (Sartorius . Type Bp 301S) يعمل بدقة (0.1 mg ±) ، كما مبين بالشكل (3-6) .

وحساب المساحة السطحية لكل منها قبل غمرها في المحاليل وبعد أزمنة متباينة يتم إخراج العينات من المحاليل، وتنظيفها بالماء المقطر، والكحول، وتجفيفها، ويتم حساب التغير بالوزن لوحدة المساحة ( $\Delta W/A$ )، إذ يتم اخذ قراءات عدة وصولاً إلى أقصى مدة زمنية، ثم جرى رسم العلاقة بين التغير بالوزن لوحدة المساحة مقابل زمن الغمر.



الشكل (3-6) الميزان الالكتروني الحساس

### 2.2.8.3 اختبار التآكل/تعرية (Erosion-Corrosion Test)

في هذا الاختبار يتم استخدام جهاز مصنع محلياً، ويتكون من حوض بلاستيكي أبعاده (50\*35\*35 cm)، ويحتوي بداخله حلقة معدنية من الفولاذ المقاوم للصدأ (S.S)، يتم بها تعليق العينة المراد اختبارها، وهذه الحلقة مرتبطة بمحرك كهربائي قدرته (550) واط وسرعته (1000 rpm)، إذ يوضع محلول الاختبار في الحوض وتعلق العينة في الحلقة الفولاذية، ويدور المحرك الذي بدوره يدور الحلقة والعينة في داخل المحلول، ويتم قياس وزن العينة ومساحتها السطحية قبل الاختبار، ومن ثم توضع العينة في المحلول ويشغل الجهاز ثم تستخرج العينة من المحلول على مدى فترات زمنية متعاقبة، ويتم قياس وزنها بعد غسلها بالماء المقطر والكحول وتجفيفها، ويتم حساب التغير بالوزن لوحدة المساحة ( $\frac{\Delta W}{A}$ ) المقابل لكل زمن معين .

تم استخدام العينات المحضرة مسبقا في وسط تآكلي واحد هو الماء الاعتيادي، لكون الماء الاعتيادي هو من أكثر السوائل المتحركة المستخدمة في الأنظمة مثل أنظمة التبريد وغيرها .  
أيضا تم إجراء الاختبار عند درجة حرارة الغرفة، أقصى زمن تم الوصول إليه هو (9) ساعات.



الشكل (3-7) يوضح جهاز اختبار التآكل بالتعريية.

### **9.3 الفحص بالمجهر الضوئي Optical Microscope Testing**

جرى تحضير بعض العينات لغرض التصوير المجهرى باستخدام المجهر الضوئي نوع (union ME-3154) وبقوة تكبير (400X).  
وأجريت مراحل التنعيم باستخدام ورق تنعيم من اوكسيد الألمنيوم ذي تدريجات (2000,1200,1000,800,600,400,180).  
وأما عملية الصقل فتمت على جهاز الصقل الميكانيكي نوع (Hergon) ، أما محلول الإظهار فاستخدم محلول (Keller's Reagent) ذي التركيب الآتي :  
(95 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O , 2.5 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub> , 1.5 cm<sup>3</sup> Hcl , 1 cm<sup>3</sup> HF) بزمان إظهار يتراوح بين (10 – 15).  
والغرض من هذا الاختبار هو فحص بنية النماذج قبل إجراء اختبارات التآكل، ومن ثم دراسة طبوغرافية السطح للنماذج المعرضة للتآكل في المحاليل الالكتروليئية.



الشكل (3-8) يوضح المجهر الضوئي .

# الفصل الرابع

## النتائج والمناقشة

### *Results and Discussion*

- المقدمة.
- نتائج تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة (LAH).
- نتائج الفحص بفلورة الأشعة السينية.
- نتائج اختبار الامتصاص الذري.
- تقييم أداء السبائك المحضرة.
- نتائج الفحص بالمجهر الضوئي.

#### 1-4 المقدمة Introduction

هناك الكثير ممن قاموا بتصنيع سبائك الألمنيوم-ليثيوم باستخدام عملية السباكة وباستخدام الليثيوم النقي، ولكنهم واجهوا صعوبات عديدة نظرا لفعالية

الليثيوم وسرعة تأكسده عند تعرضه إلى الهواء، إذ يحفظ الليثيوم تحت سائل البرافين لعزله عن المحيط.

والدراسة الحالية تمثل محاولة لحل هذه المشكلة وبطريقة بسيطة وغير مكلفة، إذ تضمن هذا البحث استخدام فكرة جديدة لإضافة الليثيوم للحصول على سبيكة ألومنيوم-ليثيوم جيدة وخالية من عيوب السباكة تقريبا، تضمنت هذه الطريقة استخدام مركب كيميائي يحوي على الليثيوم بشكل سبيكة مع الألومنيوم.

والفصل الحالي يتضمن عرض ومناقشة النتائج الآتية:-

- نتائج تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة (LAH).
- نتائج فحص فلورة الأشعة السينية.
- نتائج اختبار الامتصاص الذري لعينات السبائك.
- نتائج اختبار قياس الصلادة.
- نتائج اختبارات التآكل التي تشمل طريقتين وهي طريقة فقدان الوزن وطريقة التآكل/ تعرية لعينات الألومنيوم النقي، وعينات سبائك ألومنيوم-ليثيوم وبنسب مختلفة من الليثيوم.
- نتائج فحص المجهر الضوئي.

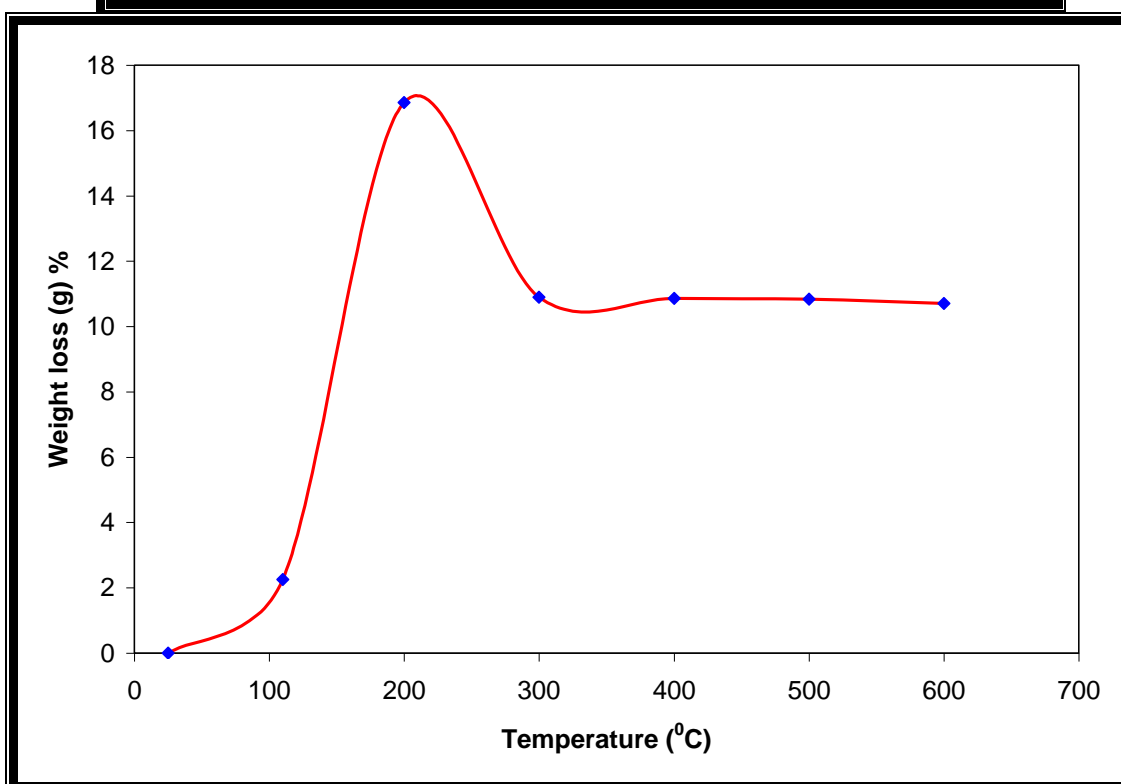
#### 2.4 نتائج تأثير درجة الحرارة على المادة المستخدمة (LAH)

##### Results Effect of temperature on material used (LAH)

هذه المادة (ليثيوم-المنيوم هايدرايد) عبارة عن مسحوق (Powder) رمادي اللون غير متطاير ناعم الدقائق كما مذكور في البند (2-6) من البحث، ولمعرفة السلوك الحراري للمركب تم تسخينه على مراحل كما في الجدول (4-1)، حيث يبين تأثير درجة الحرارة على تغير وزن هذه المادة، اجري الاختبار في الهواء الاعتيادي .

جدول (4-1) يبين تأثير درجة الحرارة على تغير وزن المركب (ليثيوم-ألومنيوم هايدرايد).

Temperature (°C)	Weight (g)	Weight loss (g)	Weight loss % (g)
R.T	1.0046	0	0
110	0.9821	0.0225	2.25
200	0.8136	0.1685	16.85
300	0.8732	0.1089	10.89
400	0.8735	0.1086	10.86
500	0.8737	0.1084	10.84
600	0.8751	0.1070	10.70

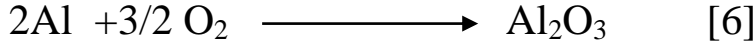


شكل (1-4) يوضح تأثير درجة الحرارة على تغير وزن المادة (LAH)

المنحنى (1-4) يبين التغيرات التي يمكن أن ترافق تسخين المادة، إذ تبدأ النسبة المئوية بالنقصان بالوزن بمعدلات واطئة بارتفاع درجة الحرارة لغاية حوالي (110°C) إذ يرجع ذلك إلى فقدان الرطوبة.

وعند درجة 200°C ظهر فقدان كبير نسبي في الوزن، وهذا جاء نتيجة انصهار المركب بدرجات حرارة 150-170°C إذ أن هذا الفقدان يعزى إلى تطاير قسم من المنصهر بسبب التفكك الذي يحدث هزة في المحلول، وقد تم ملاحظة الأبخرة المتطايرة، والجزء الآخر من الفقدان يعزى إلى خروج قسم من الهيدروجين من خلال التفكك، وهذا يتفق مع ما أشار إليه باحثون آخرون. [44,45,49]

وعند استمرار التسخين  $200^{\circ}\text{C}$ - $300^{\circ}\text{C}$  لاحظنا زيادة في الوزن وهذا نتيجة تأكسد سطح الألمنيوم الحر إذ إن كل  $53.96\text{g}$  من الألمنيوم يتفاعل مع  $48\text{g}$  من الأوكسجين ولما كانت الزيادة في الوزن هي  $0.059\text{g}$ ، وهذا يكافئ تفاعل  $0.067\text{g}$  من الألمنيوم يتحد مع الأوكسجين والذي يمثل  $10\%$  تقريباً من كمية الألمنيوم الموجودة في المركب (LAH) كما في التفاعل الآتي:-



أما في درجات الحرارة  $400^{\circ}\text{C}$  و  $500^{\circ}\text{C}$  فإن هنالك تقارباً كبيراً في الوزن، مما يدل على عدم وجود أي أكسدة إضافية، أما التفاوت القليل في الوزن يرجع إلى خروج كميات قليلة جداً من الهيدروجين، وقد ظهرت زيادة بسيطة في الوزن عند درجة  $600^{\circ}\text{C}$  هذه الزيادة تدل على أكسدة سبيكة ألومنيوم-ليثيوم المتكونة، إذ أن هذه الدرجة هي قريبة جداً من درجة انصهار السبيكة، وهي بداية طور السيولة، وهذا يتفق مع التفاعلات (2-1) و(2-2) و(2-3) في البند (2-6) من البحث.

وجميع الحالات الحرارية أعلاه لاتحدث عملياً، إذ قمنا بإضافة المركب بالحقن في منصهر معدن الألمنيوم.

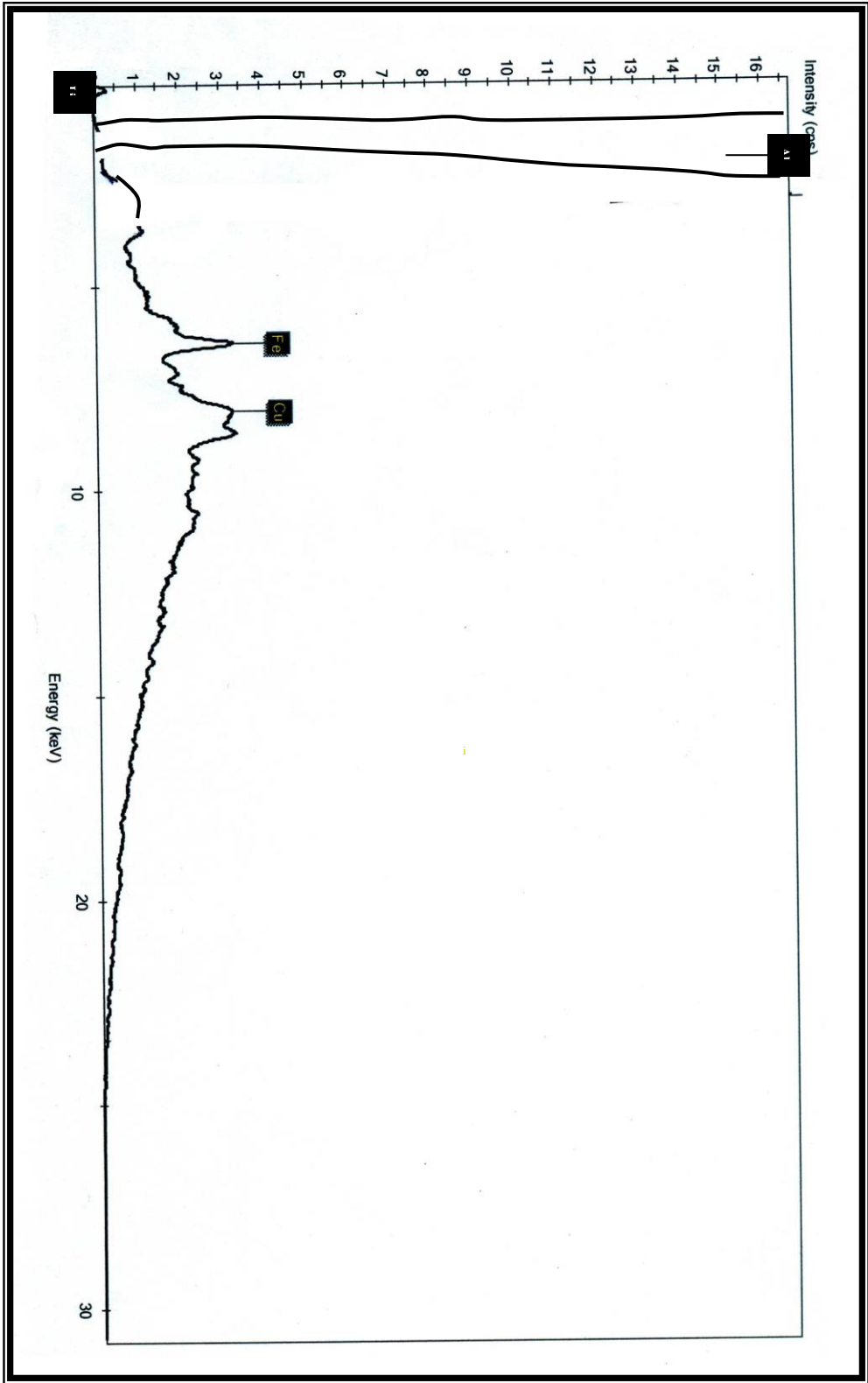
إن عملية انبعاث الهيدروجين الذري تعمل على زيادة حركة منصهر سبيكة (Al-Li) عند صهرها لذا سيقوم بعملية مجانسة (Homogenization) للمنصهر التي تعد غاية في الأهمية وتتطلب معاملات حرارية إضافية في حالات السبك الاعتيادي بالطرق المألوفة الأخرى، هذا فضلاً عن ميل الهيدروجين الذري (H) الشديد للاتحاد بالأوكسجين، والكبريت، والنتروجين، والفسفور، مما يخلص السبيكة من هذه الشوائب الضارة والتي يمكن أن تكون مركبات تلحق ضرراً بأداء السبيكة.

وهناك ناحية غاية في الأهمية يسببها انبعاث الهيدروجين، وهي تنعيم حبيبات السبيكة، إذ إن تجمد منصهر السبيكة يبدأ من الجدران وسطح المنصهر بشكل شجري (Dendrite)، إن انبعاث غاز الهيدروجين سوف يتسبب في تحجيم لهذه الشجيرات أولاً، ومن ثم تؤدي حركته للأعلى إلى تكسير وانفصال أجزاء كبيرة من هذه الشجيرات هذه الأجزاء تتجه نحو المنصهر بشكل عشوائي، وتعمل كمراكز تنويه (Nucleation sites) وهذا معروف في قدرته على تنعيم الحبيبات، إذ إن كثرة مراكز التنويه تسبب بالتأكد في نمو محدود للحبيبات، أما مراكز التنويه القليلة يرافقها نمو كبير وخشونة في الحجم، إن تنعيم الحبيبات وحده يعطي زيادة في المطيلية والصلادة.

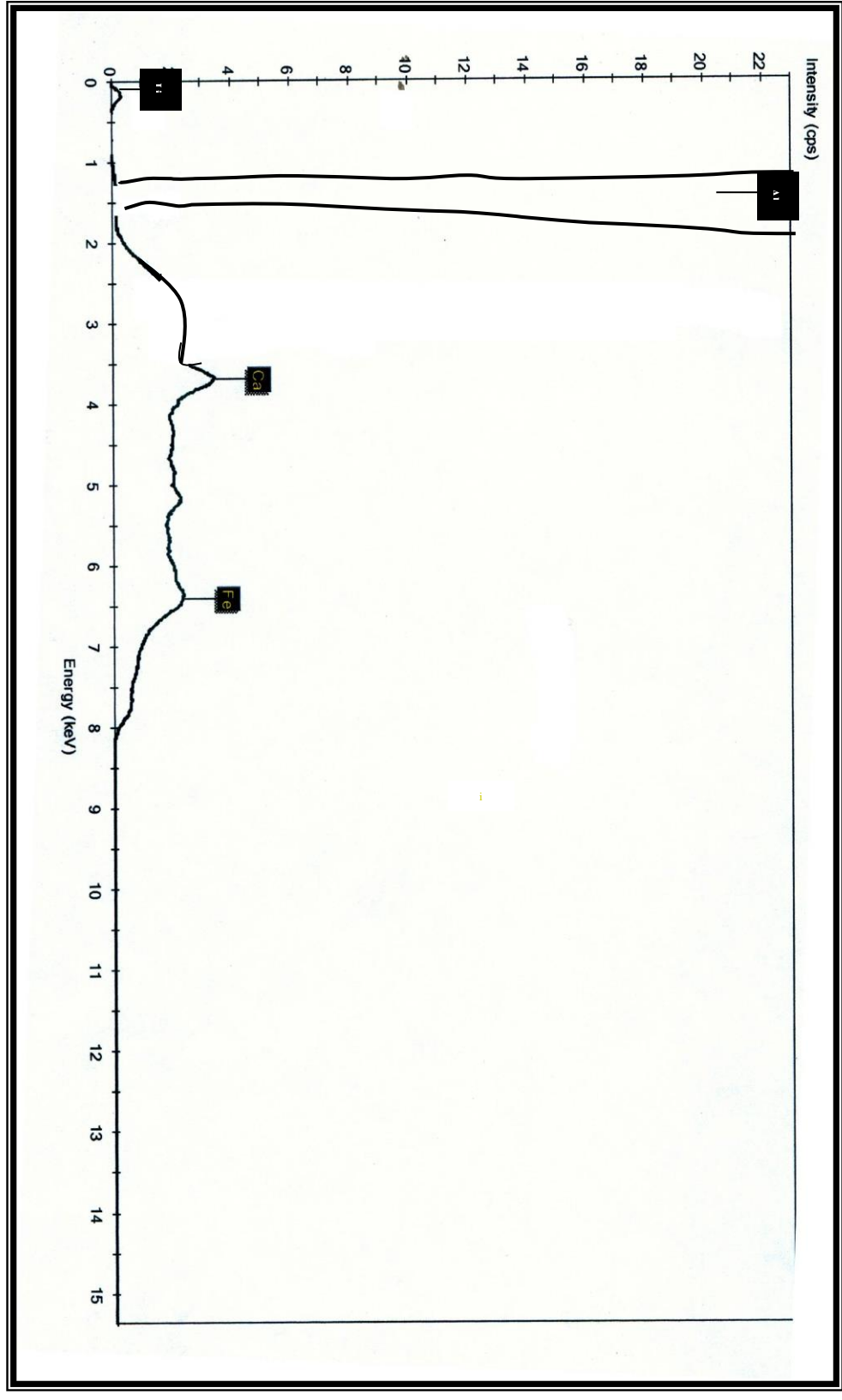
### 3.4 نتائج الفحص بفلورة الأشعة السينية

#### Results of X-Ray flourcent test

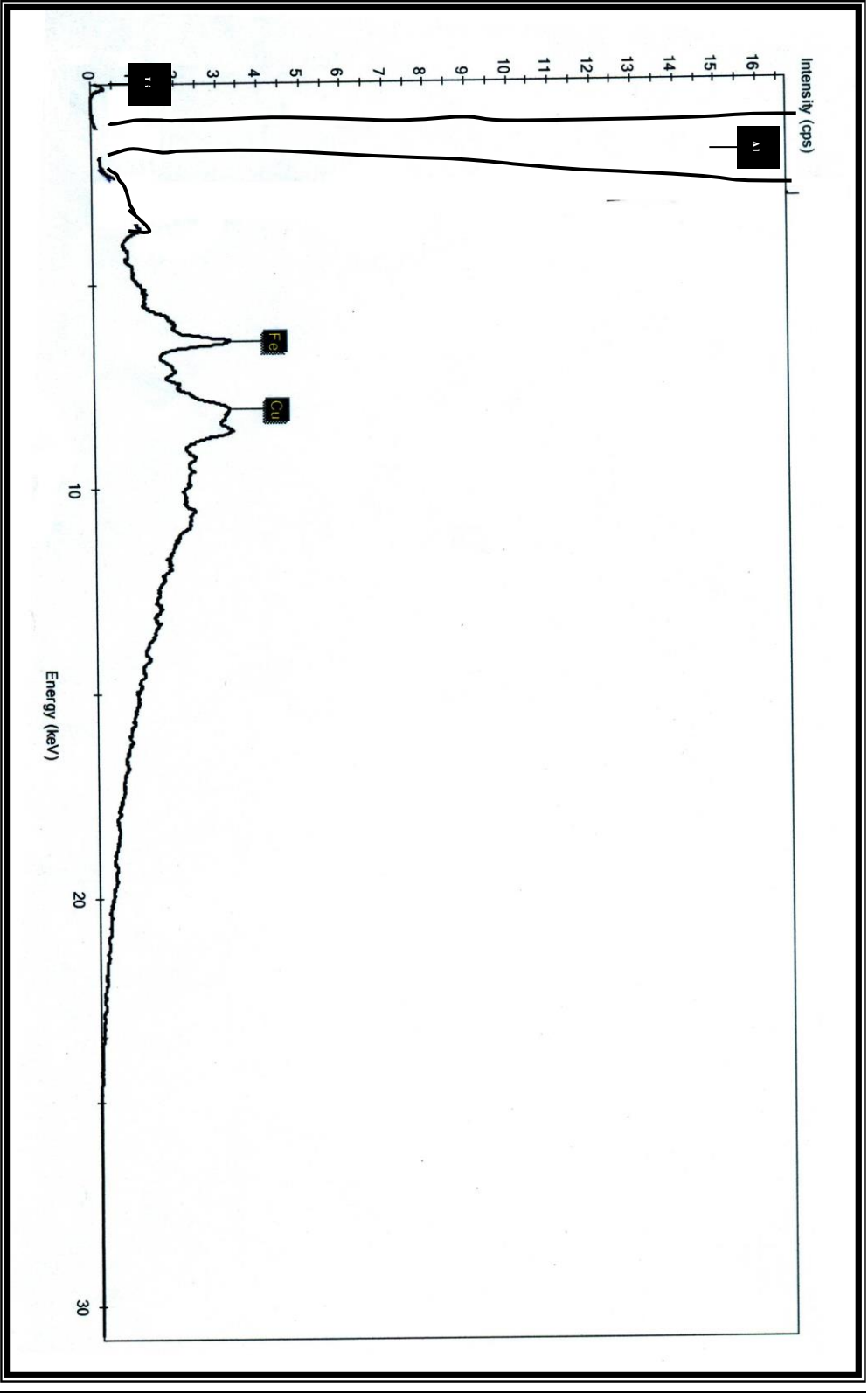
هذا الاختبار يمثل اختباراً نوعياً لوجود الليثيوم في السبيكة أولاً، ولتقدير كميته التقريبية ثانياً، وكما مبين في الأشكال (2-4)، (3-4)، (4-4)، (5-4) فإن قيمته مقاربة للكميات المضافة عملياً ولتلك المحسوبة بجهاز الامتصاص الذري في البند (4.4)، وهذا تأكيد لبقاء الليثيوم في السبيكة، واجري بطريقة تختلف تماماً عن طريقة الامتصاص الذري.



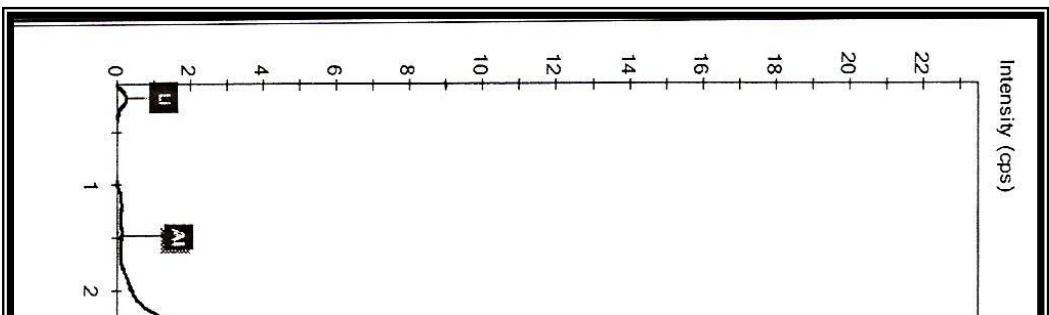
شكل (2-4) يوضح الفحص بفلورة الأشعة السينية للعينة Al-0.5%Li (B)



شكل (3-4) يوضح الفحص بفلورة الأشعة السينية للمعينة (C) Al-0.75%Li



شكل (4-4) يوضح الفحص بفلويرة الأشعة السينية للمعينة (D) Al-1%Li



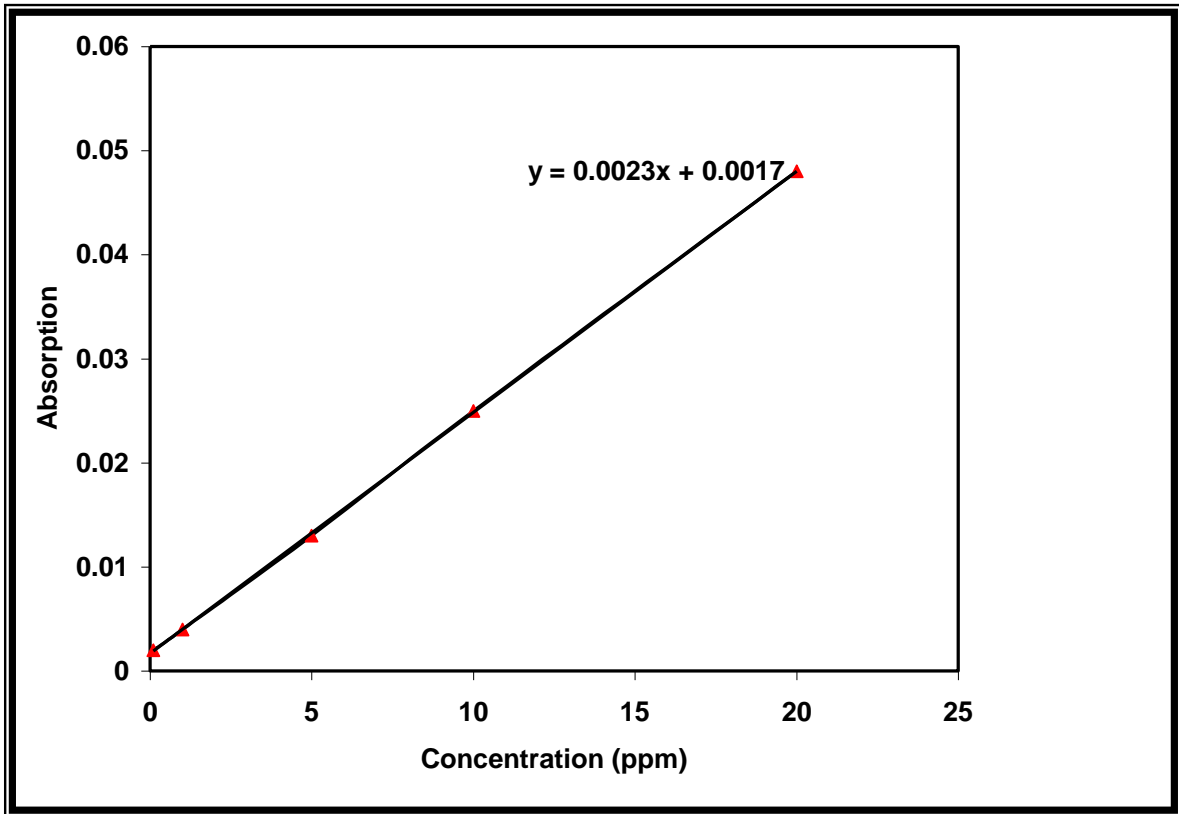
شكل (4-5) يوضح الفحص بفلورة الأشعة السينية للمركب (LiAlH<sub>4</sub>)

#### 4.4 نتائج اختبار الامتصاص الذري

## Results of Atomic Absorption Test

○○○

اجري هذا الفحص لتحديد مدى مطابقة نسبة الليثيوم المضافة عمليا مع تلك المحسوبة من الجهاز (Absorption Spectrophotometer)، وذلك بقياس الامتصاصية للمحاليل القياسية المحضرة من كلوريد الليثيوم (LiCl)، ورسم العلاقة بين الامتصاصية (Absorption)، والتركيز (Concentration)، التي سيتم استخدامها لتحديد نسبة الليثيوم في السبائك المحضرة والشكل (6-4) يبين العلاقة بين الامتصاصية والتكوين الكيمياوي.



شكل (6-4) يوضح العلاقة بين الامتصاصية والتركيز للمحاليل القياسية. إذ تم إذابة النماذج (B,C,D) في حامض النتريك والهيدروكلوريك. والرسم البياني في الشكل (6-4) تمثله المعادلة الآتية:

$$Y=0.0023X+0.0017..... (1-4)$$

إذ أن :

Y: تمثل الامتصاصية

X: تمثل مقدار تركيز الليثيوم (ppm).

وعند استخدام جهاز الامتصاص الذري لمحاليل النماذج (السبائك) المحضرة (B,C,D)، فإن الجدول (2-4) يبين قيم الامتصاصية لمحاليل العينات المذابة والمستخدمه في هذه الدراسة.

جدول(2-4) يبين تركيز الليثيوم في السبائك المحضرة

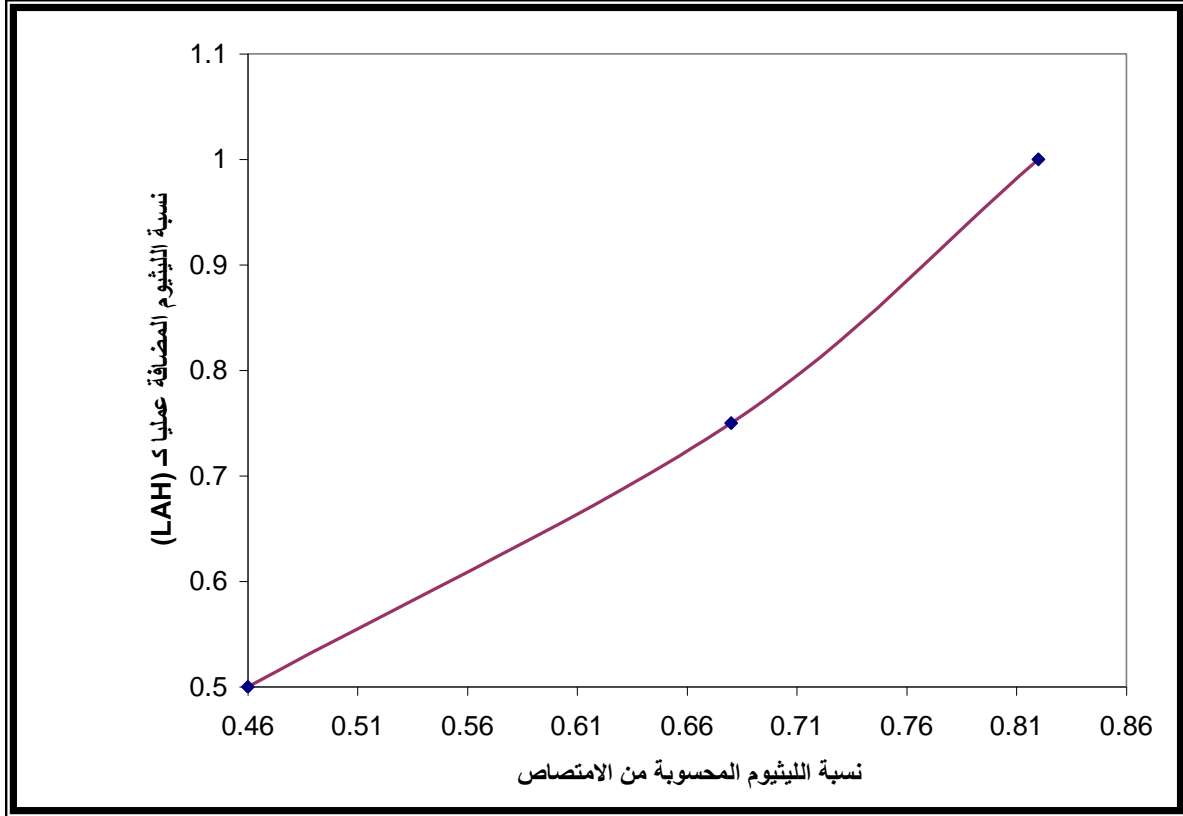
ٲ Samples	Experimental ratio	Weight of samples (g)	Absorption	Concentration (ppm)	Concentration (%)
B	0.5	0.4563	0.05	21	0.46
C	0.75	0.4324	0.07	29.69	0.68
D	1	0.4131	0.08	34.04	0.82

من هذه القيم تم حساب التراكيز باستخدام المعادلة (4-1) ، هذه المعادلة تعطي قيمة التركيز جزءاً بالمليون (ppm) ولتحويلها إلى تراكيز بنسب مئوية تم استخدام المعادلة الآتية:-[71]

$$\% \text{Conc.} = [\text{Volume} * \text{Conc. (ppm)} / 10^6 * \text{Weight}] * 100 \% \dots (4-2)$$

حيث إن:  
Volume = 100 مل (حجم المحلول).

الجدول (2-4) يبين تقاربا كبيرا بين قيم الليثيوم الموجودة في السبيكة وتلك المحسوبة من التركيب الكيماوي للمركب المضاف، ويمكن معالجة هذا الفرق البسيط بين القيمة النظرية وتلك الواقعية بعد السبك، وذلك بإضافة كمية (Li) أكثر قليلا من المقدار المحدد الذي يمكن حسابه من الجدول أعلاه فمثلا في الحالة (B)



كان الفرق 8% ، وهكذا يمكن حساب الحالات الأخرى ، والشكل (7-4) يوضح العلاقة بين نسبة الليثيوم المضافة عمليا وتلك المحسوبة من جهاز الامتصاص الذري (Absorption Spectrophotometer) .

شكل (7-4) يوضح العلاقة بين نسبة الليثيوم المضافة عمليا، وبين النسب المحسوبة من جهاز الامتصاص الذري.

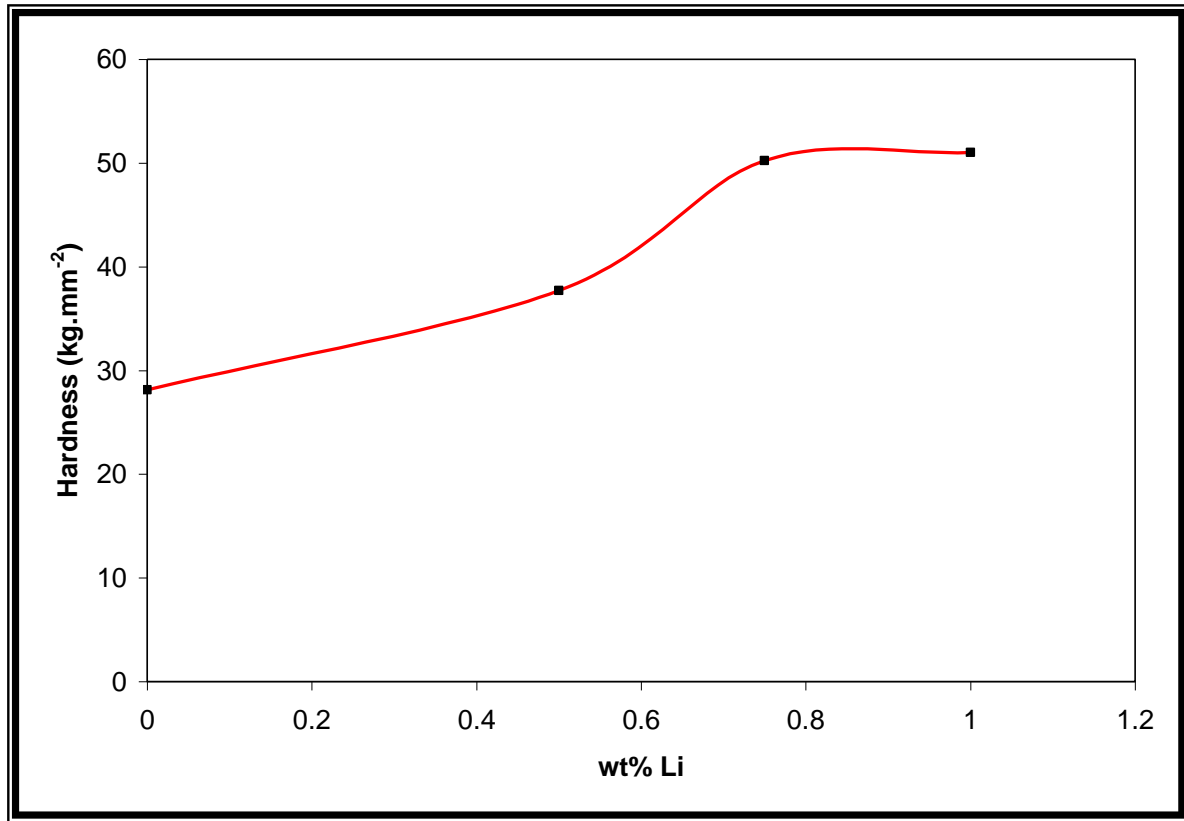
#### 5.4 تقييم أداء السبائك المحضرة.-

##### 1.5.4 نتائج اختبار الصلادة Hardness Test

تم قياس صلادة السبائك بحالتها المسبوكة (As Cast) بطريقة فيكرز، وقد تم الحصول على النتائج الآتية:-

جدول (3-4) يوضح قيم الصلادة للعينات.

Alloy Code	Concentration of Lithium (%)	Condition	Form	Vickers Hardness (kg . mm <sup>-2</sup> )
A	—	As Cast	Die Casting	28.12
B	0.5	As Cast	Die Casting	37.7
C	0.75	As Cast	Die Casting	50.24
D	1	As Cast	Die Casting	51



شكل (8-4) يوضح منحنى الصلادة للعينات.

نلاحظ من خلال النتائج أعلاه تزداد قيمة الصلادة مع زيادة نسبة الليثيوم في السبيكة، هذه الزيادة في الصلادة يمكن إرجاعها إلى تكون المحلول الجامد ( $\alpha$ )، وكذلك المركب المعدني  $AlLi$  ( $\delta$ ) (Inter metallic compound) الذي يعمل على إعاقة حركة الانخلاعات وإكساب السبيكة صلادة عالية وبزيادة نسبة الليثيوم تزداد كمية ( $\delta$ ) أو الطور المصلد .

هذه النتائج تؤكد أيضا وجود القدر المضاف من الليثيوم للسبيكة الذي سببت زيادته زيادة في قيمة الصلادة وهذا يؤكد ماورد في الجدول (3-4).

#### 2.5.4 نتائج اختبارات التآكل Results of Corrosion Tests

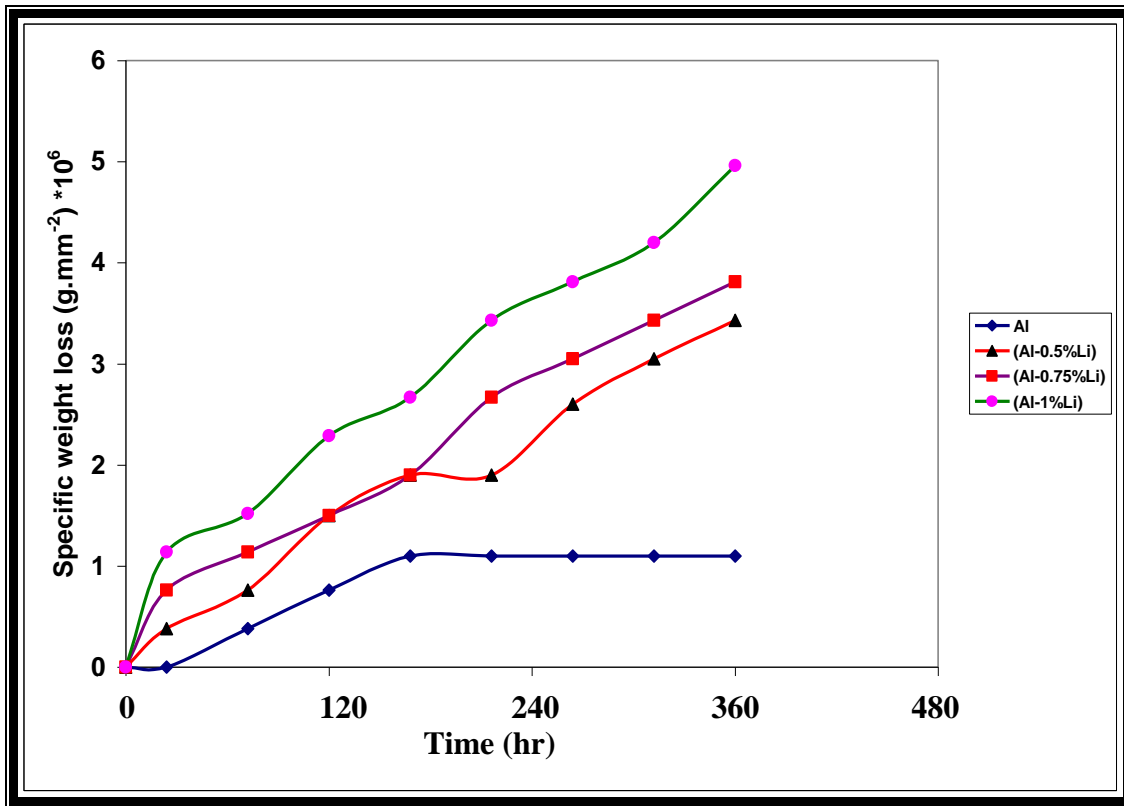
تضمنت اختبارات التآكل طريقتين لتقييم مدى مقاومة سبائك الألمنيوم-ليثيوم للتآكل ومقارنتها مع مقاومة التآكل للألمنيوم النقي، وفي محاليل الكتروليتية مختلفة وثلاث نسب مختلفة من الليثيوم .

##### 1.2.5.4 طريقة فقدان الوزن Weight Loss Method

تم إجراء اختبار فقدان الوزن لعينات سبائك الألمنيوم-ليثيوم وعينات الألمنيوم النقي في ثلاثة محاليل الكتروليتية وهي ماء الحنفية، محلول ملحي لكلوريد الصوديوم وبتركيز 3 % وزنا، محلول حامض الهيدروكلوريك وبتركيز (1M).

##### • ماء الحنفية الاعتيادي (Tap Water):-

جرى هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وفي الماء الاعتيادي، إذ تم حساب التغير في وزن العينة لفترات تعرض مختلفة، والحصول على الوزن المفقود لوحدة المساحة، والشكل (9-4) يبين تأثير فترة التعرض لماء الحنفية في الوزن المفقود لعينات سبائك الألمنيوم-ليثيوم وعينات الألمنيوم النقي.

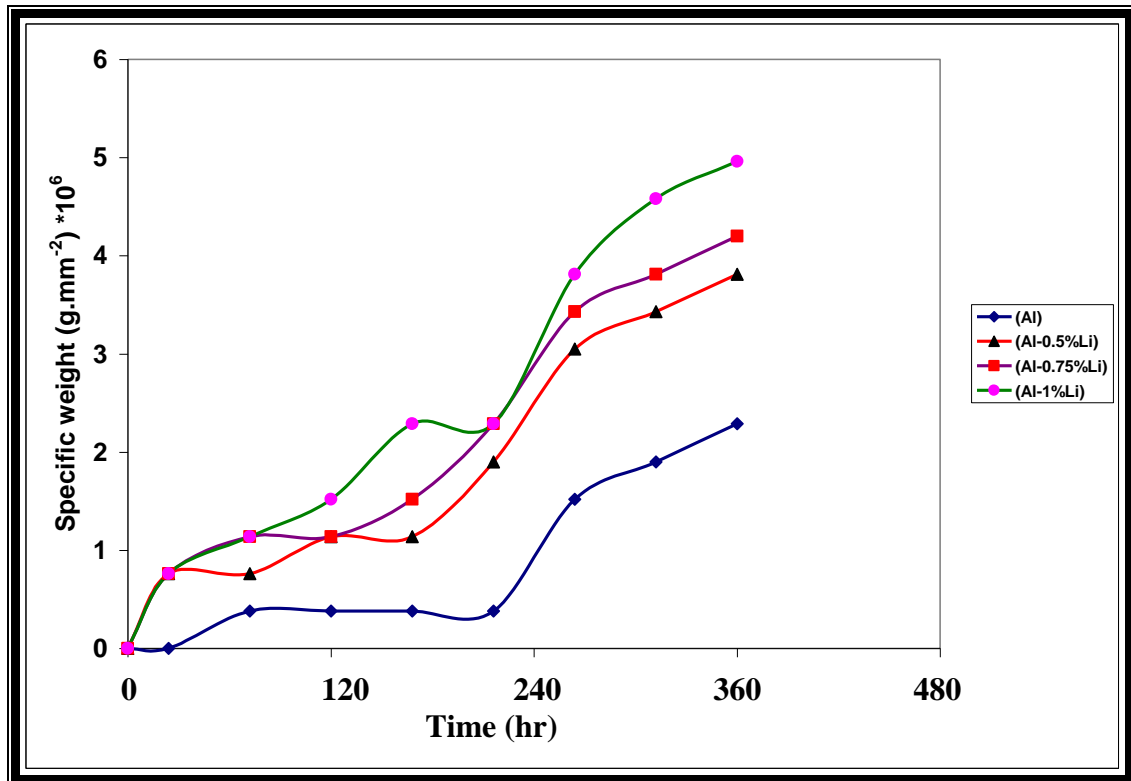


شكل (9-4) يوضح تأثير فترة التعرض لماء الحنفية في الوزن المفقود لعينات سبائك (ألمنيوم-ليثيوم) وعينات الألمنيوم النقي.

يوضح الشكل (4-9) تأثير فترة التعرض لماء الحنفية على الوزن المفقود للعينات المستخدمة في الدراسة الحالية التي تشمل عينات الألمنيوم النقي وعينات سبائك الألمنيوم-ليثيوم، إذ نلاحظ إن الألمنيوم النقي هو أكثر مقاومة للتآكل من عينات السبائك، وهذا يعود إلى طبيعة الطبقة الاوكسيدية المتكونة على سطح الألمنيوم والتي تكون حامية وغير مسامية وجيدة الالتصاق [69]، في حين نلاحظ إن عينات سبائك الألمنيوم-ليثيوم يكون مقدار الفقدان في الوزن فيها أكثر، وذلك يعود لوجود أكثر من طور، إذ تحتوي على الطور  $\alpha$ ، وكذلك المركب المعدني  $\delta$ ، وبمن ثم يؤدي إلى تكوين خلايا كلفانية، إذ يكون فيها  $\delta$  هو الكاثود نسبة إلى الطور  $\alpha$ ، مما يؤدي إلى حدوث تآكل في الطور  $\alpha$ ، ولكنه يكون بمقدار قليل جداً. إن العينات قيد الاختبار كانت خالية من مظاهر التآكل عند فحصها بالعين في الأيام الأولى بعد ذلك حصل فقدان ضئيل بالوزن، مما يدل على مقاومة هذه العينات للتآكل في ماء الحنفية

#### • المحلول الملحي Salt Solution :-

اجري هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة أيضاً والشكل (4-10) يبين فترة التعرض لمحلول 3% وزناً من (NaCl) في الوزن المفقود لعينات الألمنيوم النقي، وعينات سبائك ألمنيوم-ليثيوم.



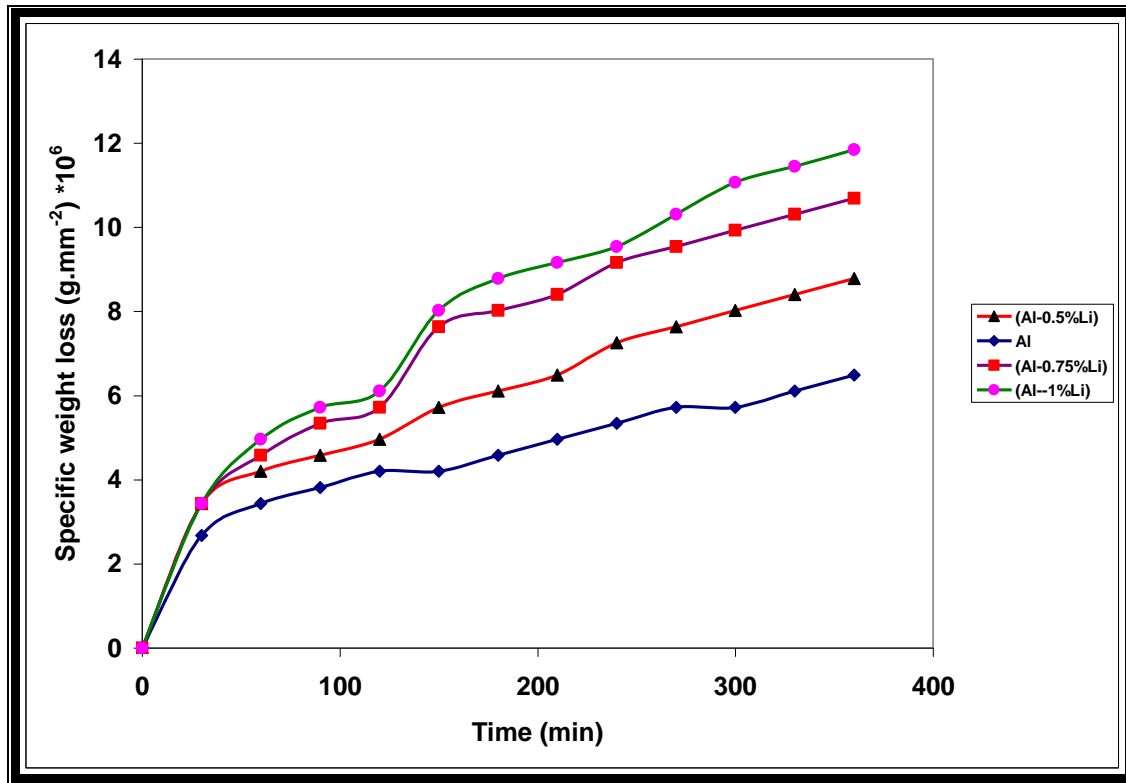
شكل (4-10) يوضح تأثير فترة التعرض لمحلول 3% وزناً من NaCl في الوزن المفقود لعينات الألمنيوم النقي، وعينات سبائك ألمنيوم-ليثيوم.

هذا الشكل يبين إن العينات المغمورة في المحلول الملحي تستمر في فقدان الوزن مع زيادة الزمن وبشكل واضح، وقد يعزى ذلك إلى تكسر موضعي لطبقة الاوكسيد لان ايونات الكلوريد لها القابلية على التغلغل وإلحاق التلف بهذه الطبقة على سطح المعدن، وان زيادة قابلية التنقر في المحلول الملحي ناتجة من تحفيز الذوبان الانودي للألمنيوم. [50]

ونلاحظ من خلال الشكل إن الألمنيوم النقي يكون أعلى مقاومة للتآكل في المحلول الملحي من عينات سبائك الألمنيوم- ليثيوم، إذ نلاحظ إن هناك فترة يثبت فيها مقدار الفقدان في الوزن مع مرور الزمن في الألمنيوم النقي، مما يدل على تكون طبقة اوكسيدية حامية تحمي السطح وتمنع من استمرار التآكل وبعد مرور (216) ساعة تقريبا يعود يستمر الفقدان في الوزن، مما يدل على تكسر الطبقة الاوكسيدية الحامية.

#### • المحلول الحامضي Acidic Solution :-

اجري هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وباستخدام محلول حامض الهيدروكلوريك بتركيز (1M) والشكل (4-11) يبين فترة التعرض لمحلول HCl في الوزن المفقود.



شكل (4-11) يوضح تأثير فترة التعرض لمحلول (1M) من حامض HCl في الوزن المفقود لعينات الألمنيوم النقي، وعينات سبائك الألمنيوم-ليثيوم.

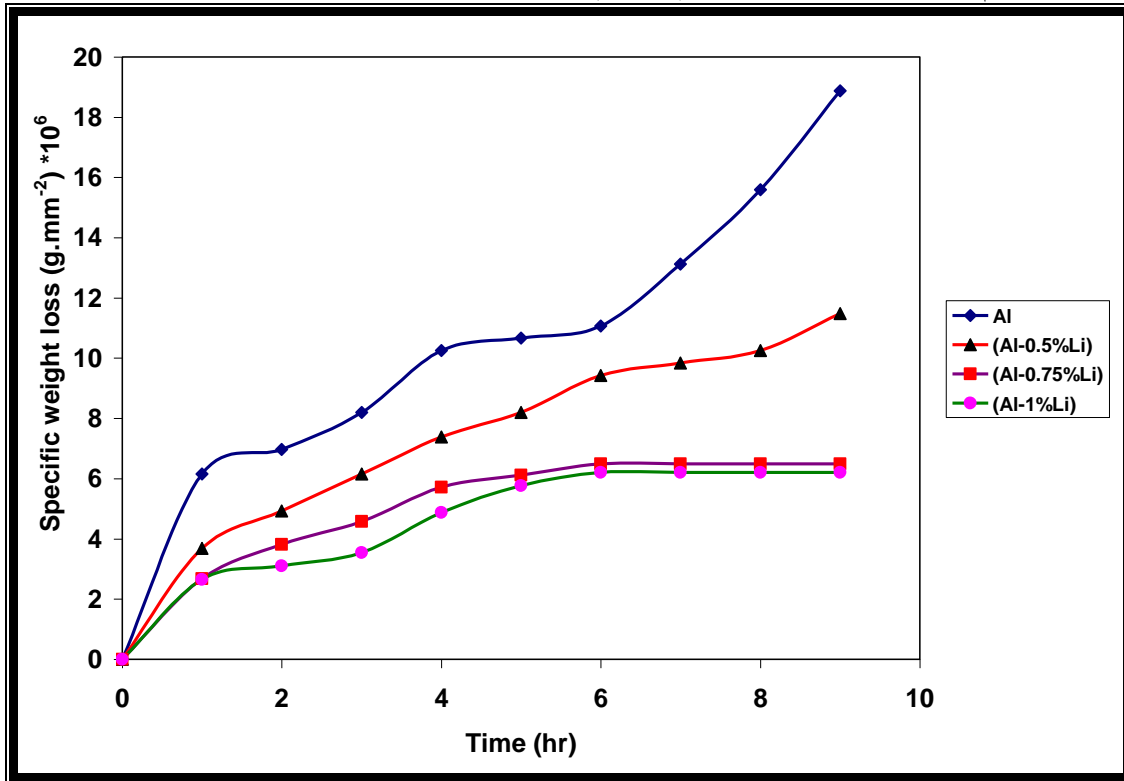
يبدو جليا الفرق بين الوزن المفقود من عينة الألمنيوم النقي في المحلول الحامضي، والوزن المفقود من عينات سبائك ألمنيوم-ليثيوم في المحلول الحامضي.

إذ أن فقدان الوزن في عينات سبائك ألومنيوم-ليثيوم يكون اكبراً بكثير من عينات الألومنيوم النقي وكلما ازدادت نسبة الليثيوم يزداد فقدان الوزن.

#### 2.2.5.4 نتائج اختبار التآكل / تعرية

### Results of Corrosion -Erosion Test

اجري هذا الاختبار لغرض التأكد من وجود الليثيوم في السبائك، وكذلك لتقييم أداء هذه السبائك من خلال قياس مدى تحملها لحركة الوسط المحيط بالمعدن، ومقارنتها مع مدى تحمل عينات الألومنيوم النقي، وقد اجري الاختبار في محلول الكتروليتي واحد هو ماء الحنفية الاعتيادي، إذ تم استخدام طريقة فقدان الوزن مقابل الزمن لتقييم هذا الاختبار والشكل (4-12) يبين سلوك العينات .



شكل (4-12) يوضح تأثير فترة التعرض لماء الحنفية في الوزن المفقود لعينات الألومنيوم النقي، وعينات سبائك الألومنيوم-ليثيوم لاختبار (تآكل / تعرية).

من خلال الشكل (4-12) نلاحظ إن معدل نقصان الوزن لوحدة المساحة في وحدة الزمن لهذه السبائك مشابه لما وجدته باحثون آخرون لسبائك أخرى [59,68,70]، ففي المرحلة الأولى (التريث) يتعرض سطح المعدن إلى تغيرات (تشويه) دائمة بسبب القوى الناتجة عن الاصطدام المتكرر، أما المرحلة التي تليها فهي مرحلة التسارع في الوزن المفقود ويحدث نتيجة لتكسر السطح بتأثير الكلال (Fatigue) الناتج عن الاصلاد الانفعالي (Strain hardening) نتيجة الاصطدامات المتكررة.

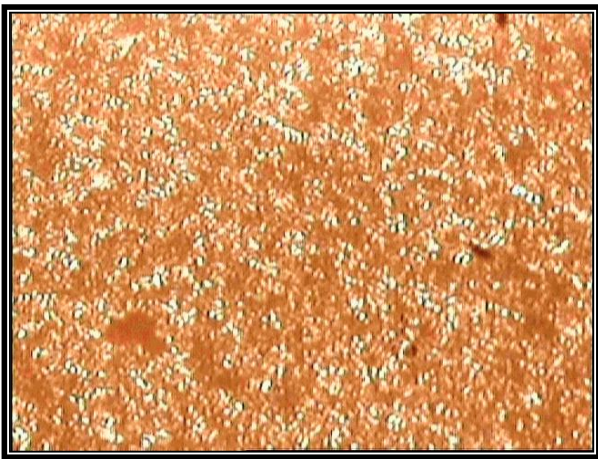
أما المرحلة الثالثة فهي مرحلة التباطؤ في الوزن المفقود التي تحدث بعد تكسر مقدار معين من سطح المعدن، إن ما يميز هذه المرحلة هو ظهور أخاديد يمكن

ملاحظتها بالعين المجردة، أما المرحلة الأخيرة من المنحني فتمثل وضع الاستقرار وفيها فقدان في الوزن لا يعتمد على زمن التعرض للوسط الأكال (تعريية). إن هذا الاختبار يعد مؤشراً مهماً لتقييم مقاومة السبائك المستخدمة في هذا البحث.

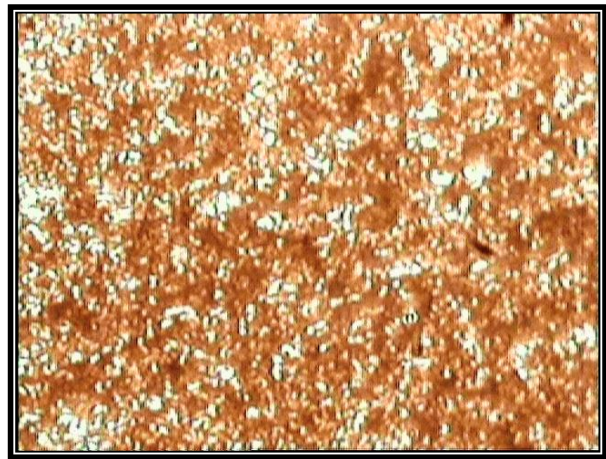
#### 6.4 نتائج الفحص بالمجهر الضوئي

##### *Results of Optical Microscope Testing*

اجري الفحص بالمجهر الضوئي لدراسة بنية عينات الألمنيوم النقي، وعينات سبائك ألمنيوم-ليثيوم قبل إجراء أي اختبار عليها، وكذلك دراسة طبوغرافية سطوح العينات المعدنية المغمورة في المحاليل الالكتروليتية، والأشكال (4-13)، (4-14)، (4-15) تبين التصوير بالمجهر الضوئي للعينات.



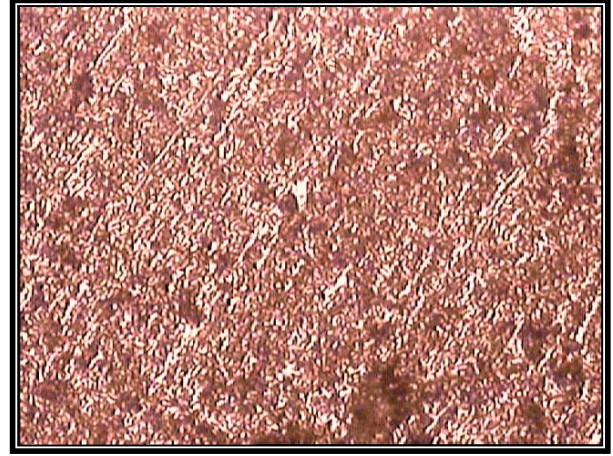
(a) ألمنيوم نقي.



(b) ألمنيوم -0.5% ليثيوم.



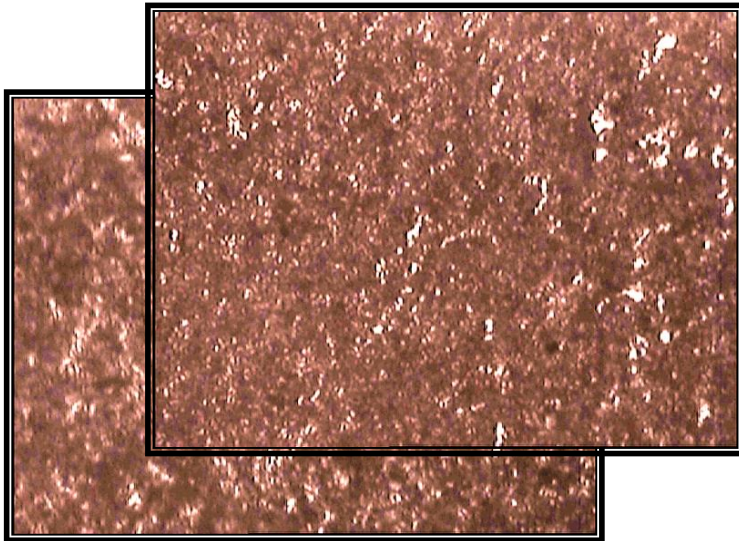
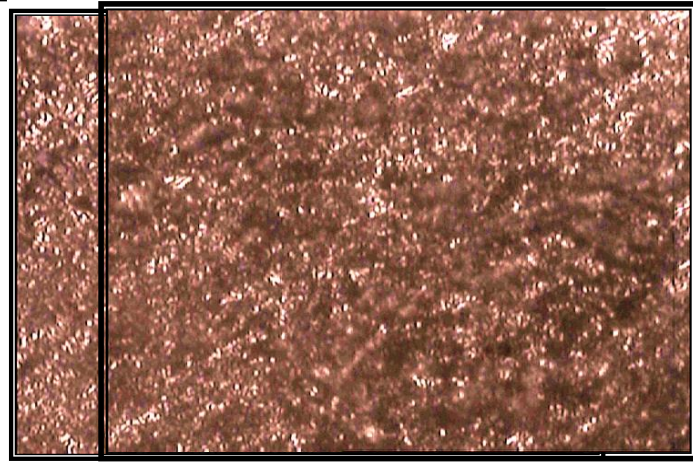
(c) ألمنيوم-0.75 % ليثيوم.



(d) ألمنيوم-1 % ليثيوم.

شكل (4-13) يبين تصوير المجهر الضوئي للعينات قبل غمرها في المحاليل الالكتروليتيية (قوة التكبير 400X).

نفترض في قوة تكبير (400X) أن تكون الحبيبات واضحة أما هذه الصور فتدل على إن الحبيبات صغيرة جداً، ويرجع ذلك إلى التبريد السريع والى دور الهيدروجين الفعال في تنعيم الحبيبات لاحظ البند (4-2) من البحث. فعندما تكون نسبة الليثيوم في السبيكة هو 0.5% تكون البنية المجهرية عبارة عن الطور ( $\alpha$ )، أما في حالة نسب الليثيوم الأعلى البنية المجهرية للسبائك فتكون عبارة عن ( $\alpha + \delta$ )، ويرجع الاصلاح في هذه السبائك إلى وجود ( $\delta$ ) التي يزداد تأثيرها بزيادة نسبة الليثيوم، وكذلك تأثيرها في البنية المجهرية.

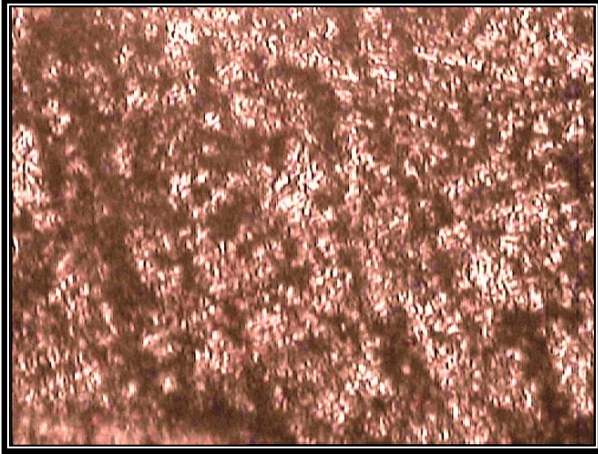
(a) ألمنيوم نقي.  
(b) ألمنيوم-0.5 % ليثيوم.

(d) ألمنيوم - 1 % ليثيوم.

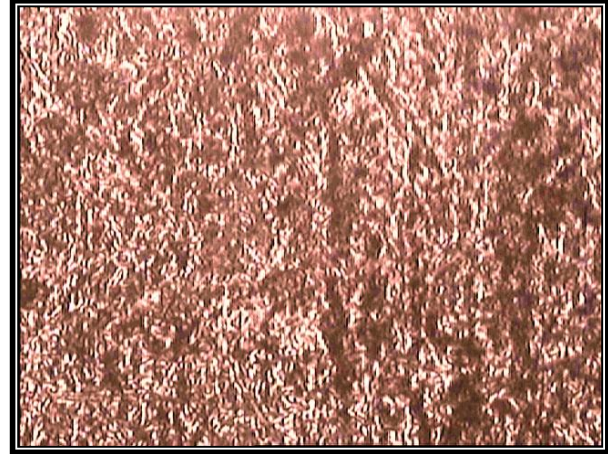
(c) ألمنيوم - 0.75 % ليثيوم.

شكل (14-4) يبين تصوير المجهر الضوئي للعينات بعد غمرها في محلول حامض (HCl) (قوة التكبير 400X).

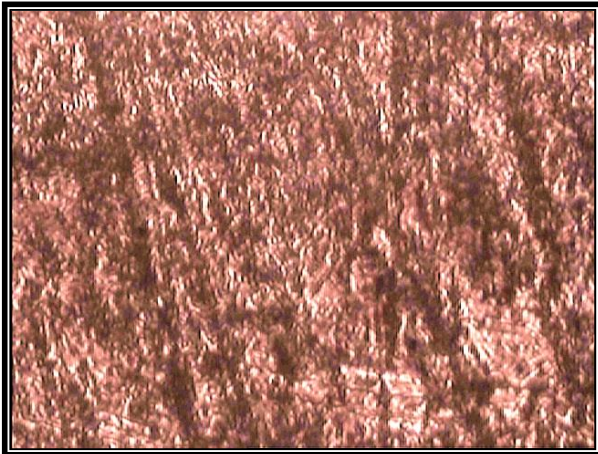
في الشكل (14-4) يبدو واضحاً تأثير عملية التآكل على سطح المعدن نتيجة غمر العينات في حامض الهيدروكلوريك (HCl)



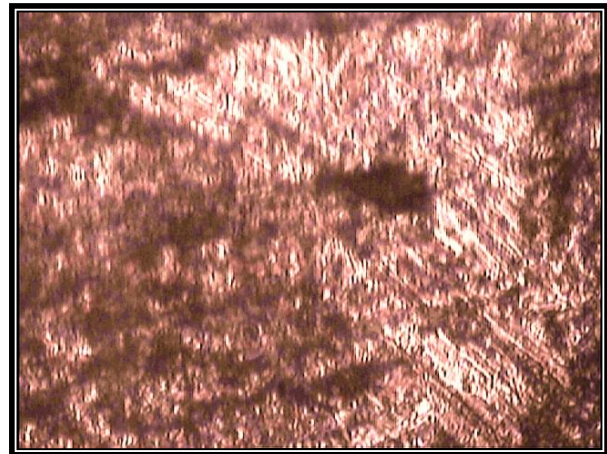
(a) ألمنيوم نقي.



(b) ألمنيوم - 0.5 % ليثيوم.



(c) ألمنيوم - 0.75 % ليثيوم.



(d) ألمنيوم - 1 % ليثيوم.

شكل (15-4) يبين تصوير المجهر الضوئي للعينات بعد إجراء اختبار التآكل/تعرية (قوة التكبير 400X).

إذ يتضح من خلال الشكل (15-4) إن عينات سبائك ألمنيوم-ليثيوم أبدت مقاومة أعلى للتآكل بالتعرية من عينات الألمنيوم النقي، وهذا دليل على احتواء السبائك على الليثيوم الذي يزيد من صلادة السبائك، وبالتالي يجعلها مقاومة أكثر للتآكل بالتعرية.

# الاستنتاجات و التوصيات

## *Conclusions and Recommendations*

### الاستنتاجات Conclusion

1. اظهر المركب الذي تم استخدامه في الهواء كفاءة عالية في الحصول على الليثيوم من دون الحاجة إلى أفران ذات أجواء مسيطر عليها.
2. اظهر التحليل الكيميائي بان هنالك تقارباً كبيراً بين نسبة الليثيوم المتوقع وجودها في السبيكة، وبين تلك المحسوبة عمليا التي بلغت حوالي أكثر من 90%.

3. ومن السمات المميزة الأخرى لهذا المركب تتمثل في انبعاث الهيدروجين من المركب المضاف إلى منصهر سبيكة (Al-Li) الذي سبب تجانس (Homogenization) المنصهر، ويمثل ذلك تخلصا من احد المشاكل الأساسية لهذه السبيكة.
4. كما إن انبعاث الهيدروجين سبب أيضا تكسير اذرع الشجيرات (Dendrite) وتبعثر أجزائها الصلبة في المنصهر، إذ ينتج عنها تنعيم كبير للحبيبات.
5. إن تكسير اذرع الشجيرات يحتاج عادة إلى عملية تشكيل، ومن ثم تلدين وهذه العملية تضيف كلف إضافية، وقد تلحق بمكونات السبيكة أضرارا أخرى، وقد ألغيت هذه العملية بسبب انبعاث الهيدروجين.
6. اظهر المركب مقاومة عالية للتأكسد في درجات الحرارة لغاية  $600^{\circ}\text{C}$ ، وهذا يعني إن الليثيوم يبقى بعيدا عن التعامل مع الأوكسجين (ليس حرا)، حتى في هذه الدرجات العالية.
7. أبدت السبائك المحضرة مقاومة جيدة أثناء الاختبارات التي أجريت عليها، مما يؤكد مرة أخرى دور الليثيوم المتحرر من المركب الكيميائي والذي أظهره التحليل الكيميائي.

### التوصيات Recommendation

عند إجراء الدراسات المستقبلية في هذا المجال نقترح ما يأتي:-

1. إجراء تجارب أخرى لتحديد درجات الحرارة، والزمن الذي يتحقق فيه انبعاث الهيدروجين.
2. القيام بدراسات أخرى لمعرفة دور الهيدروجين في خواص السبائك وحجم الحبيبات.
3. استخدام مجهر الكتروني (Scanning electron microscope) لدراسة البنية المجهرية للسبائك.
4. استعمال هذا المركب في سبائك ثلاثية أو أكثر.

# المصادر

## References

1. رائد نجيب رزوقي موسيس "تأثير وسط الاستخدام (تأكل-تأكسد-بلى) على خواص سبيكة ذات أساس (ألومنيوم-ليثيوم)", رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية ، 1990.
2. عدنان شمخي جبر الكعبي "تأثير آليتي السبك والمعاملات الحرارية-الميكانيكية على خواص سبائك الألومنيوم-ليثيوم"، رسالة ماجستير ،قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية ، 1989.
3. Enrique, J. Lavernia & Nicholas, J. Grant, "Review Aluminum-Lithium alloys", J.Mat.Sci, Vol.22, 1987.

4. Webster , D. Haynes III ,T.G,and Fleming ,R.H. , “Al-Li Investment castings coming of age “ ,Advanced Materials & Processes , Incorporating metal progress ,Vol.133 ,No.6 ,1988.

5. باسم محيسن محمد الزبيدي "زيادة مقاومة سبائك الألمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء لدرجات الحرارة العالية"، رسالة ماجستير ، قسم هندسة المواد ، جامعة بابل، 2004.

6. on the web: <http://docserver.Ub.org.nl/Science/m-j-hass/C1.pdf>.

7. K.G.Budinsk; “Engineering Materials Properties and Selection “, 5<sup>th</sup> Ed –prentice-Hall Inc.1996.

8. Kenneth G.Budin Ski Michad K.Budin Ski,” Engineering Materials Properties and Selection “, 8<sup>th</sup> Ed. New Delhi, 2006.

9. د.قحطان خلف محمد الخزرجي، "الألمنيوم وسبائكه" ،جامعة بابل ،1992.

10. I.Granet, P.E “Modern Materials Science “, Reston publishing Co, 1980

11. Prof. Jie Han, Ph.D, P.E. “Aluminum “, university of Kansas, 1987.

12. D.K.Filbek & A.G.Atkins, “Strength & Fracture of Engineering Solids “, 2<sup>nd</sup> Ed .prentice Hall Inc, 1996.

13. A.RAI , K.Park ,L.Zhou and M.R.Zachariah,”Understanding the mechanism of Aluminum nano-particle oxidation”, Department of mechanical Engineering and Department of chemistry and Biochemistry University of Maryland ,College Park ,MD,USA,2006.

<http://www.tandf.Co.Uk/journals/>.

14. S.H.Avner,” Introduction to physical metallurgy “, 2<sup>nd</sup> Ed. McGraw. Hill Kogakusha,1974.
15. R.E.Samllman ,CBE ,DS , FRS , FREng ,FIM , R.J.Bi shop, Ph.D , CEng , MIM , “ Modern physical metallurgy and materials Engineering “ Oxford Auckland . Boston Johannesburg Melbovrne New Delhi, 6<sup>th</sup> Ed, 1999.
16. E.PAUL, DeGARMO, J.T. Black, RONALD A.KOHSER, “Materials and processes in manufacturing”, prentice. Hall of India private Limited New-Delhi, 2005.
17. on the web: [www.ae.utexas.edu/course/lecture6.pdf](http://www.ae.utexas.edu/course/lecture6.pdf)
18. on the web: <http://docserver.Ub.rug.nl/science/m-j-hass/C3.PDF>.
19. on the web: <http://www.mse.eng.Ohio-state.edu> or [www.mse.po12.eng.Ohio-state.edu](http://www.mse.po12.eng.Ohio-state.edu)
20. John R.Brown,”Foseco Non-Ferrous Foundry man’s Hand book”, Oxford Avckland Boston Johannes burg Melbourne New-Delhi, 11<sup>th</sup> Ed, 1994.
21. Mondolfo, LF.”Aluminum Alloys” Boston, Butter worths, 1976.
22. O.G Senatrorova ,”Influence of different minor additions on structure and properties of high-strength Al alloys”, Al-Russian Institute of Metal physics Materials Science Forum ,Vol.331-337 ,2000 .
23. W.Kraus ,G.Nolze powder cell for windows , version2.1 , 15.02.1999 ,Federal Institute for material Research and Testing ,BAM , Germany ,1999.

24. a PDF File on Lithium prices from the U.S.Geological, Retrieved on September 15, 2005.
25. Stwertka, Albert, A Guid to the Element, New-york, Oxford university press. ISBN0.19-515029-9, 2002
26. Ramesh J. "Aluminum Lithium Alloy" Design Development and Applications update. ASM International Confernece, 1990. Aluminum Lithium prceedings.
27. Los Alamos National Laboratory-Lithium. Retrieved on September 15, 2005.
28. Lide D.R-Editor,"Hand book of chemistry and physics", CRC press 80<sup>th</sup> Ed, (1999-2000).
29. Baldwin M.J. Doerner R.P., Luck hardt S.C and Conn R.W.," Recombination of deuterium atoms on the surface of molten Li-LiD", J. Nucl. Mater, 2002.
30. Baldwin M.J. Doerner R.P., Luck hardt S.C and Conn R.W. ," Deuterium retention in Liquid Lithium " ,Nucl, Fusion , 2002.
31. MII – HDBK, "Aluminum ", 1 December, 1998.
32. Alten pohl , Dietrich G, "Aluminum Technology .Applications , and Environment ", 6<sup>th</sup> Ed ,Aluminum Association ,Inc. , Washington ,D.C. and the Minerals, Metals & Materials Society , warren dale , Pennsylvania , 1998.
33. E.A.Starke, F.S.Lin, Metallurgical Trans. A, Vol.13A, p.2259, 1982.
34. J.W.martin, Ann, Rev. Mater.Sci, Vol.18, p.101, 1988.

35. Nelson Lloyd S, Duda Patricia M, Hyndman David A, "Interactions between drops of molten Al-Li alloy with Liquid water", Metal. And malts. Trans. B, Vol, 25, n4, 1994.

36. Lu Gan, "Environment – assisted cracking of Al 2195", Louisiana state university Materials Science Forum Vol. 331-337, 2000. Trans Tech publication.

37. Enrique J. Lavernia "Spray Rolling Aluminum Strip", university of California Irvine, online publication, 2001.  
<http://www.eng.uci.edu/cbems/faculty/lavernia/research/shtm>.

38. R.Grimes, A.J.Cornish, W.S.Miller and M.A.Reynolds,"Metals and materials", June, p.357, 1985.

39. جميل حبيب غازي منيهل العمار، "تحسين الاستقرار الحرارية الحرارية لسبائك الألمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء"، رسالة ماجستير، قسم هندسة المواد، جامعة بابل، 2002.

40. Kalpakjian, Seope and Schmid, Steven R, "Manufacturing Engineering and Technology ", New-Jersey. Prentice Hall, 2001.

41. Hatch, John E., "Aluminum properties and physical metallurgy", Ohio. American society for metals, 1984.

42. Brown, Alan S., "Al-Li Comes back to the future", New-York American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998.

43. T.H.Sannders Jr, E.A.Starke Jr, Acta metal., Vol.30, p.927, 1982.

44. Holleman, A.F, wiberg, E.weberg, N.Lehrbuchder Anorganisc hen chemie, 102nd Ed, de Gruyter, ISBN 978-3-11-017770-1, 2007.

45. Chen, Y.K. Jeon, S-J, Walsh, P.J.Nugent, W.A.," Organic Syntheses ", Vol.82.p.87, 2005.
46. Koppenhoefer, B.Schurig, V." Organic Syntheses ", Co11.Vol.8, p434, 1993.
47. Reelz, M.T, Drewes, M.W.Schwlcarki, R." Organic Syntheses ", Co11.Vol. 10. P256, 2004.
48. Wender, P.A, Holt, D.A, Sieburth, S.McN." Organic Syntheses ", Co11. Vol.7, p456, 1990.
49. Oi, R, Sharpless, K.B.," Organic Syntheses ", Co11. Vol.-9, p251, 1998.
50. د. قحطان خلف محمد الخزرجي وعبد الجواد محمد احمد الشريف، "التآكل أسبابه – أنواعه – طرق الحماية منه"، كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1988.
51. Fontana and Green,"Corrosion engineering", 2nd Ed. McGraw Hill pub, 1978.
52. Chilton j.p, M.A,"Principle of metallic corrosion", 2<sup>nd</sup> Ed, London, 1975.
53. E.E.Sainbury & R.A.Buchawan,"Fundamentals Electrochemical corrosion", ASVInternation the materials information society, 2000.
54. P.A.Thornton & V.J.Coangelo,"Fundamentals of engineering materials", prentice Hall Inc, 1985.
55. W.Bolten,"Engineering Material Technology", 3<sup>rd</sup> Ed, U.K, 1998.
56. P.R.Roberge,"Hand book of corrosion engineering", McGraw-Hill, September, 1999.

<http://www.corrosion-doctorse.org/Economics/introduction.htm-10K>.

57. T.K.Namboodhiri & Deonath,"Some corrosion characteristics of Aluminum –Mica particulate composites", Corr.Sci, Vol.29, No.10, pp.125-1229, 1989.

58. Porter, F.C. & Hodden, S.E., J.Appl. Chem, p.3, pp385-409, 1953.

59. اقبال محمد سعيد، "تأثير عناصر السبك وعناصر الأتربة النادرة على مقاومة التأكسد لسبائك النحاس"، رسالة ماجستير، قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية، 1988.

600. Timothy L. Gall,"Metalls Hand book", Desked, Edi. By Howard E. Boyer, pp 64-70, copyright by the American society for metals, 1985.

61. Dechema,"Corrosion Hand book, corrosive agents and their interaction with materials", Vol 1, Vch, 1987.

62. ASTM, ANNUA1 Book of ASTM, standards section 2,"Nonferrous metal products", Vol.02.02, copyright by the American society for testing & materials, 1988.

63. H.P Goddard (ed.),"The corrosion of light metals", New-York, Joun wileg pub, 1967.

64. J.Pilling & N.Ridley, Mate.Sci, and Tech., Vol.3, p.5, 345-52, 1987.

65. S.S.Kim E.W. Lee & K.S.Shin,"Scripta Metallurgica", Vol. 22.p.12, pp1831-1834, 1988.

66. W.Franz, P.Lamparter , and S.Steeb ,Z.Nature forsch 429. pp 1385-1390, 1987.

67. P.Niskanen, T.H.Sanders, Jr, J.G.Rinker & Marek,"corrosion", Sci, 22, (4), 283, 1982.

68. Allor W.H, "Atmospheric Corrosion ",Wiley & Son's interscience pub.,1982.

69.د.جليل كريم احمد ، "Preparing Aluminum alloys to spot welding ، by using immersion coating (Electrical resistance welding)"  
قبوله للنشر في مجلة جامعة كربلاء العلمية لعدد شهر أيلول 2007.

70. STP 567 ASTM, "Erosion wear and interface with corrosion", 1973.

71.د.هادي كاظم عوض،د.صالح محمد سعيد ،د.جواد سلمان البديري ،د.عبد الكريم هاشم الشلال ،"الأساسيات النظرية للكيمياء التحليلية اللاعضوية (التحليل الكمي ألويزني والحجمي)"، جامعة البصرة ، 1980.