

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألومنيوم مشابة بالسيليكون والمغنزيوم

إعداد الباحث: محمد سهيل عيسى

إشراف : أ.د. عبد الرزاق الصوفي

الملخص

تم تحضير عينات من سبائك Al-Zn-Mg-Si بنسب إشابة مختلفة لكل من السيليكون والمغنزيوم. و عولجت السبائك المحضرة حرارياً عند الدرجة 520°C لمدة 30 دقيقة. درست البنية البلورية للسبائك بتقانة XRD حيث تم حساب ثوابت الشبكة البلورية والحجم الحبيبي D و وجد أن العينة التي تحوي نسبة إشابة عالية من المغنزيوم أو السيليكون تملك الحجم الحبيبي الأصغر. وتم أيضاً حساب البعد بين المستويات البلورية d. تم تطبيق اختبار قساوة فيكرز على العينات المحضرة و وجد أن قيم القساوة تزداد عموماً بازدياد نسب الإشابة للسيليكون والمغنزيوم قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية.

كلمات مفتاحية: سبيكة Al-Zn-Mg-Si - البنية البلورية - تقانة انعراج الأشعة السينية XRD - قساوة فيكرز.

The Effect of Heat Treatment in the Crystalline Structure and the Hardness of the Aluminum alloy Doped by Silicon and Magnesium.

Prepared By: Mohammed Suhel Issa

Supervised By: Professor Abed Alrazzaq Alsoufy

The Al-Zn-Mg-Si alloys were prepared by content of different doping of silicon and magnesium. The heat treatment was applied on the prepared alloys at 520°C for 30 minutes. The crystalline structure of the prepared alloys were studied by XRD technology. The crystalline lattice constants and the crystallite size D were calculated and it was found that the alloy that has high content of doping of Magnesium or Silicon has the smallest crystallite size . And the interplanar spacing d was calculated . Vickers hardness test was applied on the alloys and it was found that it generally increases with the increase content of doping of Magnesium or Silicon before and after the heat treatment.

Key words: Al-Zn-Mg-Si alloy– the crystalline structure – X-Ray diffraction (XRD) – crystallite size – Vickers hardness .

1. مقدمة :

يحتلّ معدن الألمنيوم مكانة عالية من حيث وجود العناصر في الطبيعة حيث يشكّل حوالي 8% من العناصر المكونة للقشرة الأرضية متفوقاً بذلك على باقي المعادن. والألمنيوم معدن أبيض فضّي اللون وزنه خفيف حيث تبلغ كثافته 2.7 gr.cm^{-3} ، وتبلغ درجة انصهاره 660°C ، ويتبلور وفق البنية المكعبية المركزية الوجوه FCC، إلّا انه معدن قساوته منخفضة ومقاومة الشدّ له لا تتعدّى 90 MPa ، ولهذا تم العمل على تحسين خواصه الميكانيكية من خلال التوجّه على تكوين خلائط منه مع عناصر أخرى ولتكمّل هذه الخلائط المنحى التصاعدي في الاعتماد عليه في الكثير من التطبيقات الصناعية ولتسدّ الاحتياجات والمتطلبات التي لا يستطيع معدن الألمنيوم أن يوفرها بمفرده.

وقد قسمت سبائك (خلائط) الألمنيوم إلى عدّة سلاسل وذلك بحسب العنصر المضاف إلى السبيكة ، واعتبرت السلسلة الحاوية على الألمنيوم بنقاوة 99% دون إضافات السلسلة الأولى، وأبرز العناصر المضافة إلى تلك السبائك هي النحاس والمنغنيز والسيليكون والمغنزيوم والزنك ، والجدول الآتي يوضّح أهم هذه السبائك:

العنصر المضاف	رقم السلسلة
ألمنيوم لا تقلّ نقاوته عن 99 %	الأولى
نحاس	الثانية
منغنيز	الثالثة
سيليكون	الرابعة
مغنزيوم	الخامسة
مغنزيوم وسيليكون	السادسة
زنك	السابعة

عناصر أخرى	الثامنة

جدول (1) : خلائط الألومنيوم والعناصر المضافة لها

تتميز كل سلسلة من السلاسل السابقة ببعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية التي تميزها عن السلاسل الأخرى. فالسلسلة الحاوية على الألومنيوم بدون إضافات لعناصر أخرى تتميز بالناقلية الحرارية والكهربائية العالية، والسلسلة الحاوية على النحاس وكذلك السلسلة الحاوية على الزنك تتميز بمقاومة شد عالية ، بينما الحاوية على المغنزيوم والسيليكون تتميز بقابلية تشكيل جيدة [1].

هذا وتعتمد الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية لسبائك الألومنيوم على التركيب والبنية المجهرية لها. وعادةً ما يتم تطبيق المعالجات الحرارية على تلك السبائك للحصول على الخصائص المطلوبة [2].

2 . هدف البحث:

- 1 . تحضير عيّنات من سبيكة (خليطة) $Al-Zn-Mg-Si$ مضافاً إليها نسب مختلفة من السيليكون والمغنزيوم لاستخدامها في بعض التطبيقات الصناعية.
- 2 . معالجة العينات المحضّرة حرارياً لتحسين خصائصها البنيوية والميكانيكية.
- 3 . دراسة البنية البلورية للعيّنات المحضّرة قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية عليها وإجراء اختبار قساوة فيكرز عليها.

3 . مواد وطرق البحث:

3 . 1 . الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- * ميزان إلكتروني من نوع Precisa 3100 تبلغ حساسيته 10^{-2} gr
كما يبيّن الشكل (1).
- * فرن الصهر وهو من نوع CARBOLITE الشكل (2).
- * بوتقة الصهر.
- * قالب الصبّ : وهو قالب فولاذي مكوّن من جزأين يسهل انطباقهما على بعضهما البعض
، حيث يشكلان بداخلهما تجويفين ، أحد هذين التجويفين اسطواني الشكل بطول 163
cm وقطر 13 mm ، والتجويف الآخر بشكل متوازي مستطيلات أبعاده
13×13×153 cm .
- * جهاز انعراج الأشعة السينية (XRD) نوع (PW-1840) من إنتاج شركة
PHILIPS ، ذو مصعد من الكوبالت Co ، يعطي الطول الموجي $\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$.
- * جهاز قساوة فيكرز Vickers Hardness من نوع HARTEPRUFER
GNEHM:230 ، مزوّد بشاشة تعمل باللمس ، الشكل (5).

3 . 2 . تحضير العينات:

تمّ وزن قطع صلبة من الألمنيوم ذو النقاوة العالية ثم حساب الكميّة المقابلة لها من العناصر المضافة للسبيكة وهي الزنك والمغنزيوم والسيليكون والتي وضعت بشكل قطع صغيرة صلبة أيضاً وتمّ وضع السيليكون بشكل حبيبات صغيرة لضمان توزيعه في السبيكة بشكل جيّد ، تمّ وضع الكميات المقابلة من هذه العناصر بحيث تحقق النسب المطلوبة ، وقد تمّ تغليف كل مادّة من هذه المواد برقاقة من الألمنيوم مع مراعاة زيادة الكميّة المضافة بمقدار حوالي 10% لاعتبارات الفقد الحاصل نتيجة عملية التأكسد وعدم الذوبان بشكل جيّد.

وضعت القطع الصلبة للألمنيوم في بوتقة الصهر ثم وضعت في الفرن ، وتمت عملية الصهر عند الدرجة 850°C ، ومن ثم تم إضافة مكونات السبيكة الأخرى والتحريك الجيد للمصهور بوساطة قضيب معدني مخصّص لعملية التحريك ، ثم إعادة البوتقة إلى الفرن مرة أخرى لفترة زمنية قصيرة . ثم تم إخراج البوتقة من جديد وسكب المصهور في قالب الصب والذي تم تسخينه مسبقاً عند الدرجة 250°C تفادياً للتجمد المباشر للمصهور [3].

وأخيراً تم إخراج المسبوكات من داخل القالب بعد تبريده.

كزّرت العملية السابقة بإضافة النسب الوزنية المطلوبة للسيليكون والمغنزيوم للحصول على العينات المطلوبة.

وبيّن الجدول الآتي تركيب العينات التي تم الحصول عليها:

رقم العينة	Al	Zn [%]	Mg [%]	Si [%]	Others[%]
(معيارية) 1	Bal	5	1	1	1 >
2	Bal	5	2	1	1 >
3	Bal	5	3	1	1 >
4	Bal	5	4	1	1 >
5	Bal	5	1	2	1 >
6	Bal	5	1	3	1 >
7	Bal	5	1	4	1 >

جدول (2) : النسب الوزنية للعناصر الداخلة في تركيب العينات المحضرة

4 . النتائج ومناقشتها :

تمت دراسة البنية البلورية للعينات المحضرة و إجراء اختبار القساوة عليها قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية ، حيث تمت دراسة العينات المحضرة بنيوياً باستخدام تقانة انعراج الأشعة السينية (X-Ray Diffraction) XRD حيث تظهر أطيف انعراج الأشعة السينية الناتجة قمم انعراج واضحة والتي تعتبر نتيجة للتداخل البناء للأشعة السينية المنعكسة عن المستويات البلورية المحققة لشرط براغ في الإنعراج.

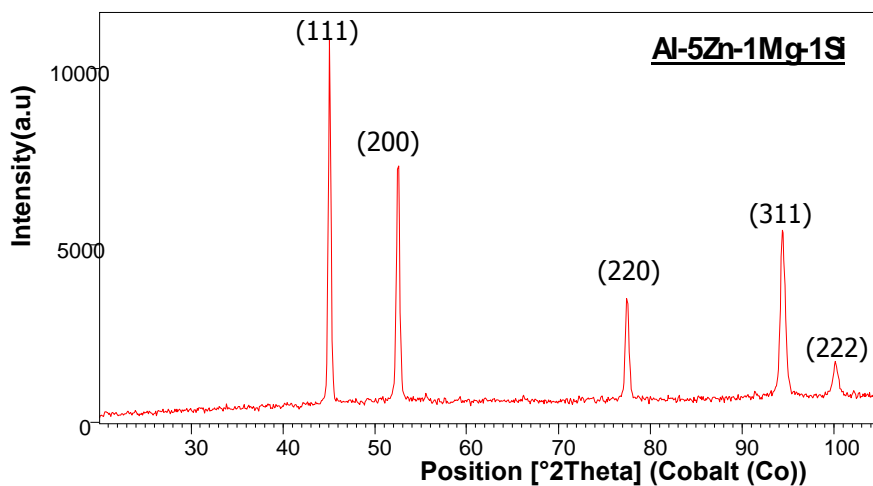
وأجري اختبار القساوة على العينات باستخدام جهاز قساوة فيكرز.

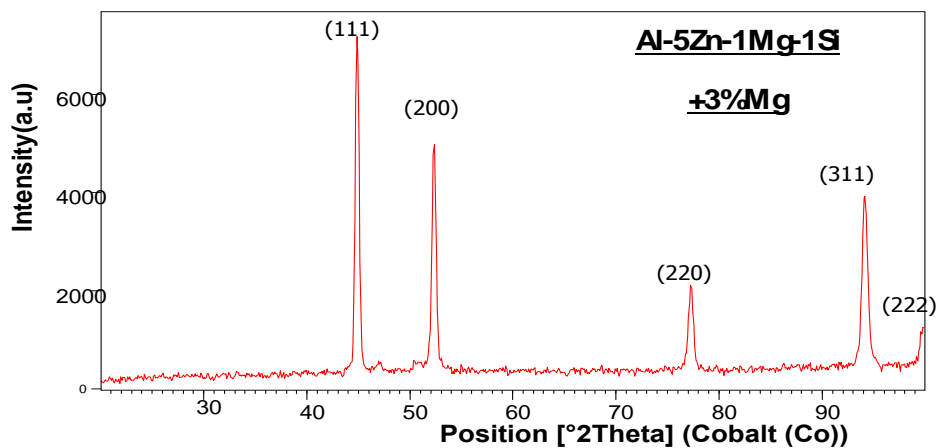
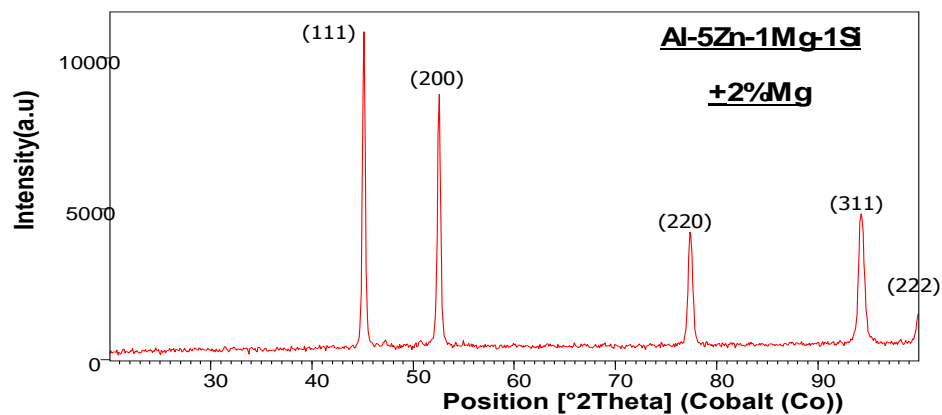
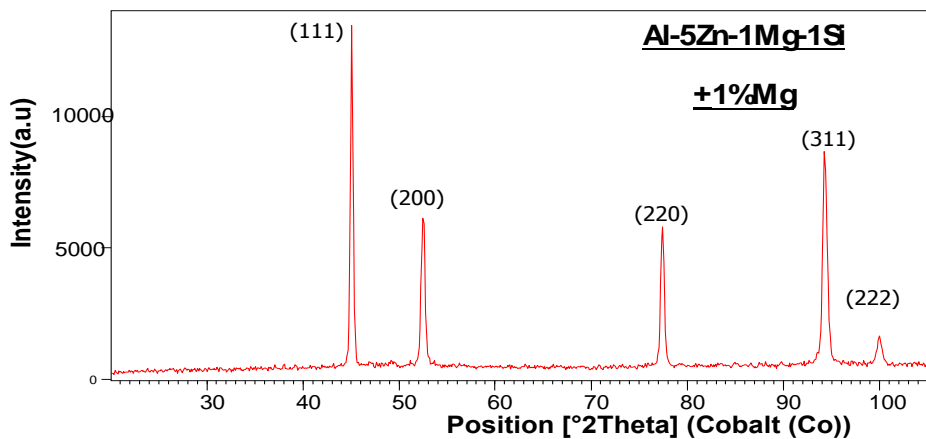
4 . 1. دراسة البنية البلورية للعينات المحضرة :

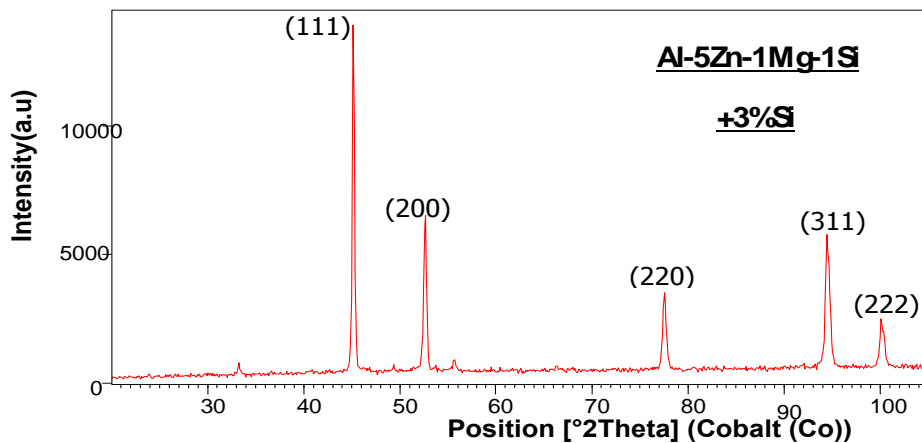
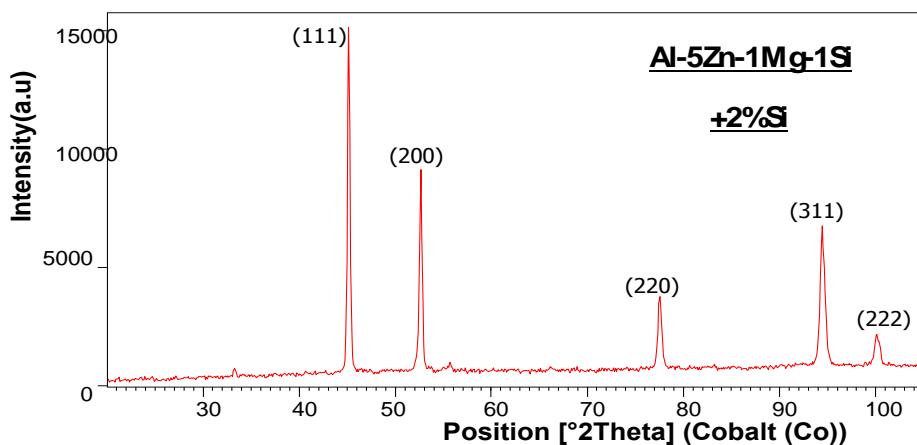
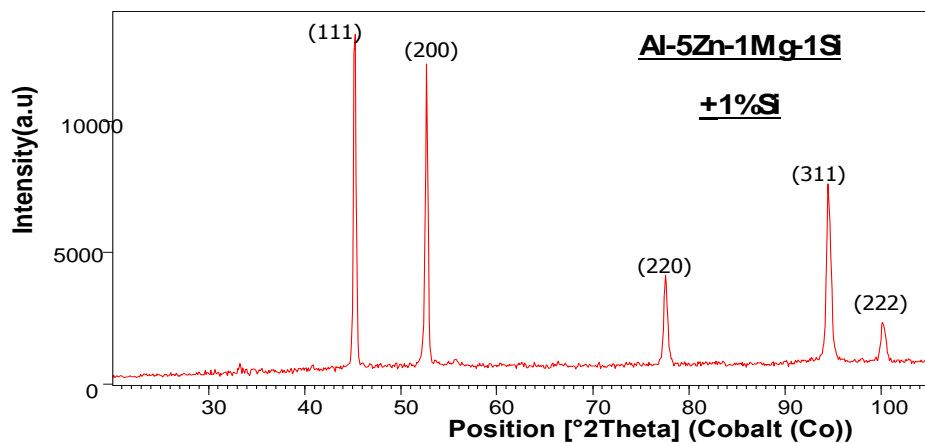
4.1.1.4. الدراسة البنيوية قبل تطبيق المعالجة الحرارية:

تبيّن من خلال دراسة أطيف انعراج الأشعة السينية وبالاستعانة ببنك المعلومات والمقارنة مع البطاقة المرجعية ذات الرقم (5-90-7429) تبيّن ظهور قمم انعراج واضحة عائدة للمستويات البلورية ذات قرائن ملر (222), (311), (220), (200), (111) والموافقة لزوايا الإنعراج (2θ) كما هو موضّح في الجدولين (3) و (4). وهذه المستويات عائدة لمعدن الألمنيوم والذي يتبلور وفق البنية المكعبية المركزية الوجوه (Face Central Cubic) Fcc وينتمي إلى المجموعة الفراغية Fm3m، وثابت الشبكة البلورية لها $a = 4.049 \text{ \AA}$. وقد لوحظ انزياحاً طفيفاً في قيم زوايا الانعراج (2θ) الموافقة للقمم المتشكّلة بالمقارنة مع البطاقة المرجعية كما هو مبين في الجدولين (3) و (4).

وتبيّن الأشكال الآتية أطيف الإنعراج الناتجة للعينات المحضرة قبل تطبيق المعالجة الحرارية:







يلاحظ من خلال أطيايف الإنعراج عند إضافة المغنيزيوم إلى العينة المعيارية (الأساسية) ارتفاع في شدات قمم الانعراج عموماً عند الإشابة بالنسب السابقة وذلك بالمقارنة مع طيف العينة الأساسية، وهذا يدلّ على تغيّر في الخصائص البنيوية للعينات المحضّرة ما يعني تغيّراً في خصائصها الميكانيكية.

ولوحظ أيضاً عند الإشابة بالسيليكون ارتفاعاً في شدات قمم الإنعراج عموماً عند الإشابة بالنسب السابقة للسيليكون وذلك بالمقارنة مع طيف العينة الأساسية مما يعني تغيّراً في الخصائص الميكانيكية أيضاً.

تمّ حساب البعد بين المستويات البلورية d من خلال تطبيق معادلة براغ في الإنعراج [6]:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

حيث:

n : عدد صحيح يمثل رتبة الإنعراج.

λ : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة وهي هنا ($\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$).

d : البعد بين المستويات البلورية (\AA)

θ : الزاوية بين حزمة الأشعة الواردة والمستويات البلورية (rad) .

وتم أيضاً حساب الحجم الحبيبي D بالاستعانة بعلاقة ديبي - شيرر [5]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta} \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث أنّ K : ثابت ويساوي 0.9.

λ : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة ($\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$).

β : العرض عند منتصف الشدة العظمى لقمم الإنعراج (rad) .

θ : الزاوية بين حزمة الأشعة الواردة والمستويات البلورية (rad) .

وتم حساب ثابت الشبكة البلورية a باستخدام علاقة البعد بين المستويات البلورية للبنية المكعبية :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \dots\dots\dots (3)$$

حيث أن d : البعد بين المستويات البلورية (\AA) .

a : ثابت الشبكة البلورية (\AA) . h, k, l : قرائن ملر للمستويات البلورية.

وبلاحظ من خلال نتائج الحسابات السابقة والمبينة في الجداول (3) و (4) و (5) ازدياداً في قيمة ثابت الشبكة البلورية a عند ازدياد نسب الإشابة بالمغنزيوم وذلك بالمقارنة مع قيمة ثابت الشبكة البلورية للعينه الأساسية، ويفسر هذا الأمر باعتبار أن نصف قطر ذرة المغنزيوم 1.6 \AA أكبر من نصف قطر ذرة الألومنيوم 1.43 \AA مايعني زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من المغنزيوم.

ولوحظ أيضاً انخفاضاً في قيمة ثابت الشبكة البلورية a عند الإشابة بالنسب السابقة للسيليكون وذلك بالمقارنة مع قيمة ثابت الشبكة البلورية للعينه الأساسية، باعتبار أن نصف قطر ذرة السيليكون 1.17 \AA أصغر من نصف قطر ذرة الألومنيوم 1.43 \AA مايعني نقصاناً في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من السيليكون.

وقد لوحظ أيضاً بالنسبة للحجم الحبيبي D وعند الإشابة بالمغنزيوم أنّ العينات المحضّرة عند نسب إشابة عالية من المغنزيوم تملك حجم حبيبي D أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إشابة منخفضة منه .

وعند الإشابة بالسيليكون لوحظ أنّ العينات المحضّرة عند نسب إشابة عالية من السيليكون تملك حجم حبيبي D أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إشابة منخفضة منه ، ويفسر نقصان الحجم الحبيبي بسبب ازدياد حدود الحبيبات (grain boundry) مايعيق نمو البلورات.

وتوضّح الجداول الآتية نتائج الحسابات :

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	Rel.Int. [%]	2θ (°) تجريبياً	2θ (°) بطاقة مرجعية	θ (°) تجريبياً	تجريبياً θ (rad)	$d(A^\circ)$	$a(A^\circ)$	$a_{avg}(A^\circ)$
أساسية (معيّارية)	(111)	100	45.071	44.988	22.535	0.393	2.333	4.042	4.042
	(200)	56.82	52.509	52.455	26.254	0.458	2.021	4.043	
	(220)	17.02	77.490	77.376	38.745	0.676	1.429	4.042	
	(311)	23.96	94.379	94.207	47.189	0.823	1.219	4.043	
	(222)	4.63	100.13 3	99.844	50.066	0.873	1.166	4.040	
1% Mg	(111)	100	45.066	44.988	22.533	0.393	2.334	4.042	4.045
	(200)	43.29	52.475	52.455	26.237	0.457	2.023	4.046	
	(220)	40.97	77.435	77.376	38.717	0.675	1.430	4.044	
	(311)	61.65	94.290	94.207	47.145	0.822	1.220	4.046	
	(222)	8.18	99.978	99.844	49.989	0.872	1.167	4.045	
2%Mg	(111)	100	45.118	44.988	22.559	0.393	2.331	4.038	
	(200)	77.79	52.542	52.455	26.271	0.458	2.020	4.041	

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألنيوم مشابة بالسيليكون والمغنزيوم

(220)	35.42	77.393	77.376	38.696	0.675	1.430	4.046	4.044
(311)	39.23	94.244	94.207	47.122	0.822	1.220	4.048	
(222)	9.55	99.974	99.844	49.987	0.872	1.167	4.045	

(111)	100	44.872	44.988	22.436	0.391	2.343	4.059	4.054
(200)	67.44	52.325	52.455	26.162	0.456	2.02	4.057	
3%Mg (220)	25.16	77.294	77.376	38.647	0.674	1.432	4.050	
(311)	50.36	94.130	94.207	47.065	0.821	1.221	4.051	
(222)	15.56	99.773	99.844	49.886	0.870	1.169	4.051	

الجدول (3) : نتائج الحسابات للعيينة المعيارية (بدون إضافات) و للعينات المضاف إليها المغنزيوم قبل تطبيق المعالجة الحرارية.

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	Rel.Int. [%]	2θ (°) تجريبياً	2θ (°) بطاقة مرجعية	θ (°) تجريبياً	تجريبياً θ (rad)	d(A°)	a(A°)	a _{avg} (A°)
1%Si	(111)	100	45.211	44.988	22.605	0.394	2.326	4.030	4.036
	(200)	87.15	52.670	52.455	26.335	0.459	2.016	4.032	
	(220)	25.91	77.593	77.376	38.796	0.677	1.427	4.037	
	(311)	51.36	94.491	94.207	47.245	0.824	1.218	4.040	
	(222)	11.23	100.157	99.844	50.078	0.874	1.166	4.040	
2%Si	(111)	100	45.145	44.988	22.572	0.393	2.330	4.035	4.038
	(200)	58.77	52.640	52.455	26.320	0.459	2.017	4.034	
	(220)	20.42	77.568	77.376	38.784	0.676	1.427	4.038	
	(311)	40.3	94.442	94.207	47.221	0.824	1.218	4.041	
	(222)	8.68	100.087	99.844	50.043	0.873	1.166	4.042	
3%Si	(111)	100	45.160	44.988	22.580	0.394	2.329	4.034	4.038
	(200)	45.9	52.617	52.455	26.308	0.459	2.018	4.036	
	(220)	21.91	77.561	77.376	38.780	0.676	1.428	4.039	
	(311)	38.03	94.469	94.207	47.234	0.824	1.218	4.040	
	(222)	12.97	100.138	99.844	50.069	0.873	1.166	4.040	

الجدول (4) : نتائج الحسابات للعينات المضاف إليها السيليكون قبل تطبيق المعالجة الحرارية.

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسيبكية ألومنيوم مشابة بالسيليكون والمغنزيوم

النسبة المضافة	قُرآن ملر (hkl)	2θ (°) تجريبياً	λ (°)	λ (rad)	D (nm)	D _{avg} (nm)
أساسية (معياريّة)	(111)	45.071	0.3936	0.00687	25.374	27.671
	(200)	52.509	0.3936	0.00687	26.132	
	(220)	77.490	0.3936	0.00687	30.049	
	(311)	94.379	0.492	0.00858	27.589	
	(222)	100.133	0.492	0.00858	29.209	
1%Mg	(111)	45.066	0.3936	0.00687	25.373	29.112
	(200)	52.475	0.3936	0.00687	26.128	
	(220)	77.435	0.3936	0.00687	30.037	
	(311)	94.290	0.492	0.00858	27.566	
	(222)	99.978	0.3936	0.00687	36.452	
2%Mg	(111)	45.118	0.2952	0.00515	33.838	28.142
	(200)	52.542	0.3936	0.00687	26.136	
	(220)	77.393	0.492	0.00858	24.023	
	(311)	94.244	0.492	0.00858	27.554	
	(222)	99.974	0.492	0.00858	29.160	
3%Mg	(111)	44.872	0.3936	0.00687	25.355	26.957
	(200)	52.325	0.3936	0.00687	26.112	
	(220)	77.294	0.492	0.00858	24.006	
	(311)	94.130	0.5904	0.01030	22.937	
	(222)	99.773	0.3936	0.00687	36.375	
1%Si	(111)	45.211	0.2952	0.00515	33.849	31.793
	(200)	52.670	0.3936	0.00687	26.150	
	(220)	77.593	0.2952	0.00515	40.094	
	(311)	94.491	0.3936	0.00687	34.523	
	(222)	100.157	0.5904	0.01030	24.347	
2%Si	(111)	45.145	0.3936	0.00687	25.381	27.679
	(200)	52.640	0.3936	0.00687	26.147	
	(220)	77.568	0.3936	0.00687	30.065	
	(311)	94.442	0.492	0.00858	27.606	
	(222)	100.087	0.492	0.00858	29.195	

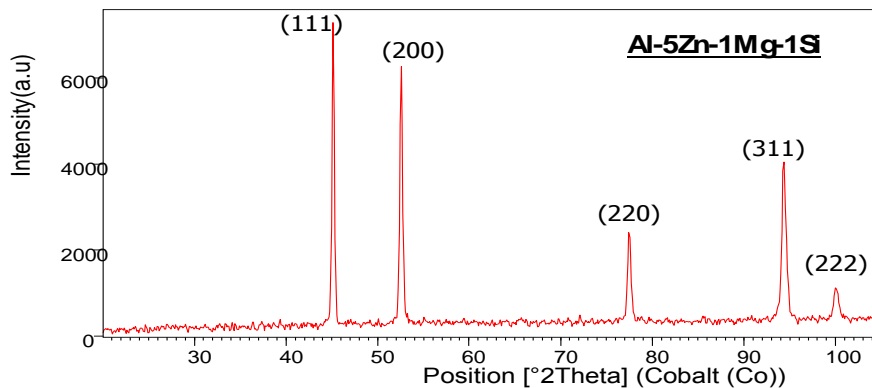
3%Si	(111)	45.160	0.2952	0.00515	33.843	31.118
	(200)	52.617	0.2952	0.00515	34.859	
	(220)	77.561	0.3936	0.00687	30.064	
	(311)	94.469	0.492	0.00858	27.613	
	(222)	100.138	0.492	0.00858	29.210	

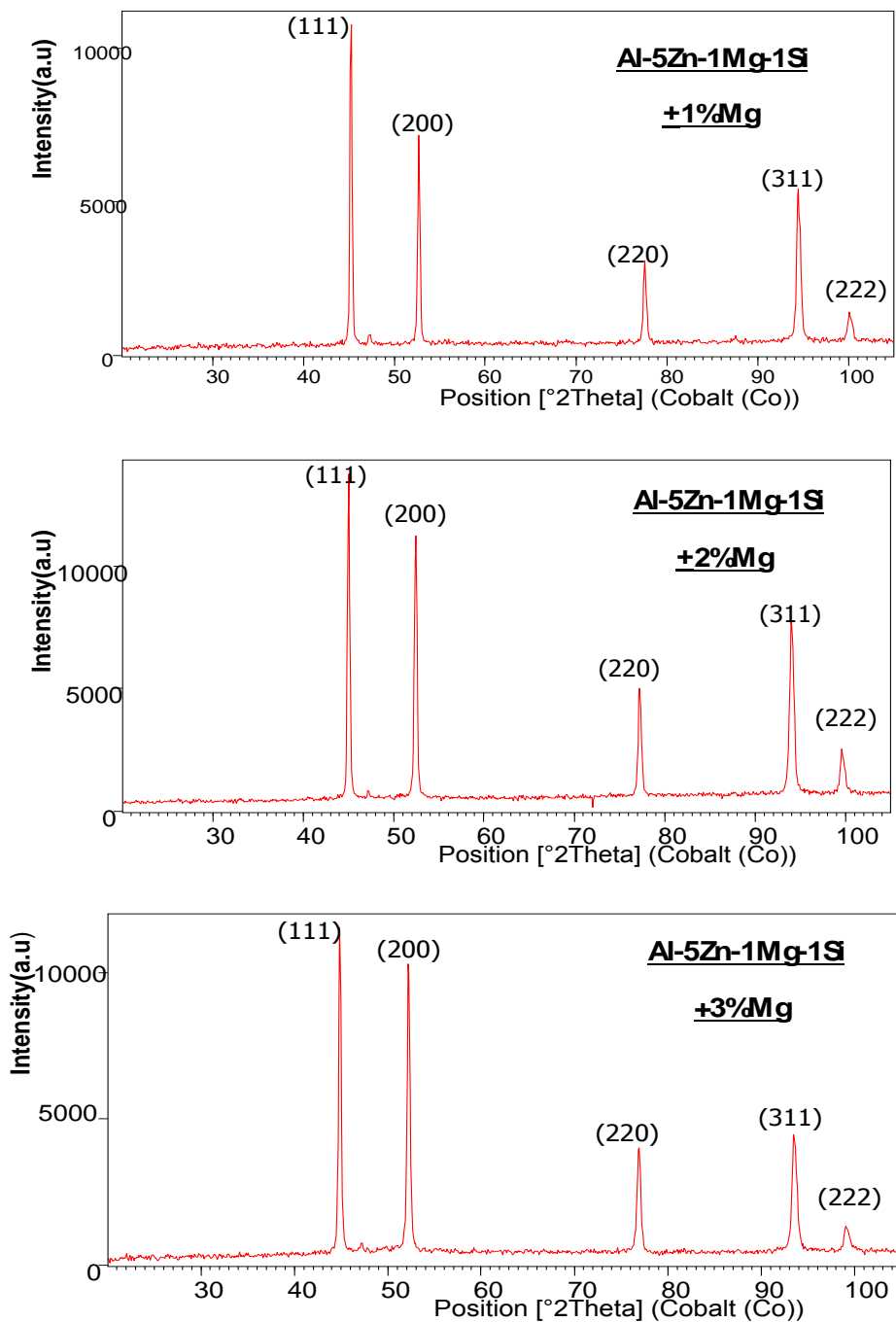
الجدول (5) : نتائج الحسابات قبل تطبيق المعالجة الحرارية.

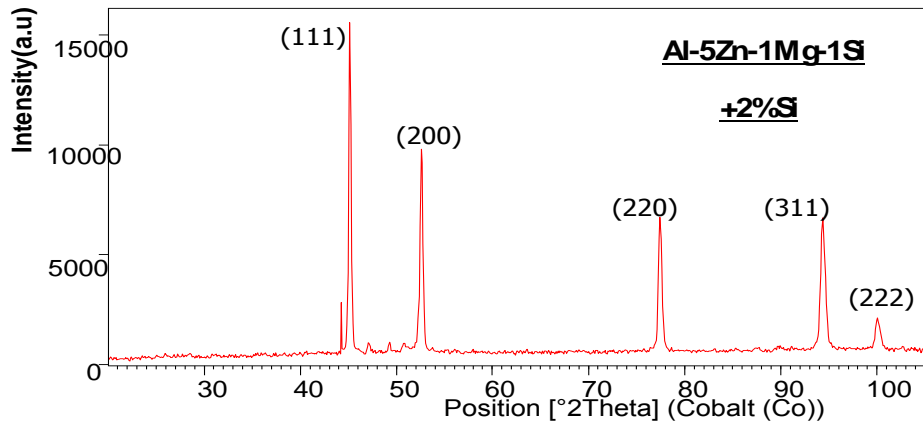
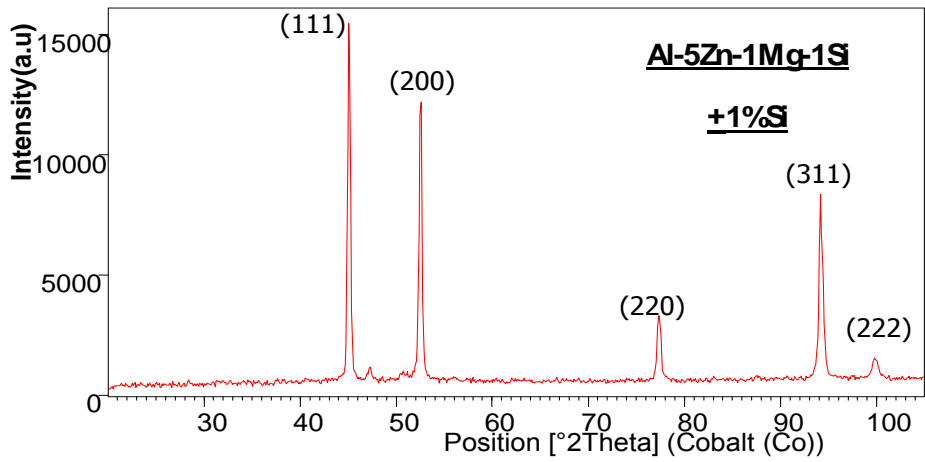
2.1.4. الدراسة البنيوية بعد تطبيق المعالجة الحرارية:

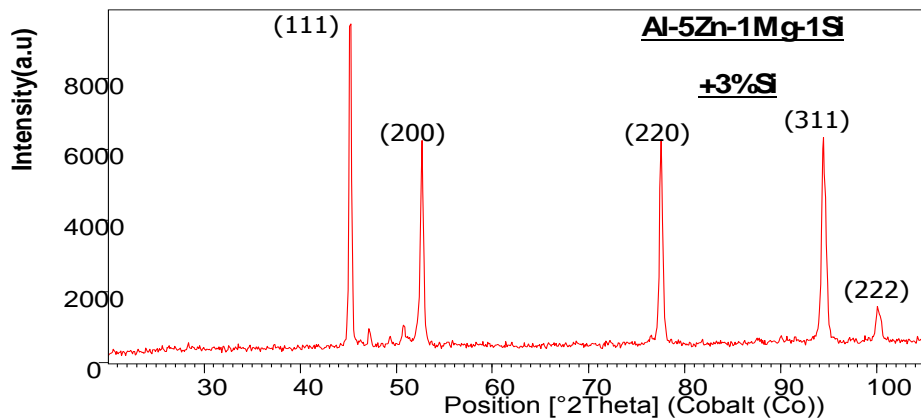
تبيّن من خلال أطياف الانعراج التي حصلنا عليها بعد تطبيق المعالجة الحرارية عند الدرجة 520°C لمدة نصف ساعة وبالإستعانة أيضاً ببنك المعلومات والبطاقة المرجعية ذات الرقم () 7429-90-5 تبيّن ظهور قمم انعراج واضحة عائدة للمستويات البلورية ذات قرائن ملر الموضحة على أطياف الانعراج أدناه، مع البنية البلورية FCC للألمنيوم أي دون حدوث انتقال طوري بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

وتبيّن الأشكال الآتية أطياف انعراج الأشعة السينية بعد تطبيق المعالجة الحرارية:









تمّ حساب كل من البعد بين المستويات البلورية d والحجم الحبيبي D وثابت الشبكة البلورية a باستخدام العلاقات (1) و (2) و (3) والجداول الآتية توضّح نتائج هذه الحسابات:

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	Rel.Int. [%]	2θ (°) تجريبياً	2θ (°) بطاقة مرجعية	θ (°) تجريبياً	θ (rad) تجريبياً	d (Å)	a (Å)	a_{avg} (Å)
أساسية	(111)	100	45.145	44.988	22.572	0.393	2.330	4.036	4.041
	(200)	84.98	52.553	52.455	26.276	0.458	2.020	4.040	
	(220)	28.67	77.509	77.376	38.754	0.676	1.428	4.041	
	(311)	52.17	94.349	94.207	47.174	0.823	1.219	4.044	
	(222)	10.31	100.040	99.844	50.020	0.873	1.167	4.043	
1%Mg	(111)	100	45.223	44.988	22.611	0.394	2.326	4.0294	4.036
	(200)	63.79	52.669	52.455	26.334	0.459	2.016	4.0325	
	(220)	24.4	77.593	77.376	38.796	0.677	1.427	4.0377	
	(311)	45.42	94.458	94.207	47.229	0.824	1.218	4.0411	
	(222)	8.83	100.069	99.844	50.034	0.873	1.167	4.0427	
2%Mg	(111)	100	45.024	44.988	22.512	0.392	2.336	4.046	4.052
	(200)	80.32	52.427	52.455	26.213	0.457	2.024	4.049	
	(220)	32.26	77.244	77.376	38.622	0.674	1.432	4.053	
	(311)	51.6	94.019	94.207	47.009	0.820	1.222	4.055	
	(222)	13.07	99.565	99.844	49.783	0.868	1.171	4.057	

	(111)	100	44.854	44.988	22.427	0.391	2.344	4.0607	
	(200)	90.53	52.205	52.455	26.102	0.455	2.032	4.0658	
3%Mg	(220)	32.56	76.910	77.376	38.455	0.671	1.438	4.0679	
	(311)	34.98	93.500	94.207	46.750	0.815	1.228	4.0728	4.068
	(222)	7.52	99.055	99.844	49.527	0.864	1.175	4.0730	

الجدول (6) : نتائج الحسابات للعينة المعيارية (بدون إضافات) و للعينات المضاف إليها المغنيزيوم بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألنيوم مشابة بالسيليكون والمغنزيوم

1%Si	(111)	100	45.078	44.988	22.539	0.393	2.333	4.041	4.046
	(200)	78.57	52.516	52.455	26.258	0.458	2.021	4.043	
	(220)	17.79	77.386	77.376	38.693	0.675	1.430	4.046	
	(311)	48.46	94.197	94.207	47.098	0.822	1.221	4.049	
	(222)	5.18	99.830	99.844	49.915	0.871	1.169	4.049	
2%Si	(111)	100	45.154	44.988	22.577	0.394	2.329	4.035	4.040
	(200)	63.07	52.597	52.455	26.298	0.459	2.018	4.037	
	(220)	40.14	77.466	77.376	38.733	0.676	1.429	4.043	
	(311)	39.47	94.350	94.207	47.175	0.823	1.219	4.044	
	(222)	9.37	100.03 4	99.844	50.017	0.872	1.167	4.043	
3%Si	(111)	100	45.204	44.988	22.602	0.394	2.327	4.031	4.037
	(200)	59.87	52.644	52.455	26.322	0.459	2.017	4.034	
	(220)	58.67	77.578	77.376	38.789	0.677	1.427	4.038	
	(311)	59.14	94.448	94.207	47.224	0.824	1.218	4.041	
	(222)	10.19	100.07 2	99.844	50.036	0.873	1.167	4.042	

الجدول (7) : نتائج الحسابات للعينات المضاف إليها السيليكون بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	2θ (°) تجريبياً	λ (°)	λ (rad)	D (nm)	D _{avg} (nm)
أساسية	(111)	45.145	0.3936	0.00687	25.381	27.667
	(200)	52.553	0.3936	0.00687	26.137	
	(220)	77.509	0.3936	0.00687	30.053	
	(311)	94.349	0.492	0.008587	27.582	
	(222)	100.040	0.492	0.008587	29.181	
1%Mg	(111)	45.223	0.2952	0.00515	33.850	30.145
	(200)	52.669	0.2952	0.00515	34.867	
	(220)	77.593	0.3936	0.00687	30.071	
	(311)	94.458	0.492	0.00858	27.610	
	(222)	100.069	0.5904	0.01030	24.324	
2%Mg	(111)	45.024	0.2952	0.00515	33.826	30.070
	(200)	52.427	0.2952	0.00515	34.831	
	(220)	77.244	0.3936	0.00687	29.997	
	(311)	94.0192	0.492	0.00858	27.496	
	(222)	99.565	0.5904	0.01030	24.198	
3%Mg	(111)	44.854	0.3936	0.00687	25.354	27.391
	(200)	52.205	0.2952	0.00515	34.798	
	(220)	76.910	0.3936	0.00687	29.928	
	(311)	93.500	0.5904	0.01030	22.803	
	(222)	99.055	0.5904	0.01030	24.071	
1%Si	(111)	45.078	0.2952	0.00515	33.833	30.102
	(200)	52.516	0.2952	0.00515	34.844	
	(220)	77.386	0.3936	0.00687	30.027	
	(311)	94.197	0.492	0.00858	27.542	
	(222)	99.830	0.5904	0.01030	24.264	
2%Si	(111)	45.1542	0.3936	0.00687	25.381	
	(200)	52.597	0.2952	0.00515	34.856	

	(220)	77.466	0.3936	0.00687	30.044	29.408
	(311)	94.350	0.492	0.00858	27.582	
	(222)	100.034	0.492	0.00858	29.179	
3%Si	(111)	45.204	0.2952	0.00515	33.848	29.372
	(200)	52.644	0.3936	0.00687	26.147	
	(220)	77.578	0.3936	0.00687	30.068	
	(311)	94.448	0.492	0.00858	27.607	
	(222)	100.072	0.492	0.00858	29.190	

الجدول (8) : نتائج الحسابات للعينة المعيارية (بدون إضافات) و للعينات المضاف إليها المغنزيوم بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

يُلاحظ من خلال أطيايف الانعراج بعد تطبيق المعالجة الحرارية وعند إضافة المغنزيوم بالنسب السابقة تغيّري شدات قمم الانعراج مايعني تغيّراً في البنية البلورية ، ويلاحظ أيضاً من خلال أطيايف انعراج الأشعة السينية بعد تطبيق المعالجة الحرارية عند إضافة السيليكون بالنسب السابقة ارتفاع في شدّات بعض القمم أيضاً مايعكس تغيّراً في البنية البلورية.

ويلاحظ عند حساب ثابت الشبكة البلورية a وعند إضافة المغنزيوم زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية بعد تطبيق المعالجة الحرارية ، ولوحظ أيضاً زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من المغنزيوم وذلك بالمقارنة مع قيمة ثابت الشبكة البلورية للعينة الأساسية.

ولوحظ عند إضافة السيليكون زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية a للعينات بعد تطبيق المعالجة الحرارية ، ولوحظ تناقص في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من السيليكون على العينات المحضّرة.

أما بالنسبة لنتائج حسابات الحجم الحبيبي D لوحظ ازدياد في قيمة الحجم الحبيبي بعد تطبيق المعالجة الحرارية عنه قبل تطبيقها، وبالمقابل لوحظ أنّ العينات المحضّرة عند نسب إشابة عالية من المغنزيوم تملك حجم حبيبي D أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إشابة منخفضة منه.

وعند الإثابة بالسيليكون بالنسب السابقة لوحظ أنّ العينات المحضّرة عند نسب إثابة عالية من السيليكون تملك حجم حبيبي D أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إثابة منخفضة منه.

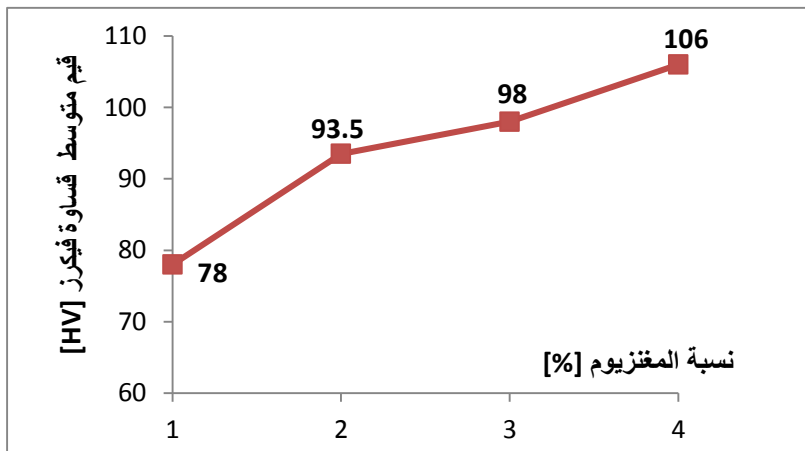
4. 1. 2. اختبار القساوة:

تم تطبيق اختبار القساوة باستخدام جهاز قساوة فيكرز المبين في الشكل جانباً، حيث تظهر قيمة القساوة على الشاشة المزوّدة بها الجهاز بعد وضع العينة في المكان المخصّص لها على الجهاز وتطبيق الحمولة عليها، وقد أُخذت قراءتين للقساوة بتطبيق حمولة الجهاز على مكانين مختلفين من العينة ومن ثم أخذ المتوسط الحسابي لهاتين القيمتين.

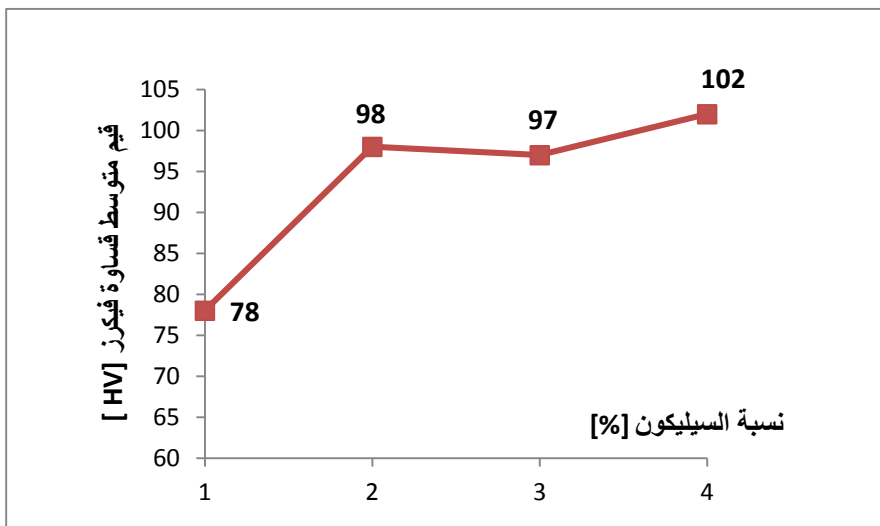
الشكل (5): جهاز قياس قساوة فيكرز.

4. 1. 2. 1. اختبار القساوة قبل تطبيق المعالجة الحرارية:

يُظهر الشكل (6) تغير قيم متوسط قساوة فيكرز بدلالة النسبة المئوية المضافة من المغنزيوم ، وبقراءة بيانيّة لهذا الخط البياني نلاحظ ازدياد قيم قساوة فيكرز للسبيكة بازدياد نسبة الإثابة بالمغنزيوم وفق النسب السابقة.



الشكل (6): قيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة المغنزيوم المضافة

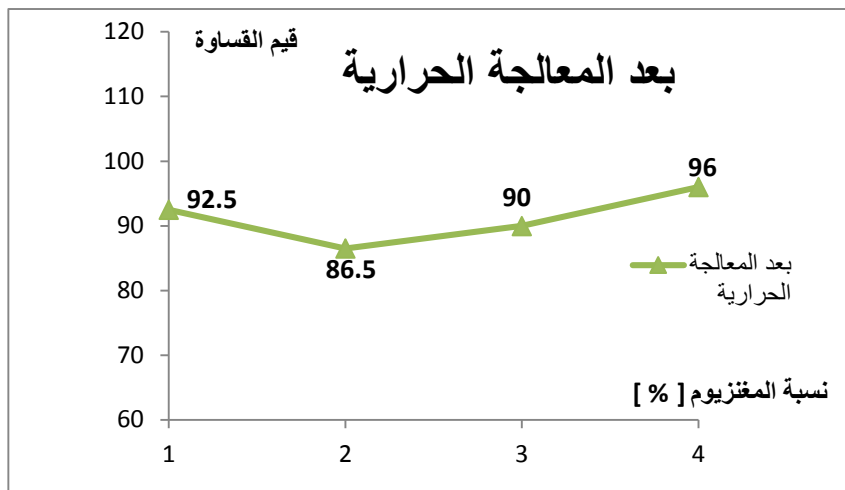


الشكل (7) : قيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة السيليكون.

وبقراءة بيانية أيضاً للشكل (7) نلاحظ ازدياداً في قيم قساوة فيكرز بازدياد نسبة الإشابة بالسيليكون .

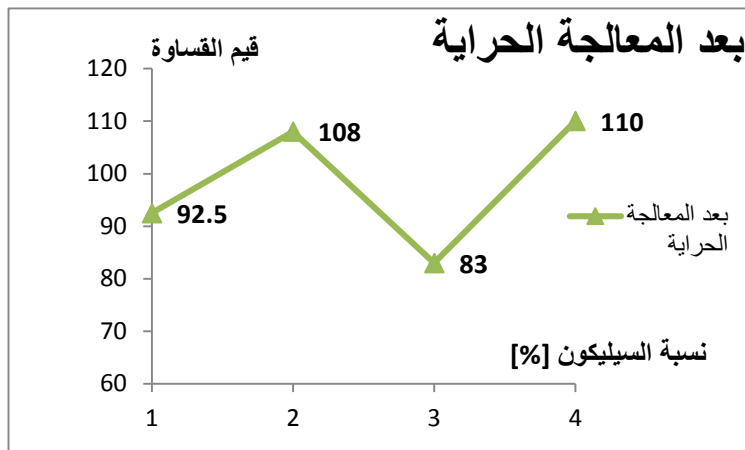
2.2.1.4. اختبار القساوة بعد تطبيق المعالجة الحرارية:

يُظهر الشكل (8) تغير قيم متوسط قساوة فيكرز بدلالة النسبة المئوية المضافة من المغنزيوم ، وبقراءة بيانية لهذا الخط البياني نلاحظ ازدياد قيم قساوة فيكرز للسبيكة بعد تطبيق العالجة الحرارية بازدياد نسبة الإشابة بالمغنزيوم وفق النسب المحضرة، ويفسر ارتفاع قيم قساوة فيكرز تبعاً لنقصان الحجم الحبيبي D حيث أصبحت البنية البلورية أنعم [3].



الشكل (8) : الخط البياني لقيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة المغنيزيوم المضافة

يُظهر الشكل (9) تغير قيم متوسط قساوة فيكرز بدلالة النسبة المئوية المضافة من السيليكون، ووجد أنّ العينة التي تحتوي على أعلى نسبة إشابة بالسيليكون تملك أكبر قيمة لقساوة فيكرز حيث تملك أصغر حجم حبيبي وهذا مايفسر ارتفاع قيمة قساوتها مقارنة مع بقية العينات.



الشكل (9) : الخط البياني لقيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة السيلكون المضافة.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

1. وجد تغيراً طفيفاً في قيمة كل من ثابت الشبكة البلورية a والحجم الحبيبي D عند إضافة كل من المغنزيوم والسيليكون إلى سبيكة $Al-Zn-Mg-Si$ قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية ورافق هذا التغير تغيراً في قيم القساوة .

2. لوحظ ازدياد في قيم قساوة فيكرز للعينات عموماً بازدياد النسبة المضافة من المغنزيوم وترافق هذا الازدياد عموماً مع نقصان الحجم الحبيبي D وهذا مايفسر ارتفاع قيم قساوة فيكرز ، وهذا يتوافق مع بعض الأعمال العلمية.

3. لوحظ بالنسبة للعينات المشابة بالسيليكون أنّ العينة التي تحتوي أعلى نسبة إشابة بالسيليكون تملك أكبر قيمة لقساوة فيكرز حيث تملك أصغر حجم حبيبي وهذا مايفسر ارتفاع قيمة قساوتها مقارنة مع بقية العينات المشابة بالسيليكون.

4. يوصى بتركيب عينات من سبيكة Al-Zn-Mg-Si مضافاً إليها نسب أعلى للسيليكون من النسب المضافة في هذا البحث للحصول على قيم قساوة أعلى.

6. المراجع:

- [1]. Davis J, 2001– Aluminum and Aluminum Alloys. ASM International, USA, 65p.
- [2]. Kaufman J, Rooy E, 2004–Aluminum Alloy Castings. ASM International, American Foundry Society, First printing, USA, 325p.
- [3]. Alassad M, Nefawy M, 2019, The Effect of Heat Treatments and Nickle Additive on The Microstructure and Hardness of 7075 Aluminum Alloy, Palestine Technical University Kadoori Journal, 7(2), 34–41. <https://doi.org/10.53671/pturj.v7i2.76>
- [4]. Kittel Charles, 2005–Introduction to Solid State Physics. John Wiley & sons, Inc, 8th ed, USA, 700p. <https://www.wiley.com/college/kittel>
- [5]. Alexander Leroy, Klung Harold, 1950 Determination of Crystallite Size the X-ray Spectrometer, Journal of Applied Physics, Vol 21 , 137–141. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1699612>

[6]. Pulido–Suarez P.A, Unate–Gonzalez, Tirado–Gonzalez J.G, Esguerra–Arce A, Esguerra–Arce J, 2020, The evolution of the microstructure and properties of ageable Al–Si–Zn–Mg alloy during the recycling of milling chips through powder metallurgy, Journal of Materials Research and Technology, 9(5), 11769–11777.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.045>