

دراسة الخواص البنيوية والميكانيكية والكهربائية لخلائط معدنية

من:

($Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$) المحضرة بطريقة التبريد البطيء (طريقة الضغط)

د. سعيد مندو و د. محمد حليبي

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة ادلب

طالب دكتوراه، كلية العلوم، جامعة ادلب

الملخص

في هذا البحث تم تحضير مجموعة من الخلائط المعدنية الثلاثية أساسها الألمنيوم ($Al-Mg-Cu$) حيث تم صهر العناصر معاً عند الدرجة $660^\circ C$ لمدة 6 ساعات من ثم تم تبريدها ببطء، بعد ذلك ضُغِطت على شكل أقراص دائرية بضغط قدره (15 Ton/cm^2)، ثم تم توصيف الخلائط المحضرة فيزيائياً وتمت مناقشة النتائج التي توصلنا إليها، ثم تمت دراسة البنية البلورية للخلائط المحضرة باستخدام طريقة انعراج الأشعة السينية، وأظهرت النتائج تشكل أطوار معدنية ببنية ($CuAl_2$)، (Al_3Mg_2)، ($Al_2Cu Mg$) أثرت على خواص الخلائط المحضرة .

كما تمت دراسة بعض الخواص الميكانيكية (القساوة) باستخدام جهاز فيكرز لقياس القساوة، والخواص الكهربائية (المقاومة النوعية الكهربائية) حيث تبين ازدياد القساوة عند زيادة كمية المغنيزيوم المضافة وبلغت القيمة العظمى للقساوة (69.21 Kgf/mm^2) وهي توافق الخليطة $Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$ ، وتبين أيضاً أن المقاومة النوعية الكهربائية تزداد مع زيادة كمية المغنيزيوم المضافة وبلغت القيمة العظمى للمقاومة النوعية الكهربائية ($54.65 \times 10^{-4} \Omega.m$) و هي توافق

الخليطة $Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$

الكلمات المفتاحية: خلأط معدنية، أأمنوم، مغنيزيوم، نحاس، القساوة، المقاومة النوعية الكهربائية، البنية البلورية.

1 - مقدمة:

يُعد الأأمنوم من أأثر العناصر غزارة بعد الحديد والسليكون في القشرة الأرضية، ولا يوجد الأأمنوم في القشرة الأرضية بصورة حرة وإنما على شكل مركبات، نظرًا للارتباط الكبير بينه وبين الأوكسجين، وإن كان ذلك يمثل عيبًا إلا أنه يعد في الوقت نفسه إحدى ميزات عنصر الأأمنوم.

يستخدم الأأمنوم وخالأطه في الكثير من التطبيقات الصناعية نظرًا لتمتعه بخواص فيزيائية وكيميائية جيدة، إلا أن استخدام الأأمنوم النقي في التطبيقات الصناعية التقنية نادر جدًا وذلك لأن خواصه لا تلبي احتياجات تلك التطبيقات إلا في حدود ضيقة حيث إن المعادن النقية تتميز بانخفاض متانتها كما أن خواصها الفيزيائية و الميكانيكية (الشدة و القساوة) لا تفي في أغلب الأحيان بما يتطلبه التطبيق الصناعي، لذا يستعاض عنها بالخالأط المعدنية التي تتميز بخواص ميكانيكية وتكنولوجية أفضل ويمكن التحكم بهذه الخواص بتغيير تركيبها الكيميائية بحيث تتوافق مع مستلزمات الصناعة [1,2,3].

لقد تطور علم الخالأط مع تطور بقية العلوم، ونتيجة للتطور الصناعي الكبير الذي شهده العالم في كافة المجالات سعى العلماء والباحثون إلى إيجاد خالأط معدنية ذات استخدامات صناعية متعددة.

من أهم خالأط الأأمنوم الأساسية هي: (الأأمنوم- نحاس)، (الأأمنوم- منجنيز) (الأأمنوم- نحاس -مغنيزيوم) (الأأمنوم- سيلكون)، (الأأمنوم- زنك).

ويمكن تقسيم العناصر الموجودة في خليطة الأأمنوم إلى قسمين:

1. عناصر موجدة بكميات صغيرة أو ضئيلة ولا مفر من وجودها ولهذا يمكن اعتبارها كمتضمنات أو شوائب.
2. عناصر تضاف بكميات محددة ومعلومة لإعطاء الألمنيوم خواص معينة وتدعى عناصر الخلط حيث تعمل هذه العناصر على تكوين مركبات طورية (أطوار بين معدنية) تؤدي إلى تحسين الخواص الفيزيائية للألمنيوم وعند المعاملة الحرارية لهذه الخلائط تترسب أطوار أخرى مما يؤدي إلى زيادة مقاومة هذه الخلائط [7].

a. وفي السنوات الأخيرة كان هناك اهتمام تجاري كبير بخلائط $AlMgCu$ التي تتميز بخواص فيزيائية جيدة عند درجات الحرارة المختلفة

يعتبر هذا البحث استكمالاً لأبحاث سابقة أجريت في العديد من المختبرات العالمية لتحضير خلائط الألمنيوم بطريقة التبريد البطيء (طريقة الضغط) وتوصيفها من خلال دراسة خصائصها البنيوية والميكانيكية والكهربائية والحرارية والمغناطيسية.

2 - الدراسة النظرية:

تعتبر طريقة انعراج الأشعة السينية من أهم الطرق المتبعة لدراسة البنية البلورية للمواد وتحديد معاملات الشبكة البلورية [13].

تتميز الأشعة السينية بطول موجي صغير من رتبة الأبعاد بين الذرات مما يجعلها تخترق الشبكة البلورية لمسافات كبيرة، حيث ينعرج جزء من الأشعة عند اصطدامه مع بعض الذرات الموجودة في مستويات الشبكة البلورية، ويعطي طيف الانعراج الناتج فكرة واضحة عن الترتيب الداخلي للبلورة إذ يكشف لنا عن الأطوار الموجودة.

لتحقيق ظاهرة الانعراج لابد من أن تكون المسافة بين المستويات الذرية من رتبة طول موجة الأشعة السينية المستخدمة، حيث تعطى المسافة بين المستويات الذرية بالعلاقة:

$$d_{hkl}^* = \frac{1}{d_{hkl}} = \frac{2\sin\theta}{\lambda} = ha + hb + lc \quad (1)$$

حيث: d_{hkl}^* شعاع الشبكة التبادلي، ولحساب ثوابت الشبكة البلورية لا بد من التمييز بين أنواع مختلفة للبنى البلورية نذكر منها:

أولاً: البنية البلورية مكعبة الشكل (Cubic Crystals):

يحدث الانعراج على المستويات البلورية لهذه البنية عندما تتحقق العلاقة التالية التي تم اشتقاقها من قانون براغ:

$$\frac{\sin^2\theta}{h^2 + k^2 + l^2} = \frac{\sin^2\theta}{S} = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (2)$$

$$S = h^2 + k^2 + l^2 \quad \frac{\lambda^2}{4a^2} = C \quad \text{حيث:}$$

ثانياً: البنية البلورية غير مكعبة الشكل (NonCubic Crystals):

ثالثاً: البنية البلورية للرباعي القائم (Tetragonal): تتميز هذه البنية أن قاعدتها تكون على شكل مربع ($a=b \neq c$) كما أن جميع الزوايا قائمة، وتعطى المسافة بين المستويات الذرية فيها بالعلاقة:

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

وعندما تصبح النسبة (c/a) تساوي الواحد تتحول البنية البلورية إلى بنية مكعبة.

رابعاً: البنية البلورية السداسية (hexagonal):

هذه البنية تتميز كما في الرباعي القائم بثابتين للشبكة البلورية (a, c)، حيث تعطى المسافة بين المستويات الذرية فيها بالعلاقة:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4)$$

كما يتميز الألمنيوم بقابلية عالية للسحب والطرق لأن شبكته البلورية مكعبة متركزة الوجوه (Fcc) [1,2,8].

إن خلائط الألمنيوم القابلة للتصلب بعملية التعتيق، ذات فائدة كبيرة للتطبيقات الهندسية بسبب التحسينات الكبيرة في مقاومة الخضوع والقساوة التي تحصل نتيجة المعالجات الحرارية [9].

تعتبر الخواص الميكانيكية والكهربائية للمعادن والخلائط المعدنية من الصفات الهامة التي تحدد سلوك المعدن أو الخليطة المعدنية تحت تأثير القوى الميكانيكية الخارجية المؤثرة عليه سواء كانت في صورة أحمال ساكنة أو متحركة. ولهذه الخواص أهمية كبيرة لكونها تعطي صورة واضحة عن صفات المعادن والخلائط المعدنية وقابلية تشكيلها وإمكانات استخدامها في الظروف الصناعية المختلفة [15].

لقد نُشرت دراسات مختلفة عن تطور البنية المجهرية، وخصائص الشد والقساوة والمقاومة النوعية الكهربائية وقابلية الكسر لخلائط الألمنيوم.

فقد قام عدد كبير من الباحثين بدراسة تأثير إضافة عناصر الخلط والمعاملة الحرارية على البنية المجهرية والخواص الميكانيكية والكهربائية لخلائط **Al-Cu** **Al-Cu-Mg alloys** و **alloys**

واهتم بعض الباحثين أيضاً بالتوصيف غير التدميري لخلائط الألمنيوم المعتقد. حيث قام العالمان Hagemaiier و Kleint بدراسة علاقة الناقلية الكهربائية بدلالة التعتيق بالإضافة لدراسة القساوة لخلائط الألمنيوم [10]، ودرس الباحث (M.Murayama) الأطوار المتكونة في (Al-Cu-Mg-Ag) قبل بدء عملية

الترسيب فيها أي في المراحل الأولية لعملية التعتيق باستعمال جهاز الاشعة السينية ودرس قساوة برينل للخليطة والمقاومة النوعية الكهربائية [7].

وفيما يتعلق بخلائطنا المدروسة تعتبر القساوة والمقاومة النوعية الكهربائية من أهم الخواص الفيزيائية، وذلك لأهمية هذه الخلائط التي يدخل في تركيبها بشكل أساسي الألمنيوم في صناعة هياكل الطائرات وعربات النقل وصناعة الكابلات والمحركات الكهربائية وتطبيقات صناعية أخرى.

3 - أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من البحث هو تحضير خلائط معدنية من $(Al_{1-x-y}Mg_xCu_y)$ بطريقة التبريد البطيء (الضغط) ومن ثم توصيفها من خلال دراسة خصائصها البنوية والميكانيكية والكهربائية، وذلك من أجل استخدامها في مجالات صناعية عديدة (هياكل الطائرات، الإنشاءات البحرية، هياكل المركبات الفضائية، صناعة الكابلات، وغيرها....).

4 - طريقة البحث:

في هذا البحث تم استخدام عناصر معدنية نقاوتها عالية 99.9%. تُوزن العناصر بدقة وفق النسب المطلوبة للخلائط المراد تحضيرها وتوضع في بوتقة من البورسلان وتدخل إلى فرن حراري درجة حرارته $660^{\circ}C$ بحيث توافق درجات الحرارة المناسبة للخلائط المحضرة وفق مخططات التوازن. يتم تحريك المصهور حتى نحصل على تجانس، تركت العينات في المرمدة لمدة 6 ساعات عند الدرجة المذكورة، بعدها أُخرجت من المرمدة وتُركت لتبرد ببطء إلى درجة حرارة الغرفة، ثم طُحنت وتم تحويلها إلى مسحوق ومن ثم ضُغطت على شكل أقراص صغيرة بواسطة مكبس تحت ضغط $(15)Ton/cm^2$ ، بعدها تم وضع العينات ضمن فرن حراري

ضبطت حرارته عند الدرجة 150°C وبعدها تم صقل وتلميع سطحها وأجريت عليها الدراسة البنوية والقياسات الميكانيكية والكهربائية.

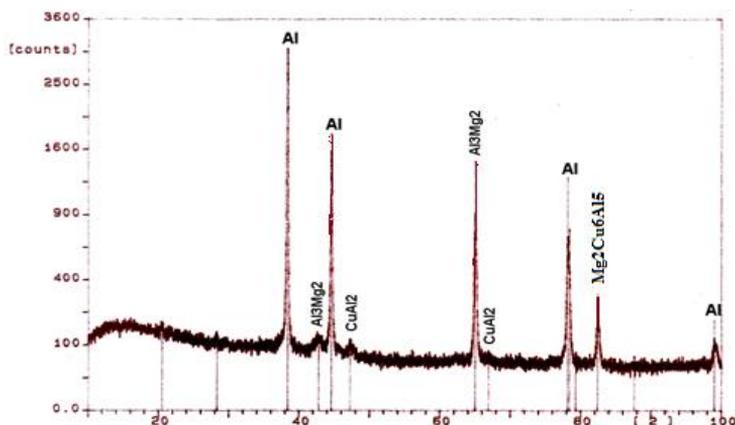
5 - الأجهزة المستخدمة:

1. جهاز انعراج الأشعة السينية (PW 3710) من إنتاج شركة (PHILIPS).
- والمصعد كان من النحاس وطول الموجة $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$
2. جهاز فيكرز للقساوة الميكروسكوبية (FM-7).
3. جهاز قياس المقاومة الكهربائية الصغيرة (MILLIOHM METER).

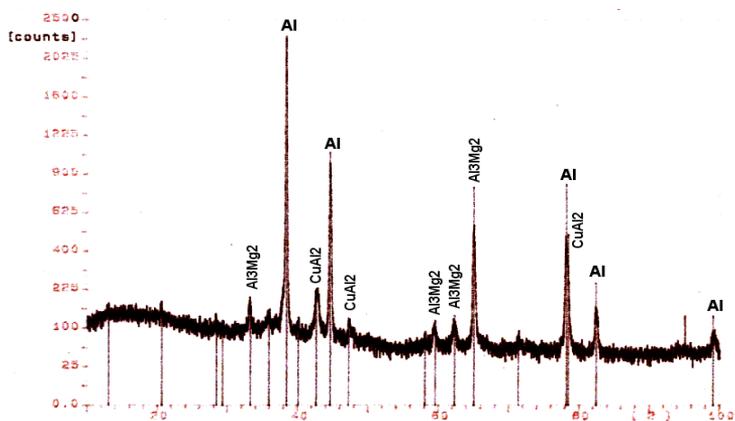
6 - النتائج والمناقشة:

6.1 . الخصائص البنوية للخلائط الثلاثية $\text{Al}_{1-x-y}\text{Mg}_x\text{Cu}_y$:

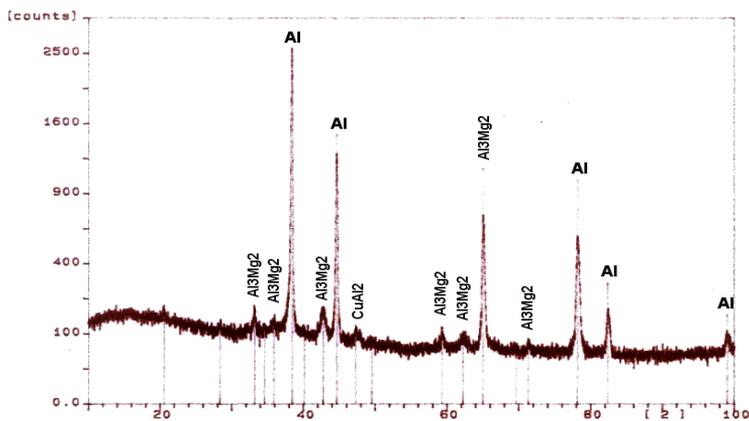
تظهر الأشكال رقم (1,2,3,4,5,6)، طيوف انعراج الأشعة السينية للخلائط الثلاثية $(\text{Al}_{1-x-y}\text{Mg}_x\text{Cu}_y)$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء (الضغط)، من أجل نسب المغنيزيوم المتغيرة (3%,5%,8%,10%,13%,15%) على الترتيب مع ثبات نسبة النحاس عند القيمة 2%. حيث نلاحظ فيها عدة قمم حادة ذات شدات مختلفة تُعزى إلى وجود الطور Al ذي البنية المكعبة متمركزة الوجوه Fcc، ونلاحظ وجود قمم تشير إلى تشكل مركبات بين معدنية من الألمنيوم والمغنيزيوم Al_3Mg_2 ذي البنية المكعبة متمركزة الوجوه Fcc، ومن الألمنيوم والنحاس CuAl_2 ذي البنية الرباعية الزوايا (Tetragonal)، نلاحظ أن إضافة النحاس أدت إلى تشكل الطور البين معدني CuAl_2 الذي يلعب دوراً كبيراً في تغيير الخصائص البنوية والميكانيكية للخلائط المحضرة.



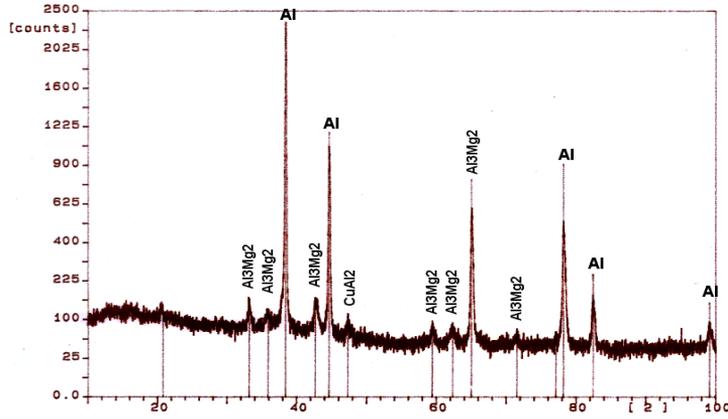
الشكل رقم (1): طيف انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$



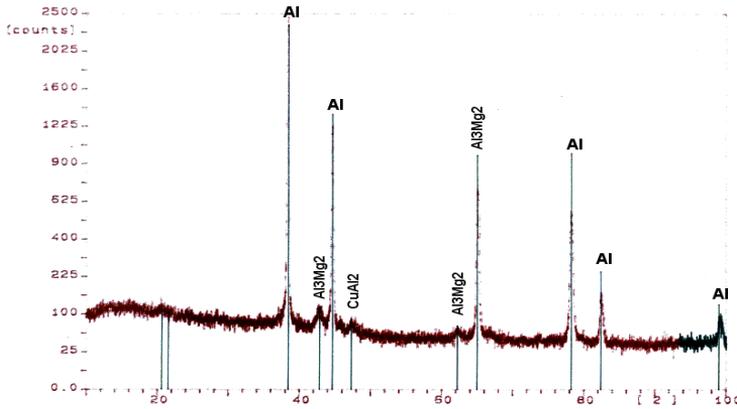
الشكل رقم(2): طيف انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$



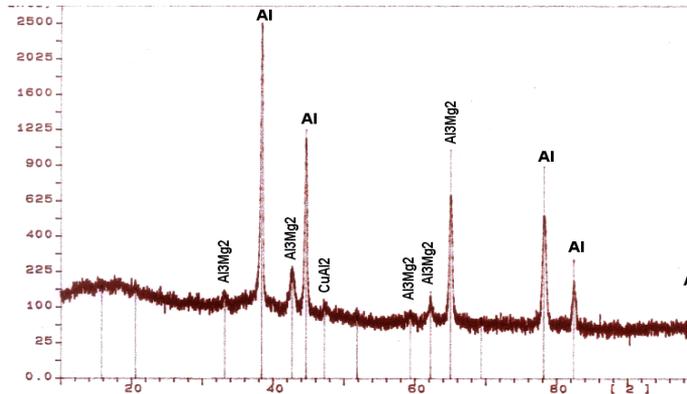
الشكل رقم (3): طيف انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$



الشكل رقم (4): طيف انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$



الشكل رقم (5): طيف انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$



الشكل (6): طيف انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$

والجداول (6,5,4,3,2,1)، تُظهر جميع الأطوار الموجودة في هذه الخلائط بالإضافة إلى بنيتها البلورية وقرائن ميلر والمسافة بين المستويات البلورية والشدات النسبية لها.

الجدول (1): انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$

| Phase | $d_{hkl} \text{ \AA}^\circ$ | الشدة (I/I_0) | hkl | $2\theta^\circ$ | Crystal system |
|------------|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------|----------------|
| Al_3Mg_2 | 2.6979 | 1.2 | (1022) | 33.180 | FCC |
| Al | 2.3435 | 100 | (111) | 38.38 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 2.1163 | 6.2 | (1331) | 42.690 | FCC |
| Al | 2.0274 | 48.8 | (200) | 44.660 | FCC |
| $CuAl_2$ | 1.9227 | 1.4 | (310) | 47.235 | Tetragonal |
| Al_3Mg_2 | 1.5554 | 1.2 | (1753) | 59.370 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 1.4911 | 3.8 | (14124) | 62.210 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 1.4331 | 41.6 | (121210) | 65.030 | FCC |
| Al | 1.2220 | 35.7 | (311) | 78.150 | FCC |
| Al | 1.1696 | 9.6 | (222) | 82.390 | FCC |
| Al | 1.0124 | 4.2 | (400) | 99.085 | FCC |

الجدول (2): انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$

| Phase | $d_{hkl} \text{ \AA}^\circ$ | الشدة (I/I_0) | hkl | $2\theta^\circ$ | Crystal system |
|------------|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------|----------------|
| Al_3Mg_2 | 2.6927 | 3.2 | (1022) | 33.245 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 2.5018 | 2.1 | (880) | 35.865 | FCC |
| Al | 2.3432 | 100 | (111) | 38.385 | FCC |
| $CuAl_2$ | 2.1203 | 6.4 | (112) | 42.605 | Tetragonal |
| Al | 2.0302 | 46.1 | (200) | 44.595 | FCC |
| $CuAl_2$ | 1.9235 | 2.6 | (310) | 47.215 | Tetragonal |
| Al_3Mg_2 | 1.5514 | 2.9 | (1753) | 59.540 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 1.4896 | 3.5 | (13135) | 62.280 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 1.4330 | 33.9 | (121210) | 65.035 | FCC |
| Al | 1.2216 | 35.4 | (311) | 78.185 | FCC |
| $CuAl_2$ | 1.2183 | 20.0 | (004) | 78.440 | Tetragonal |
| Al | 1.1695 | 9.4 | (222) | 82.395 | FCC |
| Al | 1.0126 | 4.0 | (400) | 99.050 | FCC |

الجدول (3): انعراج الأشعة السينية للخليطة $Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$

| Phase | $d_{hkl} \text{ \AA}^\circ$ | الشدة (I/I_0) | hkl | $2\theta^\circ$ | Crystal system |
|------------|-----------------------------|-------------------|--------|-----------------|----------------|
| Al_3Mg_2 | 2.6987 | 3.3 | (1022) | 33.170 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 2.5025 | 1.7 | (880) | 35.855 | FCC |
| Al | 2.3420 | 100 | (111) | 38.405 | FCC |
| Al_3Mg_2 | 2.1139 | 4.3 | (1331) | 42.740 | FCC |
| Al | 2.0287 | 58.7 | (200) | 44.630 | FCC |
| $CuAl_2$ | 1.9218 | 1.8 | (310) | 47.260 | Tetragonal |

| | | | | | |
|---------------------------------|--------|------|----------|--------|-----|
| Al ₃ Mg ₂ | 1.5570 | 2.3 | (1753) | 59.305 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4910 | 1.5 | (14124) | 62.215 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4337 | 44.8 | (121210) | 65.000 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.3216 | 1.1 | (16142) | 71.300 | FCC |
| Al | 1.2219 | 40.5 | (311) | 78.160 | FCC |
| Al | 1.1697 | 10.3 | (222) | 82.375 | FCC |
| Al | 1.0128 | 4.6 | (400) | 99.030 | FCC |

الجدول (4): انعراج الأشعة السينية للخليطة Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.0}

| Phase | d _{hkl} Å° | الشدة (I/I ₀) | hkl | 2θ° | Crystal system |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|----------|--------|----------------|
| Al ₃ Mg ₂ | 2.6999 | 2.5 | (1022) | 33.155 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 2.5022 | 1.5 | (312) | 35.860 | FCC |
| Al | 2.3438 | 100 | (111) | 38.375 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 2.1182 | 4.2 | (1331) | 42.650 | FCC |
| Al | 2.0287 | 50.4 | (200) | 44.630 | FCC |
| CuAl ₂ | 1.9199 | 2.2 | (310) | 47.310 | Tetragonal |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.5546 | 2.2 | (1753) | 59.405 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4888 | 2.0 | (13135) | 62.315 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4336 | 33.6 | (121210) | 65.005 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.3182 | 1.4 | (16142) | 71.515 | FCC |
| Al | 1.2217 | 39.3 | (311) | 78.175 | FCC |
| Al | 1.1691 | 9.4 | (222) | 82.430 | FCC |
| Al | 1.0120 | 4.8 | (400) | 99.130 | FCC |

الجدول (5): انعراج الأشعة السينية للخليطة Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}

| Phase | d _{hkl} Å° | الشدة (I/I ₀) | hkl | 2θ° | Crystal system |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|----------|--------|----------------|
| Al | 2.3408 | 100 | (111) | 38.425 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 2.1092 | 2.3 | (1084) | 42.840 | FCC |
| Al | 2.0283 | 56.3 | (200) | 44.640 | FCC |
| CuAl ₂ | 1.9202 | 1.3 | (310) | 47.300 | Tetragonal |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4914 | 1.1 | (14124) | 62.195 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4337 | 40.5 | (121210) | 64.995 | FCC |
| Al | 1.2214 | 41.6 | (311) | 78.200 | FCC |
| Al | 1.1698 | 9.2 | (222) | 82.370 | FCC |
| Al | 1.0131 | 3.9 | (400) | 98.990 | FCC |

الجدول (6): انعراج الأشعة السينية للخليطة Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}

| Phase | d _{hkl} Å° | الشدة (I/I ₀) | hkl | 2θ° | Crystal system |
|---|---------------------|---------------------------|----------|--------|----------------|
| Al | 2.3435 | 100 | (111) | 38.380 | FCC |
| Al ₃ Mg ₂ | 2.1107 | 1.4 | (1331) | 42.810 | FCC |
| Al | 2.0302 | 58.0 | (200) | 44.595 | FCC |
| CuAl ₂ | 1.9222 | 1.6 | (310) | 47.250 | Tetragonal |
| Al ₃ Mg ₂ | 1.4333 | 47.3 | (121210) | 65.020 | FCC |
| CuAl ₂ | 1.3971 | 1.0 | (213) | 66.920 | Tetragonal |
| Al | 1.2221 | 41.0 | (311) | 78.145 | FCC |
| CuAl ₂ | 1.2182 | 24.2 | (004) | 78.445 | Tetragonal |
| Mg ₂ Cu ₆ Al ₅ | 1.1696 | 10.4 | (222) | 82.390 | FCC |
| Al | 1.0130 | 4.8 | (400) | 99.000 | FCC |

6- 2- الخصائص الميكانيكية:

تمت دراسة قساوة العينات لتحديد مجال استخدام الخلائط المعدنية المحضرة في التقنيات الصناعية، باستخدام جهاز قياس قساوة فيكرز بتطبيق حمولة مقدارها (500 gf) خلال زمن قياس مقداره 5 sec, حيث تعطى قساوة فيكرز وفق العلاقة التالية :

$$HV = 1.8544 p/d^2 \text{ [kgf/mm}^2\text{]} \quad (5)$$

P: الحمل المطبق [kgf] .

d: متوسط قطر الأثر الذي يتركه الهرم (متوسط قطري المعين) [mm] .

قساوة الخلائط $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء:

يُظهر الجدول (7) قيم القساوة المحسوبة لخلائط هذه المجموعة وتشير النتائج إلى أن القيمة العظمى لقساوة خلائط هذه المجموعة تساوي (69.21 Kgf/mm^2) وهي توافق الخليطة ذات التركيب $Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$. أما القيمة الصغرى للقساوة (53.33 kgf/mm^2) وهي توافق الخليطة ذات التركيب $Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$.

والمنحني (7) يمثل تغيرات قساوة هذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ من المنحني أن القساوة تزداد تدريجياً مع زيادة كمية المغنيزيوم حتى تبلغ القيمة العظمى عند (13% وزناً) من Mg. ويمكن تفسير ازدياد القساوة مع زيادة المغنيزيوم للأسباب التالية:

1. أن زيادة تركيز (Mg) تسبب زيادة تركيز ذرات المحلول ضمن الشبكة البلورية للألمنيوم مما ينتج عنه انفعالات ضمن الشبكة البلورية تعيق بدورها حركة الانخلاعات مما يؤدي إلى زيادة القساوة.

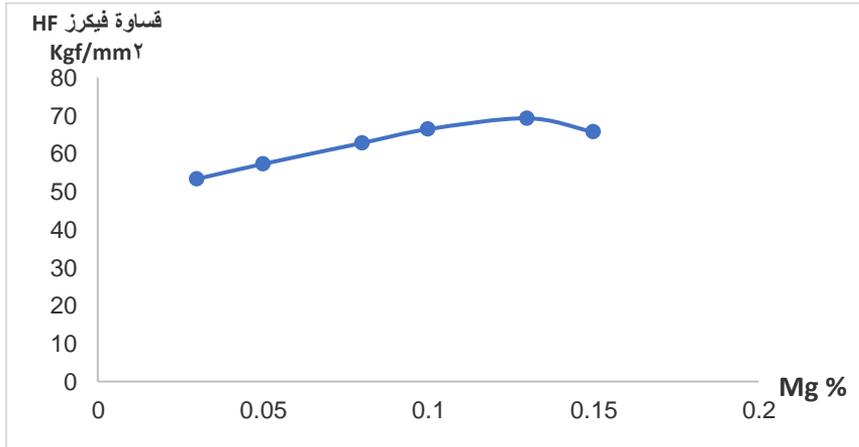
2. تشكل أطوار بلورية بين الألمنيوم والنحاس والألمنيوم والمغنيزيوم مثل الطور $(Al_2Cu Mg)$ والطور البيني $(Cu-Al_2)$ حيث تعمل هذه الأطوار على تحسين قساوة الألمنيوم.

3. أن زيادة كثافة الانخلاعات تؤدي إلى تحسين القوى في المعادن ذات النقاوة التجارية وفي المحاليل الصلبة وهذا يؤدي إلى مضاعفة القساوة.

كما يمكننا أن نلاحظ تناقص القساوة عندما يزداد تركيز المغنيزيوم فوق **13%** كما هو موضح بالشكل ويمكن أن نفسّر هذا التناقص بأن زيادة المغنيزيوم عن حد معين يؤدي إلى تشكل الطور $(Mg_2Cu_6Al_5)$ كما هو مبين من طيف الأشعة السينية (ويصبح المحلول غير مستقر) وذلك لا يعطي تقسية بنيوية جيدة وبالتالي ينفرد هذا الطور على حدود الحبيبات مما يُضعف من مقاومة المادة وهذا يؤدي إلى تناقص القساوة [6,16].

الجدول (7): قساوة فيكرز للخلائط المعدنية الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء (طريقة الضغط)

| الخليطة | قساوة فيكرز $HV (kgf/mm^2)$ |
|-------------------------------|-----------------------------|
| $Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$ | 53.33 |
| $Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$ | 57.25 |
| $Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$ | 62.74 |
| $Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$ | 66.36 |
| $Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$ | 69.21 |
| $Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$ | 65.65 |



الشكل (7): تغير قساوة فيكرز للخلائط الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$

بدلالة كمية المغنيزيوم للخلائط المحضرة بطريقة التبريد البطيء

3-6 - الخواص الكهربائية:

تمّ قياس المقاومة الكهربائية لجميع الخلائط المحضّرة باستخدام جهاز قياس المقاومة الكهربائية الأومية (MILLIOHM METER) عند درجة حرارة الغرفة، وتمّ حساب المقاومة النوعية الكهربائية باستخدام المعادلة التالية:

$$\rho = \frac{R \times S}{L} \quad (6)$$

حيث: ρ المقاومة النوعية الكهربائية ($\Omega \cdot m$).

R المقاومة الكهربائية (Ω).

S مساحة المقطع العرضي للعينة (m^2).

L طول العينة (m).

تعتبر المقاومة النوعية الكهربائية من الصفات الهامة للخليطة، وهي حسّاسة لأيّ تغيير في تركيب الخليطة ولدرجة حرارتها ولنسبة العيوب الموجودة فيها.

تمتاز المعادن عن بقية العناصر بناقليتها الكهربائية والحرارية المرتفعة، ويعود ذلك لوجود الإلكترونات الحرة ضمن الشبكة البلورية للمعدن أو الخليطة المعدنية، وقد وجد تجريبياً أن المقاومة النوعية الكهربائية لمعدن أو لخليطة معدنية تمثل مجموع العوامل المختلفة من الاهتزازات الحرارية (ρ_t) والشوائب (ρ_i) والتشوه اللدن (ρ_d)، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d$$

1-3-6 - المقاومة النوعية الكهربائية للخلائط $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء:

بحساب المقاومة النوعية الكهربائية لخلائط هذه المجموعة، نلاحظ أن القيمة العظمى للمقاومة النوعية الكهربائية تساوي ($54.65 \times 10^{-4} \Omega.m$)، وهي توافق الخليطة التي تكون فيها كمية المغنيزيوم المضافة ($X=15\%$)، أما أصغر قيمة فكانت تساوي ($22.35 \times 10^{-4} \Omega.m$) وهي توافق الخليطة التي تكون فيها كمية المغنيزيوم المضافة ($X=3\%$).

يبين الجدول (8) قيم المقاومة النوعية الكهربائية لخلائط هذه المجموعة عند درجة حرارة الغرفة.

يتبين لنا من منحنى تغيرات المقاومة النوعية الكهربائية للخلائط المحضرة بدلالة كمية المغنيزيوم وزناً عند درجة حرارة الغرفة الشكل (8)، أن المقاومة النوعية الكهربائية تزداد مع تزايد كمية المغنيزيوم، ويمكن أن يفسر هذا التزايد في قيم المقاومة النوعية الكهربائية لعدة أسباب:

1. اعتماداً على مفهوم الناقلية الكهربائية للأجسام الصلبة وعلى اعتبار أن المقاومة النوعية الكهربائية للمغنيزيوم أكبر من المقاومة النوعية الكهربائية للألمنيوم فقد

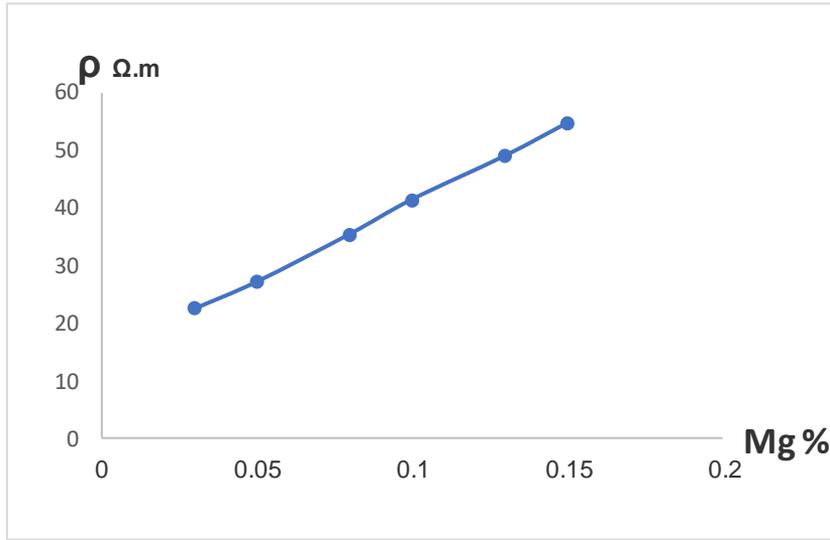
وجد تجريبياً أن ذرات المغنيزيوم تعمل كمراكز تشتت ويزداد تركيز المغنيزيوم تزداد المقاومة النوعية الكهربائية [3].

2. تشكل مركبات بين معدنية (وهي مركبات لا تنتمي إلى مجموعة المركبات الالكترونية أو إلى المركبات الكيميائية) يشكلها الألمنيوم مع المغنيزيوم وتكون المقاومة النوعية لهذه المركبات كبيرة مع احتمال وجود عيوب وانخلاعات ضمن بلورات هذه الخلائط، حيث تلعب هذه العيوب والانخلاعات دوراً لا يمكن إهماله في زيادة المقاومة النوعية الكهربائية، إذ تسبب هذه العيوب عدم انتظام في الحقل الكهربائي ضمن الخليطة، مما يؤدي إلى تناقص المسارات الحرة الرئيسية للإلكترونات، وبالتالي إعاقة حركة الإلكترونات وهذا بدوره يؤدي إلى تزايد المقاومة النوعية الكهربائية للخلائط [17].

الجدول (8): المقاومة النوعية الكهربائية للخلائط المعدنية الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ الحاضرة بطريقة التبريد البطيء عند درجة حرارة الغرفة

| المقاومة النوعية الكهربائية عند درجة حرارة الغرفة $\rho \times 10^{-4}$ أوم .متر | الخليطة |
|--|-------------------------------|
| 22.35 | $Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$ |
| 27.02 | $Al_{0.93}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$ |
| 35.33 | $Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$ |
| 41.35 | $Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$ |
| 48.97 | $Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$ |
| 54.65 | $Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$ |



الشكل (8): تغير المقاومة النوعية الكهربائية للخلائط الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ بدلالة كمية المغنيزيوم المحضرة بطريقة التبريد البطيء عند درجة حرارة الغرفة

الاستنتاجات:

1. توضح نتائج الأشعة السينية تشكل الطور البيني $CuAl_2$ ذي البنية الرباعية الزوايا (Tetragonal) والطور Al_3Mg_2 ذي البنية المكعبة متمركزة الوجوه Fcc , اللذين يؤثران على الخواص الفيزيائية للخلائط المحضرة.
2. تبين نتائج الدراسة الميكانيكية (دراسة قساوة الخلائط المحضرة باستخدام جهاز قساوة فيكرز) أن قساوة الالمنيوم تزداد بشكل تدريجي مع زيادة كمية المغنيزيوم المضافة (مع ثبات كمية النحاس 2%) وبلغت القيمة العظمى للقساوة (69.21 Kgf/mm^2) التي توافقت الخليطة التي تحوي 13% مغنيزيوم.
3. تبين نتائج الدراسة الكهربائية (قياس المقاومة النوعية الكهربائية للخلائط المحضرة) أن المقاومة النوعية الكهربائية تزداد تدريجياً مع زيادة كمية المغنيزيوم المضافة (مع ثبات كمية النحاس 2%) وبلغت القيمة العظمى

للمقاومة النوعية الكهربائية ($54.65 \times 10^{-4} \Omega.m$) وهي توافق الخليطة التي تحوي 15 % مغنيزيوم.

المراجع:

- [1] الشامي, دعد, 2006 - علم التعدين (القسم النظري), قسم الكيمياء, جامعة حلب.
- [2] الشحنة, جميل, 2007 - علم المعادن, كلية الهندسة الميكانيكية, جامعة حلب.
- [3] حسن, مالك, 2009 - تحضير وتوصيف خلاط معدنية رباعية, قسم الفيزياء, كلية العلوم, مجلة بحوث جامعة حلب.
- [4] كركجي, صالح أمين, صالح, وليد محمد, الشريفي, طالب صالح - خواص المواد الهندسية.
- [5] هيكنس, 2000 - الميتالورجيا الهندسية .
- [6] هترة, علي, عزيمة, خليل, 2008 - تحسين القساوة وصلابة الصدم لسبيكة ألومنيوم. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية .
- [7]-M.Murayama and K.Hono "Three Dimensional Atom Probe Analysis of Pre-Precipitate Clustering in An Al-Cu-Mg-Ag Alloy" *National Research Institute for Metals, Japan 2008.*
- [8] -ZAMEL.T.M.2004-PH.D thesis. "Preparation of Lead-Free Solders Alloys and Study their properties "Aleppo University, Faculty of Science, Department of Physics.
- [9] C.H.Gür1, I. Yildiz ,2004- **Determining The Impact Toughness Of Age-Hardened 2024 Al-Alloy By Nondestructive Measurements** *Middle East Technical Univ, Turkey Published.*
- [10] Steve Hurst ,2008- **Metal Casting**, Intermediate technology publication. London .
- [11] NATAN, M., CHIHOSKI, R.A., 1983- **MATER, J. Sci. 18 , page 3288-3298.**

- [12] ROSEN M., HOROWITZ E, FICK S., RENO R.C., MEHRABIAN R. *Sci. Eng. 53 (1982) page 163-177 .*
- [13] ROVIRAR R.M, **2002- Lattice Parameter Determination Form The Interaction of Short femtosecond Laser Pulses With crystalline solids**, *Acta CRYST*,58,27-32.
- [14]- Xiao Yan Liu, Qing Lin Pan, Yun Bin He, Wen Bin Li, Wen Jie Liang, Zhi Min Yin, **2009- Flow behavior and micro structural evolution of Al–Cu–Mg–Ag alloy during hot compression deformation** .*Materials science and Engineering A500 (150-154)*
- [15] ZHANG X.; JIN T.; ZHAO N.; WANG Z.; SUN X. GUAN H, **2008- crystal nickel-base super alloy., materials science and Engineening**,A.,492(1-2),364-369.
- [16]- Davis, "Aluminum Casting Casting Technology" *American Foundarymen's Society 2013.*