دراســـة الخواص الفيزيائية لخلائط الالمنيوم المحضـــرة بطريقتي التبريد البطيء (الضغط) والتبريد السريع (تقانة الصهر المغزلي)

د.سعيد مندو و د.محمد حلبي

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة ادلب

طالب دكتوراه، كلية العلوم، جامعة ادلب

الملخص

في هذا البحث تم تحضير مجموعتين من الخلائط المعدنية الثلاثية التي يدخل في تركيبها بشكل أساسي الألمنيوم (**Al-Mg-Cu**) حيث تم صهر العناصر معاً عند الدرجة **660°C** لمدة **6** ساعات من ثم تم تبريدها بطريقتين مختلفتين:

في الطريقة الأولى تركت العينات لتبرد ببطء عند درجة حرارة التجربة، بعد ذلك ضُغطت على شكل أقراص دائرية بضغط قدره (**15 Ton/cm^2**).

في الطريقة الثانية تم استخدام تقانة الصهر المغزلي (تبريد سريع) حيث يُسكب المصهور على دولاب من النحاس سرعته الخطية (**31 m/s**) للحصول على شرائط معدنية رقيقة وبأطوال مختلفة ثم تم تحضير العينات على شكل شرائط طولها (**3cm**) وعرضها (**3mm**) بسماكة تقريباً (**0.75 mm**).

تم توصيف الخلائط المحضرة فيزيائياً من خلال دراسة الخواص الميكانيكية (القساوة) حيث تبين ازدياد القساوة مع تزايد كمية المغنيزيوم المضافة، كم تمت دراسة الخواص الحرارية (قياس معامل التوصيل الحراري) حيث تبين تناقص معامل التوصيل الحراري مع ازدياد كمية المغنيزيوم المضافة. كما تمت دراسة الخواص المغناطيسية

للخلائط (قياس الطواعية المغناطيسية) حيث تبين تناقص قيم الطواعية المغناطيسية للخلائط مع تزايد كمية المغنيزيوم المضافة.

الكلمات المفتاحية: خلائط معدنية، ألمنيوم، مغنيزيوم، نحاس، تبريد سريع، تبريد بطيء، قساوة، ناقلية حرارية، طواعية مغناطيسية

1 – مقدمة:

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

2 – الدراسة النظرية:

درس عدد كبير من الباحثين تأثير إضافة عناصر الخلط والمعاملة الحرارية على الخواص الميكانيكية والحرارية والمغناطيسية لخلائط **Al-Cu-Mg alloys**.

تعتبر الخواص الميكانيكية (القساوة) 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 وإمكانيات استخدامها في الظروف الصناعية المختلفة **[15]**.

ان الناقلية الحرارية للمواد تعتمد على كل من موجات الاهتزاز الحراري للشبكة البلورية **KL** والالكترونات الحرة **Ke** لذلك فإن التوصيل الحراري يعتمد على مشاركة اهتزازات الشبكة البلورية والالكترونات الحرة ويعرف معامل التوصيل الحراري بأنه كمية الحرارة التي تنتقل في المواد الصلبة بالتوصيل يمكن استخدام قانون فورير (Fourier Law) في حساب معامل التوصيل الحراري **K** كما يلي **[18]**:

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta X} \qquad (1)$$

Q : كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن وتقاس بواحدة **(W)**

K : معامل التوصيل الحراري ويقاس بواحدة **(W/m .°C)**

A : مساحة مقطع انسياب الحرارة وتقاس بالمتر المربع **(m^2)**

ΔT/ΔX : التدرج الحراري بالنسبة للمسافة ويقاس بواحدة **(°C/m)**.

تعتبر دراسة المواد المغناطيسية من المواضيع المتقدمة التي تتعلق بكثير من التطبيقات الكهربائية التي تدخل في الصناعات الحديثة، كالمحولات الكهربائية او المولدات الكهربائية او أجهزة حفظ الذاكرة وهناك طريقتان لتصنيف المواد المغناطيسية وهما:

الطريقة الأولى: تصنّف على أساس الارتباط بين الخواص الالكترونية والخواص المغناطيسية للمادة.

الطريقة الثانية: تصنّف اعتماداً على خواصّ الحجيرات المغناطيسية للمواد.

كما أن الخواصّ المغناطيسية للمعادن والخلائط المعدنية تتغير أثناء التحولات الطورية، ومع تغير تركيب وبنية الخلائط أيضاً. فعند وضع عينة معدنية في مجال مغناطيسي شدته **H**، فإن شدة تمغنطه **η** تتعين بالعلاقة الخطية:

$$\eta = \chi H \qquad (2)$$

حيث **χ** تُدعى الطواعية المغناطيسية، وتتراوح قيمة الطواعية المغناطيسية بين 10^{-5} للمغناطيسية الضعيفة و10^{6} للمغناطيسية القوية، وقد تكون سالبة في المواد ذات المغناطيسية العكسية، كما أن العلاقة بين شدة التمغنط والحقل (**H** ، **η**) ليست خطية دائماً، حيث إن الطواعية المغناطيسية تتعلق بشدة الحقل المغناطيسي ، وتقسم المعادن حسب مقدار وإشارة **χ** إلى ثلاثة أنواع :

1. المعادن الديا مغناطيسية(Diamagnetism):
2. المعادن البارامغناطيسية (Para magnetism):
3. المعادن الفيرومغناطيسية(Ferromagnetism):

يندرج الألمنيوم والمغنيزيوم (العناصر المستخدمة في البحث) ضمن مجموعة المعادن البارامغناطيسية حيث يملك الألمنيوم النقي طواعية مغناطيسية قيمتها (2.2×10^{-4}) والمغنيزيوم (1.2×10^{-4}) أما النحاس فيعتبر من المواد الدايا مغناطيسية ويملك طواعية مغناطيسية (-1×10^{-4}) [7].

3 - أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من البحث هو تحضير خلائط معدنية من ($Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$) المحضرة بطريقتي التبريد البطيء(الضغط) والتبريد السريع (تقانة الصهر المغزلي) ومن ثم توصيفها من خلال دراسة خصائصها الميكانيكية والحرارية والمغناطيسية،

وذلك من أجل استخدامها في مجالات صناعية عديدة (هياكل الطائرات، الإنشاءات البحرية، هياكل المركبات الفضائية، صناعة الكابلات، المحركات الكهربائية وغيرها)

4 – طريقة البحث:

استخدمنا في هذا البحث عناصر معدنية نقاوتها عالية **99.9%**، تُوزن العناصر بدقة وفق النسب المطلوبة للخلائط المراد تحضيرها وتوضع في بوتقة من البورسلان وتدخل إلى مرمدة (فرن حراري) درجة حرارتها **660°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 أخرجت من المرمدة وتم تبريدها بطريقتين:

1. بالنسبة لخلائط المجموعة الأولى تركت العينات 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/cm²**، بعدها تم صقل وتلميع سطحها.
2. بالنسبة لخلائط المجموعة الثانية استخدمنا تقانة الصهر المغزلي (تبريد سريع) حيث يُسكب المصهور على دولاب من النحاس سرعته الخطية **(31 m/s)** فنحصل على شرائط معدنية رقيقة وبأطوال مختلفة ثم نحضر العينات على شكل شرائط طولها **(3cm)** وعرضها **(3mm)** بسماكة تقريباً (**0.75 mm**).

بعدها أُجريت عليها القياسات الميكانيكية والحرارية والمغناطيسية.

5 – الأجهزة المستخدمة:

1. جهاز فيكرز للقساوة الميكروسكوبية (**FM-7**).
2. جهاز قياس معامل التوصيل الحراري (Heat Conduction Unit).
3. جهاز قياس الطواعية المغناطيسية بطريقة غاي.

6 – النتائج والمناقشة:

6 –1 –الخصائص الميكانيكية:

تم 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 :

$$HV = 1.8544\ p/d^2\ [kgf/mm^2] \qquad (3)$$

P: الحمل المطبق[**kgf**].

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

خلائط المجموعة الأولى $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء:

يُظهر الجدول (**1**) 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 في الشكل (**1**) يمثل تغيرات قساوة هذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ من المنحني أنّ القساوة تزداد تدريجياً مع زيادة كمية المغنيزيوم

حتى تبلغ القيمة العظمى عند (**13%** وزناً) من **Mg**. ويمكن تفسيّر ازدياد القساوة مع زيادة المغنيزيوم للأسباب التالية:

1- أنّ زيادة تركيز (**Mg**) تسبب زيادة تركيز ذرات المحلول ضمن الشبكة البلّورية للألمنيوم مما ينتج عنه انفعالات ضمن الشبكة البلّورية تعيق بدورها حركة الإنخلاعات مما يؤدي إلى زيادة القساوة.

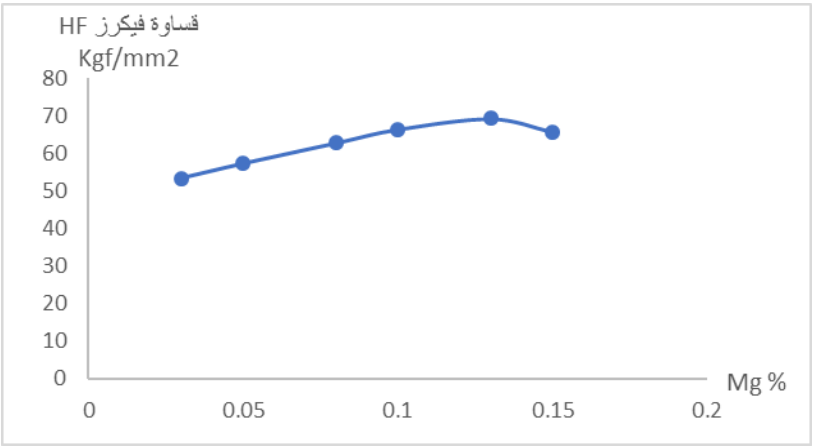
2- تشكل اطوار بلورية بين الالمنيوم والنحاس والالمنيوم والمغنيزيوم مثل الطور (**Al_2Cu Mg**) والطور البيني(**Cu-Al_2**) حيث تعمل هذه الاطوار على تحسين قساوة الالمنيوم.

ونفسر تناقص القساوة عندما يزداد تركيز المغنيزيوم فوق **13%** كما هو موضّح بالشكل بأنّ زيادة المغنيزيوم عن حد معين يؤدي إلى تشكل الطور (**$Mg_2Cu_6Al_5$**) (ويصبح المحلول غير مستقر) والذي لا يعطي تقسية بنيوية جيدة وبالتالي ينفرد هذا الطور على حدود الحبيبات مما يضّعف من مقاومة المادة وهذا يؤّدي إلى تناقص القساوة[**6,16**] .

الجدول (1): 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**

66.36	**$Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$**
69.21	**$Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$**
65.65	**$Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$**



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

بدلالة كمية المغنيزيوم للخلائط المحضرة بطريقة التبريد البطيء

خلائط المجموعة الثانية **$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$** المحضرة بطريقة التبريد السريع:

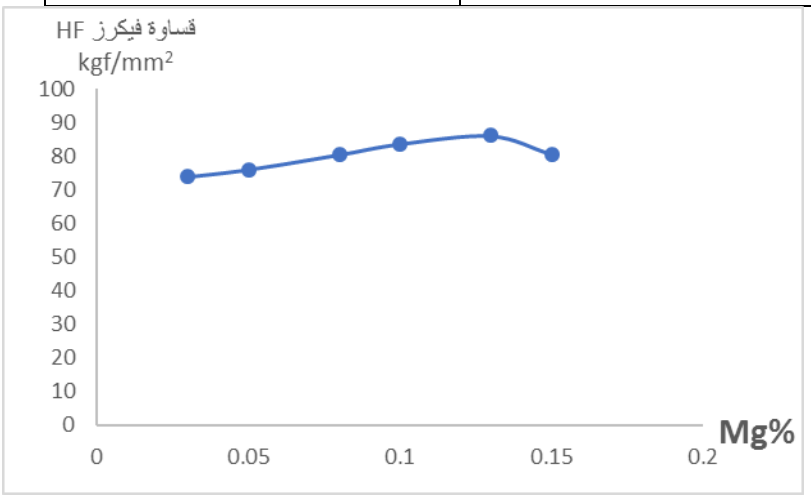
يُظهر الجدول **(2)** قيم القساوة المحسوبة لخلائط هذه المجموعة وتشير النتائج إلى أن القيمة العظمى لقساوة خلائط هذه المجموعة تساوي **($86.04\ Kgf/mm^2$)** وهي توافق الخليطة ذات التركيب **$Al_{0.85}\ Mg_{0.13}Cu_{0.02}$**. أما القيمة الصغرى للقساوة **($73.84\ kgf/mm^2$)** وهي توافق الخليطة ذات التركيب **$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$**.

والمنحني في الشكل **(2)** يمثل تغيرات قساوة هذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ من المنحني أنّ القساوة تزداد تدريجياً مع زيادة كمية المغنيزيوم حتى تبلغ القيمة العظمى عند **(13%** وزناً) من **Mg**، ويمكن تفسيّر ازدياد القساوة وتناقصها لنفس الأسباب المذكورة في خلائط المجموعة الأولى.

الجدول (2): قساوة فيكرز للخلائط المعدنية الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد السريع (تقانة الصهر المغزلي)

الخليطة	قساوة فيكرز **HV (kgf/mm^2)**
$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$	**73.84**
$Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$	**76.02**
$Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$	**80.45**
$Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$	**83.62**
$Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$	**86.04**
$Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$	**80.52**

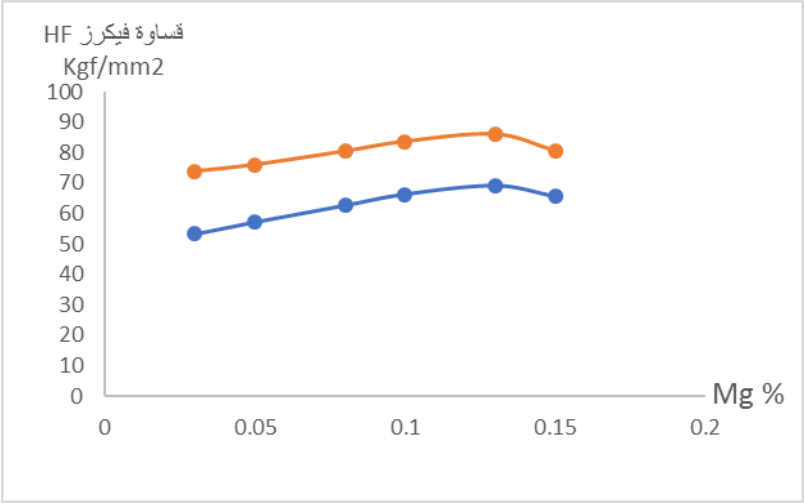


الشكل (2): تغير قساوة فيكرز للخلائط الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$

بدلالة كمية المغنيزيوم للخلائط المحضرة بطريقة التبريد السريع

النتيجة:

عند مقارنة قيم القساوة المحسوبة لخلائط المجموعة الأولى المحضرة بطريقة التبريد البطيء (طريقة الضغط) وخلائط المجموعة الثانية المحضرة بطريقة التبريد السريع (طريقة الصهر المغزلي) كما هو مبين بالشكل **(3)** نجد ارتفاع في قيم القساوة بالنسبة لخلائط المجموع الثانية ويعود السبب في ذلك الى تشكل الطور البيني **(Ω)** ذي التركيب الكيميائي**(Al_2Cu Mg)** الذي يحسن من الخواص الميكانيكية لخلائط الألمنيوم نتيجة لتوزعه المنتظم في التركيب النهائي للخليطة حيث أن تبريد الخلائط بشكل بطيء يؤدي الى تأخر تشكل الطور البيني **(Ω)** المسؤول عن تقوية الخليطة مما يؤدي الى تأخير حصول عملية النمو البلوري التي تتسبب باضعاف الخواص الميكانيكية وبالتالي هشاشة الخليطة[**16**] .



الشكل (3): تغير قساوة فيكرز للخلائط الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$

بدلالة كمية المغنيزيوم للخلائط المحضرة بطريقة التبريد البطيء والسريع

6-2 – الخواص الحرارية:

تم قياس معامل التوصيل الحراري للخلائط المحضرة بأزمنة مختلفة حيث استخدمنا جهاز الناقلية الحرارية (Heat Conduction Unit) ويحسب معامل التوصيل الحراري **K** من قانون فورير وصيغته كما يلي:

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta L} \qquad (4)$$

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta T} \qquad (5)$$

حيث **A**: مساحة العينة العمودية على انتقال الحرارةL : سمك العينة **ΔT** : معدل تدرج الحرارة عبر العينة ويحسب كما يلي: **ΔT=T1,2 -T3** حيث أن :

$$\Delta T = \frac{T1 + T2}{2} \qquad (6)$$

خلائط المجموعة الأولى $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء:

يُظهر الجدول **(3)** قيم معامل التوصيل الحراري المحسوبة لخلائط هذه المجموعة وتشير النتائج إلى أن القيمة العظمى لمعامل التوصيل الحراري **(78.9 W/m.°C)** وهي توافق الخليطة ذات التركيب **$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$**. أما القيمة الصغرى **(24.5 W/m.°C)** وهي توافق الخليطة ذات التركيب **$Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$**

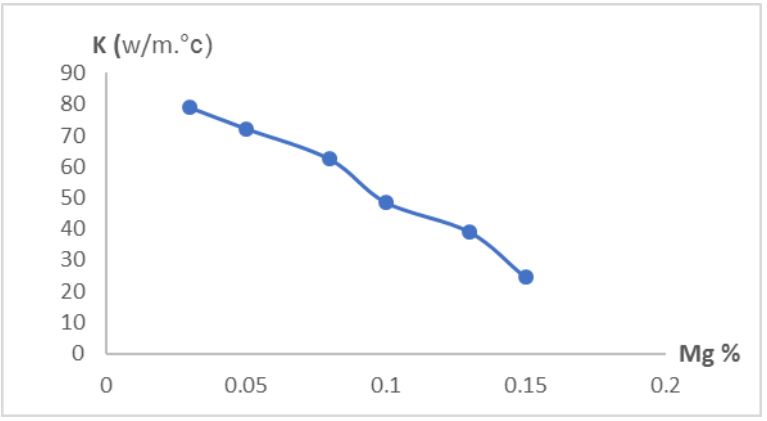
والمنحني في الشكل **(4)** يمثل تغيرات معامل التوصيل الحراري لهذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ من المنحني أنه عند إضافة عنصر المغنيزيوم الى الالمنيوم فإن الخواص الحرارية تتناقص وذلك بسبب أن إضافة المغنيزيوم كعنصر اشابة الى يؤدي الى تشويه الالكترونات الحرة والشبكة البلورية وإن هذا التشويه والتناقص في الخواص الحرارية يزداد مع زيادة نسبة المغنيزيوم المضافة حيث ان إضافة المغنيزيوم يقلل من عدد الالكترونات الحرة ويزيد من الطاقة اللازمة للاهتزازات الحرارية في الشبكة البلورية وبالتالي تقل الموجات الناتجة من اهتزازات الشبكة البلورية **[5]**.

الجدول (3): معامل التوصيل الحراري للخلائط المعدنية الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$الحضرة بطريقة التبريد البطيء

العينة	زمن التلبيد	قيمة حرارة الطبقة السفلى T2	قيمة حرارة العينة T1	قيمة حرارة التسخين T3	T1,2 C°	ΔT C°	K w/m.°c
$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$	**1.5**	**2.23**	**4.02**	**2.8**	**3.125**	**1.055**	**78.9**
$Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$	**1.5**	**2.2**	**4.02**	**2.76**	**3.11**	**0.35**	**72.2**

62.4	**0.405**	**3.155**	**2.75**	**4.01**	**2.30**	**1.5**	**$Al_{0.90}$ $Mg_{0.08}Cu_{0.02}$**
48.6	**0.52**	**3.22**	**2.70**	**4**	**2.44**	**1.5**	**$Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$**
39.1	**0.645**	**3.145**	**2.5**	**4.04**	**2.25**	**1.5**	**$Al_{0.85}Mg_{0.13}$ $Cu_{0.02}$**
24.5	**1.02**	**3.11**	**2.09**	**4**	**2.22**	**1.5**	**$Al_{0.83}Mg_{0.15}$ $Cu_{0.02}$**



الشكل (4): تغير معامل التوصيل الحراري للخلائط الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ بدلالة كمية المغنيزيوم المحضرة بطريقة التبريد البطيء

خلائط المجموعة الثانية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد السريع:

يُظهر الجدول **(4)** قيم معامل التوصيل الحراري المحسوبة لخلائط هذه المجموعة وتشير النتائج إلى أن القيمة العظمى لمعامل التوصيل الحراري **(189.58 W/m.°C)** وهي توافق الخليطة ذات التركيب **$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$**

أما القيمة الصغرى (**94.79 W/m.°C**) وهي توافق الخليطة ذات التركيب **$Al_{0.83}$ $Mg_{0.15}Cu_{0.02}$**

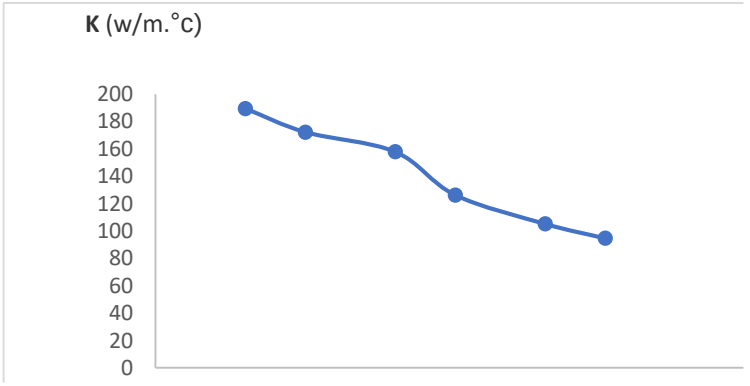
والمنحني في الشكل(**5**) يمثل تغيرات معامل التوصيل الحراري لهذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ من المنحني أنه عند إضافة عنصر المغنيزيوم الى الالمنيوم فإن الخواص الحرارية تتناقص ونفسر ذلك حسب الأسباب المذكورة في المجموعة الأولى.

الجدول (4): معامل التوصيل الحراري للخلائط المعدنية الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$المحضرة بطريقة التبريد السريع

العينة	زمن التلبيد	قيمة حرارة الطبقة السفلى T2	قيمة حرارة العينة T1	قيمة حرارة التسخين T3	T1,2 C°	ΔT C°	K w/m°c
$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$	**1.5**	**2.23**	**3.7**	**2.86**	**2.96**	**0.10**	**189.58**
$Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$	**1.5**	**2.6**	**3.5**	**2.94**	**3.05**	**0.11**	**172.34**
$Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$	**1.5**	**2.30**	**3.66**	**2.86**	**2.98**	**0.12**	**157.98**
$Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$	**1.5**	**2.44**	**3.6**	**2.87**	**3.02**	**0.15**	**126.38**

105.32	0.18	2.90	2.72	3.56	2.25	1.5	$Al_{0.85}\ Mg_{0.13}\ Cu_{0.02}$
94.79	0.2	3.08	2.88	3.5	2.66	1.5	$Al_{0.83}\ Mg_{0.15}\ Cu_{0.02}$

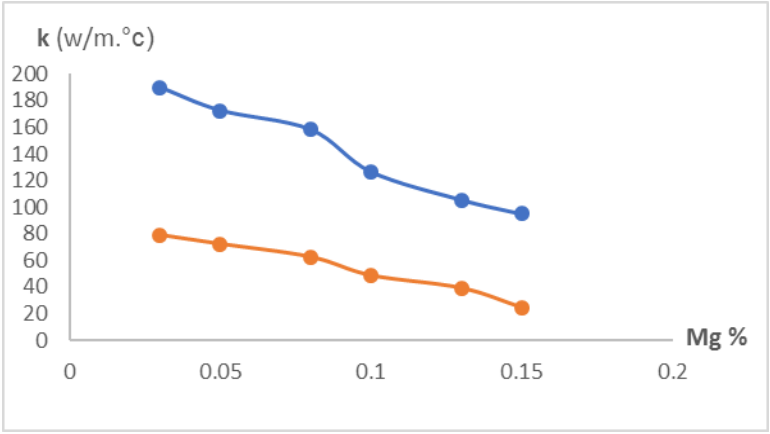


الشكل (5): تغير معامل التوصيل الحراري للخلائط الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ بدلالة كمية المغنزيوم المحضرة بطريقة التبريد السريع

النتيجة:

بإجراء مقارنة بين قيم معامل التوصيل الحراري لخلائط المجموعة الأولى المحضرة بطريقة التبريد البطيء (طريقة الضغط) وخلائط المجموعة الثانية المحضرة بطريقة التبريد السريع (طريقة الصهر المغزلي) كما هو مبين بالشكل **(6)** نستنتج ارتفاع قيم معامل التوصيل الحراري بالنسبة لخلائط المجموعة الثانية ويعود السبب في ذلك لعدة نقاط منها:

1. إن تبريد الخلائط بشكل سريع يؤدي الى تكوين حبيبات دقيقة موزعة بشكل منتظم في الخليطة ويكون التركيب البلوري الناتج متناظر ذو خواص منتظمة وهذا يحسن من الخواص الحرارية للخلائط.
2. إن تحضير الخلائط بطريقة التبريد البطيء يحول دون تشكل الطور البيني **(Ω)** ذي التركيب الكيميائي **(Al_2Cu Mg)** الذي يحسن من الخواص الميكانيكية والحرارية لخلائط الألمنيوم، وعند تحضير الخلائط بطريقة التبريد السريع (طريقة الصهر المغزلي) يتشكل الطور البيني **(Ω)** ذي التركيب الكيميائي **(Al_2Cu Mg)** الذي يزيد من قيمة معامل التوصيل الحراري للخلائط نتيجة لتوزيعه المنتظم في التركيب النهائي للخليطة **[16]**.



الشكل (6): تغير معامل التوصيل الحراري للخلائط الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقتي التبريد البطيء والتبريد السريع بدلالة كمية المغنيزيوم

3-6 – الخواص المغناطيسية:

لقد حظيت دراسة الخواص المغناطيسية للخلائط المعدنية بأهمية كبيرة بسبب قدرتها على كشف العيوب في الخلائط، حيث تساعد الخواص المغناطيسية على تحديد بنية الخليطة وما يطرأ عليها من تحولات بنيوية وطورية.

خلائط المجموعة الأولى $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد البطيء:

يُظهر الجدول (5) قيم الطواعية المغناطيسية المحسوبة لخلائط هذه المجموعة عند درجة حرارة الغرفة، ونلاحظ أن الطواعية المغناطيسية لخلائط هذه المجموعة تأخذ قيمة عظمى (2.1×10^{-4}) توافق الخليطة التي تكون فيها كمية المغنيزيوم المضافة (X=3%) وأصغر قيمة (0.88×10^{-4}) توافق الخليطة التي تكون فيها كمية المغنيزيوم المضافة (**X=15%**).

والمنحني في الشكل (7) يمثل تغيرات الطواعية المغناطيسية لهذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ أن الطواعية المغناطيسية تتناقص مع تزايد كمية المغنيزيوم المضافة ويمكن أن يعزا هذا التناقص في قيم الطواعية المغناطيسية لعدة عوامل منها:

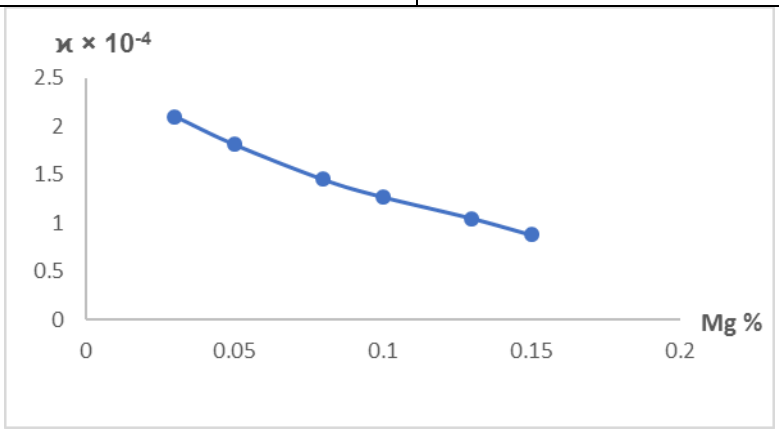
1 – مع تزايد كمية المغنيزيوم تتشكل اطوار بلورية غير مستقرة في البنية البلورية لهذه الخلائط مما يجعل حركة العزوم المغناطيسية غير متوازية تماما مع الحقل المغناطيسي المطبق وهذا يضعف من قيم الطواعية المغناطيسية[**20**].

2 – الاتجاهات والعيوب البلورية حيث يتأثر الانتقال عبر حدود الحجيرات المغناطيسية بوجود العيوب البلورية وخاصة الانخلاعات ضمن الشبكة البلورية وبالتالي فإن أي عامل يعارض تنقل حدود الحجيرات المغناطيسية ينقص المغناطيسية [**4**].

الجدول (5): يظهر الطواعية المغناطيسية للخلائط المعدنية الثلاثية

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

الخليطة	الطواعية المغناطيسية عند درجة حرارة الغرفة $\chi \times 10^{-4}$
$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$	**2.1**
$Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$	**1.81**
$Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$	**1.45**
$Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$	**1.27**
$Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$	**1.05**
$Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$	**0.88**



الشكل (7): تغير الطواعية المغناطيسية للخلائط المعدنية الثلاثية

$Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ بدلالة كمية المغنزيوم المحضرة بطريقة التبريد البطيء

خلائط المجموعة الثانية Al1-x-yMgxCuy المحضرة بطريقة التبريد السريع:

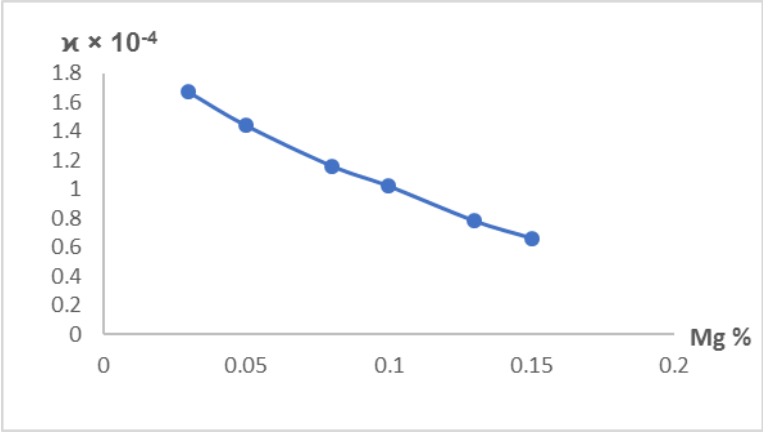
يُظهر الجدول **(6)** قيم الطواعية المغناطيسية المحسوبة لخلائط هذه المجموعة عند درجة حرارة الغرفة، ونلاحظ أن الطواعية المغناطيسية لخلائط هذه المجموعة تأخذ قيمة عظمى ($\mathbf{1.67\times10^{-4}}$) توافق الخليطة التي تكون فيها كمية المغنيزيوم المضافة

(X=3%) وأصغر قيمة **(0.66×10-4)** توافق الخليطة التي تكون فيها كمية المغنيزيوم المضافة **(X=15%)**.

والمنحني **(8)** يمثل تغيرات الطواعية المغناطيسية لهذه المجموعة بدلالة كمية المغنيزيوم، ونلاحظ أن الطواعية المغناطيسية تتناقص مع تزايد كمية المغنيزيوم المضافة ويمكن أن يعزا هذا التناقص في قيم الطواعية المغناطيسية لنفس الأسباب المذكورة سابقا.

الجدول (6): يظهر الطواعية المغناطيسية للخلائط المعدنية الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقة التبريد السريع عند درجة حرارة الغرفة

الخليطة	الطواعية المغناطيسية عند درجة حرارة الغرفة $\chi \times 10^{-4}$
$Al_{0.95}Mg_{0.03}Cu_{0.02}$	**1.67**
$Al_{0.93}Mg_{0.05}Cu_{0.02}$	**1.44**
$Al_{0.90}Mg_{0.08}Cu_{0.02}$	**1.16**
$Al_{0.88}Mg_{0.10}Cu_{0.02}$	**1.02**
$Al_{0.85}Mg_{0.13}Cu_{0.02}$	**0.78**
$Al_{0.83}Mg_{0.15}Cu_{0.02}$	**0.66**

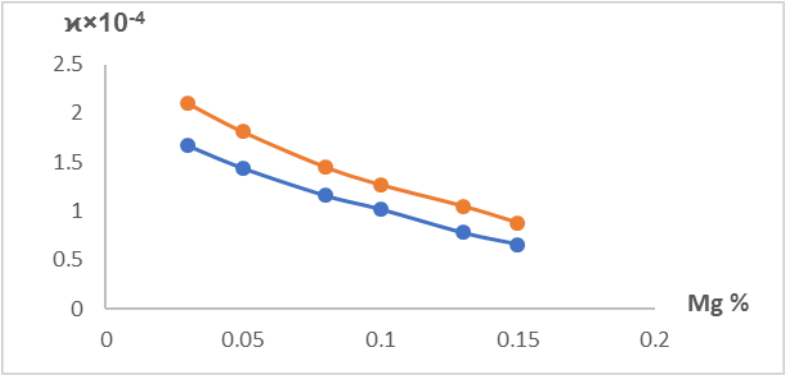


الشكل رقم(8): تغير الطواعية المغناطيسية للخلائط المعدنية الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ بدلالة كمية المغنزيوم المحضرة بطريقة التبريد السريع

النتيجة:

بإجراء مقارنة بين قيم الطواعية المغناطيسية المحسوبة لخلائط المجموعة الأولى المحضرة بطريقة التبريد البطيء (طريقة الضغط) وخلائط المجموعة الثانية المحضرة بطريقة التبريد السريع (طريقة الصهر المغزلي) كما هو مبين بالشكل **(9)** نستنتج تناقص قيم الطواعية المغناطيسية لخلائط المجموعة الثانية بالمقارنة مع خلائط المجموعة الأولى ويعزا ذلك لعدة أسباب منها:

1. ان الخواص المغناطيسية للخلائط المحضرة تعتمد بشكل كبير على درجة نقاوة المواد الأولية المستعملة في تحضير الخليطة (الألمنيوم)، وعند إضافة المغنيزيوم والنحاس كمواد اشابة تتكون اطوار بينية تؤدي الى إعاقة توجه العزوم المغناطيسية وهذا يؤدي الى تناقص قيم الطواعية المغناطيسية.
2. إن تبريد الخلائط بشكل سريع يؤدي الى تكوين حبيبات دقيقة (صغيرة جدا) ذات سطح نوعي منخفض وهذا يؤدي الى تناقص الصفة المغناطيسية للخلائط المحضرة بطريقة التبريد السريع، حيث ان تبريد الخلائط بشكل بطيء يؤدي الى تشكل حبيبات ذات حجوم كبيرة نسبيا وهذا يتيح ترسب الدقائق الصغيرة بينها وبالتالي تقليل المسامات وهذا يساعد على توجه العزوم المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسي وزيادة قابلية المادة للتمغنط[**21**] .



الشكل (9): تغير الطواعية المغناطيسية للخلائط الثلاثية $Al_{1-x-y}Mg_xCu_y$ المحضرة بطريقتي التبريد البطيء والتبريد السريع بدلالة كمية المغنيزيوم

الاستنتاجات

1. تبين نتائج الدراسة الميكانيكية (دراسة قساوة الخلائط المحضرة باستخدام جهاز قساوة فيكرز) أن قساوة الالمنيوم تزداد بشكل تدريجي مع زيادة كمية المغنيزيوم المضافة وذلك عند إضافة نسبة ثابتة من النحاس **(2%)**.
2. تبين نتائج الدراسة الحرارية (قياس معامل التوصيل الحراري) أن معامل التوصيل الحراري يتناقص مع زيادة كمية المغنيزيوم المضافة وذلك عند إضافة نسبة ثابتة من النحاس **(2%)**.
3. تبين نتائج الدراسة المغناطيسية (قياس الطواعية المغناطيسية) أن الطواعية المغناطيسية تتناقص مع زيادة كمية المغنيزيوم المضافة وذلك عند إضافة نسبة ثابتة من النحاس **(2%)**.

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 خلائط معدنية رباعية**, قسم الفيزياء ,كلية العلوم, مجلة بحوث جامعة حلب.

[4] كركجي, صالح أمين, صالح, وليد محمد, الشريفي, طالب صالح **– خواص المواد الهندسية.**

[5] محمد صالح احمد،**2012 دراسة تأثير إضافة عنصري المغنيسيوم والزنك على الخواص الحرارية للألمنيوم النقي** مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد 19 /العدد 4/كانون الأول 2012

[6] هترة ،علي،عزيمة ،خليل،2008 –**تحسين القساوة وصلابة الصدم لسبيكة ألمنيوم.** مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية .

[7] هواري ،حيدر،2006 **– فيزياء الجسم الصلب/2/** ،كلية العلوم ، جامعة البعث.

[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] HAGEMAIER,12. D.J., R.KLEINT,**1968- Metal Progress,** page 115-118.

[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.

[17] -Katsnelson AA., Eastrebov L.E., **"Pseudo potential theory crystals structure** -M:Moscow 2011

[18] -William D. callister & David G.Rethwish, **," Foundamentals of materials science and engineering , thermal conductivity",**3rd edition, pp. 711-716,2008.

[19]-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.

[20] - E.Jartych, J.K.Zurawicz, D.Oleszak and M.Pekala, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** , Vol.208 , P.221 ,(2000) .