

أثر المعالجة الحرارية والتعتيق لمتراكبات ذات أساس (Al-Cu-Mg) المقواة

بحبيبات الألومينا ودراسة خصائصها الميكانيكية

رعد أحمد رسول¹ ، أثير سمير محمود²

^{1,2} قسم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة الموصل

dr.raadrasool@yahoo.com¹ , atheersamir@yahoo.com²

تاريخ قبول البحث : 2015 / 1 / 7

تاريخ استلام البحث : 2014 / 4 / 12

المخلص

تناولت الدراسة الحالية تصنيع سبيكة الألمنيوم الأساس (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) بطريقة الصب وإجراء المعالجة الحرارية المحلولية عليها وبدرجات حرارية مختلفة من 500°C و 525°C و 550°C وبأزمان مختلفة من 2hr و 3hr و 4hr، وأجري إختبار الصلادة روكويل (HBR) عليها، وتبين أن أفضل تلك القيم كانت عند معاملة السبيكة الأساس (A) عند الدرجة الحرارية 550°C وبالزمن 4hr. تم تحضير المواد المترابطة بإضافة دقائق الألومينا (Al₂O₃) إلى السبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) بنسب وزنية مختلفة (1.5%-2.5%) وبثلاث حجوم حبيبية مختلفة تراوحت بين (75µm≥65µm≥53µm≥0.1µm) وتم تسميتها بالمواد (A₁, A₂, B₁, B₂, C₁, C₂) وحسب نسبها الوزنية والحجمية، وأجريت المعالجة الحرارية عليها عند درجة حرارة 550°C ولمدة 4hr ثم التعتيق الإصطناعي عند الأزمان 2hr و 4hr. أجريت الإختبارات الميكانيكية كالصلادة ومقاومة الصدم، وأظهرت جميع تلك الإختبارات حصول المادة المركبة (A₂) والتي تبلغ نسبها الوزنية والحجمية 2.5% و 0.1µm على أعلى القيم في تلك الإختبارات وهذا مما يدل على أن صغر الحجوم الحبيبية يزيد من جسامتها وتقسيبتها وصلابتها. وقد أظهرت نتائج فحص البنية المجهرية بأن البنية المجهرية للمواد المترابطة ذات حبيبات أكثر نعومة من السبيكة الأساس، كما أن توزيع دقائق الألومينا المضافة في السبيكة الأساس كان متجانساً في أرضية السبيكة، وقد أظهرت أن البنية المجهرية قد تأثرت بالمعالجة الحرارية والتعتيق الإصطناعي في أرضية السبيكة الأساس والمواد المترابطة.

الكلمات الدالة: المعالجة الحرارية المحلولية، التعتيق الإصطناعي، المواد المترابطة.



The Effect of Heat Treatment and Official Ageing to (Al-Cu-Mg) Matrix Composites Reinforced by Alumina Particles and to Study the Mechanical Properties

Raad A. Rasool¹ , Atheer S. Al-Khaiat²

^{1,2}Mosul University / Education of Pure Science Collage / Physical Department

dr.raadrasool@yahoo.com¹ , atheersamir@yahoo.com²

Received date : 12 / 4 / 2014

Accepted date : 7 / 1 / 2015

ABSTRACT

The present research had dealt with preparing aluminum alloy matrix (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) by cast and to proceeding the heat treatment solution from different temperatures 500°C, 525°C and 550°C for different times 2hr and 4hr, and then proceeding the requil hardness (HBR), Therefor we conducted the optimum value from the alloy basic(A) at the temperature 550°C for 4hr time. Also we prepared the matrix composite reinforced by alumina (Al₂O₃) with different percentage weight (1.5%-2.5%) and three different particles sizes (75µm≥65µm≥53µm≥0.1µm) which named as (A₁, A₂, B₁, B₂, C₁, C₂) according to their weight and size percentages, and then proceeding the heat treatment solution and official ageing about them at the temperature degree 550°C for 2hr and4hr. Mechanical tests like hardness and impact resistance were conducted all of them reached that the composite material (A₂) in which there weight and size percentages are 2.5% and ≥0.1µm have upper values of these test's, accordingly we concluded that the reduce particles means increased its rigidity, toughness and solidity. Finally the microstructures tests shows that the prepared composites materials have small size as compared with microstructure of the basic cast alloys and the distribution of alumina particles was fairly homogeneous in the basic allot, also we showed that the heat treatment solutions and official ageing are affected at these composite materials and alloys.

Keyword : Heat Treatment Solution, official ageing , composite material.

1. المقدمة (Introduction)

يُعد الألمنيوم من المعادن التي لها أهمية صناعية واسعة مقارنة بالمعادن الأخرى، نظراً لما يمتاز به من خصائص جعلته مناسباً لكثير من التطبيقات الهندسية كصناعة السيارات والطائرات والمركبات الفضائية، إذ يعتبر الألمنيوم من المعادن ذات الكثافات النسبية المنخفضة وذو معامل مرونة عالية إضافة إلى قابليته الجيدة في التشكيل واللحام [1].

بدأ الاهتمام في السنوات الماضية بإنتاج مواد متراكبة من مواد معدنية ومواد سيراميكية، إذ لاقت عناية فائقة ومهمة لما تتميز به من خصائص فريدة وصفات مميزة حققت الهدف الرئيس المتمثل في الحصول على مادة ذات متانة عالية وخفة في الوزن والقابلية على تحمل درجات الحرارة العالية وبما إن المادة المتراكبة هي عملية ربط ما بين مادتين أو أكثر لتكوين مادة جديدة تمتاز بصفات أفضل وتختلف عن مكوناتها الأصلية لذا يمكن القول أنها تتكون من مادتين هما المادة الأساس Matrix Material ومادة التقوية Reinforcement Material [2].

تتميز سبيكة (Al-Cu-Mg) بمقاومتها الجيدة للتآكل كما أن هذه السبائك المحتوية على النحاس والمغنيسيوم تتميز بصورة خاصة بمقاومتها للتآكل في ماء البحر لذا تستعمل في صناعة السفن أما السبائك المحتوية على المنغنيز فتستعمل بصورة واسعة في صناعة الصفائح sheet لأغراض التسقيف أو تصفيح الجدران في الأبنية وفي صناعة حافظات المواد الغذائية [3].

كما أن هذه السبيكة تمتاز بقابلية سباكة وصلل جيدين ويمكن إصلاحهما بالترسيب الأمر الذي حفز في الآونة الأخيرة الكثير من الباحثين في هذا المجال بتكثيف جهودهم البحثية حول إمكانية استخدام سبائك الألمنيوم في إنتاج مواد متراكبة ذات أساس من الألمنيوم مقواة بدقائق الألومينا أو الزركونيا بهدف تحسين خصائصها الميكانيكية وبأكثر من آلية [4].

إهتم الباحثون في العقود الأولى من القرن العشرين في العمل على معرفة وفهم ميتالورجيا سبائك الألمنيوم وعمليات المعالجة الحرارية التي يتم إجراؤها لتلك السبائك، والتي تتضمن المعالجة المحلولية والتصليد بالترسيب، وقد إستمرت هذه الدراسات مع تطور وسائل الفحص والتشخيص وذلك للحصول على أداء جيد وكفاءة عالية للأجزاء المنتجة وكذلك مقاومة وجساءة عاليتين مع أقل وزن ممكن لهذه الأجزاء [5-6].

2. الهدف من البحث

يهدف البحث إلى تصنيع مادة متراكبة بطريقة السباكة بالمزج وذلك بإضافة المادة السيراميكية وهي دقائق الألومينا Al_2O_3 إلى سبيكة الألمنيوم الأساس ($Al-4.5\%Cu-1.5\%Mg$)، من أجل تحسين خصائصها الميكانيكية المتمثلة بالصلادة ومقاومة الصدم، ، ودراسة تأثير ذلك في البنية المجهرية التركيبية للمادة المتراكبة الناتجة المقواة بدقائق الألومينا.

3. طريقة العمل والمواد (Material and Methods)

تصنيع السبيكة: Alloy fabrication

تم تصنيع السبيكة ($Al-Cu-Mg$) بطريقة السباكة بالقوالب المعدنية وذلك بصهر قطع من الألمنيوم ذات نقاوة 99% وبكتلة معلومة في داخل بودقة من الكرافيت وباستعمال الفرن الكهربائي الخاص بمختبر علم المواد في كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء، أُجريت عملية الصهر عند درجة حرارة $850^{\circ}C$ لضمان إتمام عملية الإنصهار الكامل، وبعد التأكد من حدوث الإنصهار التام أُغمرت داخل المنصهر رقائق وينسب وزنية مضافة (4.5%) من عنصر النحاس النقي Cu وبنسبة وزنية مقدارها (1.5%) من عنصر المغنيسيوم Mg بعد تغليفها بصفائح الألمنيوم لمنع تأكسدها. ولغرض مجانسة المنصهر تم تدويره باستمرار بواسطة قضيب من الكرافيت في داخل البودقة. بعدها أُجريت عملية صب المنصهر في قالب إسطواني من الحديد الصُّلب بقطر 15 mm وبطول 130 mm والذي سُخن مسبقاً إلى درجة حرارة $250^{\circ}C$ لإزالة الرطوبة منه لمنع حدوث التبريد المفاجئ قبل إتمام عملية الصب. ولقد أُجريت عملية التحليل الكيميائي للسبيكة الأساس في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية التابع للشركة العامة للفحص والتأهيل الهندسي / بغداد بجهاز (SPECTRO Max X) والمبينة نتائجها أدناه في الجدول (1).

جدول (1): التحليل الكيميائي للسبيكة الأساس.

Alloy Element	Cu	Mg	Zn	Mn	Fe	Si	Cr	Ti	Al
measured	4.41	1.64	0.0269	0.462	0.28	0.102	0.0066	0.067	Rem

تحضير المادة المتراكبة: Composite preprints

أنتجت المادة المتراكبة بطريقة السباكة بالمزج بإستعمال الخلط اليدوي، وعليه تم تقطيع السبيكة الأساس إلى قطع صغيرة لغرض تحديد الوزن المطلوب منها إستنادا إلى الكسر الوزني لمادة التقوية، وضعت القطع الموزونة داخل بودقة من الكرافيت وأدخلت إلى فرن كهربائي نُظمت درجة حرارته إلى (850⁰C) لضمان انصهار السبيكة بشكل كامل.

ولتجانس توزيع دقائق الألومينا داخل المنصهر استعمل لهذا الغرض طريقة الخلط باليد داخل البودقة، وبعد ذلك تم إضافة دقائق الألومينا المسخنة مسبقا (إلى درجة حرارة 250⁰C لإزالة الرطوبة) إلى داخل المنصهر مع الاستمرار بالخلط اليدوي (30-15sec) ولمنع ترسب الدقائق والحفاظ على سيولة المنصهر قدر الإمكان ولمزيد من التجانس في توزيع الدقائق داخل السبيكة كُررت عملية المزج من (2-3 مرات) وفي كل مرة يتم إعادة البودقة إلى الفرن لضمان إستمرار سيولة المنصهر، بعد ذلك صب المنصهر في القالب المعدني الإسطواني الشكل والمسخن مسبقا إلى درجة حرارة (250⁰ C) والجدول (2) يوضح النسب المستعملة لدقائق الألومينا في السبيكة الأساس.

جدول (2): نسب الألومينا المستعملة في السبيكة الأساس.

Samples	Al ₂ O ₃ (%)	Grain Size (μm)
A Al – 4.5%Cu – 1.5%Mg	–	–
A ₁	1.5	μm ≥ 0.1 p.s > μm53
A ₂	2.5	
B ₁	1.5	μm ≥ 53 p.s > μm63
B ₂	2.5	
C ₁	1.5	μm ≥ 63 p.s > μm75
C ₂	2.5	

4. النتائج والمناقشة (Results & Discussion)

نتائج فحص الصلادة للسبيكة الأساس (A) قبل وبعد إجراء المعاملة الحرارية:

بعد إجراء المعاملة الحرارية بدرجات حرارية مختلفة من 500°C و 525°C و 550°C وبأزمان مختلفة من 2h و 3h و 4h أجري اختبار الصلادة روكويل (HBR) على السبيكة الأساس (A) Al – 4.5%Cu – 1.5%Mg، وكانت النتائج المستحصلة مبينة في الجداول (3) و (4) والتي تبين نتائج اختبار الصلادة قبل وبعد إجراء المعالجات الحرارية على السبيكة الأساس (A).

جدول (3): قيم إختبار الصلادة للسيبكية الأساس (A) بدون معالجة حرارية

ت	الزمن بالساعات	الصلادة (1) (HBR)	الصلادة (2) (HBR)	الصلادة (3) (HBR)	معدل الصلادة (HBR)
1	-	42	41	42	41.7

جدول (4): قيم إختبار الصلادة للسيبكية الأساس (A) عند معالجتها حرارياً

ت	درجة حرارة المعالجة (°C)	الصلادة (HBR) عند 2hr	الصلادة (HBR) عند 3hr	الصلادة (HBR) عند 4hr
1	500	43.3	40.7	44.3
2	525	56.3	54.3	56.7
3	550	59	59.7	60

والتي تبين نتائج إختبار الصلادة قبل وبعد إجراء المعالجات الحرارية على السيبكية الأساس (A). كما تبين من الجدول

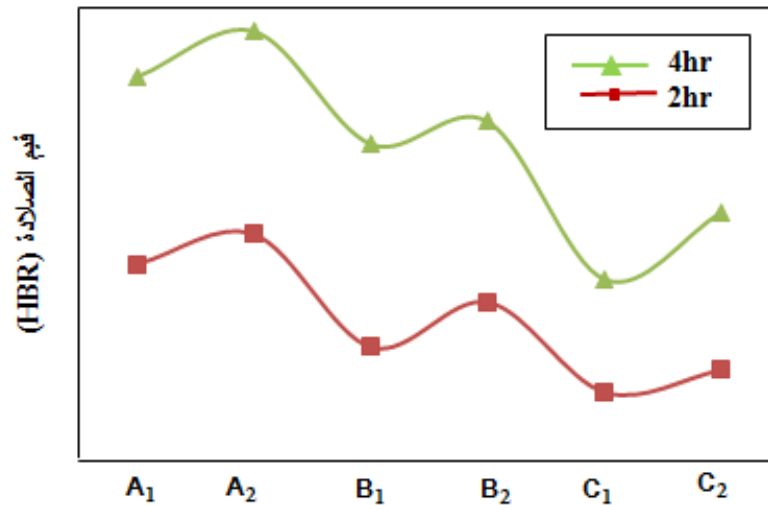
(4) أن أفضل القيم لإختبار الصلادة كانت (60 HBR) عندما عوملت السيبكية الأساس (A) عند الدرجة الحرارية 550°C

وعند الزمن 4h، ولذلك فقد تم تثبيت تلك الدرجة الحرارية والزمن في المرحلة اللاحقة من هذه الدراسة عند معالجة السيبكية

الأساس بعد إضافة دقائق الألومينا Al_2O_3 عليها لتكوين المواد المترابطة ($C_2, C_1, B_2, B_1, A_2, A_1$).

نتائج فحص اختبار الصلادة للمواد المترابطة ($C_2, C_1, B_2, B_1, A_2, A_1$) بعد السباكة والمعالجة الحرارية المحلولية بدرجة حرارة $550^{\circ}C$ والتعتيق عند فترة زمنية مقدارها (2hr) و(4hr):

من خلال ملاحظة الشكل (1) والذي يوضح تأثير زيادة زمن التعتيق في قيم الصلادة للمواد المترابطة ($C_2, C_1, B_2, B_1, A_2, A_1$) بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة $550^{\circ}C$ والتعتيق عند درجة حرارة $200^{\circ}C$ ، إذ يلاحظ إن قيم الصلادة لتلك المواد قد إزدادت عن السبكة الأساس بعد الصب والمعالجة الحرارية المحلولية والتعتيق، كما يلاحظ من الشكل أيضاً بأنها قد تزايدت مع زيادة مدة التعتيق من 2hr لتصل إلى أعلى قيمة لها عند مدة تعتيق مقدارها 4hr. والسبب في ذلك يعود إلى أن إضافة دقائق الألومينا وتوزيعها في أرضية الشبكة الأساس يؤدي إلى زيادة صلادة الشبكة وأن الزيادة في قيم الصلادة مع زيادة مدة التعتيق يعود إلى تفكك المحلول الجامد المفرط التشبع في الشبكة الأساس أثناء مراحل التعتيق وظهور أطوار جديدة مستقرة مثل (Al_2CuMg) إضافة إلى الطور ($CuAl_2$) الموجود أصلاً في الشبكة الأساس [3]. والتي ستؤدي إلى عرقلة حركة الإنخلاعات في المادة المترابطة وبالتالي إلى زيادة قيم الصلادة.

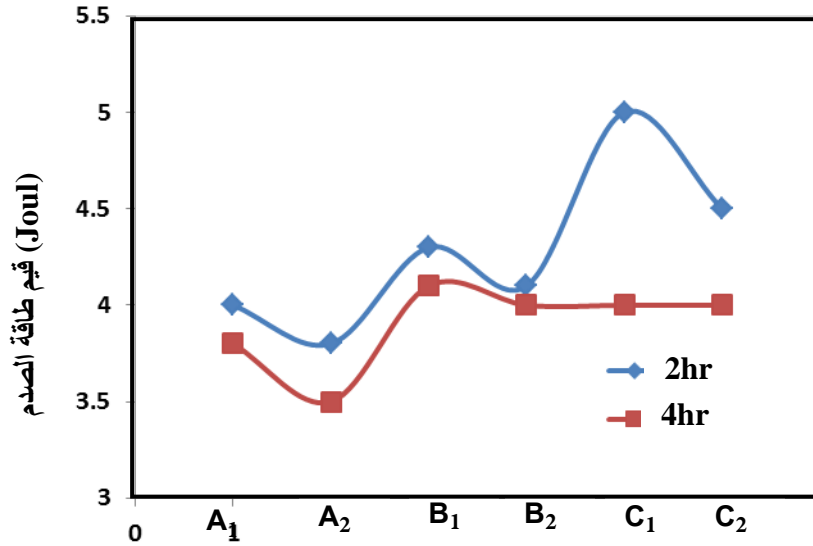


شكل (1): قيم اختبار الصلادة للمواد المترابطة عند معالجتها حرارياً بدرجة حرارة $550^{\circ}C$ والتعتيق عند فترة زمنية مقدارها (2hr) و(4hr)

نتائج فحص إختبار مقاومة طاقة الصدم للمواد المتراكبة ($C_2, C_1, B_2, B_1, A_2, A_1$) بعد السباكة والمعالجة الحرارية المحلولية بدرجة حرارة $550^{\circ}C$ والتعتيق عند الفترة الزمنية (2hr) و(4hr):

من خلال ملاحظة الشكل (2) والذي يوضح تأثير زيادة زمن التعتيق في قيم إختبار مقاومة طاقة الصدم للمواد المتراكبة ($C_2, C_1, B_2, B_1, A_2, A_1$) بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة $550^{\circ}C$ والتعتيق عند درجة حرارة $200^{\circ}C$ ، إذ يلاحظ إن قيم طاقة الصدم لتلك المواد قد أخذت منحاً مغايراً لما هو عليه في إختبار الصلادة المبين في الشكل (1)، إذ يلاحظ بأن قيم المواد المتراكبة (C_2, C_1) قد كانت أكبر من قيم المواد المتراكبة (B_2, B_1) والتي بدورها تكون أكبر من المواد المتراكبة (A_2, A_1)، وهذا يعني بأنه كلما كبرت الحجوم الحبيبية لدقائق الألومينا كانت طاقة الصدم أكبر، كما أن تلك الطاقة تكون أكبر كلما إزداد زمن التعتيق للمواد المتراكبة من 2hr لتصل إلى أعلى قيمة لها عند مدة تعتيق مقدارها 4hr.

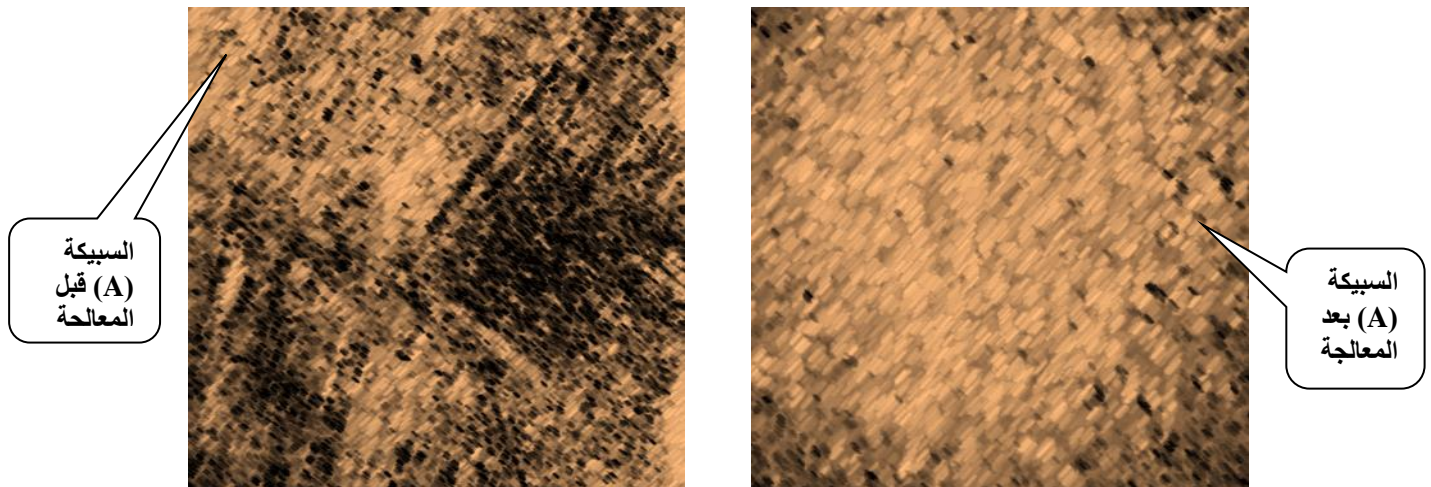
والسبب في ذلك يعود إلى أن إضافة دقائق التقوية مثل الألومينا والتي تتقاسم فيها تلك الدقائق للمادة المتراكبة طردياً مع المادة الأساس إذ أنها تعمل على زيادة جساءة Rigidity المادة الأساس وزيادة مقاومة الزحف Creep ومقاومة الصدمة Impact Strength وتحسين معامل التمدد الحراري علاوة على إكساب مادة الأساس خاصية معينة تحقق الهدف المطلوب [7]. وكذلك فإن إختبار مقاومة الصدم يتطلب وجود حز في عينة الإختبار الذي يؤدي بدوره إلى تكوين منطقة متعددة المحاور Multi-axial stresses، وعليه فإن زيادة الحجوم الحبيبية لدقائق الألومينا المضافة إلى السبيكة الأساس والتي قيم صلابتها (متانتها) قليلة ستكون الطاقة الممتصة لها قليلة أيضاً (الطاقة اللازمة لكسرها) وعليه فإن طاقة الصدم لها ستكون كبيرة [8]



شكل (2) : قيم إختبار طاقة الصدم للمواد المتراكبة عند معالجتها حرارياً بدرجة حرارة 550°C والتعتيق عند فترة زمنية مقدارها (2hr) و(4hr)

5. نتائج فحص البنية المجهرية (Results of Microstructure Test)

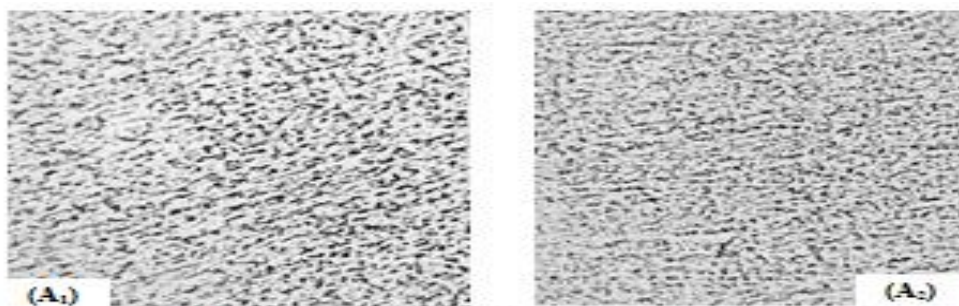
يوضح الشكل (3) البنية المجهرية للمادة الأساس (A) قبل وبعد إجراء المعالجة الحرارية وباستخدام المجهر الضوئي الاعتيادي وبقوة تكبير (400X)، إذ يلاحظ من هذا الشكل ظهور ترسبات كبيرة لعناصر السبك (النحاس والمغنيسيوم) بشكل واضح قبل المعالجة الحرارية المحلولية عليها وإختفاؤها بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية بدرجة حرارة 550°C.



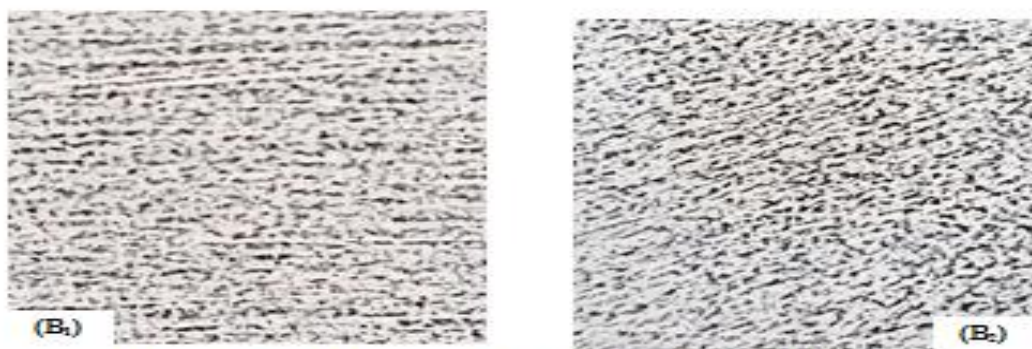
شكل (3): التصوير المجهرى السبيكة الأساس (A) قبل وبع معالجتها حرارياً بدرجة حرارة 550°C

أما الأشكال (4) و(5) و(6) للمواد المترابكة ($C_2, C_1, B_2, B_1, A_2, A_1$) وبعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة $550^{\circ}C$ والتعتيق بدرجة حرارة $200^{\circ}C$ ولمدة 4hr فقد أظهرت وبشكل واضح تواجد دقائق التقوية الألومينا في تلك المواد وترسيبها في تلك المواد.

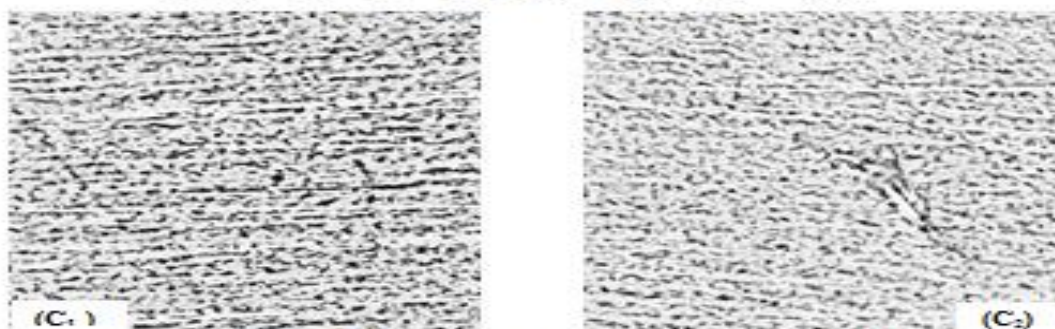
وقد تبين من خلال تلك الأشكال بأن البنية المجهرية للمواد المترابكة ذات حبيبات أكثر نعومة من السبيكة الأساس، كما أن توزيع دقائق الألومينا المضافة في السبيكة الأساس كان متجانساً في أرضية السبيكة، كما دلت تلك الأشكال على أن دقائق الألومينا قد تم توزيعها وبشكل متجانس في أرضية السبيكة الأساس (A).



الشكل (4) التصوير المجهرى الضوئي لمجموعة المواد المترابكة (A_2, A_1)



الشكل (5) التصوير المجهرى الضوئي لمجموعة المواد المترابكة (B_2, B_1)



الشكل (6) التصوير المجهرى الضوئي لمجموعة المواد المترابكة (C_2, C_1)

المصادر (References)

- [1] ندى طاهر السلطان، (2004)، تأثير إضافة دقائق كاربيد السليكون على متانة الكسر لسبيكة الألمنيوم نحاس، رسالة ماجستير في علم هندسة المعادن- جامعة التكنولوجيا.
- [2] A.C. Chaklader and K.R. Linger, *Ceramic metal composites using metal coated alumina powder* Elsevier , Composites,Vol. 7, Issues 4, (1976), pp.239–243.
- [3] ميرفت مهدي الجنابي، (2005)، دراسة الخصائص الميكانيكية لمركبات ذات أساس سبيكة (Al-Cu-Mg)، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية/ الجامعة التكنولوجية.
- [4] سعيد عبد الغفار، (1988)، *تكنولوجيا الألمنيوم*، الجزء الأول، مؤسسة الأهرام، القاهرة.
- [5] منال حميد جاسم، (2006)، دراسة تأثير المعاملات الحرارية الميكانيكية في الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس معدني من سبيكة (Al-Mg-Si)، رسالة ماجستير في علوم هندسة المواد- جامعة التكنولوجيا.
- [6] عبد الحسين ناصر طاهر، (2006)، دراسة تأثير إضافة عنصر النحاس والكاديوم على بعض الخواص الميكانيكية ومقاومة التآكل لسبائك الألمنيوم (Al-Mg-Si)، رسالة ماجستير، كلية العلوم- جامعة البصرة.
- [7] R. P. sheldon, *Composite polymeric materials*, School of Materials Science Publishing, London(1982).
- [8] Roew , Raymond, (2009), "*Adipic Acid*", Handbook of Pharmaceutical Excipients, pp. 11–12.

المؤلف

رعد أحمد رسول: بكالوريوس علوم فيزياء عام 1981 جامعة الموصل، ماجستير علوم تطبيقية (طاقة شمسية) عام 1986 الجامعة التكنولوجية، دكتوراه تربية / فيزياء (الحالة الصلبة / علم المواد) عام 2004 جامعة الموصل، حاصل على لقب أستاذ مساعد عام 2010، لديه أكثر من 15 بحث منشور في المجالات المحلية والعالمية، أشرف على 5 طلاب ماجستير، حالياً يعمل تدريسي في جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء

