دراسة الخواص الميكانيكية لمتراكبات ذات أساس (Al-Cu-Mg) المقواة بحبيبات الألومينا

عبدالله محمود علي

قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

Abdullahma1763@gmail.com

الملخص

الهدف من البحث الحالي هو دراسة الخواص الميكانيكية للمتراكبات ذات الأساس (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) بطريقة الصب وإجراء المعالجة الحرارية المحلولية عليها وبدرجات حرارية مختلفة من 500^oC و 525^oCو 550^oC وبأزمان مختلفة من 2hr و 4hr و 6hr، وأجري اختبار الصلادة روكويل (HBR) عليها، وتبين أن أفضل تلك القيم كانت عند معاملة السبيكة الأساس (A) عند الدرجة الحرارية 550^oC وبالزمن6hr.

تم تحضير المواد المتراكبة بإضافة دقائق الألومينا (Al_2O_3) إلى السبيكة الأساس (Al-Cu-Mg) بنسب وزنية مختلفة (1.5%-2.5%) وبثلاث حجوم حبيبية مختلفة تراوحت بين(75µm≥63µm≥53µm≥0.1µm) وتم تسميتها بالمواد (A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2)وحسب نسبها الوزنية والحجمية، وأجريت المعالجة الحرارية عليها عند درجة حرارة 550^oC ولمدة 6hr ثم التعتيق الاصطناعي عند الأزمان 2hr و 4hr.

أجريت الاختبارات الميكانيكية كالصلادة ومقاومة الشد، وأظهرت جميع تلك الاختبارات حصول المادة المركبة (A_2) والتي تبلغ نسبها الوزنية والحجمية 2.5% و0.1µm≥ على أعلى القيم في تلك الاختبارات وهذا مما يدل على أن صغر الحجوم الحبيبية يزيد من جساءتها وتقسيتها وصلابتها.

وقد أظهرت نتائج فحص البنية المجهرية للمواد المتراكبة بأنها ذات حبيبات أكثر نعومة من السبيكة الأساس، كما أن توزيع دقائق الألومينا المضافة في السبيكة الأساس كان متجانساً في أرضية السبيكة، وقد أظهرت البنية المجهرية تأثير المعالجة الحرارية والتعتيق الاصطناعي في أرضية السبيكة الأساس والمواد المتراكبة.

المقدمة:

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

بدأ الاهتمام في السنوات الماضية بإنتاج مواد متراكبة من مواد معدنية ومواد سيراميكية، إذ لاقت عناية لافته للانتباه لما تتميز به من خصائص فريدة وصفات جيدة للتوصل في الحصول على مادة ذات متانة عالية وخفة في الوزن وقابلية على تحمل درجات الحرارة العالية وبما إن المادة المتراكبة هي عملية خلط مادتين مختلفتين 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 علاوة على أن هذه السبائك التي تحتوي على النحاس والمغنيسيوم تتميز بمقاومتها للتآكل في ماء البحر لذا تستعمل في صناعة السفن أما السبائك التي تحتوي على المنغنيز فتستعمل بصورة واسعة في صناعة صفائح sheet لأغراض التسقيف أو تصفيح الجدران في الأبنية وفي صناعة حافظات المواد الغذائية [3].

كما أن هذه السبيكة تمتاز بقابلية سبك وصقل جيدين ويمكن أصلادهما بالترسيب الأمر الذي حفز الباحثين في الآونة الأخيرة على بتكثيف جهودهم البحثية حول دراسة إمكانية استخدام سبائك الألمنيوم في أنتاج مواد متراكبة ذات أساس من الألمنيوم مقواة بدقائق الألومينا أو الزركونيا بهدف تحسين خصائصها الميكانيكية وبأكثر من تقنية [4].

أهتم الباحثون في العقود الأولى من القرن العشرين في العمل على معرفة وفهم ميتالورجيا سبائك الألمنيوم وعمليات المعالجة الحرارية التي يتم إجراءها لتلك السبائك، والتي تتضمن المعالجة المحلولية والتصليد بالترسيب، وقد استمرت هذه الدراسات مع تطور وسائل الفحص والتشخيص وذلك للحصول على كفاءة عالية للأجزاء المنتجة وبمقاومة وجساءة عاليتين إضافة إلى الحصول على وزن خفيف لتلك الأجزاء [5-6].

والغاية من البحث هو دراسة الخواص الميكانيكية للمتراكبات المصنعة 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 الشد ، ودراسة تأثير ذلك في البنية المجهرية التركيبية للمادة المتراكبة الناتجة المقواة بدقائق الألومينا.

الجزء العملي :

تصنيع السبيكة:

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°C لضمان إتمام عملية الانصهار الكامل، وبعد التأكد من حدوث الانصهار التام أُغمرت داخل المنصهر رقائق وبنسب 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 أسطواني من الحديد الصُلب بقطر 15 mm وبطول 130 mm والذي سُخن مسبقاً إلى درجة حرارة 300°C لإزالة الرطوبة منه لمنع حدوث التبريد المفاجئ قبل إتمام عملية الصب. ولقد أجريت 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).

الجدول (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 باستعمال الخلط اليدوي، وعليه تم تقطيع السبيكة الأساس إلى قطع صغيرة لغرض تحديد الوزن المطلوب منها استنادا إلى الكسر ألوزني لمادة التقوية، وضعت القطع التي وزنت داخل بودقة من الكرافيت وأُدخلت إلى فرن كهربائي نُظمت درجة حرارته إلى(900^0C) لضمان انصهار السبيكة بشكل كامل.

ولتجانس توزيع دقائق الألومينا داخل المنصهر استعمل لهذا الغرض طريقة الخلط باليد داخل البودقة، وبعد ذلك تم اضافة دقائق الألومينا المسخنة مسبقا (إلى درجة حرارة 300^0C لإزالة الرطوبة) إلى داخل المنصهر مع الاستمرار بالخلاط اليدوي (30-15sec) ولمنع ترسب الدقائق والحفاظ على سيولة المنصهر قدر الإمكان ولمزيد من التجانس في توزيع الدقائق داخل السبيكة كُررت عملية المزج من (4-3 مرات) وفي كل مرة يتم إعادة البودقة إلى الفرن لضمان استمرار سيولة المنصهر، بعد ذلك صب المنصهر في القالب المعدني الأسطواني الشكل والمسخن مسبقا إلى درجة حرارة ($300\ ^0$C) والجدول (2) يوضح النسب المستعملة لدقائق الألومينا في السبيكة الأساس.

الجدول (2): نسب الألومينا المستعملة في السبيكة الأساس

Samples	Al_2O_3 (%)	Grain Size (µm)
A *Al – 4.5%Cu – 1.5%Mg*	–	–
A_1	1.5	µm ≥ 0.1 p.s>µm 53
A_2	2.5	
B_1	1.5	µm ≥ 53 p.s>µm 63
B_2	2.5	
C_1	1.5	µm ≥ 63p.s>µm75
C_2	2.5	

النتائج والمناقشة:

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

بعد إجراء المعاملة الحرارية بدرجات حرارية مختلفة من 500^oC و 525^oC و 550^oC وبأزمان مختلفة من 2h و4h و6h أجري إختبار الصلادة روكويل (HBR) على السبيكة الأساس(A) Al –4.5%Cu –1.5%Mg، وكانت النتائج التي تم الحصول عليها مبينة في الجداول (3) و (4) والتي تبين نتائج إختبار الصلادة قبل وبعد إجراء المعالجات الحرارية على السبيكة الأساس (A).

الجدول (3): قيم اختبار الصلادة للسبيكة الأساس (A) بدون معالجة حرارية

ت	الزمن بالساعات	(HBR)الصلادة (1)	(HBR)الصلادة (2)	(HBR)الصلادة (3)	(HBR) معدل الصلادة
1	–	42	42	42	42

الجدول (4):معدل قيم إختبار الصلادة للسبيكة الأساس (A)عند معالجتها حرارياً

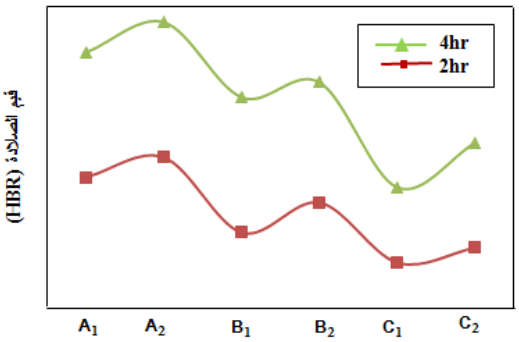
ت	درجة حرارة المعالجة (^{o}C)	الصلادة (HBR) عند 2hr	الصلادة (HBR) عند 4hr	الصلادة (HBR) عند 6hr
1	500	44	45.4	47.6
2	525	56	56.7	58
3	550	59	59.7	61

والتي تبين نتائج اختبار الصلادة قبل وبعد إجراء المعالجات الحرارية على السبيكة الأساس (A). كما تبين من الجدول (4) أن أفضل القيم لاختبار الصلادة كانت (61 HBR) عندما عولجت السبيكة الأساس (A) عند الدرجة الحرارية 550°C وعند الزمن6h، ولذلك فقد تم تثبيت تلك الدرجة الحرارية والزمن في المرحلة اللاحقة من هذه الدراسة عند معالجة السبيكة الأساس بعد إضافة دقائق الألومينا Al_2O_3 عليها لتكوين المواد المتراكبة (C_2,C_1,B_2,B_1,A_2,A_1).

نتائج فحص اختبار الصلادة Results for Hardness tasting

من خلال ملاحظة الشكل (1) والذي يوضح تأثير زيادة زمن التعتيق في قيم الصلادة للمواد المتراكبة (C_2,C_1,B_2,B_1,A_2,A_1) بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة 550°C والتعتيق عند درجة حرارة 200°C، إذ يلاحظ إن قيم الصلادة لتلك المواد قد إزدادت عن السبيكة 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.

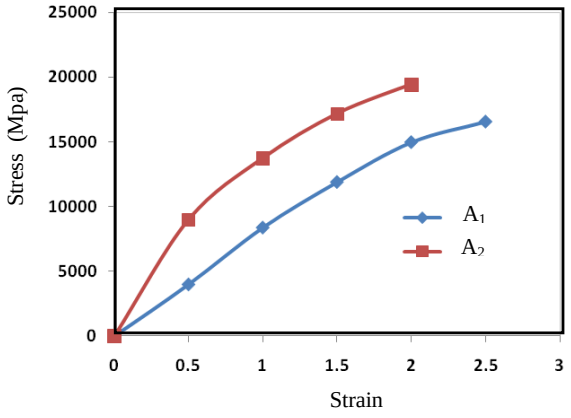
والسبب في ذلك يعود إلى أن إضافة دقائق الألومينا وتوزيعها في أرضية السبيكة الأساس يؤدي إلى زيادة صلادة السبيكة وأن الزيادة في قيم الصلادة مع زيادة مدة التعتيق يعود إلى تفكك المحلول الجامد المفرط التشبع في السبيكة الأساس أثناء مراحل التعتيق وظهور أطوار جديدة مستقرة مثل (Al_2CuMg) إضافة إلى الطور ($CuAl_2$) الموجود أصلاً في السبيكة الأساس[3]. والتي ستؤدي إلى عرقلة حركة الإنخلاعات في المادة المتراكبة وبالتالي إلى زيادة قيم الصلادة.



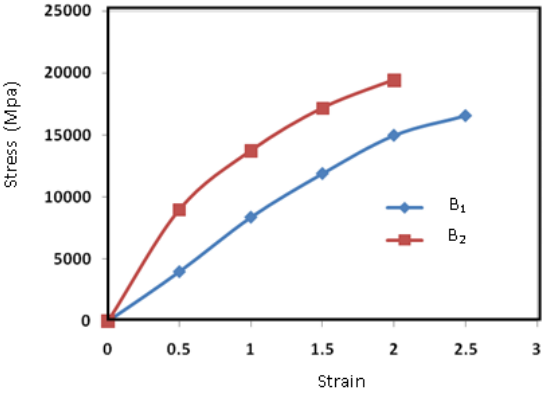
الشكل (1) قيم إختبار الصلادة للمواد المتراكبة عند معالجتها حرارياً بدرجة حرارة 550°C والتعتيق عند فترة زمنية مقدارها (2hr) و(4hr)

نتائج فحص إختبار مقاومة الشد للمواد المتراكبة (C_2,C_1,B_2,B_1,A_2,A_1) بعد السباكة والمعالجة الحرارية المحلولية بدرجة حرارة 550°C والتعتيق عند فترة زمنية مقدارها (2hr) و(4hr)

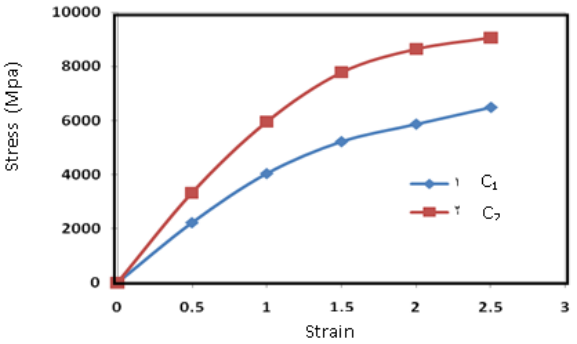
من خلال ملاحظة الأشكال (2) و (3) و (4)والتي توضح تأثير زيادة زمن التعتيق في قيم إختبار الشد للمواد المتراكبة (C_2,C_1,B_2,B_1,A_2,A_1) بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة 550°C والتعتيق عند درجة حرارة 200°Cلمدة 2hr،إذ يلاحظ أن قيم متانة الشد قد ازدادت مع صغر الحجم الحبيبي لدقائق الألومينا المضافة، إذ وصلت تلك القيم عند أقصاها في المجموعة (A_2,A_1) من المادة المتراكبة والتي تبلغ حجومها الحبيبية 0.1 µm ≥ particle size>µm، 53 كما يلاحظ من الشكل أيضاً أنها قد تزايدت مع زيادة مدة التعتيق من 2hr لتصل إلى أعلى قيمة لها عند مدة تعتيق مقدارها 4hr.



الشكل (2) العلاقة بين الإجهاد والانفعال (الشد) للمواد المتراكبة (A_2,A_1) بعد التعتيق لمدة 2hr



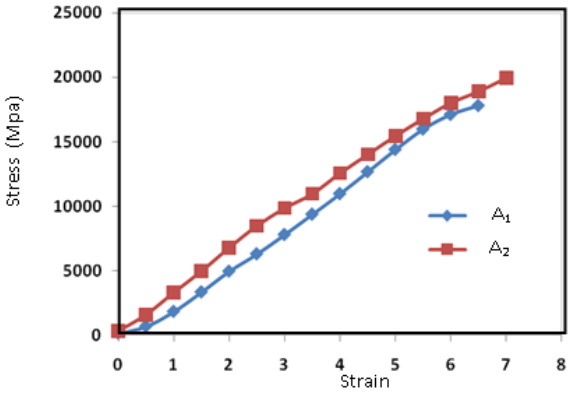
الشكل (3) العلاقة بين الإجهاد والانفعال(الشد) للمواد المتراكبة (B_2,B_1) بعد التعتيق لمدة 2hr



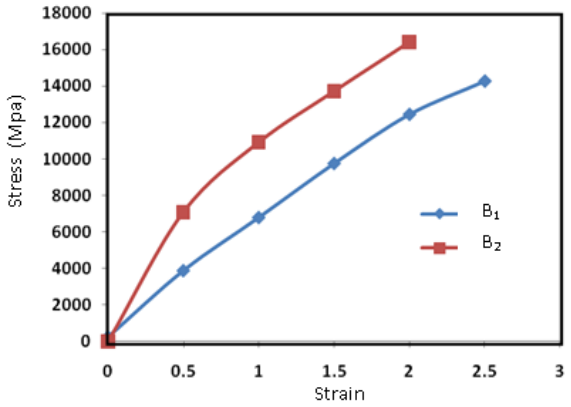
الشكل (4) العلاقة بين الإجهاد والانفعال(الشد) للمواد المتراكبة (C_2,C_1) بعد التعتيق لمدة 2hr

كما يلاحظ من خلال الأشكال (5) و (6) و (7) التي توضح تأثير زيادة زمن التعتيق في قيم إختبار الشد للمواد المتراكبة

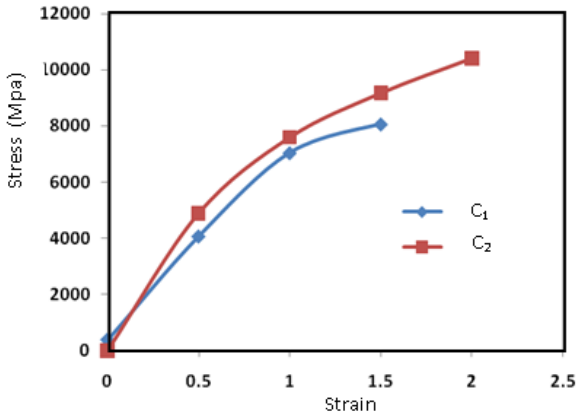
(C_2,C_1,B_2,B_1,A_2,A_1) بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة 550^0C والتعتيق عند درجة حرارة 200^0C لمدة 4hr.



الشكل (5) العلاقة بين الإجهاد والانفعال(الشد) للمواد المتراكبة (A_2,A_1) بعد التعتيق لمدة 4hr



الشكل (6) العلاقة بين الإجهاد والانفعال(الشد) للمواد المتراكبة (B_2,B_1) بعد التعتيق لمدة 4hr



الشكل (7) العلاقة بين الإجهاد والانفعال(الشد) للمواد المتراكبة (C_2,C_1) بعد التعتيق لمدة 4hr

يلاحظ من الأشكال(2) ولغاية (7) زيادة قيم مقاومة الشد مع زيادة النسب الوزنية لدقائق الألومينا المضافة وتستمر القيم بالزيادة مع زيادة النسب الوزنية ما بين (1.5%-2.5%) لتصل الى اعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية2.5%وبعد ذلك تسلك المادة سلوكاً مغايراً حيث تنخفض قيمة مقاومة الشد مع زيادة النسبة الحجمية للألومينا المضافة، إن هذه الزيادة في قيم مقاومة الشد القصوى للسبائك المقواة بدقائق الألومينا يعود إلى طبيعة هذه الدقائق الصلدة والموزعة في سبيكة الأساس بأحجام جزيئية مختلفة والتي تعمل على زيادة متانة السبيكة خلال آلية التصليد بالتشتيت من جراء وجود دقائق صغيرة جداً حجمها الحبيبي لايقل عن (0.1μm)، ومن خلال تواجد الدقائق الأكبر حجماً سوف تعمل هذه الدقائق لمنع تشوه طبقة الأساس أي تحوير التشوه الحاصل في المادة وذلك بسبب صلادتها العالية وعليه فان كلتا الآليتين سوف تعمل على عرقلة حركة الإنخلاعات وبالتالي زيادة متانة المادة، هذا علاوة على وجود هذه الدقائق الصلدة في سبيكة الأساس بنسب مختلفة سوف يعمل على تقليص المسافة بين الدقائق (D_p) تبعا للعلاقة الآتية[31]:

$$D_p = \frac{2d^2}{3V_p}\left(1-V_p\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}1)$$

حيث d: حجم الدقائق

V_p(μm):الكسر الحجمي للدقائق

D_p: المسافة بين الدقائق

وحينما تكون موزعة بشكل منتظم وبنسب وزنية أعلى سوف تعمل دقائق الألومينا على عرقلة حركة الإنخلاعة بنسبة أكبر ولكي تمر الإنخلاعة خلال الدقائق المشتتة والموزعة في طور سبيكة الأساس فان الإجهاد المسلط يجب أن يكون كافياً لحني الإنخلاعة، وبما ان الإجهاد المطلوب لحني الإنخلاعة يتناسب وفق المعادلة[31]:

$$T_i = \frac{3.G_m.b'.V_p}{2d^2\left(1-V_p\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}2)$$

حيث أن:

T_i: الإجهاد المطلوب لمرور الإنخلاعة. b': متجه بيرجر.

V_p: الكسر الحجمي للدقائق. G_m: معامل القص للمادة الاساس.

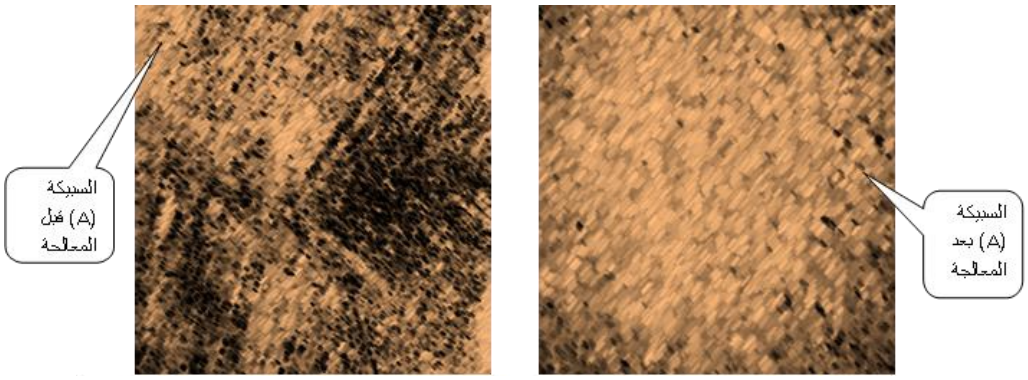
d: حجم الدقائق (μm).

وعليه فانه يمكن ملاحظة العلاقة العكسية بين الإجهاد المطلوب لمرور الإنخلاعة خلال الدقائق ومربع الحجم الحبيبي لهذه الدقائق، وهذا يعني ان أي نقصان في قيمة الحجم الحبيبي سيكون مصحوباً بزيادة ملحوظة في قيمة الإجهاد المطلوب لمرور الإنخلاعة وبالتالي زيادة في قيم الشد .

كما ان مقاومة الشد للسبائك المقواة بدقائق الألومينا سوف تتناسب طردياً مع زمن التعتيق الاصطناعي إذ أنها تصل عند أقصاها عند درجة حرارة 200^0C ولمدة 4hr، إذ أظهرت المادة المتراكبة للعينة(A_2) أن اقصى مقاومة للشد عند القيمة **Mpa** 19933.

فحص البنية المجهرية باستخدام المجهر الضوئي:

يوضح الشكل (8) 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 واختفاؤها بعد إجراء المعالجة الحرارية المحلولية بدرجة حرارة 550^0C.



الشكل (8):التصوير المجهري السبيكة الأساس (A) قبل وبع معالجتها حرارياً بدرجة حرارة 550°C

الاستنتاجات

بعد المعاملة الحرارية بدرجة 550 C° (60HBR) لسبيكة الأساس هي قيمة الصلادة1.

2. زيادة قيمة الصلادة لسبيكة المقواة إلى (79 HBR) بعد الصب والمعالجة الحرارية المحلولية والتعتيق.

3. زيادة في قيم الصلادة بعد زيادة زمن التعتيق إلى 4 ساعات.

4. مقاومة الشد بلغت أقصى قيمة لها (19443.4 Mpa) بعد إجراء المعاملة الحرارية المحلولية عند درجة الحرارة 550 C° وتعتيق اصطناعي لمدة 2 ساعة.

المصادر:

[1] B.M. Suleiman "The Effective Thermal Transport in Composite Material "Department of applied Physics , Sciences of College, University of Sharjah (2010) .

[2]A.C. Chaklader and K.R. Linger, Ceramic metal composites using metal coated alumina powder " Elsevier, Composites, Vol. 7, Issues 4, pp.239-243. (USA) (1976).

[3] Hazem M. "Study of the Effect of Aluminum coating on the behavior of austenitic stainless steel alloy " AISI 321 ,University of Mosul (2007).

[4] M. A., Meyers, Chawala, K. K. "Mechanical behavior of Material " 4th Edition USA (1999).

[5] A.C. Chaklader and K . R . Linger "Ceramic metal Composites using metal coated alumina powder " Elsevire, Composites Vol.7, Issues 4, p 239-243 (1976)

[6] Zaid H. R., Hatab, A. M. Ibrahim and A. M. A. "Properties enhancement of (Al-Zn-Mg) alloy by retrogression and re-aging heat treatment "J. Min. Metall. Sect. B . Metal . 47(1),P. 31-35 (2011)

[7] R. P. Sheldon, Composite polymeric materials, School of Materials Science Publishing, London (1982).

[8] Roew , Raymond, "Adipic Acid", Handbook of Pharmaceutical Recipients, pp. 11-12. (2009).

Study the Mechanical Properties of (Al-Cu-Mg) Matrix Composites Reinforced by Alumina Particles

Abdullah M. Ali
Physical Department , Education of Pure Science Collage, Tikrit University , Tikrit , Iraq
Abdullahma1763@gmail.com

Abstract

The aim of the present research is studying the mechanical properties of composites matrix fabricated of aluminum (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) by cast and to proceeding the heat treatment solution from different temperatures 500^{o}C, 525^{o}C and 550^{o}C for different times 2hr and 4hr, and then proceeding the requil hardness (HBR), Therefore we conducted the optimum value from the alloy basic (A) at the temperature 550^{o}C for 6hr time.

Also we prepared the matrix composite reinforced by alumina (Al_2O_3) with different percentage weight (1.5%-2.5%) and three different particles sizes (75µm≥63µm≥53µm≥0.1µm) which named as (A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2) according to their weight and size percentages, and then proceeding the heat treatment solution and official ageing about them at the temperature degree 550^{o}C for 2hr and4hr.

Mechanical tests like hardness and Tensile resistance were conducted all of them reached that the composite material (A_2) 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.

Key Word: Heat Treatment Solution, official ageing , composite material