

الاضمحلال فوق الصوتي لمتراكبة (Al-SiC) من الألمنيوم معززة بدقائق كربيد السيليكون

عواد هلوش خضر

قصي يونس حامد

أستاذ مساعد / كلية الهندسة / جامعة الموصل

مدرس مساعد / هيئة التعليم التقني / المعهد التقني / الحويجة

الخلاصة

تناول البحث تحضير (11) نموذجاً من مواد متراكبة ذات أساس معدني (Matrix) والمتمثل بسبيكة الألمنيوم (AA3003) معززة بدقائق كربيد السيليكون (SiC) وبكسور حجمية مختارة (5,10, and 15 Vol. %). حضرت سبيكة الأساس والمواد المتراكبة بطريقة السباكة مع التحريك (Stir casting). إن تقنية السباكة مع التحريك تعمل على توزيع دقائق كربيد السيليكون (SiC) بصورة متجانسة في أرضية سبيكة الأساس علماً أن الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السيليكون (SiC) كان (75,106, and 150µm) على التوالي. الهدف من هذا البحث هو إيجاد علاقة ما بين الاضمحلال وسرعة اداة المزج و نسبة المادة المعززة وحجمها، للمواد المتراكبة المؤلفة من مادة الاساس سبيكة الألمنيوم (AA3003) ومعززة بدقائق كربيد السيليكون (SiC)، تم إيجاد الاضمحلال (الطولي والمستعرض) باستخدام تقنية سعة صدى- النبضة القصوى (Maximum pulse-echo amplitude) من خلال مجسات عمودية وزاوية بترددات (2 and 4) ميكا هيرتز علماً أن زوايا المجسات كانت (45°,60°,70°)، وقد بينت النتائج بأنه كلما زاد الكسر الحجمي لدقائق كربيد السيليكون يسبب ذلك زيادة في الاضمحلال، وقد وجد أيضاً أن مقدار الاضمحلال فوق الصوتي يقل مع زيادة حجم الدقائق.

Ultrasonic Attenuation of (Al-SiC) Particulate Aluminum Matrix Composite

Qussay Younis Hamid

Awad Hallosh Khidhir

Institute

Mechanical Eng. Dep. / Mosul University

Haweja Technical

Abstract

The present research deals with preparing (11) samples of composite materials with metal matrix represented by Aluminum alloy (AA3003) cast and particulate reinforced by (SiC) having particles volume fractions (5,10,15 Vol.%). The alloy matrix and composite materials were prepared by stir casting method. Stir casting technique was used to increase the homogeneity distribution of the particles in alloy matrix. Average particle sizes of (75,106,150µm) were used. The aim of this study is to investigate the relationships between ultrasonic attenuation and stirrer speed, reinforcement contents of SiC reinforced Al-alloy (AA3003) composites. Attenuation (longitudinal and shear) were measured using the pulse-echo amplitude technique with normal and angle probes of (45°,60°,and70°) and frequencies of (2 and 4 MHz). The results show an increase in volume fraction of particles causes an increase in attenuation. It was also found, that the ultrasonic attenuation decreases with increasing particle size. It was observed that an increases in stirrer speed, increases in the longitudinal ultrasonic attenuation.

Keywords: Composite Material, AA3003, SiC particles, Stir Casting, NDT, Attenuation.

المقدمة

إن العديد من التقنيات الحديثة والمتطلبات العصرية تحتاج وتتطلب مواد ذات خصائص فريدة غير متوفرة في السبائك الاعتيادية أو المواد السيراميكية ، أو البوليمرات وخاصة المواد التي تستخدم في تطبيقات الفضاء الخارجي وفي البحار ولأغراض النقل كالمطائرات فيبحث العلماء والمهندسون مثلاً على مواد لتصنيع الهيكل بحيث تمتلك كثافة واطنة (Low density) ومقاومة عالية (High strength) فضلاً عن امتلاكها مقاومة عالية للحك (Abrasion resistance) ولمقاومة الصدمات (Impact resistance) وغير قابلة للتآكل، وهذه الخصائص لا يمكن جمعها في نوع واحد من المواد (قبل ابتكار المواد المترابكة) لأن المواد القوية وذات المتانة العالية غالباً ما تكون كثافتها عالية (High density) وكذلك الزيادة في مقدار المتانة يؤدي إلى تقليل مقاومة الصدمة [1] [2].

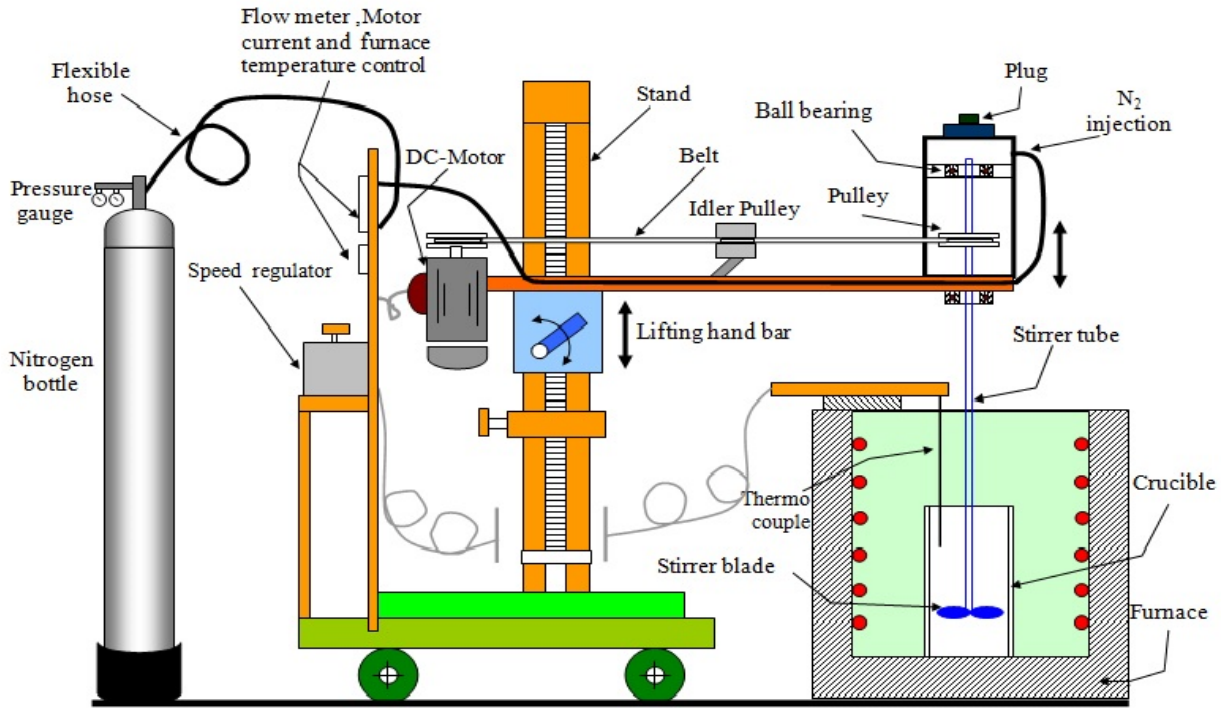
ولمعرفة خصائص المواد المترابكة لابد من فحصها وهناك فحوصات إتلافية وفحوصات لا إتلافية ومن الفحوصات اللاإتلافية هي فحوصات الموجات فوق الصوتية وتتضمن هذه الفحوصات بعض القياسات الخاصة بالموجات فوق الصوتية وهي قياس السرعة وتشمل السرعة الطولية (Longitudinal Velocity) و السرعة المستعرضة (Shear Velocity) ، و قياس الاضمحلال (Attenuation) وقد تم التركيز في البحث الحالي على الاضمحلال [1] .

إن انتشار الموجات فوق الصوتية داخل المادة المترابكة حساس جداً للتغيرات التي تحدث داخل تلك المادة (البنية المجهرية والخواص الميكانيكية) وهناك علاقة ما بين مقدار السرعة (الطولية والعرضية) للموجات فوق الصوتية وخصائص المادة المترابكة ، حيث إن الاختلاف بالكسر الحجمي (Volume fraction) للدقائق المعززة وطريقة توزيعها وانتشارها سواء كانت متكتلة أو موزعة بشكل منتظم ومتجانس ووجود بعض العيوب كالمسامية والشقوق مثلاً كلها عوامل تتأثر بها السرعة فيزداد مقدارها أو ينقص اعتماداً على العامل المؤثر [1] ، وفيما يلي استعراض لبعض البحوث والدراسات التي استخدمت الموجات فوق الصوتية كوسيلة للفحص وتحديد خصائص المواد المترابكة .

درس الباحثان (Mott , Liaw , 1988) خصائص سبيكة الألمنيوم (7090Al) المدعمة بألياف قصيرة من كاربيد السيليكون باستخدام تقنية الموجات فوق الصوتية وقد توصلوا إلى ان نتائج الفحص تبشر بنجاح هذه التقنية ، بينما قام الباحث (H.K.Jung, 1999) وزملاؤه بالاعتماد على الموجات فوق الصوتية لإيجاد معامل المرونة لمادة مترابكة مؤلفة من سبيكة الألمنيوم (2124) كمادة اساس ومعززة بدقائق من كاربيد السيليكون (SiC) وبأحجام مختلفة (3,8,25,49µm)، وعلى الصعيد نفسه نشر الباحثان (Esra ATAS , C.Hakan G.R, 2000) بحثاً يتناول إيجاد خصائص مادة مترابكة مؤلفة من معدن الالمنيوم و(1.5Cu) المدعم والمعزز بدقائق من كاربيد السيليكون (SiC) ذات قطر (10 , 140 µm) وبنسب مختلفة (5,10,20%) وقد قاما بحساب السرعة الطولية (Longitudinal velocity) فضلاً عن مقدار الاضمحلال اما الباحثان (C.Hakzn Gur , B.Ogel 2001) فقد درسا العلاقة بين البنية المجهرية للمادة المترابكة وسرعة انتقال الموجات فوق الصوتية حيث تم استخدام الألمنيوم و(5%Cu) كمادة قاعدة معززة بدقائق من كاربيد السيليكون، وأخيراً نشر الباحث (S.Adalarasu , 2006) بحثاً حول عامل الوهن أو الضعف الذي يؤثر خصائص المرونة في المواد المترابكة المعززة بجسيمات دقيقة حيث استخدم سبيكة الألمنيوم (2024) المعززة بـ(10%) من دقائق كاربيد السيليكون (SiC) ذات قطر (23µm) وتم تحضير النماذج باستخدام تقنية السباكة مع التحريك وبعد ذلك تجرى عليها عملية درفلة على الساخن ، ثم يتم فحصها باستخدام الموجات فوق الصوتية [1] .

المواد وطريقة العمل

تعد طريقة وتقنية التصنيع من الأمور المهمة جداً في مجال إنتاج المواد المترابكة لأنها تحدد الكثير من مواصفات المنتج ومنها مقاومته وصلادته وشكله النهائي، وقد تم اعتماد تقنية السباكة مع التحريك في التحضير لما تتمتع به من مواصفات تميزها عن غيرها ومنها الكلفة الواطئة والمرونة العالية في تصنيع نماذج بأشكال وأحجام مختلفة، وهي مستخدمة في عصرنا هذا في إنتاج العديد من المستلزمات اليومية والتجارية [3]. وتتلخص هذه العملية بوضع معدن (Crucible) الصهر التي تكون داخل فرن كهربائي (Electrical furnace) أن يتم صهر المعدن يتم إضافة الدقائق (Particles) أو الألياف القصيرة إلى المنصهر وباستخدام أداة المزج (Stirrer) يتم توزيع الدقائق بصورة منتظمة داخل المعدن المنصهر، ويصب الناتج في قالب معين، وبعد ذلك تتم عملية التبريد [1] [4] . (1) يمثل شكل تخطيطي السباكة مع التحريك المستخدمة في البحث.



(1): شكل توضيحي لأجزاء منظومة السباكة مع التحريك [1]

تحضير المادة المتراكبة

تضمنت الدراسة إنتاج وتصنيع (11) سبيكة الألمنيوم (AA3003) المعززة وهي دقائق كربيد السيليكون (SiC) بحجم حبيبي (75,106, and 150 μm) المقارنة تم تحضير (5,10,15 Vol.%) (Volume fraction) فقط أي من دون وضع الدقائق المعززة بداخله ولكن ظروف تصنيعه هي الظروف نفسها التي تمر بها باقي (AA3003) درجة الحرارة وطريقة التبريد) و تم استخدام سرع دورانية مختلفة لأداة المزج وهي (500,600, and 700rpm) [1].

إعداد نماذج الفحص

تم إعداد النماذج الخاصة بالفحص حيث تم تشغيلها بواسطة ماكينة الفريزة باستخدام أداة قطع أفقية لضبط الأبعاد والحصول على سطوح مستوية ومتوازية وبعد ذلك تم صقلها بواسطة ورق الصقل لضمان الحصول على نتائج دقيقة من الفحص بالموجات فوق الصوتية [5]. تم استحداث ثلاثة عيوب اصطناعية والمتمثلة بثقب برييه جانبي نافذ قطرها (6mm) موزعة على طول النموذج لتشمل ثلاث مناطق رئيسة متساوية العليا والوسطى والسفلى. وبعد التنقيب تم استخدام الريمر (Reamer) لغرض تنعيم السطح الداخلي للثقب، تم إعداد عينتين من كل نموذج، الأولى تمثل المنطقة العليا للنموذج أما الثانية فتمثل المنطقة السفلى من النموذج وهي خالية من العيوب الاصطناعية. لغرض أخذ قراءات الاضمحلال منها باستخدام المجسات العمودية [1].

جهاز الموجات فوق الصوتية

التقنية فوق الصوتية (Ultrasonic technique) من التقنيات الواسعة الاستخدام في مجال الفحوصات اللاتدميرية (NDT) للمواد ويمكن من خلالها الحصول على معلومات مفيدة عن تركيبة الجهاز المستخدم في البحث هو من نوع (Krautkramer ultrasonic flaw detector USM2) الذي يعمل وفق تقنية

(Pulse-echo amplitude technique) وهو من نوع (A-scan) حيث يستخدم لفحص المواد ومنها المواد المترابكة. تتضمن طريقة الفحص استخدام تقنية البيزو الكهربائي (Piezoelectric) حيث تنتقل الموجات فوق الصوتية وتتغلغل إلى داخل المادة لتنعكس بعد ذلك من العيوب (المسامية وتجمّع الدقائق وغيرها) والسطح الخلفي للنموذج المفحوص، وإن الإشارات المنعكسة من العيوب تعطينا معلومات عن التركيب الداخلي للمادة المترابكة وعن طبيعة توزيع الدقائق المعززة داخل مادة الا [1] [6].

الموجات فوق الصوتية

تم استخدام الموجات فوق الصوتية في السنوات الأخيرة لفحص المواد وتحديد خواصها والسيطرة على نوعية الإنتاج لكونها من الطرائق السريعة أنها فحوصات لا إتلافية وقد لوحظ أنه هناك علاقة واضحة بين التغييرات الحاصلة في البنية المجهرية للمادة مع قيمة السرعة للموجات فوق الصوتية [5]. يقتصر الفحص بالمجهر على مساحة صغيرة ومحددة بينما الفحص باستخدام الموجات فوق الصوتية يشمل مساحة أكبر و أوسع من النموذج لذا فهي تعطي انطباعاً أوضح عما هو موجود في داخل النموذج الواحد (التركيبية الداخلية) [7][8].

الاضمحلال

يمكن تعريف الاضمحلال على انه مقدار الضياع في قدرة الموجة في وحدة المسافة خلال انتقالها في المادة حيث إن جميع المواد تقوم بإضعاف أو توهين الصوت المنتقل خلالها ، وأن هذا الإضعاف أو التوهين يتم نتيجة عاملين أساسيين وهما (Scattering) (Absorption) ، حيث يحدث التشتت عندما ينعكس الصوت في اتجاه غير اتجاهه الأصلي أما الامتصاص فهو تحول طاقة الصوت الى نوع آخر من الطاقة (تتحول إلى طاقة حراري) . يقاس الاضمحلال (Normal probe) (Angular probe) وحسب المواصفة العالمية (ASTM Standard E664-93) حيث يتم أخذ عدد معين من الإشارات الظاهرة على الشاشة بعد أول إشارة في منطقة المدى البعيد (Far zone) ومن ثم القيام بزيادة السعة الى أن تصل الى مستوى الإشارة الاولى ويتم حساب الفرق بمقدار (dB) وبتطبيق العلاقة التالي يمكن حساب الاضمحلال (Attenuation) [9] [10][11].

$$Attenuation = \frac{\Delta dB}{2NT} \quad dB / mm \quad (1)$$

حيث إن :-

N:

T: تمثل المسافة المقطوعة من قبل الموجة مقياسه بالمليمتر.

قياسات الموجات فوق الصوتية

بعد الانتهاء من إعداد النماذج يتم فحصها باستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية حيث تم استخدام المجسات العمودية (Normal probes) , فضلاً عن المجسات الزاوية (Angular probes) (2 and 4 MHz) المجسات الزاوية تتضمن ثلاث زوايا وهي (70° , 60° , 45°) ويتم تسجيل قيمة السعة المستحصلة بالديسيبل (dB) تعبر عن مقدار القدرة التي تحويها إشارة الموجة فوق الصوتية المرتردة .

(80% FSH) (Full screen height) من ارتفاع الشاشة بوصفه مستوى موحداً لكل القراءات لغرض المقارنة ، والسبب في ذلك هو لكي نسيطر على الإشارة الظاهرة لدينا ونضمن عدم وجود إشارة فوق هذا المستوى ، أي عند أخذ القراءة بالمجسات يجب ضمان أخذ أعلى قيمة ممكنة للسعة ويتم ذلك عن طريق تحريك المجس الى الامام والى الخلف إضافة إلى تدوير المجس مع استخدام وسط ناقل (Coupling medium) مع العلم أنه تم استخدام الزيت (Oil) كوسط ناقل للصوت بين المجس وسطح النموذج على مدى الدراسة وبعد أن يتم التأكد من أخذ أعلى قيمة للسعة الظاهرة على الشاشة يتم رفع هذه الإشارة إلى مستوى (80% FSH) .

المجسات العمودية ذات التردد (Attenuation) (2 and 4 MHz) (45°) (2 and 4 MHz) يقطعها الصوت في كلتا الحالتين، حيث نضع (x₁) (80%FSH) ونبدأ بتضخيم الطاقة كميات من الديسيبل بواسطة الصمام الخاص الموجود على الجهاز فنجد أن الإشارة (x₂) ازدادت كميات الديسيبل المعطاة ، ونستمر بالعملية الى ان يصل ارتفاع الإشارة (x₂) (80%FSH) وبعد ذلك يحسب

خضر: الاضمحلال فوق الصوتي لمتراكبة (Al-SiC) من الألمنيوم معززة بدقائق كربيد السيليكون

لديسبيل المضاف والذي يعتمد على الاضمحلال ولنفرض انه يساوي (dB) فإن مقدار الاضمحلال يمكن حسابه (1) .

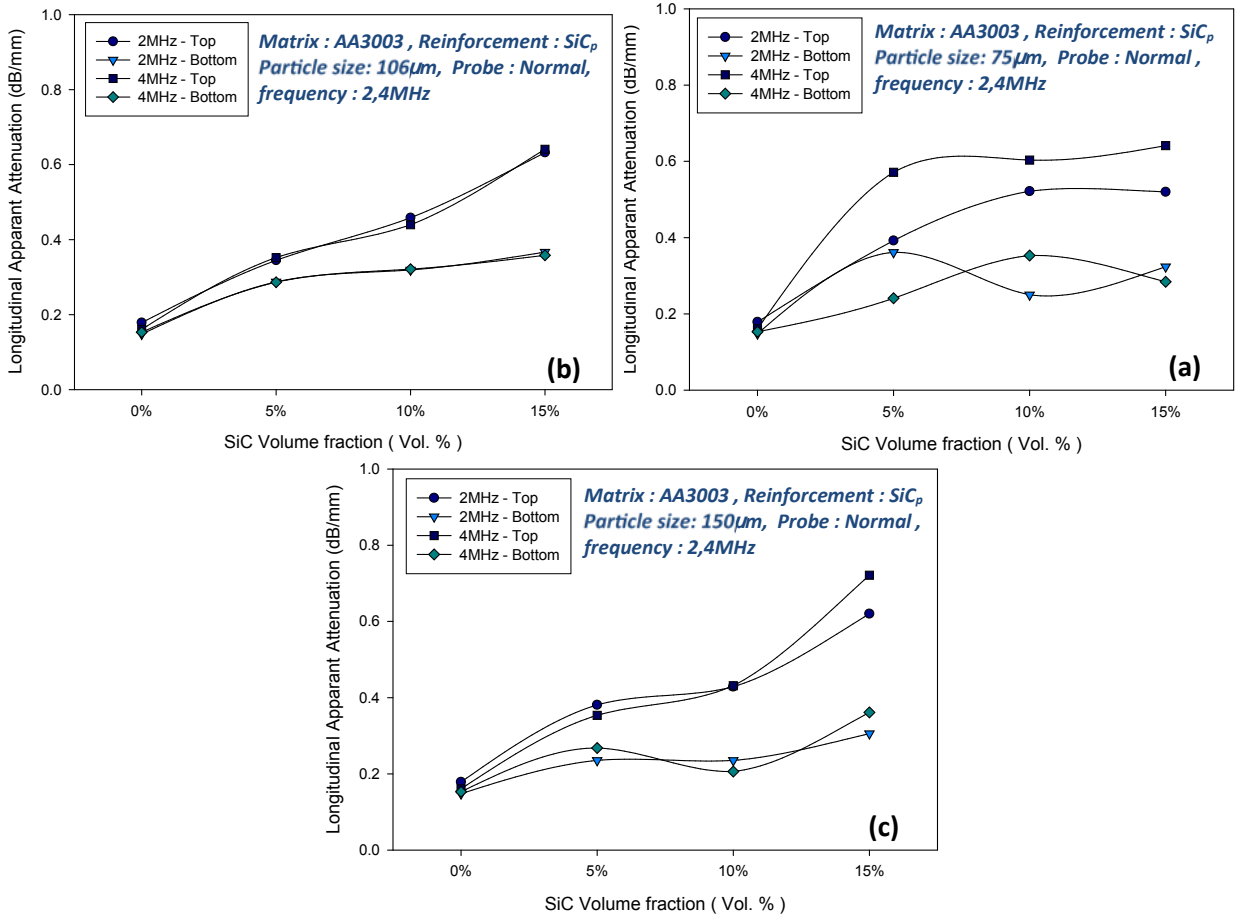
النتائج والمناقشة

يعد حساب الاضمحلال من الفحوصات المهمة حيث يمكن معرفة وتحديد خصائص المنتج وسلوكه فهو بذلك الإجراءات التي تستخدم للسيطرة على نوعية المنتج وجودته [10].
المجس المستخدم تضحل تدريجياً في الوسط الذي تمر فيه بتردد معين، وإن سبب حصول الاضمحلال هو نتيجة الاختلاف في التركيب الداخلي للمعدن وطريقة تصنيعه أو نسب العناصر الموجودة في السبيكة ، أما في المواد المتراكبة فيضاف سبباً آخر وهو نوعية وطريقة توزيع المادة المعززة داخل مادة القاعدة [11].
كافة في منطقتين مختلفتين هما قمة وقاع النموذج لدراسة تأثير الكسر الحجمي للدقائق المعززة فضلاً عن حجمها ، تم استخدام المجسات العمودية ذات التردد (2 and 4 MHz) أما إيجاد الاضمحلال باستخدام المجسات الزاوية فقد كان باستخدام المجس ذي الزاوية (45°) (2 and 4 MHz) أيضاً وذلك لتقارب المسافة التي يقطعها الصوت (Sound path) في كلتا الحالتين لغرض المقارنة.

العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال الطولي للنماذج المحضرة

(2) يبين العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال الطولي للنماذج المحضرة والمعززة بدقائق

كربيد السيليكون (75,106, and 150µm) ات عمودي (2 and 4 MHz)



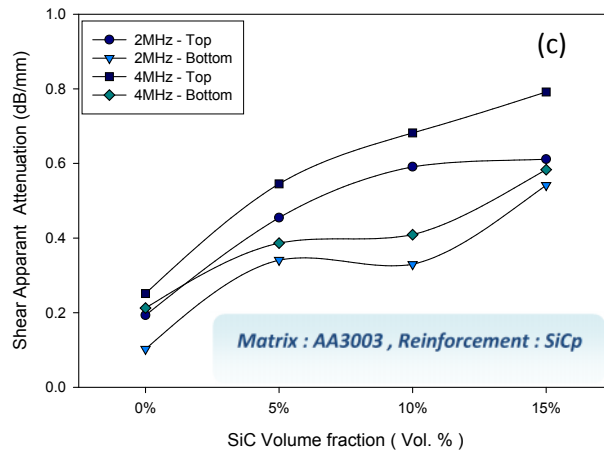
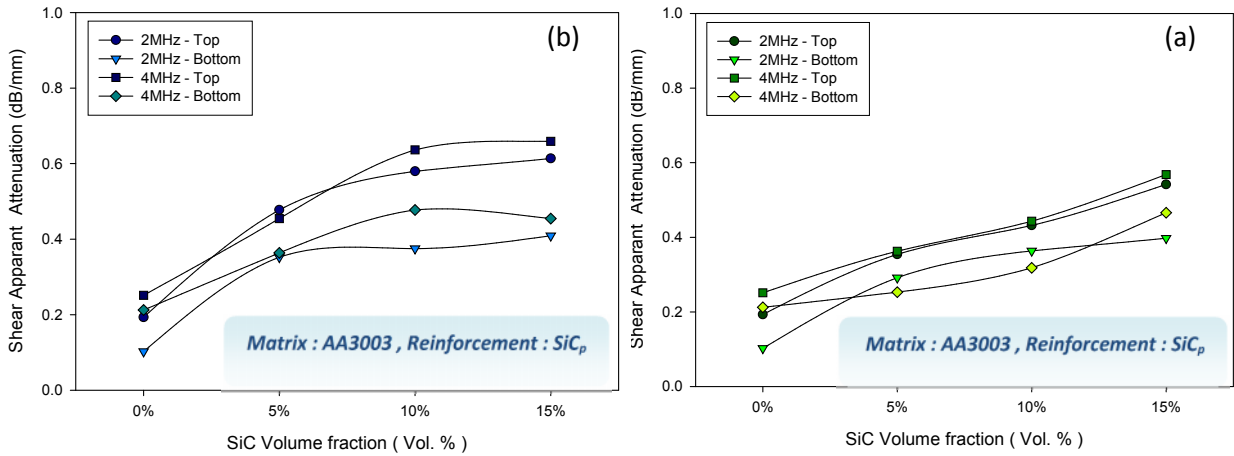
(2):العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال الطولي للنماذج المحضرة والمعززة بدقائق من كربيد السيليكون باستخدام مجسات عمودية ذات تردد (2 and 4MHz) (a:75; b:106; c:150µm)

، حيث يلاحظ أن الاضمحلال يزداد بصورة عامة في كلا الموقعين (القمة والقاع) مع زيادة الكسر الحجمي كاربيد السيليكون (SiC) والسبب في ذلك هو ان هذه الدقائق تعمل على تشتيت الصوت وأضعافه، ولزيادة المسامية أيضاً [10][12]، حيث مع زيادة كاربيد السيليكون (SiC) يؤدي ذلك الى زيادة عددها وبالتالي زيادة طول السطح البيني (interface) مما يزيد من مقدار التشتيت (Scattering) في القدرة التي تحتويها الموجة فوق الصوتية المرتدة الى المجس عند تلك السطوح البينية، إن مقدار الاضمحلال يكون أكبر عند قمة الذ بسبب زيادة نسبة الدقائق في تلك المنطقة الناتجة بفعل الترسيب داخل البودقة زيادة نسبة المسامية هناك [1].

العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال المستعرض للنماذج المحضرة

(3) الذي يوضح العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال

كاربيد السيليكون ذات الأحجام (75, 106, and 150 μ m) وباستخدام مجسات زاوية (45°) (2 and 4 MHz) حيث يلاحظ ازدياد في قيم الاضمحلال عند قمة النموذج وقاعه مع زيادة الكسر الحجمي كاربيد السيليكون (SiC) قيمته كلما اتجهنا باتجاه قمة النموذج بسبب زيادة عدد الدقائق المعززة والتي تعمل على زيادة تشتيت وضياح التي تحتويها الموجة فوق الصوتية المرتدة الى المجس [12].



(3): العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال المستعرض للنماذج المحضرة والمعززة بدقائق من كاربيد السيليكون

(a:75; b:106; c:150 μ m)

(2 and 4 MHz)

باستخدام مجسات زاوية (45°)

تأثير حجم الدقائق على مقدار الاضمحلال

(4) فهو يوضح العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال الطولي

(2 and 4 MHz)

ات عمودي

(75, 106, and 150 μ m)

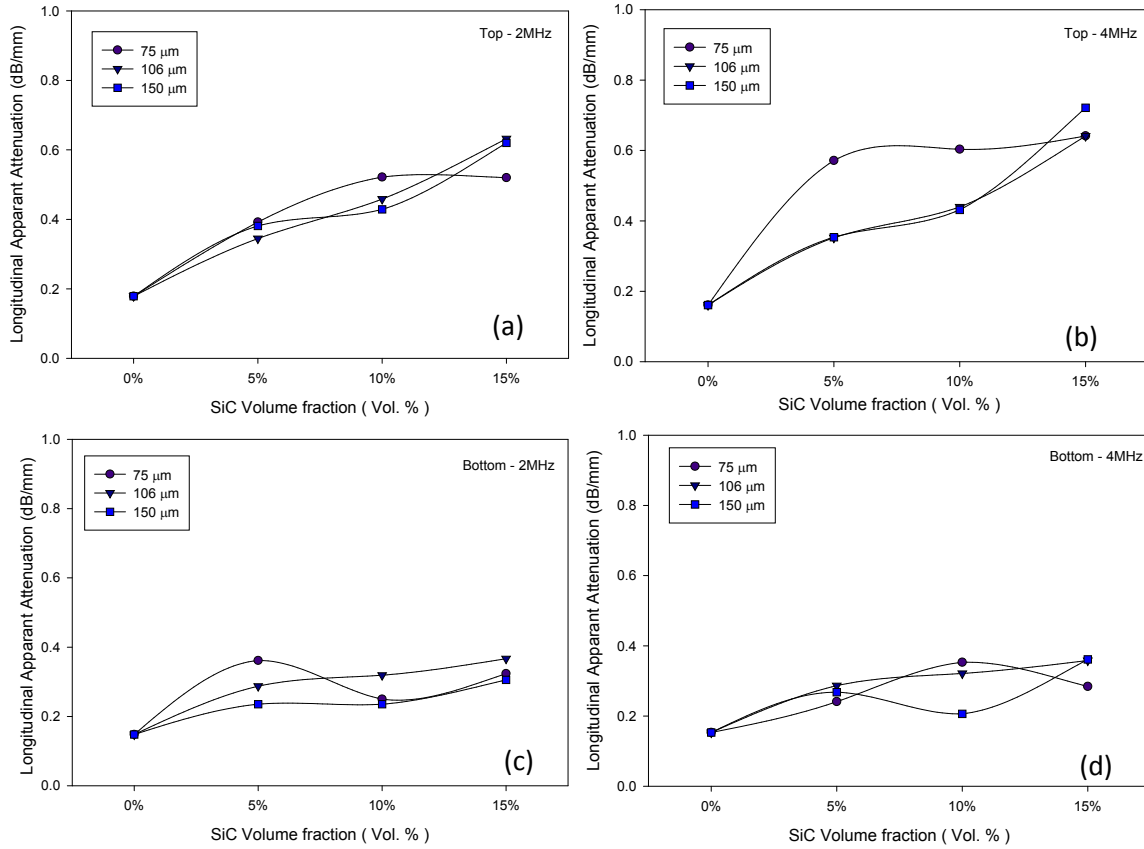
كاربيد السيليكون

خضر: الاضمحلال فوق الصوتي لمتراكبة (Al-SiC) من الألمنيوم معززة بدقائق كربيد السيليكون

مختلفة من النموذج، حيث يلاحظ زيادة الاضمحلال مع زيادة الكسر الحجمي (SiC) كربيد السيليكون ويكون مقداره أكبر عند قمة النموذج مقارنة مع قاعه.

أما لو أردنا أن ندرس تأثير حجم الدقائق على مقدار الاضمحلال فنلاحظ أنه كلما زاد حجم الدقائق يقل مقدار الاضمحلال ويبدو التأثير واضحاً في قمة النموذج حيث عند ثبوت الكسر الحجمي (5,10 Vol.%) يكون عدد الدقائق المعززة في حالة استخدام الحجم الأصغر أكبر وبالتالي يزداد مقدار السطح البيني بين الدقائق ومادة القاعدة ولهذا نلاحظ ازدياد مقدار الاضمحلال [12].

(15% Vol.) فنلاحظ عكس ذلك حيث يزداد الاضمحلال مع زيادة حجم الدقائق وقد يرجع السبب في ذلك إلى زيادة نسبة الدقائق المعززة الناتجة بسبب ترسب الدقائق الكبيرة (106,150µm) من الدقائق الصغيرة (75µm) فضلاً عن زيادة نسبة المسامية عند الحجم الأكبر (150µm).

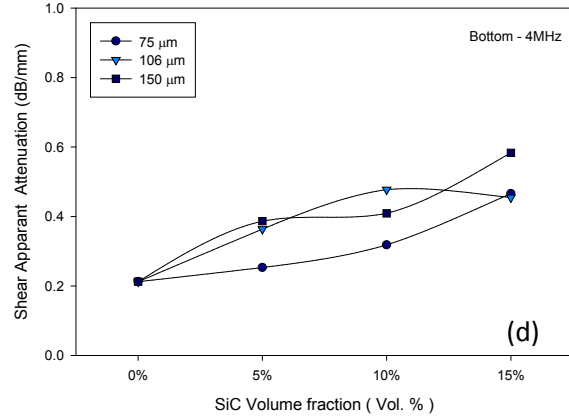
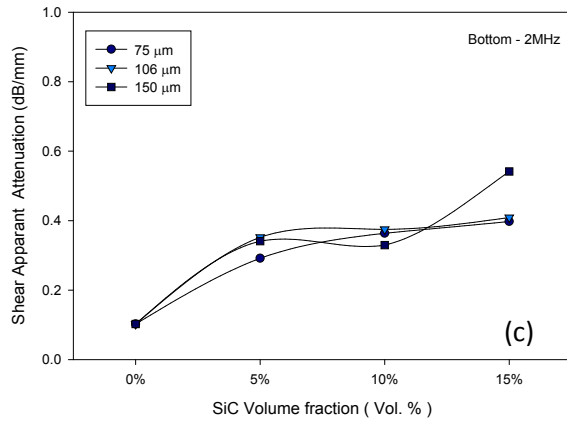
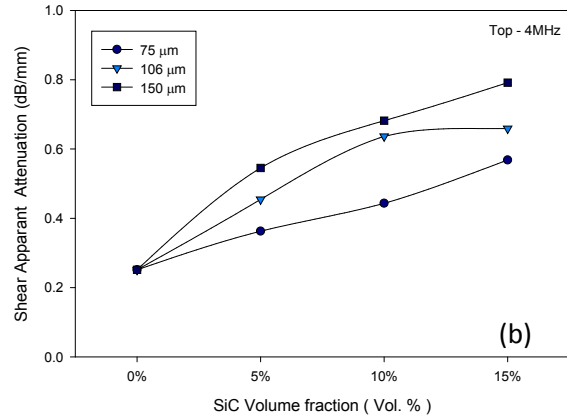
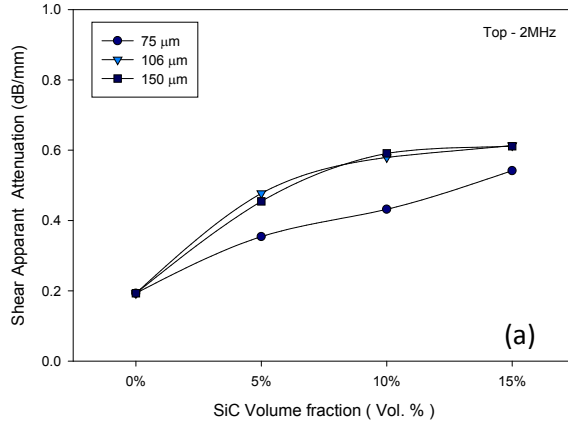


(4): العلاقة بين الكسر الحجمي ومعدل الاضمحلال الطولي للنماذج المحضرة والمعززة كربيد السيليكون (75,106, and 150µm) باستخدام مجسات عمودية .(a: Top-2 MHz; b: Top-4 MHz; c: Bottom-2 MHz ; d: Bottom-4 MHz)

(5) يوضح العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال المستعرض

كربيد السيليكون (75,106,150µm) باستخدام مجسات زاوية (45°) (2,4MHz)

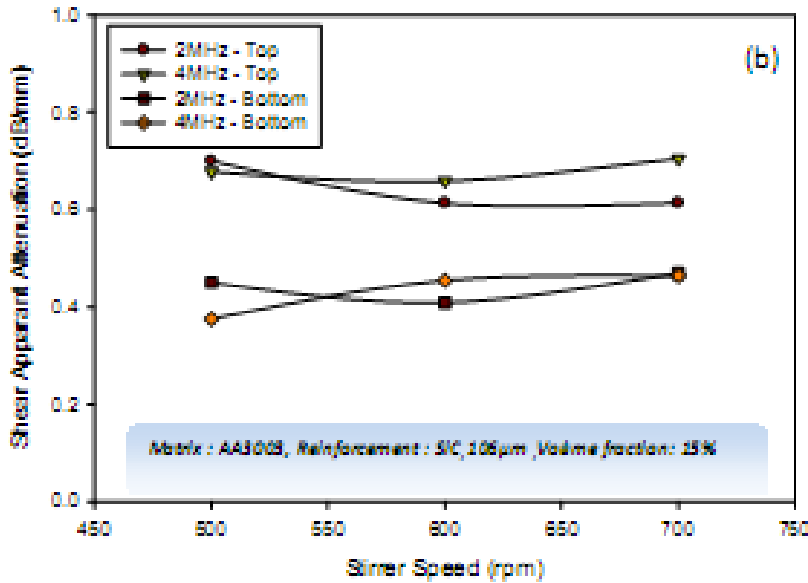
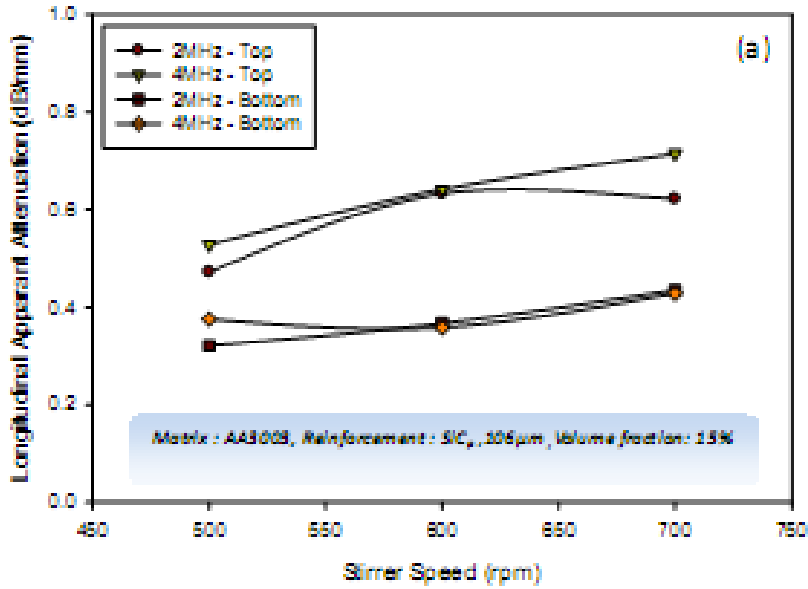
،حيث يلاحظ أن الاضمحلال يزداد مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق المعززة وللأحجام كافة ، ويلاحظ أيضاً ان الاضمحلال يزداد مع زيادة حجم الدقائق المعززة حيث يزداد مقدار التشتت بسبب كبر مساحة السطح المشتت ويلاحظ أن مقدار الاضمحلال يكون أكبر عند استخدام المجس ذو التردد (4MHz) .



(5): العلاقة بين الكسر الحجمي والاضمحلال المستعرض للنماذج المحضرة والمعززة بدقائق كربيد السيليكون (75,106, and 150μm) باستخدام مجسات زاوية (45°).
(a:Top-2 MHz; b: Top-4 MHz; c: Bottom-2 MHz ; d: Bottom- 4 MHz)

العلاقة بين سرعة أداة المزج والاضمحلال الطولي والمستعرض للنماذج المحضرة

(6) فهو يوضح العلاقة بين سرعة أداة المزج والمعززة بدقائق من كربيد السيليكون (106μm) باستخدام مجسات عمودية وزاوية ذات (2 and 4 MHz) وبمواقع مختلفة من النموذج ، حيث يلاحظ انه مع زيادة سرعة أداة المزج يزداد مقدار نتيجة لزيادة نسبة المسامية [13]، حيث تزداد المسامية مع زيادة سرعة أداة المزج وبالتالي تؤدي تشتت وضياح القدرة التي تحويها الموجة فوق الصوتية المرتدة الى المجس أي زيادة مقدار الاضمحلال بينما نلاحظ أن أكبر قيمة للاضمحلال المستعرض تكون باستخدام السرعة (500rpm) عند قمة النموذج وقد يعود السبب الى ترسب وتكتل الدقائق المعززة عند ذلك الموقع ، ويتبين بصورة عامة من نتائج الاضمحلال أنه كلما زاد التردد زاد مقدار [14].



(6): العلاقة بين سرعة أداة المزج والاضمحلال الطولي والمستعرض للنماذج المحضرة والمعززة بدقائق من كربيد السيليكون (106µm) (15 Vol. %) باستخدام مجسات عمودية وزاوية (2 and 4MHz) . (a: Normal probe ; b: Angle probe) .

الاستنتاجات

- 1- التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة يمكن استنتاج ما يلي :-
- 2- يزداد مقدار الاضمحلال مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق كربيد السيليكون (SiC).
- 3- حجم الدقائق يقل مقدار الاضمحلال.
- 4- إن قيم الاضمحلال تكون أكبر عند قمة النموذج مقارنة مع القاع .
- 4- نحصل على أعلى اضمحلال لقدرة الموجة فوق الصوتية المنتقلة خلال (4MHz)
- (2MHz) ويبدو ذلك جلياً بصورة واضحة من نتائج الاضمحلال حيث نلاحظ انه كلما زاد التردد زاد مقدار الاضمحلال.

المصادر (References):

- 1- قصي يونس حامد الدليمي " تكوين ودراسة خصائص مواد متراكبة مسبوكة من الألمنيوم ومعززة بدقائق كربيد السيليكون باستخدام الموجات فوق الصوتية "، رسالة ماجستير هندسة ميكانيكية / إنتاج ومعادن ، جامعة الموصل ، 2008.
- 2- Allison J. and Jones J.W, " Fundamental mechanisms of metal matrix composites " edited by Suresh, S.,Mortensm, A. and Needleman , A., Butterworth-Heinemann, oxford , 1993, Chapter 2.
- 3- Clyne T.W. "Metal Matrix Composites: Matrices and Processing" Materials Science and Technology, 2001, pp.1-14.
- 4- Hashim J., Looney L., Hashmi M.S.J"Particle distribution in cast metal matrix composites—Part I "Journal of Materials Processing Technology, Vol.123, 2002,pp. 251–257.
- 5- C.H. Gür , B. Ogel "Non-destructive microstructural characterization of aluminum matrix composites by ultrasonic techniques " Materials Characterization ,Vol. 47, 2001, pp. 227–233,.
- 6-M.G. Hern_andez, J.J. Anaya, M.A.G. Izquierdo, L.G. Ullate"Application of micromechanics to the characterization of mortar by ultrasound " Ultrasonics , Vol. 40, 2002 , pp: 217–221,.
- 7 - C.H. Gür " Investigation of microstructure–ultrasonic velocity relationship in SiCp-reinforced aluminum metal matrix composites " Materials Science and Engineering, Vol. A361, 2003 , pp. 29–35,.
- 8- M. Spies and K. Salama , " Texture of metal-matrix composites by ultrasonic velocity measurements " Springer New York, Vol.1 , 2005, pp:99-109.
- 9- Awad Hallosh Khidhir , and Amer Yahya AL-Jarjees " Filler content effects on the ultrasonic response of composite material using the pulse-echo amplitude technique ", J. Eng. & Tanmia , PP:1-7 , 2006. (must_univ_engg@yahoo.com)
- 10- Phani Surya Kiran Mylavaram , " Characterization of Advanced Composites-A Non destructive ONDESTRUCTIVE APPROACH" , 2007 .
- 11- زاهر شاكر السلطان ، أرشد محمد علي ، علي أحمد مصطفى حماد "الفحص الهندسي في المنشآت النفطية" أعداد قسم السلامة والتفتيش في مصفى ا - 1979.
- 12- C. Hakan Gur, Esra atas, " Determination of properties of SiC Reinforced Aluminium metal matrix composites by Ultrasonic Techniques " Middle East Technical University, 2000.
- 13- S. Balasivanandha Prabu , L. Karunamoorthy, S. Kathiresan, B. Mohanb "Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast metal matrix composite" Journal of Materials Processing Technology ,vol.171 ,pp.268–273, 2006.
- 14- Awad Hallosh Khidhir" Ultrasonic Response and materials characterization", M.Sc. thesis ,University of mosul ,1986.