

تحسين مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم عن طريق التدعيم بالألياف المعدنية

محمود الأسعد، المهندس مكي ووردان وحود

قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة البعث- جامعة البعث - حمص- سوريا

E mail: wardan.wah@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.47372/uajnas.2018.n2.a10>

المخلص

تم في هذا البحث تحسين الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد) لسبيكة الألمنيوم 6063 عن طريق تدعيمها بشبكة من الألياف المعدنية المستمرة ثلاثية الأبعاد، من خلال حياكة أسلاك معدنية من الفولاذ المطاوع بقطر (0.4mm)، وذلك بنسج كل طبقة من الأسلاك بشكل مستقل، و قمنا بحياكة كل طبقة مع الطبقة التي تليها (الطبقة الأولى مع الطبقة الثانية، ثم الطبقة الثانية مع الطبقة الثالثة.... وهكذا)، بغية الحصول على شبكة من الألياف المستمرة المحاكة.

قمنا بوضع هذه الشبكة ضمن قالب معدني و سكب مصهور الألمنيوم 6063 في درجة حرارة 800°C، وإبقاء القالب ضمن الفرن لمدة (30min)، لتتم عملية الملاء الكامل للمصهور ضمن الشبكة، ثم تبريد القالب والحصول على السبيكة المدعمة.

تم قص عينات قياسية لاختبار الشد ومقارنة النتائج مع مسبوكات مدعمة بدقائق من أكسيد الألمنيوم أو أكسيد التيتانيوم أو كربيد السيلكون.

فقد لوحظ أن مقاومة الشد وحد الخضوع لسبيكة الألمنيوم زادتا بعد استخدامنا الدقائق المدعمة، في حين ظهرت كان هناك زيادة ملحوظة فيهما حين قمنا بتدعيم سبيكة الألمنيوم بشبكة من الألياف الداعمة ثلاثية الأبعاد، فسبب انخفاضاً في الاستطالة.

الكلمات المفتاحية: المنسوج ثلاثي الأبعاد، مقاومة الشد، طبقة، التدعيم، الألياف، شبكة.

مقدمة Introduction

نتيجة للتقدم الصناعي والثورة التكنولوجية الحديثة تحتاج العديد من التطبيقات الهندسية إلى جملة من الخواص الملائمة التي لا يمكن الحصول عليها من المعادن الأساسية المتوفرة، كالمقاومة العالية لظروف التحميل العالية ودرجات الحرارة المرتفعة والقدرة على تخميد الاهتزازات والخواص الميكانيكية الجيدة من قساوة ومعامل يونغ وخواص شد مع المحافظة على قابلية التشكيل والخفة في الوزن والكثافة المنخفضة والتكلفة الاقتصادية المقبولة لذا تم اللجوء إلى تدعيم هذه المعادن من أجل تحسين خواصها واستخدامها في مجالات أوسع ومن ثم ظهور المواد المركبة ذات الأساس المعدني (MMC (Metal Matrix Composite .

وقد تسارع استخدام المواد المدعمة في تطبيقات الفضاء الجوي والسيارات والبحرية [1،2]. وكان السبب الرئيسي للاعتماد على هذا النوع من المواد المركبة هو تميزها بخفة الوزن والمتانة العالية نسبياً التي يمكن أن تكون مثالية في ظروف تحميل محددة. ولكن تراجع معدل استيعاب المواد المدعمة في تطبيقات الطيران والسيارات نتيجة لتكلفة التصنيع المرتفعة. وقد تم إدخال هذه المواد في تطبيقات متنوعة أخرى مثل الرياضة، والسيارات، والسكك الحديدية، والبنية التحتية المدنية.

وثمة عيب آخر تتصف به المواد المدعمة عن السبائك المعدنية ألا وهو نشوء عدة تصدعات في آن واحد نتيجة الأحمال المحورية المنخفضة نسبياً ولهذه الأسباب بدأ العمل على طرق تصنيع جديدة لهذه المواد مغايرة لطرق التصنيع التقليدية وللحفاظ على عمر أطول لها [3]، وعلى الرغم من هذه المخاوف، استمر استخدام المواد المركبة في صناعة السيارات والفضاء في النمو، وإن كان أبطأ مما كان متوقعاً في البداية [4]، [5].

نسج التدعيم الثنائية الأبعاد 2D Textile Reinforcement

يتم تصنيع مركبات النسيج ثنائية الأبعاد (2D) من خلال نسج الألياف الداعمة (Fibers) باستخدام تقنيات النسيج المختلفة مثل النسيج العادي والحبكة والتريكو وآلات نسيج الجاكار (JACAR). إن تركيبة هذا النسيج ستوفر حلاً لمخاوف تصنيع المواد المدعمة التي نوقشت سابقاً بسبب عمليات النسيج الآلية التي تتيح توزيع متجانس للألياف (Fibers) داخل المادة الأساس. إذ تتكون النسيج المحبوكة من ألياف متموجة بدقة ويلاحظ أيضاً انخفاض في حجم حيز الألياف مما يزيد من مقاومة الضغط ضمن المادة المركبة [6].

إن قابلية الانحناء العالية للنسيج المصنعة بهذه الطريقة تجعلها مناسبة للكثير من الأغراض الصناعية. وأحد الأمثلة على ذلك هو محرك طائرة جينكس المصنعة من قبل General Electric، الذي يحتوي مجاري مصنوعة مدعمة بنسج من الألياف [7].

توفر المواد المركبة ذات الألياف المنسوجة ثنائية الأبعاد (2D woven) مرونة أقل من الهياكل المحبوكة ولكنها تمتلك خواص ميكانيكية جيدة في اتجاهات المحورين (X,Y) بسبب محاذاة الألياف لاتجاهي التحميل وكثافتها وقامت بتحسين متانة المواد المركبة لعدة أضعاف [1,8,9] ومع ذلك، وعلى الرغم أن الخواص الميكانيكية الجيدة لتناسب التطبيقات الفضائية، وانخفاض خصائصها بسبب قلة سماكتها تم التوجه إلى التدعيم الصفائحي والذي يتكون من عدة طبقات منسوجة كل منها على حدة، إذ توجه الكثير من الباحثين نحو تحسين مقاومة النسيج ورفعها وتدعيمها للمواد المركبة من خلال استخدام عدة طبقات من النسيج الداعم وحقن المادة الأساس ضمنها [10,11]، أو عن طريق خلط حبيبات داعمة تتغلغل ضمن طبقات النسيج الداعم و المادة الأساس (تدعيم مهجن). ويمكن تدعيم هذه الطبقات المنسوجة عن طريق ألياف وفق المحور Z للمادة المركبة، وهناك امكانية لذلك من خلال نسج الألياف مع بعضها وفق المحور Z قبل أن يتم دمجها مع المادة الأساس وذلك يعتمد على نوع المادة المكونة ونوع الألياف الداعمة، ويبين الشكل (1) كيف تم غرز ألياف داعمة (Fibers) ضمن الصفائح الداعمة [12,13,14].

للحياكة ثلاثية الأبعاد استخداماً فعالاً من الناحية الميكانيكية للألياف من أجل التحميل الموضعي غير أن خصائصها شبه المتماثلة في عدة اتجاهات جعلها مناسبة أكثر للتطبيقات الصناعية تحت إجهادات الضغط كأوعية الضغط العالي [15].

نسج التدعيم الثلاثية الأبعاد 3D Woven Reinforcement

تتكون المواد المركبة المدعمة بالألياف المنسوجة ثلاثية الأبعاد (3D woven) من طبقات متعددة متعامدة ومرتبطة مع بعضها بعض إلى حد كبير مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الهيكلية. ويبين الشكل (2) صوراً من طرق ربط الطبقات المنسوجة مع بعضها وهذا يتعلق بمسار المغزل أو المكوك الذي يتداخل بين الطبقات، إذ يلاحظ تشابك الطبقات من خلال ربطها وفق المحور Z، وإن الشكل المحاك (3D woven) الذي نرنو للوصول إليه يمكن من خلال تعديلات على آلة خياطة الجاكار الصناعية (JACAR) مما يخفض من الكلفة التأسيسية علماً أن آلة خياطة الجاكار (JACAR) تنسج بسماكات مختلفة تتيح رسم الأشكال المطلوبة على النسيج القماشى.

لذلك كان لابد من التفكير بآلة نسيجية (3DWeaving) متخصصة للوصول إلى سرعة عالية في الإنتاج و للحصول مباشرة على الأشكال مهما كانت معقدة، ولأن تكلفة تصميم وتنفيذ هذا الآلية مرتفع، فتم التوجه في بحثنا إلى تنفيذ شبكة ألياف التدعيم ثلاثية الأبعاد بشكل يدوي بما يتوافق مع الآلية.

هذا التدعيم يحسن الخواص الميكانيكية للمواد المدعمة بالمنسوج المصنع (3Dwoven) (القص والانحناء و الضغط). من خلال التحكم بنمط النسيج بما يساهم في تدعيم اتجاه تحميل القطع المراد الحصول عليها، ولهذه التقنية تطبيقاتها الهامة منها التطبيقات العسكرية لتصنيع الدروع و لحماية المركبات من الألغام و في هياكل الطائرات وتشمل التطبيقات المدنية هياكل القوارب، وقطع المحرك، والسقوف، والمعدات الرياضية والملابس الواقية.

وينطبق مصطلح "المواد المدعمة بالألياف المنسوجة ثلاثية الأبعاد 3D Woven" على المركبات المصنوعة من الألياف المنسوجة التي تحتوي على خيوط متشابكة ضمن سماكة كتلة التدعيم. عملية النسيج تعتمد على ربط الطبقات مع بعضها على التوالي، إذ تربط الطبقة الأولى مع الثانية ومن ثم الثانية مع الثالثة ومن ثم الثالثة مع الرابعة أو أي طريقة يتشكل من خلالها ترابط بين الطبقات، وغالباً ما يتم السعي لجعل الألياف ذات الكثافة الأكبر (إن كان هناك اختلاف بالسماكات أو الكثافات) باتجاه الحمل الذي سيطبق على المنتج النهائي. وليكن اتجاه جزء من الألياف بشكل موازي للمحور X كما هو موضح بالشكل و ألياف اللحمية (التي تتشابه مع الألياف الموازية للمحور X) تكون متعامدة معها وباتجاه موازي للمحور Y, أي أن الألياف تشكل مستوي X-Y, في حين نلاحظ من الشكل (3) ترابط النسيج الداعم (3D Woven) حيث يتم نسيج طبقات النسيج الليفي (X-Y) مع بعضها بواسطة خيوط الربط (Z- binders), وتكون باتجاه موازي للمحور Z.

عملية تصنيع النسيج ثلاثي الأبعاد The 3D Weaving Process

يمكن تصنيع الأشكال المنسوجة (3DWoven) باستخدام معظم أنواع آلات النسيج الحديثة (الجاكار) (JACAR) وهي الأكثر انتشاراً لما تتمتع به من درجة عالية بالآتمة [16,17], والفائدة الأساسية من الأتمتة هي تخفيض تكاليف التصنيع من خلال إنقاص ساعات العمل وتقليل الهدر الناتج عن عمليات التصنيع والتخفيف من الفحوصات الدورية لجودة المنتجات ولرفع الإنتاجية والجودة [18], وإن الأدوات المستخدمة في نسيج الألياف الداعمة هي نفسها (بشكل أو بآخر) المستخدمة في الخياطة غير أن هناك صعوبة لا بأس بها لنسيج الألياف عندما يكون الشكل المراد الحصول عليه معقداً بعض الشيء ويوضح الشكل التخطيطي (4) كيفية ربط و حياكة الألياف لتشكيل النسيج 2D.

هدف البحث Objective

- تصنيع شبكة تدعيم محاكاة يدوياً بشكل ثلاثي الأبعاد نظراً لصعوبة تصنيعها آلياً.
- التوصل إلى سبيكة ألمنيوم مدعمة بشبكة من الألياف المستمرة ثلاثية الأبعاد لتجاوز من خلالها أهم مساوئ طرق التدعيم التقليدية ألا وهو التوزيع غير المتجانس للمادة الداعمة داخل المادة الأساس.
- تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة المدعمة برفع مقاومة الشد و حد الخضوع للسبيكة ومقارنتها مع السبائك المدعمة بالدقائق (TiO_2, SiC, Al_2O_3), وذلك بعد المعالجات الحرارية المناسبة لكافة العينات.

مواد البحث Materials

سبيكة الألمنيوم 6063: في بحثنا استخدمنا سبيكة الألمنيوم 6063 لتصنيع المادة المركبة نظراً لأهميتها واستخدامها بكثرة في التطبيقات الصناعية ولتوافرها حالياً في السوق المحلية لما تتمتع به من خواص أهمها انخفاض كثافتها (خفة الوزن) وارتفاع ناقليتها الحرارية ومرونتها العالية نسبياً في درجات الحرارة المرتفعة وسعرها المنخفض وقابليتها للمعالجة الحرارية والميكانيكية ومن ثم إمكانية رفع قساوتها ومقاومتها، وتتمتع بمقاومة عالية للتآكل وقابلية بثق ممتازة، تركيبها الكيميائي موضح بالجدول (1).

دقائق كربيد السيليكون (بنسبة خلط 7.5%) : هي عبارة عن بودرة ناعمة قاسية بحجم حبيبي من رتبة الميكررون من دقائق كربيد السيليكون $(20-40)\mu m$, يحتل المرتبة الأولى من حيث الاستخدام وهو مركب كيميائي قاسي له الصيغة SiC تبلغ كثافته (3.2 gr/Cm^3) وهو يتمتع بخمول كيميائي عالي (لا يتأثر بأي من الأحماض أو القلويات), إضافة إلى أن كربيد السيليكون يعتبر من المواد المتوفرة ولديه قابلية تبلل عالية مع خلانط الألمنيوم.

دقائق أكسيد الألمنيوم (الألومينا) (بنسبة خلط 7.5%) : مركب كيميائي قاسي له الصيغة Al_2O_3 كثافته (3.95 gr/Cm^3) وحجم الدقائق كان $(>20\mu m)$ و يستخدم في صنع الأجهزة المخبرية المعدة لتحمل درجات حرارة عالية كالبواتق وهو سهل التحضير ومتوفر بكثرة.

دقائق أكسيد التيتانيوم (بنسبة خلط 7.5%) : TiO_2 , كثافته (4.05 gr/Cm^3) .

مواد مساعدة (1%) : عناصر خلانطية تفاعلية عبارة عن بودرة مغنيزيوم ناعمة لفعاليتها في تحسين تبلل أنواع عديدة من الدقائق الداعمة وتقليل اللزوجة. ألياف التدعيم المعدنية: أسلاك تدعيم من الفولاذ المطاوع من رتبة الـ (4 μ m) ومنانة الشد لها (521 MPa).

طريقة البحث Experimental Procedure

تحضير السبائك المدعمة بالدقائق: تم تقطيع البليت (6063) المتوفر في المختبر إلى قطع صغيرة لصهرها ووضعها داخل بوتقة الفرن الغرافيتية.

وتم رفع درجة حرارة الفرن إلى 800°C ضمان عملية الصهر الكامل للقطع, ثم إضافة الدقائق الناعمة (بعد غربلتها بمناخل خاصة لضمان تساوي حجمها 20 μ m) بنسبة 7.5% (بما يتوافق مع وزن القطع التي وضعت ضمن البوتقة), إذ أُجري تسخين مسبق لها عند الدرجة 250°C لإزالة الرطوبة منها وتنظيف سطحها من الأوساخ ولتحسين التبلل بينها وبين المصهور وتخفيف التوتر السطحي و يضاف أيضاً المغنيزيوم لتقليل اللزوجة وتحسين التبلل أيضاً, و نقوم بعدها بخلط المزيج عن طريق آلة خلط موضحة بالشكل (5) و (6) التي رُوِد بها الفرن, حيث يُدار الخلاط بسرعة تقارب الـ 500r.p.m ولمدة 10min, ثم يتم صب المصهور الذي حصلنا عليه ضمن القالب لنحصل على سبيكة مدعمة بدقائق من أكسيد الألمنيوم أو كربيد السيليكون أو أكسيد التيتانيوم, ومن ثم تم تحضير عينات الشد من السبائك التي تم الحصول عليها.

تحضير السبيكة المدعمة بشبكة الألياف المعدنية : هذه الشبكة عبارة عن أسلاك معدنية من (رتبة الـ 0.4mm) محاكاة فيما بينها بطبقات مترابطة على التوالي كما موضح بالشكل (7).

شبكة الألياف التي تم تصنيعها وفق الخطوات الآتية: بداية تم تصنيع الإطارات الخاصة بكل طبقة من طبقات الشبكة من خلال مجموعة من القضبان المربعة (6×6)mm بأطوال (10Cm) ومن ثم قمنا بـتنقيب هذه القطع بـبعدة ثقب (1mm) وبخطوة (2mm), ثم قمنا بعملية لحام لكل أربعة قطع سوياً لتكوين الإطارات حيث تم تصنيع شبه قالب لضمان أن يكون الإطار بزوايا قائمة كما بالشكل (8), ومن ثم قمنا ضمن الإطار الواحد بربط ألياف وفق المحور (X) ووفق المحور (Y) كما موضح بالشكل (9) مع ترك ثقب فارغ بين الليف والليف التالي لنقوم من خلالها بربط الطبقة مع الطبقة التالية. ومن ثم سيتضاعف عدد الألياف ضمن الطبقة الواحدة عما هو موضح بالشكل المذكور الذي يبين توزيع الألياف الأولية ضمن كل طبقة, والخطوة التالية تعتمد على ربط كل طبقة مع التي تليها وفق المسار المبين بالشكل (7), إلى أن يتم تشكيل الشبكة بالكامل (بالطريقة اليدوية), وبعد أن حصلنا على الشبكة - الشكل(10)- التي سندعم بها المادة الأساس نتجه إلى صناعة قالب معدني بمقاس الشبكة المصنعة مع زيادة بسيطة بالارتفاع لوضع قطعة الأساس فوق الشبكة في فرن الصهر, الشكل(11), ومرور المصهور وانسيابه ضمن الشبكة و ضمان عدم وجود فراغات لم تمتلئ بالمادة الأساس أو مسامات إذ تم رفع درجة حرارة فرن الصهر إلى الـ 800°C وتثبيتها لمدة 30min.

بعد اخراج القالب من فرن الصهر, الشكل(12), نقوم بفكه عن المسبوكة وتشذيب المادة المدعمة من خلال قص الجدران الجانبية للقالب التي تحوي على القضبان المعدنية التي تركز عليها الشبكة, كما تم قص قاعدة القالب و إزالة الألمنيوم الغير مدعم الذي هو أعلى من مستوى شبكة التدعيم, وبذلك نكون قد حصلنا على كتلة من الالمنيوم 6063 المدعم بشبكة من الألياف المعدنية.

❖ **تحضير العينات المراد اختبارها:** بعد أن حصلنا على سبيكة الألمنيوم 6063 المدعمة بشبكة من الألياف المستمرة ثلاثية الأبعاد أو المدعمة بالدقائق, قمنا بتقطيعها لعينات اختبارية وتسوية سطحها و مقاساتها على فارزة تقليدية لضبط أبعاد العينات, وتعد اختبار الشد من أهم الاختبارات الميكانيكية وذلك لكثرة القيم المعيارية المُستنتجة من هذا الاختبار و أهميتها في الحسابات التصميمية, إذ تم تصنيع العينات وفق الـ (ASTM E8M) بطول قياس (50mm) وبعرض عنق (12.5mm) وبسماكة (10mm) كما بالشكل(13).

❖ **المعالجة الحرارية للعينات:**

معالجة التشريب (90min-550°C): حيث ساهمت المعالجة الحرارية الانتشارية في ضمان التغلغل والترابط بين شبكة التدعيم (الأسلاك الفولاذية) والمادة الأساس (الألمنيوم) وزياد الترابط بين المادتين من خلال تشكل الأطوار البينية (Al₁₃Fe₄) و (Al₁₅Fe₄) كما موضح في صورة المجهر الإلكتروني في الشكل (14).

تحسين مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم عن طريق التدعيم بالألياف المعدنية.....محمود الأسعد، المهندس مكى ووردان وحود

1. معالجة T6 (المتضمنة المعالجة الحرارية المحلولية في درجة 550°C ولمدة ساعة, يعقبها تبريد بالماء).
2. التعتيق الصناعي عند الدرجة 190°C ولمدة 6 ساعات.

الهدف الأساسي من المعالجة الحرارية هو:

- التخلص من بعض عيوب السباكة وضمان توزيع الأطوار بشكل متجانس في الكتلة المسبوكة للحصول على بنية منتظمة خلال المسبوكة.
 - إزالة الاجهادات الداخلية الناشئة من الظروف الحرارية أو التقلص في أثناء التجمد.
 - تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة بشكل عام
- ❖ **اختبار الشد** : جهاز شد وهو جهاز بريطاني الصنع (Tenius Olsen- H50KS) مزود براسم بياني الكتروني لمنحني الحمولة والاستطالة أو منحني الإجهاد والانفعال النسبي, ويتم اختبار عينات تصل حمولتها إلى 50KN.

وكانت النتائج كما هو موضح بالجدول التالية (2)(3)(4).

لوحظ زيادة في إجهاد الخضوع ومقاومة الشد العظمى بعد التدعيم بالدقائق غير أن الزيادة الأكبر كانت عند التدعيم بالألياف المعدنية إذ لوحظ زيادة إجهاد مقاومة الشد من (99.8) إلى (254.79) MPa وكذلك زيادة في إجهاد حد الخضوع من (84.5) إلى (190.6) MPa بعد التدعيم والمعالجة الحرارية, لكن لوحظ وجود انخفاض بقيمة الاستطالة عند التدعيم بالدقائق وتحسنها بعد المعالجة الحرارية إلا أن التدعيم الشبكي كان الأفضل, وتبين الأشكال (15) (16) (17) اختلاف الخواص الميكانيكية باختلاف نوعية التدعيم المستخدم. من الجداول السابقة نلاحظ أن مقاومة الشد للألمنيوم زادت بعد استخدامنا الدقائق الداعمة من الأوكسيدات أو الكريبيدات القاسية و المشتتة ضمنها والملتصقة معه بقوة. أما المعالجة الحرارية فقد ساعدت على الحصول على قيم عالية للمتانة الصدمية للألمنيوم بينما كان هناك فارقاً ملحوظاً في قيم المتانة الصدمية عندما قمنا بتدعيم الألمنيوم بشبكة من الألياف الداعمة ثلاثية الأبعاد.

تفسير النتائج : Discuss and explain the results

إنّ التدعيم بالدقائق أو الألياف كان من شأنه تحسين الخواص الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم 6063 (عدا الاستطالة), كون هذه الدقائق أو الألياف قد ساهمت بشكل أو بآخر في إعاقة التشوهات الناتجة عن الاختبارات المختلفة , وحين نقول تشوهات نقصد أيضاً الانفعالات اللدنة التي تتناسب طردياً مع عدد الانخلاعات المتواجدة ضمن بنية السبيكة و قدرتها على الحركة أو الانتقال, فكلما كانت حركة هذه الانخلاعات أسهل كانت قابليتها للتشوه أكبر والعكس بالعكس, وإنّ وجود مثل هذه الدقائق الصغيرة أو الألياف من شأنه أيضاً عرقلة حركة هذه الانخلاعات كونها جسيمات غريبة عن المعدن الأساس 6063.

قلنا أنّ هذه الأجسام الغريبة ساهمت في إعاقة حركة الانخلاعات فإن زيادة عددها أو كثافتها من شأنه أيضاً زيادة عرقلة حركة الانخلاعات.

ويمكن القول أنّ الاختلاف بين قساوة المعدن الأساس 6063 عن الدقائق أو الألياف الداعمة أيضاً له أثر في عرقلة حركة الانخلاعات.

لوحظ في اختبار الشد أيضاً زيادة في متانة الشد الأعظمية و كذلك إجهاد الخضوع لسبيكة الألمنيوم 6063 بسبب وجود تلك الدقائق والألياف الداعمة التي عرقلة التشوه اللدن للعينات المختبرة, و ساهمت الألياف الطولية في زيادة متانة الشد كون متانها بحد ذاتها أعلى من متانة الألمنيوم 6063 مما ساهم في تحمل جزء كبير من الإجهاد المطبق على العينة ككل و من ثمّ زيادة المتانة بشكل عام.

ولاحظنا انخفاض في قيمة الاستطالة النسبية للسبيكة المدعمة بالدقائق و انخفاض أقل نسبياً في الاستطالة النسبية للسبيكة المدعمة بالألياف الفولاذية, وهذا يرجع إلى تركيز الاجهادات الموضعية عند أسطح التماس سواءً بين المعدن الأساس والدقائق أو بين المعدن الأساس والألياف الداعمة, كما يمكن القول أن اختلافاً بالسلوك المرن بين الألياف الداعمة أو الحبيبات و المعدن الأساس كان له الأثر في ذلك.

ويمكن القول بشكل عام أن الشبكة الدعمة قد ساهمت بشكل كبير في تحسين الخواص الميكانيكية للمادة الأساس من خلال الألياف الطولية أو مستويات الألياف العرضية في كافة الاختبارات التي قمنا بها وخاصة بعد عملية المعالجة الحرارية الانتشارية (Diffusion), وقد تم التأكد من نجاح هذه العملية من خلال مقارنة

نتائج الاختبارات التي قمنا قبل وبعد المعالجة الانتشارية، وبيين الجدول (5) مقارنة بين الخواص الميكانيكية قبل وبعد عملية المعالجة الانتشارية.

النتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث؛ Conclusions

- التوصل إلى طريقة يدوية تتيح بناء شبكة من الألياف الداعمة التي تكون عبارة عن ألياف كربونية أو غيرها من الألياف.
- إمكانية الحصول على مادة داعمة منسوجة (3D woven) بألياف من الألياف المستخدمة في تدعيم السبائك المعدنية، وذلك من خلال حقن المادة الأساس داخل القالب الحاوي على شبكة الألياف المصنعة.
- التوصل إلى جودة عالية جداً في تنظيم توزع الألياف الداعمة ضمن المادة الأساس وفقاً للمنسوج ثلاثي الأبعاد (3D woven) الذي حصلنا عليه وفي الاتجاهات الثلاثة (x,y,z) .
- إن المعالجة الحرارية الانتشارية ساهمت بشكل كبير في تحسين خواص السبيكة المدعمة أو يمكن القول في تحسين أداء دعم الألياف الداعمة للسبيكة.
- ساهمت المعالجة الحرارية T6 (معالجة محلولية + تعتيق اصطناعي) في تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة المدعمة، أفضل عينة تم الحصول عليها عندما قمنا بالتدعيم بشبكة الألياف المعدنية ومن خلال المعالجة الانتشارية و معالجة T6.

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكة 6063

Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Ti	Al
0.45	0.55	0.22	0.03	0.22	0.02	0.03	0.02	Bal.

الجدول (2) القيم المتوسطة لمقاومة الشد في الاختبارات

Tensile Test σ (UTS) (MPa) (N/mm ²)					
Reinforced (Mesh)	Reinforced (TiO ₂)	Reinforced (SiC)	Reinforced (Al ₂ O ₃)	Al 6063	
203.6	171.4	163	180.8	71.67	As-Casting
216.7	----	----	----	----	Diffusion (550C°-90min)
254.79	214.5	222.3	230.5	99.8	T6

الجدول (3) القيم المتوسطة لحد الخضوع في الاختبارات

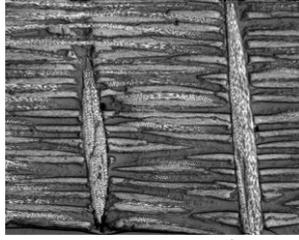
Tensile Test / Yield Strength (MPa) (N/mm ²)					
Reinforced (Mesh)	Reinforced (TiO ₂)	Reinforced (SiC)	Reinforced (Al ₂ O ₃)	Al 6063	
142.6	129.7	124.6	138.5	53.7	As-Casting
168.3	----	----	----	----	Diffusion (550C°-90min)
190.6	162.8	133	154	84.5	T6

الجدول (4) القيم المتوسطة للاستطالة في الاختبارات

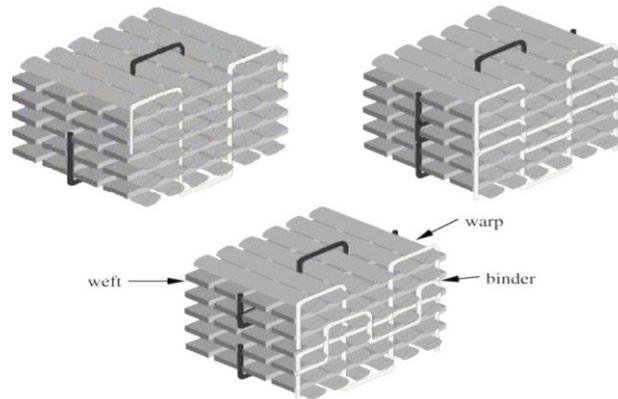
Tensile Test / Elo (%)					
Reinforced (Mesh)	Reinforced (TiO ₂)	Reinforced (SiC)	Reinforced (Al ₂ O ₃)	Al 6063	
3.52	3.2	3.4	3.4	7.16	As-Casting
4.8	----	----	----	----	Diffusion (550C°-90min)
7.23	6.2	3.8	4.8	13	T6

الجدول (5) مقارنة بين الخواص الميكانيكية قبل وبعد عملية المعالجة الانتشارية:

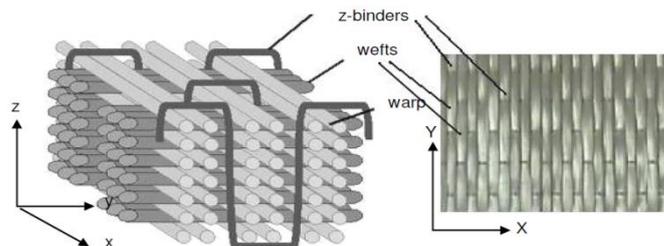
Diffusion(550C°-90min)	As-Casting	Mechanical properties	The Test
168.3	142.6	Yield Strength (MPa)	Tensile Test
216.7	203.6	(UTS) (MPa)	
4.8	3.52	Elo (%)	



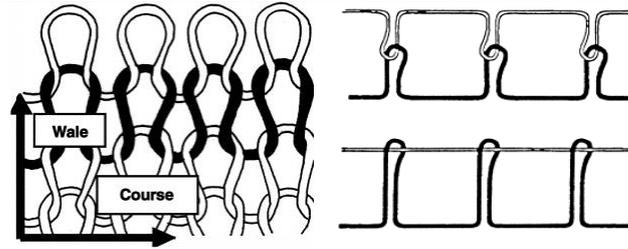
الشكل (1) ألياف تدعيم شاقولية مغروزة ضمن طبقات تدعيم ثنائية البعد



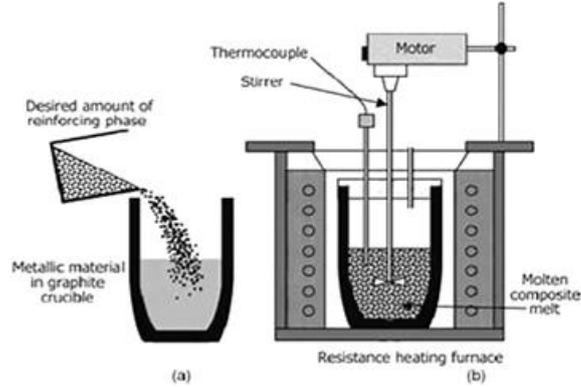
الشكل (2) بعض الطرق لربط الطبقات المنسوجة مع بعضها



الشكل (3) ربط طبقات التدعيم الثنائية



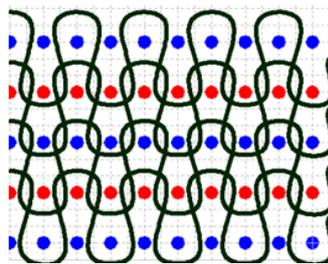
الشكل (4) حياكة الألياف لتشكيل النسيج 2D



الشكل (5) السباكة بالخلط داخل الفرن



الشكل (6) الخلاط الذي تم العمل عليه



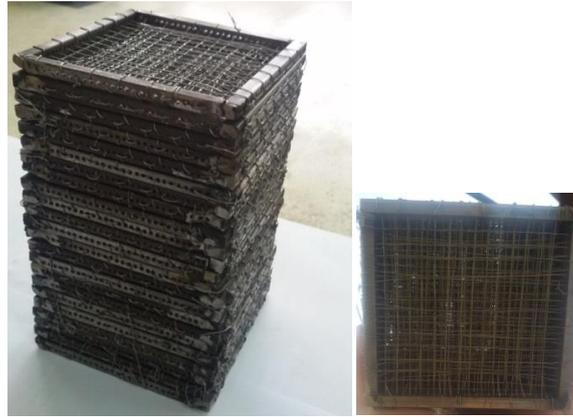
الشكل (7) مسار ربط الطبقات مع بعضها



الشكل (8) تصنيع الإطارات



الشكل (9) نسج كل إطار على حدة



الشكل (10) الشبكة المصنعة



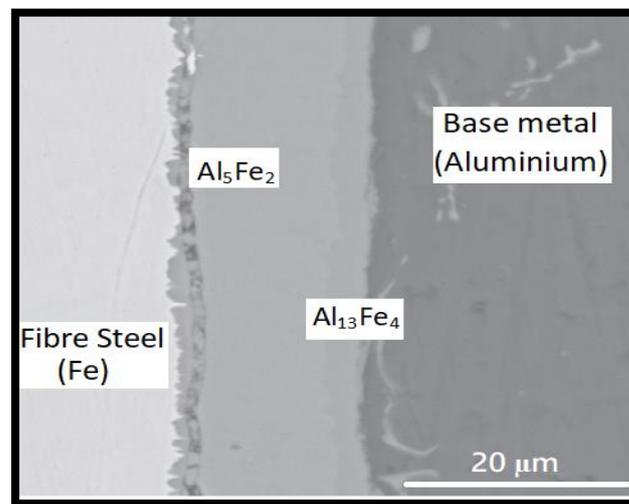
الشكل (11) يوضح القالب و قطعة من المادة الأساس فوق الشبكة بداخل فرن الصهر (800C°)



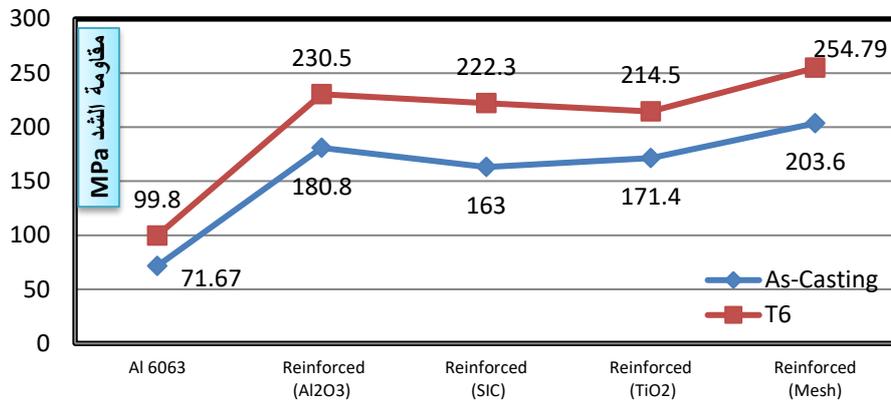
الشكل (12) يوضح نزع القالب و استخراج السبيكة المدعمة



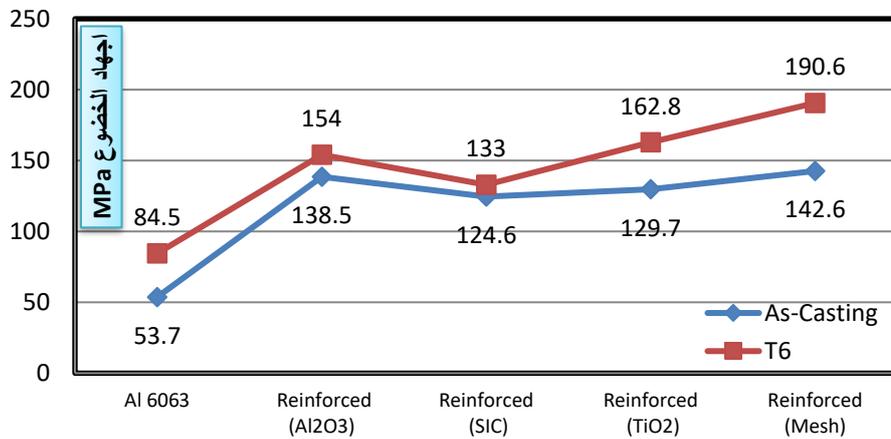
الشكل (13) عينة الشد



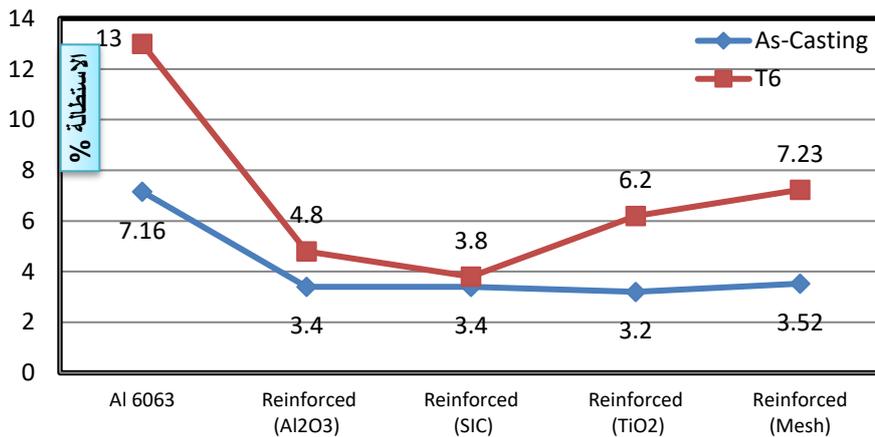
الشكل (14) صورة بالمجهر الالكتروني تبين تشكل الأطوار بعد عملية التشريب



الشكل (15) قيم مقاومة الشد (MPa) عند اختلاف نوع التدعيم (قبل وبعد المعالجة الحرارية)



الشكل (16) قيم اجهاد الخضوع (MPa) عند اختلاف نوع التدعيم (قبل وبعد المعالجة الحرارية)



الشكل (17) قيم الاستطالة (%) عند اختلاف نوع التدعيم (قبل وبعد المعالجة الحرارية)

المراجع:

- 1 Anon.(2006), Aircraft engine ducts made of advanced composite materials, in *Advanced Materials & Processes*. p. 7.
- 2 Davis, G.A.O., D. Hitchings, and J. Ankeresen,(2006).Predicting delamination and debonding in modern aerospace composite structures. *Composites Science and Technology*,. 66(6): p. 846-854.
- 3 Gay, D., S.V. Hoa, and S.W. Tsai, (2003).*Composite Materials: Design and Applications*. 4th ed., Boca Raton U.S.A.: CRC Press LLC.
- 4 Gojny, F.H., M.H.G. Wichmann, U. Kopke, B. Fiefler, and K. Schulte, (2004).Carbon nanotube-reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content. *Composites Science and Technology*,. 64(15): p. 2363-2371.
- 5 Grant, C 2000, Automated processes for composite aircraft structure. *Industrial Robot: An International Journal*, (2006). 33(2): p. 117- 121.
- 6 Horrocks, A.R. and S.C. Anand, eds (2000). *Handbook of Technical Textiles*,Woodhead Publishing: Cambridge. 559.
- 7 Hunt, M.W.(2006), Composites vs. aluminum, in *Advanced Materials & Processes*. p. 2.
- 8 Kamiya, R., B.A. Cheeseman, P. Popper, and T.-W. CHOU (2000), Some recent advances in the fabrication and design of three- dimensional textile preforms: a review. *Composites Science and Technology*,. 60(1): p. 33-47.
- 9 Kamiya, R., B.A. Cheeseman, P. Popper, and T.-W. Chou, (2000). Some recent advances in the fabrication and design of three- imensional textile preforms: a review. *Composites Science and Technology*, 60(1): p. 33-47.
- 10 Kang, T.J. and S.H. Lee (1994), Effect of stitching on the mechanical and impact properties of woven laminate composite. *Journal of Composite Materials*,. 28(16): p. 1574-1587.
- 11 Mouritz, A.P. and B.N. Cox, (2000) A mechanistic approach to the properties of stitched laminates. *Composites Part A*,. 31: p. 1-27.
- 12 Mouritz, A.P., C. Bains, and I. Herszberg (1999), Mode I interlaminar fracture toughness properties of advanced textile fibreglass composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*,. 30(7): p. 859-870.
- 13 Mouritz, A.P., M.K. Bannister, P.J. Falzon, and K.H. Leong (1999), Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*,. 30(12): p. 1445-1461.
- 14 Ruan, X. and T.-W. Chou, (1996). Experimental and theoretical studies of the elastic behavior of knitted-fabric composites. *Composites Science and Technology*,. 56(12): p. 1391-1403.
- 15 Smith, F. and P. Hogg, (2006). A comeback for composites in U.K. aerospace., in *Aerospace America*. p. 19-21.
- 16 Sprenger, S., A.J. Kinloch, A.C. Taylor, R.D. Mohammed, and C. Eger, (2005).Rubber-toughened FRCs optimised by nanoparticles. *JEC Composites*,. 19: p. 75-78.
- 17 Tong, L., A.P. Mouritz, and M.K. Bannister 2000, *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*.(2002), London: Elsevier Science Ltd.
- 18 Velmurugan,R. and S. Solaimurugan,(2007),Improvements in Mode I interlaminar fracture toughness and in-plane mechanical properties of stitched glass/polyester composites. *Composites Science and Technology*,. 67(1): p. 61-69.

Strength tensile improvement of the Al alloy by reinforcing with steel fibers

Mahmoud Alasaad, Almohanad Makki and Wardan Wahhod

Albaath University, Homs, Syria

DOI: <https://doi.org/10.47372/uajnas.2018.n2.a10>

Abstract

In this study, the mechanical properties (toughness Tensile) of the 6063 aluminum alloy were improved by reinforcing it with a continuous three-dimensional metal fiber mesh by weaving metal wires of wrought steel Diameter (0.4mm) and by weaving each layer of wire independently, each layer was weaved with the next layer (the first layer with the second layer, then the second layer with the third layer... etc), in order to obtain a mesh of continuous woven fibers.

The mesh was placed in a metal mold, poured the 6063 aluminum smelter at 800 ° C and kept the mold inside the furnace for 30min. The process of filling the melt was completed within the mesh, then the mold was cooled and the reinforced alloy was obtained. Standard samples were tested for their tensile properties and the results were compared with reinforced Alloys by particles of aluminum oxide, or titanium oxide or silicon carbide.

It was observed that the aluminum Alloy toughness Tensile & yeild point were increased after using the reinforcing Particles, while there was a noticeable increase in them when the aluminum was reinforced with a mesh of three dimensional reinforcing fibers, while there was a decrease in the elongation.

Keywords: 3D woven, toughness tensile, Weaved, reinforcement, fiber, mesh.