تقييم بعض الخواص الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم AA6063 المُدعمة بدقائق من كربيد السيليكون والغرافيت بعد المعالجة الحرارية T6

معتز الحصريه *(1)

(1). دكتور عضو هيئة تعليمية في قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ،جامعة حمص، حمص، سوريا.

الملخص

نتيجة للتطور الصناعي الذي شهده العالم في كافة المجالات، سعى العلماء والباحثون الى تصنيع مواد جديدة تمتلك خواص هندسية متميزة بتكلفة اقتصادية منخفضة بما يتناسب مع الاستخدامات والتطبيقات الصناعية المتعددة منها المعادن المدعمة، تُعّرف سبائك الألمنيوم المُدعمة بإنها مواد هندسية حديثة تتكون من مادتين مختلفتين بالخواص أو أكثر إحداهما يجب أن تكون سبيكة من الألمنيوم والأخرى من الممكن أن تكون مواد تدعيم سيراميكية أو زجاجية أو معدنية.

في هذا البحث تم تحضير مواد مركبة بأساس من السبيكة (AA6063) وتم تدعميها بدقائق مشتركة حجمها من رتبة الميكرون من كربيد السيليكون (SiC) بنسبة وزنية ثابتة (8 wt.%) و من الغرافيت (Gr) بنسب وزنية متغيرة (2, 4 ,6 ,8 wt.%) بطريقة السباكة بالتحريك (SCT) بهدف الحصول على ألمنيوم هجين بخواص ميكانيكية مُحسنة، ثم أُجريت معالجة حرارية –التقسية بالترسيب– T6على العينات المسبوكة المُدعمة (معالجة حرارية محلولية وتعتيق اصطناعي) بعد ذلك قمنا بالفحوصات والاختبارات الميكانيكية على كل العينات . وقد بينت نتائج الفحص المجهري ونتائج (XRD) توزع الدقائق الداعمة الهجينة بشكل شبه متجانس وبالتالي نجاح عملية الحصول على الألمنيوم المدعم الهجين (HAMC) بطريقة السباكة بالتحريك الميكانيكي (SCT).

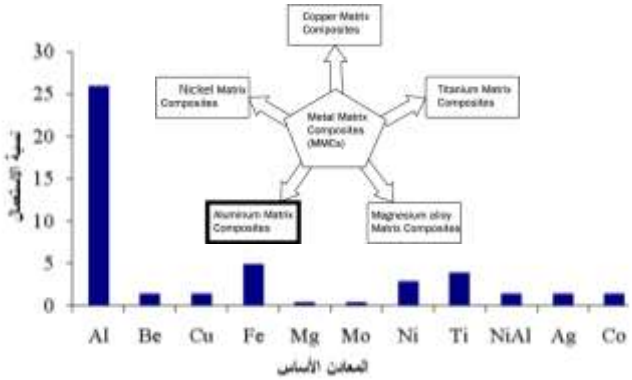
بشكل عام بينت نتائج الاختبارات أن القساوة وإجهاد الخضوع ومقاومة الشد العظمى تحسنت مع إضافة دقائق التدعيم الهجين والمعالجة الحرارية مقارنة مع (AA6063) وأن أفضل الخواص الميكانيكية تم الحصول عليها عند نسب تدعيم (6% Gr + 8 %SiC) العينة–E – بالمقارنة مع باقي العينات بنسبة تحسن بالخواص تجاوزت الـ (50%) حيث وصلت قيمة القساوة في العينة المذكورة إلى (97 Hv) وقيمة مقاومة الشد العظمى(254Mpa) وقيمة إجهاد الخضوع(209Mpa) .

الكلمات المفتاحية: الألمنيوم المدعم ، دقائق تدعيم هجينة ، تقنية (SCT)، المعالجة الحرارية ، مقاومة الشد الأعظمية، القساوة .

المقدمة:

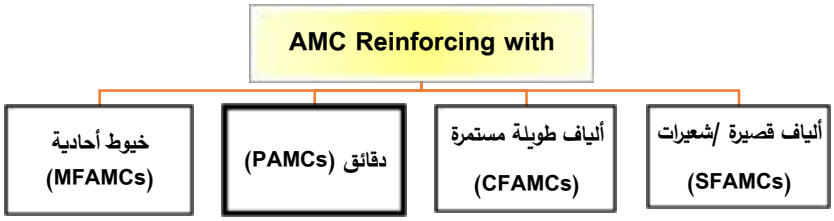
تُعدُّ المعادن المُدعمة (MMC) مواد مرشحة لتطبيقات واستخدامات صناعية عديدة في مجال هندسة الطيران والفضاء والسيارات والصناعات العسكرية، ومواد بديلة لمواد هندسية أخرى عالية التكلفة وغير مستقرة الخواص، ومواكبة لمتطلبات الثورة الصناعية الحديثة من مواد ذات خواص مميزة و خاصة، حيث تقدم كفاءة أداة ميكانيكية بموثوقية أعلى من المعادن التقليدية المُفردة غير المدعمة نتيجة لخواصها المُحسنة وخفة وزنها و انخفاض تكلفتها(Rana and Das, 2012) (Clyne, 2001).

وتعتبر سبائك الألمنيوم (موضوع بحثنا) أهم وأول سبائك المعادن الجاري تدعيمها في الوقت الحالي نظراً لمكانتها الاقتصادية وبغرض زيادة الفاعلية ومساحة الاستخدام في مختلف التطبيقات الصناعية ولتحقيق استقرارية في الخواص أما السبائك الأخرى الجاري تدعيمها بالإضافة للألمنيوم فهي موضحة بالشكل (1).



الشكل (1) أهم أنواع المعادن الجاري تدعيمها

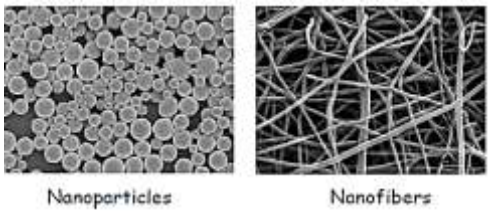
يجري تدعيم سبائك الألمنيوم بطرق تدعيم تقليدية وحديثة للحصول على المواد المركبة ذات الأساس المعدني من الألمنيوم (AMCs) حيث تقوم الطرق التقليدية للتدعيم على استخدام طور تدعيم وحيد (Single) بمقياس من مرتبة الميكرو (Micro scale) وبتموضع بسيط لمادة التدعيم كما ذكر كل من (Clyne, 2001)(Kainer,2006)(Surappa,2003) . وهي موضحة بالشكل (2):



الشكل (2) طرق التدعيم التقليدية للألمنيوم

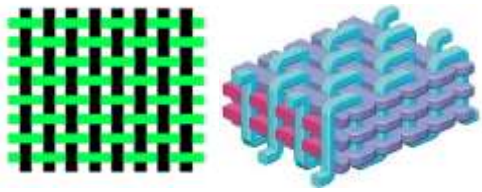
أما الطرق الحديثة لتدعيم سبائك الألمنيوم وفق (Farahany et al., 2024) (Lemine et al., 2022) تعتمد على الاستفادة من التقنيات الحديثة والمتطورة في التدعيم والتصنيع للحصول على ألمنيوم بخواص مميزة ولتلافي المشاكل في الطرق التقليدية، ومن أهم الطرق الحديثة لتدعيم سبائك الألمنيوم:

a) التدعيم باستخدام تقنية النانو(Nano composites AMNCs) حيث تكون مواد التدعيم المستخدمة (ألياف –دقائق) بمقياس من مرتبة النانو الشكل (3) كما ذكر (Abbass, and Sultan, 2019).



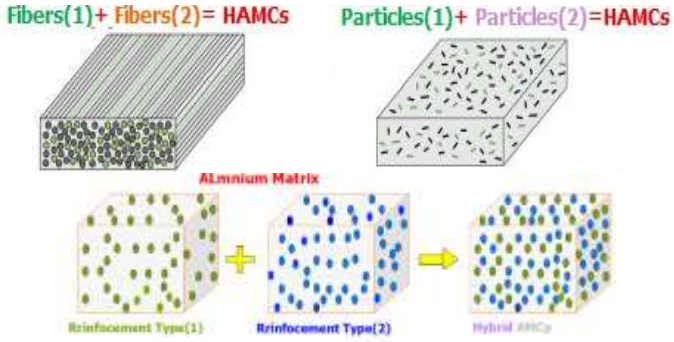
الشكل (3) التدعيم باستخدام تقنية النانو

b) التدعيم باستخدام بناء أو شبكة أو نسيج (Structural or Woven reinforced) حيث يتم بناء شبكة التدعيم من الألياف ثنائية البعد أو ثلاثية البعد بتقنيات هندسية الشكل (4).



الشكل (4) التدعيم باستخدام بناء أو شبكة(2D-3D)

c) التدعيم باستخدام تقنية التهجين Hybrid composites(HAMCs) الطريقة **(المُعتمدة في بحثنا)** يتم تدعيم الألمنيوم هنا بأكثر من نوع من المدعمات المذكورة سابقاً على سبيل المثال الدمج بين التدعيم بالدقائق والتدعيم بالشعيرات والمزج بين التدعيم بالألياف والتدعيم بالدقائق والمزج بين نوعين مختلفين من الدقائق أو الألياف أو أكثر(ألياف كربون–ألياف البورون) (دقائق قاسيةHard– دقائق غير قاسيةSoft). ومبدأ التدعيم الهجين بالشكل (5) وفق ما وضح (Singh and Kalra,2014) :

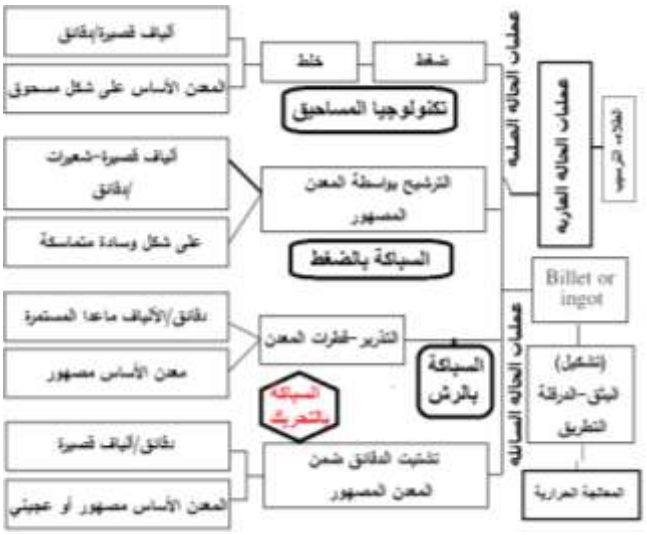


الشكل (5) مبدأ التدعيم الهجين –المشترك–

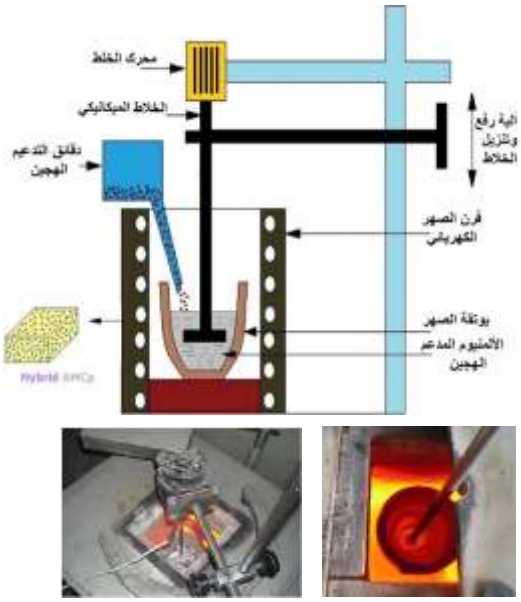
يمكن أن يُصنع الألمنيوم المدعم الهجين (HAMC) بطرق وتقنيات متعددة ويعتمد اختيار الطريقة الهندسية الأفضل على كمية وتوزيع وشكل المواد الداعمة (ألياف أو دقائق.....) وعلى نوع المعدن الأساس وعلى التطبيق النهائي الذي سوف تدخل المادة المركبة المصنعة فيه ومدى التجانس المطلوب في البنية.

وإن خصائص المواد المركبة المعدنية التي سنحصل عليها تعتمد بشكل مباشر على نوع العملية المختارة للتصنيع وشروط وبارامترات هذه العملية ونوع المعدن الأساس الداخلة في التصنيع ونوع المادة الداعمة.

يمكن تصنيف أساليب التصنيع المُستخدمة في صناعة المواد المركبة ذات الأساس المعدني وفقا" لدرجة حرارة المعدن الأساس أثناء عملية تصنيع (HMMC) كما في الشكل (6) الذي يُظهر بعض طُرق تصنيع المعادن المُدعمة تدعيماً هجيناً كما ورد في (Surappa,2003) (Clyne, 2001).



الشكل (6) طرق تصنيع المواد المركبة المعدنية الهجينة HMMC



الشكل (7) مبدأ طريقة السباكة بالمزج (SCT)

تعد السباكة بالمزج –التحريك الميكانيكي– أو تقنية الدوامة (Vortex Technique) التي سوف نستخدمها في بحثنا إحدى أهم طرق تصنيع المواد المركبة الهجينة في الطور السائل – تأتي بالمرتبة الثانية بعد تقنية المساحيق Powder metallurgy الباهظة التكلفة –، التي تخلط فيها المواد الداعمة (غالباً دقائق بحجم لا يزيد عن 150 ميكرون ، ألياف قصيرة بقطر لا يزيد عن 30 ميكرون) بنسبة وزنية لا تزيد عن 30% مع معدن الأساس المصهور بطرق الخلط الميكانيكية كما في الشكل (7) يتم بعد ذلك صب المواد المركبة السائلة في قوالب صب معدنية أو رملية.

تتميز السباكة بالتحريك الميكانيكي بأنها طريقة التصنيع الأكثر فعاليةً وانتشاراً: لبساطتها وسهولتها وفعاليتها وقابليتها للاستخدام في المنتجات الكبيرة وانخفاض تكلفتها مقارنة بالطرق الأخرى بحسب ما ذكر (Surappa,2003) (Khalid, 2015) .

أن التطور التكنولوجي والثورة الصناعية تفرض الحاجة الدائمة إلى ابتكار مواد هندسية حديثة وتطوير المواد الهندسية المعروفة لتوسيع ساحة الاستخدام الصناعي وهنا تبرز مبررات وأهمية البحث نظراً للمكانة الاقتصادية العالية لسبائك الألمنيوم كونه يأتي بالمرتبة الثانية بعد الفولاذ ونظراً لتوافره وما يتمتع به من ميزات عديدة وخواص ميكانيكية جيدة مقارنة بالسبائك التقليدية أتت الحاجة إلى تدعيمه لزيادة فعاليته و لتحسين خواصه الميكانيكية وزيادة مساحة الاستفادة منه صناعياً في مجال السيارات والطائرات والتطبيقات الفضائية والتجهيزات الرياضية مع تحقيق تخفيض في التكلفة (Surappa,2003) (Kirman et al., 2024) .

لذا تم التوجه إلى تدعيم الألمنيوم بالطرق الحديثة المذكورة مسبقاً ولكن من سلبيات هذه الطرق التكاليف التصنيعية المرتفعة لمواد التدعيم – مواد نانوية أو شبكات تدعيم– وبالتالي تكلفة تصنيع الألمنيوم المدعم عدا عن الحاجة إلى تجهيزات وآلات معقدة للتصنيع.

أما باستخدام التدعيم الهجين كطريقة تدعيم حديثة لسبائك الألمنيوم فإنها تحقق الجدوى الاقتصادية بالإضافة إلى الوصول إلى الخواص المطلوبة من خلال الاستفادة من جمع ودمج خواص مواد التدعيم المُضافة.

في ضوء ذلك برزت أهمية استخدام مواد تدعيم رخيصة كالدقائق (مقارنة بمواد التدعيم الأخرى) في تحقيق التدعيم الهجين للألمنيوم عدا عن سهولة تصنيع الألمنيوم المدعم الهجين بها وتعدد تطبيقاته وإمكانية التحكم بخواصه وإجراء عمليات لاحقة على المنتجات وقابلية إعادة التدوير من خلال الصهر وإعادة التشكيل لمرات .

تتحقق سهولة ونجاح عملية تصنيع الألمنيوم المدعم الهجين (HAMCs) باختيار طريقة مناسبة مثل السباكة بالتحريك الي تتميز عن باقي طرق التصنيع من حيث التكلفة المنخفضة والبساطة والانتشار والفعالية وإمكانية إنتاج منتجات كبيرة نسبياً(Kainer,2006) (Surappa,2003) (Khalid, 2015) .

لذا تم بهذا البحث تدعيم إحدى سبائك الألمنيوم السبيكة AA6063 تدعيماً هجيناً لتحسين بعض خواصها الميكانيكية وتوسيع مجال تطبيقها والتخلص من بعض المشاكل التي تعاني منها أثناء استخدامها في مكان العمل باستخدام دقائق مختلفة (SiC–Gr) بطريقة (السباكة بالتحريك الميكانيكي SCT) ومن ثم إجراء المعالجة الحرارية T6على الألمنيوم المدعم الهجين المحضر لدراسة تأثيرها على الخواص الميكانيكية المدروسة.

نستعرض فيما يلي بعض الأوراق البحثية التي اهتمت بدراسة تدعيم سبائك الألمنيوم المختلفة وتأثير التدعيم والمعالجة اللاحقة على بعض خواصها الميكانيكية:

في دراسة (Sapra and Sharma,2013) قام الباحثان بتصنيع مادة مركبة ذات أساس من الألمنيوم (Al–Mg–Si) بطريقة السباكة بالمزج (SCT) وباستخدام دقائق من كربيد السيليكون كمادة تدعيم بشكل إفرادي و المغنزيوم كمادة مساعدة وأجريت عملية المعالجة الحرارية على العينات (التعتيق الاصطناعي على العينات عند الدرجة$175C^{\circ}$وقد بينت النتائج ارتفاع القساوة وخواص الشد وانخفاض معدل الاهتراء للمادة الأساس قبل وبعد إجراء المعالجة الحرارية مع زيادة نسبة التدعيم.

في دراسة (Kalra and Singh, 2014) تناول الباحثان موضوع تصنيع ألمنيوم مدعم هجين باستعمال تقنية السباكة بالضغط (Squeeze casting) وباستخدام دقائق تدعيم مشتركة من كربيد السيليكون والكربون وأكسيد الألمنيوم وقد بينت النتائج نجاح إنتاج الألمنيوم الهجين وقد بينت النتائج أيضاً تحسن الخواص القساوة والمتانة الصدمية عند ضبط نسب التدعيم للدقائق المستخدمة.

في دراسة (Ramani et al., 2017) دعّم الباحثون سبيكة من سبائك الألمنيوم باستخدام مواد تدعيم مشتركة من كربيد السيلكون ودقائق FA القاسية باستعمال تقنية السباكة بالتحريك الميكانيكي ومن ثم إجراء المعالجات الحرارية T4 و T6 وقد أظهرت النتائج وجود تأثير لمتغيرات المعالجات الحرارية (أزمنة ودرجات حرارة التعتيق ووسيط التقسية) على الخواص الميكانيكية للألمنيوم المدعم.

في دراسة (Abbass and Sultan ,2019) قام الباحثان بتدعيم سبيكة الألمنيوم (4.5% Cu+1.5Mg) بدقائق من الألومينا النانوية (المتغيرة النسبة) باستعمال تقنية المساحيق الحديثة (Powder metallurgy) والحصول على مادة مركبة نانوية ودراسة القساوة الميكروية والكثافة و مقاومة التآكل الكهركيميائي لها وقد لوحظ ان القساوة الميكروية والكثافة تزداد مع زيادة نسبة الألومينا بينما معدلات التآكل للمادة المركبة أقل من السبيكة الأساس وأن مقاومة التآكل تزداد مع زيادة نسبة الألومينا.

في دراسة (Mattli et al., 2020) تطرق الباحثون إلى موضوع تدعيم سبائك الألمنيوم بدقائق من كربيد السيلكون بنسبة ثابتة وأكسيد الزركونيوم بنسب متغيرة بتقنية التلبيد بالأمواج الميكروية (Microwave Sintering Technique) الحديثة و قد أظهرت نتائج الدراسة أن أفضل خواص ميكانيكية المدروسة كانت عند أعلى نسبة من أكسيد الزركونيوم.

في دراسة (Bommana et al., 2021) عمل الباحثون على دراسة تأثير إضافة نوعين من الكربيدات معاً (كربيد البورون وكربيد السيلكون) بنسبة لا تزيد عن 6% من كلاهما على سبيكة الألمنيوم AA6061 بتقنية السباكة بالمزج (SCT) وتوصلوا إلى أن التدعيم الهجين أدى إلى تحسين في مقاومة الشد الأعظمية وإجهاد الخضوع والقساوة بالأخص عند زيادة نسبة كربيد البورون على حساب نسبة كربيد السيليكون.

في دراسة (Lemine et al., 2022) قام الباحثون بتدعيم الألمنيوم بدقائق من الكربيدات القاسية (كربيد البورون B4C وكربيد النيوبيوم NbC) بنسب متغيرة بتقنية المساحيق و قد أظهرت نتائج الدراسة أنه مع زيادة نسبة الدقائق تتحسن الخواص الميكانيكية المدروسة وكانت أفضلها عند نسبة (2%B4C+5 %NbC).

في دراسة (Kirman et al., 2024) تم تدعيم سبيكة الألمنيوم AlZrCe من قبل الباحثين بدقائق نانوية من الألومينا بنسب متزايدة بتقنية (Stir casting) مع اتباع التدعيم بالدرفلة على البارد بنسب تشكيل ثلاثة مختلفة ومعالجة حرارية بالتسخين حتى (500C°) , (1 hour) وقد لاحظ الباحثون أن مقاومة الشد الأعظمية والقساوة ترتفع للعينات مع ازدياد نسبة التشكيل وأن المعالجة الحرارية قد ساهمت بشكل كبير بتحسين الخواص المذكور وأفضل العينات من حيث التدعيم كانت عند نسبة تدعيم وسطية من دقائق الألومينا النانوية .

في دراسة (Farahany et al., 2024) صنع الباحثون سبائك الألمنيوم المُدعم بتقنية مطورة من السباكة بالتحريك تُدعى (Compo-Casting) حيث تم تقوية سبيكة الألمنيوم (Al-7Si-0.4Mg) بدقائق مختلفة من أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد الزكزنيوم وكربيد السيليكون وهذا ما ساعد على رفع القساوة ومقاومة الاهتراء للعينات وكانت أفضل النتائج عند استخدام الأنواع الثلاثة من الدقائق.

أهمية البحث وأهدافه:

نلاحظ من الدراسات المرجعية أن اختيار طريقة تدعيم الألمنيوم ومواد التدعيم وطريقة التصنيع تمثل تحدياً مهماً في مجال تدعيم المعادن، بالإضافة لاختيار المعالجة الحرارية والميكانيكية الأنسب لتحسين الخواص الميكانيكية لذا فإن استخدام التدعيم الهجين كطريقة تدعيم حديثة لسبائك الألمنيوم تحقق الجدوى الاقتصادية

بالإضافة إلى الوصول إلى الخواص المطلوبة من خلال الاستفادة من جمع ودمج خواص مواد التدعيم المُضافة وهنا تبرز أهمية استخدام مواد تدعيم رخيصة كالدقائق (مقارنة بمواد التدعيم الأخرى) و تتحقق سهولة ونجاح عملية تصنيع الألمنيوم المدعم الهجين باختيار طريقة مناسبة مثل السباكة بالتحريك التي تتميز على باقي طرق التصنيع من حيث التكلفة المنخفضة والبساطة والانتشار والفعالية وإمكانية إنتاج منتجات كبيرة.

لذا فإن أهداف البحث تتمثل فيما يلي:

1. تحقيق وتوطين تقنية التدعيم الهجين بتصنيع مادة مركبة معدنية هجينة (HAMCs) بأساس من سبيكة الألمنيوم (AA6063) مدعمة بنوعين مختلفين من الدقائق القاسية الصلدة باستخدام تقنية بسيطة هي السباكة مع التحريك الميكانيكي (SCT).
2. دراسة تأثير زيادة نسبة إحدى نوعي الدقائق الداعمة المُضافة – الغرافيت(Gr) عند تثبيت نسبة الكربيد(SiC 8%) – على القساوة وخواص الشد لسبيكة AA6063 (تم اختيار هذه النسب اعتماداً على أبحاث وتجارب سابقة أنجزناها بالإضافة للاستفادة من الدراسات السابقة في هذه المجال). والوصول إلى النسب المثالية من الدقائق المُضافة والتي تُعطي أفضل الخواص .
3. دراسة تأثير المعالجة الحرارية T6 على القساوة وخواص الشد للعينات المدعمة الهجينة.

مواد وطرائق البحث:

سوف نستعرض المواد والتجهيزات التي سوف نستخدمها في البحث ومن ثم سوف نوضح خطوات التنفيذ لتحقيق هدف البحث والوصول للنتائج المرجوة.

المواد الاولية المستعملة لتحضيرHAMC (Materials) :

المعدن الأساس (Metal Matrix):

هو سبيكة الألمنيوم AA6063 على شكل قطع كبيرة قمنا بتقطيعها إلى قطع صغيرة لسهولة وزنها وصهرها تركيبها الكيميائي الفعلي (من جهاز السبيكرومتر) والقياسي من ASTM كما في الجدول (1).

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكةAA6063

التركيب الكيميائي الفعلي- المقاس- لسبيكة AA6063

Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Cr	Ti	AL
0.45	0.50	0.22	0.22	0.03	0.02	0.03	0.02	Bal.

التركيب الكيميائي القياسي لسبيكة AA6063 حسب ASTM

Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Cr	Ti	other
0.20 –0.6	0.45 –0.9	0.35	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-0.05 0.15

مواد التدعيم (Reinforcement Particles):

هي عبارة عن بودرة ناعمة قاسية بحجم حبيبي (من رتبة الميكرون) من كربيد السيليكون (SiC) والغرافيت (Gr) تمت غربلتها على جهاز المناخل للوصول إلى حجم محدد حيث تم الحصول على دقائق بحجم وسطي من$(20 \rightarrow 30\mu m)$.

مواد مساعدة (Added Materials) :

هي عبارة عن رقائق من ورق الألمنيوم النقي وبودرة مغنزيوم ناعمة (تُضاف لتحسين التبلل والترطيب بين الأرضية والمواد المضافة وبالتالي تحسين الترابط) بالإضافة لبودرة من الألمنيوم النقي.

التجهيزات المستعملة لتحضير HAMC بطريقة السباكة بالمزج (SCT) وإجراء المعالجة الحرارية T6:

❖ **آلة السباكة بالمزج Stir Casting Machine:**

قمنا بتصنيع آلة السباكة بالمزج كما ذكر (Sekar and Joseph, 2013) والتي تضم الأجزاء التالية الموضحة بالشكل(8) :

***آلية الخلط:** يتألف من محرك الخلط وهو محرك كهربائي باستطاعة $0.25Hp$ ومحور الخلط وشفرات الخلط التي تم تصنيعها من الستانلس ستيل لإنجاز عملية الخلط بعد إضافة دقائق إلى منصهر السبيكة AA6063.

***وحدة ضبط السرعة:** تم توصيله مع محرك الخلط للتحكم بسرعة الخلط مع إمكانية تغير سرعة الخلط $(0 \rightarrow 1200)r.p.m$.

***فرن الصهر:** فرن كهربائي استطاعته $3Kw$ بحرارة قصوى $1200C^{\circ}$ لصهر الألمنيوم AA6063 وضمنه تتم عملية الخلط وقد تم تركيب قاعدة حاملة لآلية الخلط أعلى الفرن وتم تجهيز الفرن بمنظم حساس لضبط درجة الحرارة.

***أداة تغذية المصهور بالدقائق الداعمة:** بعد نخل وغربلة الدقائق كانت تغلف برقائق الألمنيوم وتضاف إلى مصهور الألمنيوم من خلالها.

***البوتقة:** استخدمنا بوتقة مخروطية الشكل مصنوعة من الغرافيت المقاوم للحرارة تستوعب حوالي $3kg$ من الألمنيوم المراد صهره الشكل(8).

الشكل (8) آلة السباكة بالمزج التي تم تصنيعها مع باقي الملحقات (SCT)

❖ **قالب الصب المعدني Metal Mold :**

تم تصنيع قالب الصب المعدني من الفولاذ وهو عبارة عن قطعتين أبعادهما: $200 \times 200 \times 30mm$ تم تشغيل أربع فتحات عليهما بطول $150mm$ (تمثل العينات) فتحتين بقطر 20ϕو فتحتين بقطر 15ϕ الشكل(9).

❖ **ميزان حساس Weighing Machine :**

استخدمنا ميزان إلكتروني نوع(LS1000) صنع شركة(Sartrious) له قابلية المعايرة والتصفير يقيس $(0 \rightarrow 1000gr)$ لوزن قطع الألمنيوم والدقائق الداعمة بنوعيها للحصول على نسبة الخلط والتدعيم الصحيحة.

❖ **فرن المعالجة الحرارية(Heat treatment Furans) :**

استخدمنا فرن معالجة حرارية من النوع (CurboLite,Hope watt :3100 w) تصل درجة حرارته العظمى (Max temp :1200C°).

طرائق العمل (طريقة تنفيذ البحث):

- **تصنيع الألمنيوم المدعم الهجين** : حسب ما ذكر كل من:(Sapra and Sharma,2013) (Ramani et al., 2017) و(Kirman et al., 2024) تتم وفق الخطوات التالية:

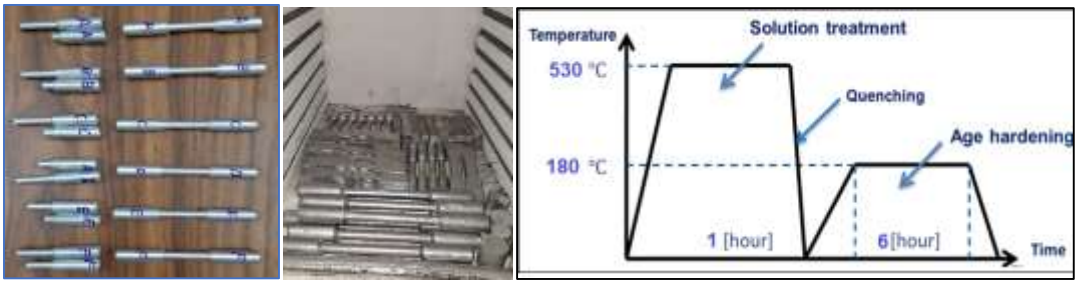
1. تقطيع سبيكة الألمنيوم الأساس AA6063 إلى قطع صغيرة ووزنها وتحديد أوزان النسب $wt\%$ المُضافة من دقائق بنوعيها ثم وضع قطع الألمنيوم في البوتقة داخل الفرن الكهربائي ورفع درجة حرارته إلى $800C^\circ$ لضمان انصهار السبيكة التام .
2. و بعد التأكد من انصهار الألمنيوم بشكل كامل يتم خفض درجة الحرارة ضمن الفرن إلى درجة قريبة من $700C^\circ$ليتم إضافة الدقائق الداعمة الهجينة (Gr– SiC) المخلوطة بشكل متجانس و المعلومة الحجم والوزن والنسبة والمغلفة برقائق من الألمنيوم النقي والمُسخنة مسبقاً إلى درجة الحرارة حوالي $150C^\circ$لخمس دقائق وذلك لإزالة الرطوبة والغازات الممتصة وتنظيف السطح من طبقة الأكاسيد وتحسين توزيع الدقائق داخل المصهور عن طريق تحسين التفاعل والتبلل بين الدقائق والمصهور وتخفيف التوتر السطحي بينها ويتم معها إضافة كمية قليلة من المغنزيوم (لا تتجاوز 1%) لتحسين التبلل أيضاً ولتعويض الكمية المحترقة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة مع تنفيذ الخلط بأداة مزج يدوياً .
3. بعد ذلك يتم إدخال الخلاط الميكانيكي المزود بمروحة ثلاثية الشفرات مصنعة من مادة الستانلس ستيل في المعدن المصهور ضمن البوتقة الموجودة داخل الفرن وتدويره بسرعة $(500r.pm)$ و**لمدة** $(8\min)$ للحصول على دوامة ضمن المصهور Vortex (تم اختيار هذه الشروط اعتماداً على مجموعة تجارب وعلى الدراسات المرجعية(Bommana et al., 2021) (Khalid, 2015)) ونتيجة لفعل الدوامة يتم سحب خليط الدقائق الهجينة الى داخل المصهور المعدني وتوزيعه خلاله .
4. وأثناء عملية الخلط يتم إعادة تسخين الخليط إلى درجة الحرارة $850C^\circ$ لتحسين انتشار وتوزيع الدقائق الداعمة الهجينة ضمن المصهور.
5. بعد انتهاء الخلط وعند درجة الحرارة $850C^\circ$ تتم عملية صب الخليط (المادة المركبة الهجينة) في القالب معدني وتركه ليبرد تبريداً سريعاً في القالب الفولاذي الشكل (9).
6. تكرر العملية عدة مرات وفقاً للنسب المطلوب إضافتها من الدقائق الداعمة الهجينة للسبيكة الأساس.

الشكل (9) القالب والعينات بعد الصب

- **المعالجة الحرارية المحلولية(T6)** : (Sapra and Sharma,2013) (Ramani et al., 2017) (Kirman et al., 2024):

بعد أن تم تحضير الألمنيوم المدعم تم إجراء المعالجة الحرارية على العينات المدعمة الهجينة المنتجة والمتضمنة **المعالجة الحرارية المحلولية** في درجة $530C^\circ$ ولمدة 1hour يعقبها **التبريد بالماء** ثم **التعتيق الصناعي** في درجة $185C^\circ$ ولفترة زمنية $6hr$ – يحدث هذا النوع من التعتيق (Artificial Aging) في ظروف درجات الحرارة المنخفضة والتي تتراوح عادة بين ($115C^\circ$و $190C^\circ$) في حين تتفاوت مدة المعالجة بين 5 و48 ساعة يُسبب التعتيق الصناعي التقسية بالترسيب –والشكل (10) يوضح مخطط المعالجة الحرارية. وكان الغرض الرئيسي من المعالجة المحلولية (تحقيق التصليد بالترسيبPrecipitation Hardening) هو تحقيق الاهداف الاتية:

- التخلص من بعض عيوب السباكة وضمان توزيع الاطوار بشكل متجانس للحصول على بنية منتظمة خلال المسبوكة وإزالة الاجهادات الداخلية الناشئة من الظروف الحرارية أو التقلص أثناء التجمد.
- الحصول على محلول جامد متجانس وبعد التبريد في الماء نحصل على محلول جامد فوق الاشباع.
- وبعد عملية التعتيق تترسب دقائق ناعمة جداً من الطور الثاني تعمل على إعاقة الانخلاعات مما تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة.



الشكل (10) مخطط المعالجة الحرارية–فرن المعالجة الحرارية مع عينات الاختبارات الميكانيكية

وبالتالي يمكن تلخيص طريقة تنفيذ البحث كما في المخطط التالي الشكل (11):

الشكل (11) مخطط تنفيذ البحث

التجهيزات المستعملة لإجراء الفحوصات والاختبارات الميكانيكية على HAMC:

الشكل (12) أجهزة الفحص والاختبارات : جهاز الشد– جهاز القساوة –جهاز XRD–المجهر الضوئي

قبل إجراء الاختبارات على العينات المدعمة الهجينة تم تقسيمها إلى ست مجموعات (A,B,C,D,E,F) وفقاً لنسب المواد المُضافة (نسب التدعيم) –ليكون لدينا طيف واسع من العينات بخواص ميكانيكية محسنة بما يتلاءم مع التطبيق الصناعي المطلوب –وتشغيلها بعمليات التشغيل الميكانيكي لتكون جاهزة للاختبارات الميكانيكية كما في الجدول (2). والجدول (2) يوضح أنواع وتسميات العينات حسب نسب التدعيم الهجين:

الجدول(2) أنواع العينات المدعمة الهجينة

العينة المدعمة (AA6063+SiC+……Gr)		Sample
العينات المدعمة الهجينة		
كربيد السيليكون +غرافيت	base alloyAA6063	A
	Composite -AA6063+8%SiC	B
	Composite- AA6063+8% SiC +2%Gr	C
	Composite -AA6063+8% SiC +4%Gr	D
	Composite -AA6063+8% SiC +6%Gr	E
	Composite- AA6063+8% SiC +8%Gr	F

والشكل (13) يوضح تجهيز عينات الاختبارات الميكانيكية والفحص المجهري:

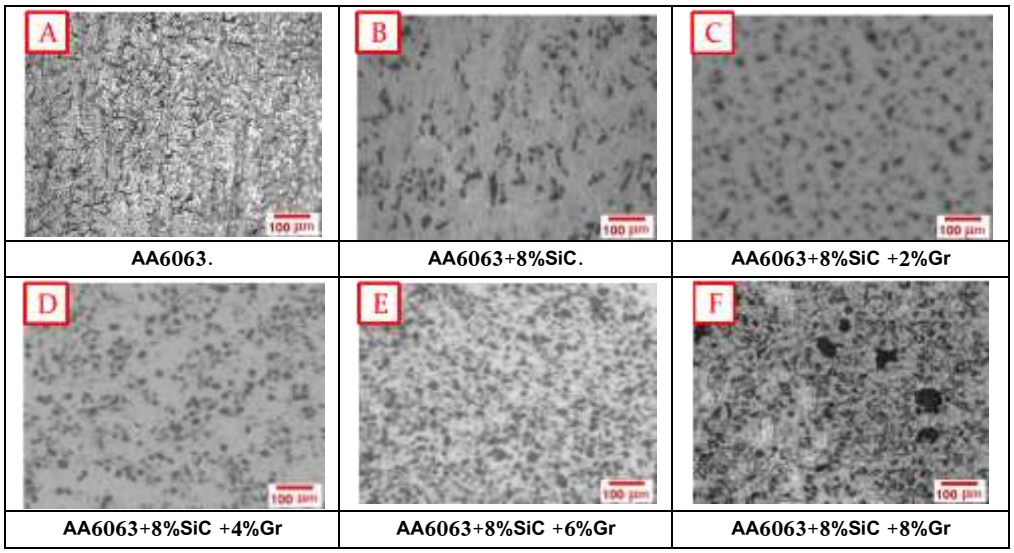
أُنجز هذا البحث في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية (مخبر التشغيل المبرمج ومخبر علم المواد ومخبر المعالجات الحرارية) وفي مخبر انعراج الأشعة السينية التابع لقسم الفيزياء في كلية العلوم في جامعة حمص.

النتائج والمناقشة:

1) نتائج الفحص المجهري Results of optical Microscope:

تم تحضير عينات الفحص المجهري بإجراء عمليات الشحذ الرطب بالماء بأوراق شحذ بدرجات نعومة مختلفة $(400 \rightarrow 1500)$ على جهاز الشحذ نصف الآلي ثم عملية التلميع Polishing باستعمال معجون الألماس الصناعي بحجم $(0.5\mu m)$ثم أجريت عملية غسل للعينات بالماء والكحول ثم التجفيف بالهواء أما إظهار البنية Etching فتمت باستخدام محلول من حمض الفلور(HF) الممدد بالماء لمدة (60sec) ثم تم فحصها على المجهر الضوئي (Lemine et al., 2022).

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (14) حيث توزعت الدقائق الداعمة من الكربيد والغرافيت بنوعيها ضمن الألمنيوم الأساس بشكل شبه منتظم تقريباً ومع زيادة نسبة كان تظهر ضمن البنية بشكل أغزر.

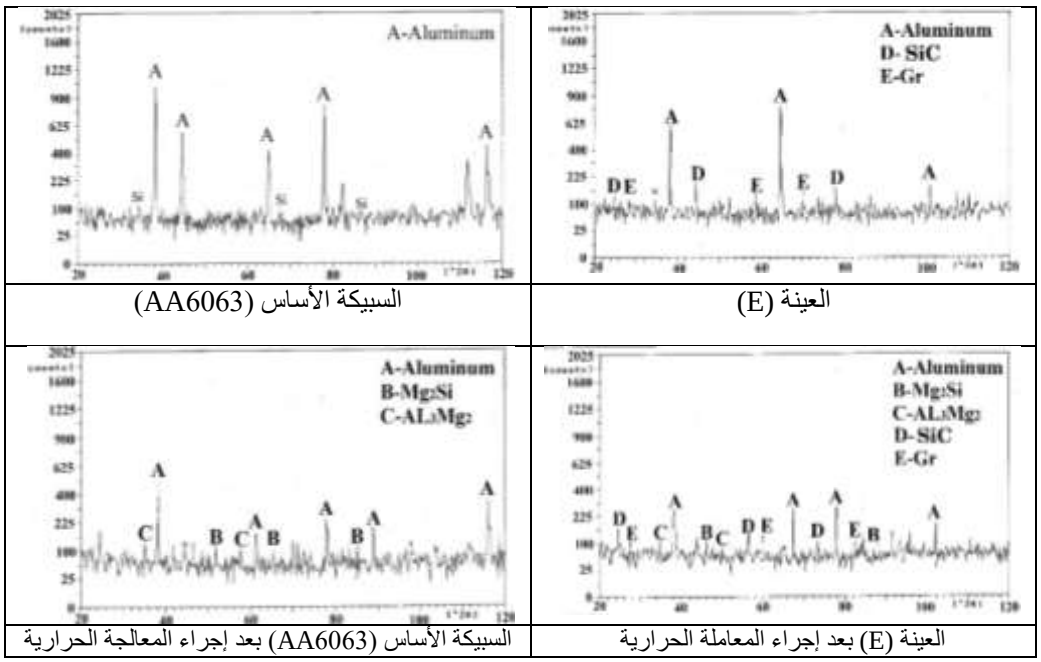


الشكل (14) صور المجهر الضوئي توضح توزع دقائق التدعيم الهجينة ضمن الألمنيوم AA6063 . **نسبة تكبير 200X**

تم استخدام المجهر الضوئي نوع (MEIJI) المجهز بكاميرا رقمية نوع(DCE-2) مُنصبة ببرنامج خاص على جهاز الحاسوب لدراسة البنية المجهرية للعينات (مع برنامج لمعالجة الصور المجهرية **Image J**).

2) نتائج انعراج الأشعة السينية XRD Analysis Results :

تم قص عينات انعراج الأشعة السينية من المسبوكات المدعمة والمعاملة حرارياً وضبط أبعادها بما يتناسب مع جهاز انعراج الأشعة السينية XRD نوع Philips طراز PW 1830 ثم تحضيرها لغرض تحديد الأطوار في السبيكة الأساس والمادة المركبة المحضرة وقد تم فحص العينة (E) لأنها حققت أفضل نتائج من حيث الخواص الميكانيكية وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (15) حيث أظهرت المخططات وجود الدقائق الداعمة وتكون الأطوار ضمن الألمنيوم الأساس بعد إجراء المعالجة الحرارية T6 (Mattli et al., 2020) .



العينة (E)	السبيكة الأساس (AA6063)
العينة (E) بعد إجراء المعاملة الحرارية	السبيكة الأساس (AA6063) بعد إجراء المعالجة الحرارية

الشكل (15) صور انعراج الأشعة السينيةXRD

3) نتائج اختبار القساوة Hardness test Results :

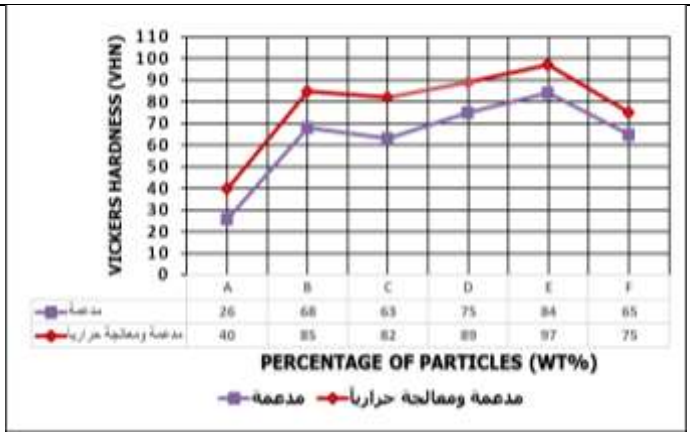
تم تجهيز جميع عينات القساوة بعمليات ميكانيكية (شحذ رطب وصقل) ثم قمنا بإجراء الاختبار على جهاز قساوة Vickers وكان الحمل المطبق يساوي $(4Kg_f)$لمدة $(10\sec)$وأخذنا خمسة قراءات بشكل عشوائي للقساوة من مناطق مختلفة من كلّ عينة لتحديد القيمة المتوسطة لقساوة العينات المدروسة.

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (16) حيث إن حيث ازدادت قساوة الألمنيوم إلى حد معين مع ارتفاع نسبة إحدى الدقائق الداعمة الهجينة القاسية الموزعة ضمنه(الغرافيت) ، وساعدت المعالجة الحرارية(T6) على الحصول على قيم عالية للقساوة لعينات الألمنيوم المُدعم الهجين.

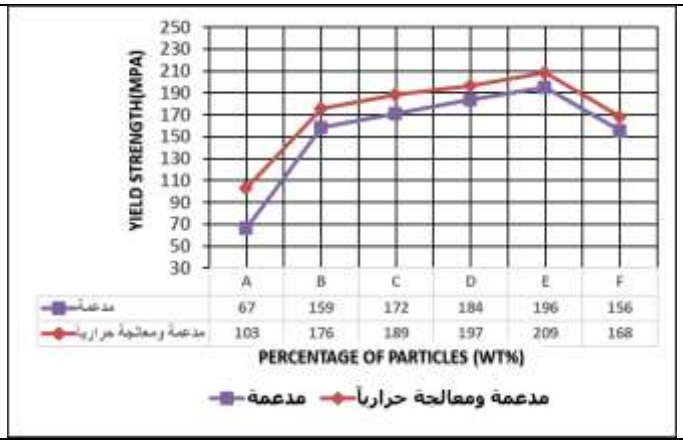
4) نتائج اختبار الشد Tensile Test Results :

تم إجراء اختبار الشد على جهاز الشد مزودة براسم بياني إلكتروني لمنحني الشد بعد أن تم تحضير جميع العينات حسب المواصفة القياسية(ASTM-E8-82) بطول قياس (75mm) وقطر (8mm)وبمقاطع مسطحة (10X15mm) بطول قياس (36mm) وبعد الحصول على مخططات الشد للعينات تم التركيز على تحديد قيم :(مقاومة الخضوعY – مقاومة الشد الأعظمية UTS – الاستطالة).

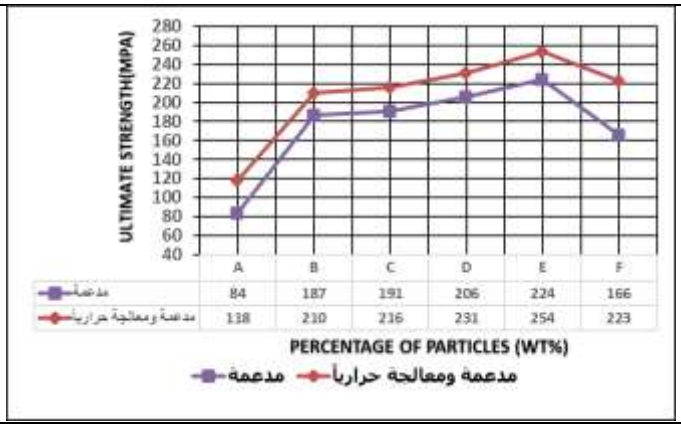
وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (17) (18) (19) حيث إن قيم إجهاد الخضوع ومقاومة الشد العظمى للألمنيوم الأساس زادت مع ازدياد نسبة دقائق الغرافيت القاسية المضافة. و بالنسبة للاستطالة فإنها انخفضت مع ازدياد نسبة الدقائق الداعمة الهجينة. أما المعالجة الحرارية فقد أدت إلى تحسين قيم إجهاد الخضوع ومقاومة الشد للألمنيوم المدعم الهجين بشكل ملحوظ . أما بالنسبة للاستطالة فإنها انخفضت مع ازدياد نسبة الدقائق الداعمة الهجينة وتحسنت قيمتها عند المعالجة الحرارية.



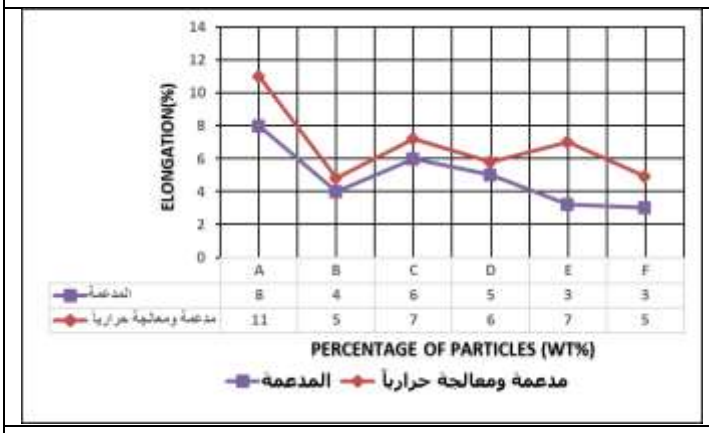
الشكل (16) تأثير التدعيم الهجين والمعالجة الحرارية على قيم القساوة



الشكل (17) تأثير التدعيم الهجين والمعالجة الحرارية على إجهاد الخضوع



الشكل (18) تأثير التدعيم الهجين والمعالجة الحرارية على قيم مقاومة الشد الأعظمية



الشكل (19) تأثير التدعيم الهجين والمعالجة الحرارية على قيم الاستطالة

مناقشة وتفسير النتائج:

المناقشة والتقييم:

يوضح الجدول (3) والجدول(4) مقدار التحسن بالخواص الميكانيكية المدروسة للعينات الستة المدعمة الهجينة مقدرة كنسبة مئوية قبل وبعد المعالجة الحرارية والذي يُحسب من العلاقة أسفل الجدول:

الجدول (3) مقدار التحسن بالخواص الميكانيكية قبل المعالجة الحرارية

Sample	الخواص الميكانيكية المدروسة قبل المعالجة الحرارية/T6/					
	القساوة	التحسن %	إجهاد الخضوع	التحسن %	مقاومة الشد	التحسن %
A	26	0	67	0	84	0
B	68	162	159	137	187	123
C	63	142	172	157	191	127
D	75	188	184	175	206	145
E	84	223	196	193	224	167
F	65	150	156	133	166	98

الجدول (4) مقدار التحسن بالخواص الميكانيكية المدروسة بعد المعالجة

Sample	الخواص الميكانيكية المدروسة بعد المعالجة الحرارية/T6/					
	القساوة	التحسن %	إجهاد الخضوع	التحسن %	مقاومة الشد	التحسن %
A	40	0	103	0	118	0
B	85	113	176	71	210	78
C	82	105	189	84	216	83
D	89	123	197	91	231	96
E	97	143	209	103	254	115
F	75	88	168	63	223	89

$$(\%)\,Improving\ \ Percentage = \left[\left(\frac{P_{New} - P_0}{P_0} \right) \times 100 \right] \%$$

P_0 : قيمة الخاصية لعينة الألمنيوم غير المدعمة.

P_{New} : قيمة الخاصية لعينة الألمنيوم المدعمة تدعيم هجين والمعالجة حرارياً.

نلاحظ إنه كما ذكرنا سابقاً أن العينة / E / التي نسب تدعيم عندها (8% SiC + 6%Gr) كان مقدار التحسن بالخواص عندها أعلى بالمقارنة مع باقي العينات حيث تجاوز الـ (90%) بالمقارنة مع العينة /A/غير المدعمة و المعالجة حرارية .

وأن التحسن الحاصل في الخواص الميكانيكية المدروسة عند زيادة نسب التدعيم الهجين إلى نسبة معينة وبعد إجراء المعالجة الحرارية T6 الذي توصلنا له يتوافق مع ما توصل له العديد من الباحثين بالأبحاث ذات الصلة بموضوعنا مع اختلاف نوع دقائق التدعيم ونسبتها وسبائك الألمنيوم الجاري تدعيمها والخواص الميكانيكية المدروسة وبارامترات وطريقة التصنيع ونوع المعالجة الحرارية المطبقة ومُتغيرتها (الأزمنة ودرجات الحرارة) بالإضافة لاستخدام بعض الباحثين لعمليات التشكيل (المعالجات الميكانيكية لتحسين الخواص).

ففي دراسة الباحثان(Kalra and Singh, 2014) توصلت الدراسة لقيمة عليا للقساوة (Hv=125) عند (5% C+ 10%SiC + 10%Al2O3) كون الدراسة اعتمدت ثلاث أنواع من دقائق التدعيم معاً مع التصنيع بتقنية SQUEEZE CASTING بدون معالجة حرارية ألا أن قيمة مقاومة الشد في دراستنا كانت أعلى.

في دراسة (Mattli et al., 2020) توصلت الدراسة لقيمة للقساوة كانت (Hv=71.1) وهي أخفض مما توصلنا له وكانت أعلى قيمة لإجهاد الخضوع (355MPa)عند نسبة تدعيم (5% SiC +9% ZrO2) ويعود سبب ارتفاع هذه القيمة عن ما توصلنا له بدراستنا استخدام دقائق نانونية مع تقنية تصنيع حديثة ومتطورةMicrowave Sintering Technique .

في دراسة (Farahany et al., 2024) توصلت الدراسة لأعلى قيمة للقساوة (Hv=73.4) وهي أخفض مما توصلنا له على الرغم من استخدام طريقة Compo-casting وثلاث أنواع من الدقائق الداعمة القاسية.

وفي دراسة حديثة (Kirman et al., 2024) وصلت أعلى قساوة (Hv=68) وأعلى قيمة لمقاومة الشد العظمى (260MPa) بعد التدعيم والدرفلة على البارد بنسبة تشكيل مرتفعة ومعالجة حرارية محلولية وهذه النتائج قريبة وتتفق مع ما توصلنا له بالدراسة الحالية مع وصول العينة/E/ إلى قيمة قساوة أعلى (Hv=97).

تفسير النتائج:

تأثير التدعيم الهجين (التقسية بالتشتيت) :

التقسية بالتشتيت للدقائق من الطرق المهمة لزيادة قساوة ومقاومة المعادن والسبائك للتشويه اللدن وفقاً لنظرية أورون بالتقسية (Orowan Strengthening mechanism):

زيادة **قيم القساوة** للألمنيوم AA6063 مع زيادة نسبة الدقائق الداعمة الهجينة : تعود إلى الدعم الذي تعطيه الدقائق القاسية المتنوعة ذات السطح الكبير إلى الألمنيوم نتيجة توزعها بشكل متجانس تقريباً ضمن البنية كون هذه الدقائق ذات قساوة أعلى من الألمنيوم وهذه الدقائق تقاوم وتعيق حركة الانخلاعات في الألمنيوم المدعم الهجين ومن ثم تؤدي إلى زيادة الإجهاد اللازم لحني الانخلاع وتقيد التشوه اللدن (الانخلاعات هي عيوب خطية في الشبكة البلورية للمادة وقدرة المعدن على التشوه تشوهاً لدناً يعتمد على قدرة الانخلاعات على الحركة

بسهولة فكلما كانت حركة الانخلاعات أسهل كلما زادت قابلية التشوه اللدن وقلت المقاومة وبالعكس وإن وجود حواجز أمام حركة الانخلاعات /جسيمات غريبة–انخلاعات أخرى/ تزيد المقاومة والقساوة) مما يساعد على زيادة كثافة الانخلاعات (Dislocation density) بسبب تولد انخلاعات جديدة (منبع فرانك–رید) في الألمنيوم وبجوار الدقائق بالإضافة إلى أن هذه الدقائق الداعمة المقدمة للمصهور يشكل مركز إضافي للتجمد من خلال زيادة معدل تكوين بذور وأنوية التبلور وتصغير الحجم الحبيبي (decreasing the grain size) .

زيادة **المقاومة UTS و Y** للألمنيوم AA6063 مع زيادة نسبة الدقائق: ناتجة عن الدقائق الداعمة التي تعمل على إعاقة حركة الانخلاعات وزيادة كثافتها أي إن وفرة هذه الدقائق يسبب إنقاص المسافة بين مكونات المادة وبالتالي زيادة في مقاومة حركة الانخلاعات وأثناء التشويه أما تقطع أو يمر الانخلاع حول الدقائق وكمحصلة نهائية زيادة مجالات الإجهاد (التي تقيد الجريان اللدن) المسبب زيادة المقاومة للألمنيوم إضافة للعلاقة السطحية البينية القوية بين الألمنيوم وأسطح الدقائق الداعمة .عدا عن الاختلافات الكبيرة بمعامل التمدد الحراري بين الألمنيوم الأساس ودقائق التدعيم وبين دقائق التدعيم الهجينة بنوعيها وهذا يؤدي إلى عدم تطابق الانفعال الناتج عن الاختلافات بالتقلص الحراري عند السطح البيني بين الأرضية والدقائق والمحصلة فقدان التطابق بالإجهاد والذي يولد انخلاعات إضافية وهذه الزيادة في كثافة الانخلاعات تساهم في تقوية الألمنيوم .

انخفاض قيم **الاستطالة للألمنيوم** AA6063 مع زيادة نسبة الدقائق الداعمة الهجينة : يُعّزى إلى وجود الدقائق الداعمة القاسية التي تسبب مناطق تركيز للإجهادات الموضعية عند أسطح التماس بين الدقائق والمعدن عدا على أن إضافة الدقائق القاسية يولد مناطق انزلاق(slip regions) في المعدن الأساس بالإضافة لذلك تقاوم الدقائق الداعمة مرور الانخلاعات إما من خلال خلق حقول إجهاد (stress fields) في المعدن الأساس أو نتيجة اختلافات كبيرة في السلوك المرن بين المعدن الأساس والدقائق المبعثرة ومن المحتمل أن يكون انخفاض الاستطالة نتيجة الفراغات (voids) التي تشكل أنوية خلال الانفعال اللدن وكون إضافة الدقائق له تأثير مشابه للتشحيم حيث يسهل حركة الدقائق على طول مستويات الانزلاق. وإن كل ما سبق طرحه يتوافق مع ما ذكره وتناوله كل من الباحثين و الدارسين (Ramani et al., 2017) (Farahany et al., 2024) (Singh and Kalra, 2014)(Sapra and Sharma,2013) .

تأثير المعالجة الحرارية (التقسية بالترسيب):

تؤدي المعالجة الحرارية إلى تحسين الخواص الميكانيكية السابقة: تؤدي إلى تشكيل رواسب من دقائق –الطور الثاني– المحلول الجامد فوق المشبع Mg2Si وتوزعها في البنية (وترسب أطوار وسطية أخرى مثل AL3Ti وAL4C3 وهي أطور قاسية ناتجة عن العمليات الانتشارية لعناصر السبك(Mg, Si) بعد المعالجة الحرارية المحلولية والتعتيق) وحصول تفاعلات مع الانخلاعات مما يؤدي إلى مقاومة حركة الانخلاعات المتحركة وفرملتها وبالتالي زيادة الإجهاد اللازم لتحريكها وللتغلب على الاجهادات الداخلية الناشئة من الظروف الحرارية و التقلص أثناء التجمد وبالتالي زيادة مقاومة السبيكة المدعمة وقساوتها إما السبب في انخفاض قيم الخواص بعد ذلك فيعود الى فقدان انفعالات التطابق (Coherency Strain) بين الدقائق الداعمة والأرضية المترسبة وكذلك بسبب تكون الاطوار الوسطية كما ذكر كل(Kirman et al., 2024) (Ramani et al., 2017) .(Sapra and Sharma,2013)

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات:

1. نجاح تدعيم سبيكة الألمنيوم(AA6063) تدعيماً هجيناً بدقائق قاسية من نوعين مختلفين بطريقة السباكة بالتحريك وهذا دليل على فعاليتها في تصنيع (HAMC) والذي أكد ذلك صور المجهر الضوئي ونتائج انعراج الأشعة السينيةXRD حيث توزعت الدقائق الهجينة بشكل شبه منتظم تقريباً ضمن الألمنيوم.
2. أدت زيادة نسبة دقائق الغرافيت المُضافة فقط من (2–6 wt%) مع ثبات نسبة الكربيد(8 wt%) إلى زيادة القساوة بشكل ملحوظ للألمنيوم الأساس AA6063 خاصة بعد المعالجة الحرارية.
3. أدت زيادة نسبة دقائق الغرافيت المُضافة حتى (6 wt%) مع ثبات نسبة الكربيد المُضافة إلى تحسين خواص الشد (إجهاد الخضوع – مقاومة الشد العظمى) للألمنيوم الأساس AA6063 خاصة بعد المعالجة الحرارية مع انخفاض في الاستطالة وتحسنها بعد المعالجة.
4. أفضل الخواص الميكانيكية للألمنيوم المدعم الهجين تم الحصول عليها عند نسب تدعيم (6% Gr + 8%SiC) – العينة(E)–.
5. زيادة نسبة دقائق الغرافيت فوق (6 wt%) مع ثبات نسبة كربيد السيليكون المُضافة أدى إلى انخفاض في الخواص الميكانيكية المدروسة.
6. ساعدت المعالجة الحرارية (T6)على تحسين الخواص الميكانيكية للألمنيوم AA6063 المدعم الهجين بشكل ملحوظ .
7. ازدياد نسبة الدقائق الداعمة عن (6% Gr + 8% SiC) لنسب أعلى من الغرافيت رافقه انخفاض كفاءة عملية المزج والخلط Difficult to Stir and Mix وبالتالي ضعف توزع هذه الدقائق ضمن المعدن الأساس وميلها للتأكسد وللتكتل والتجمع والطفو على سطح المصهور وهذه يعني انخفاض الخواص الميكانيكية وعدم جدوى زيادة نسبة التدعيم واستخدام عينات أخرى بنسب تدعيم أعلى.

التوصيات والمقترحات للأعمال المستقبلية:

1. استخدام أنواع أخرى من الدقائق الداعمة (نتريدات –بوريدات مثلاً) في التدعيم الهجين للوصول إلى أطوار هجينة جديدة ودراسة تحقيق التدعيم الهجين للألمنيوم بطرق وتقنية تصنيع حديثة أخرى ودراسة المقارنة بين بعض هذه التقانات المُتاحة.

2. توسيع النتائج لتشمل دراسة تأثير التدعيم الهجين والمعالجة الحرارية على خواص ميكانيكية أخرى للألمنيوم (الضغط والفتل والتعب والزحف.....) بالإضافة إلى دراسة خواص الاهتراء والاحتكاك.

3. دراسة تأثير عمليات المعالجة الحرارية الأخرى وعمليات التشكيل المختلفة على المعدن المدعم.
4. استخدام تقنية النانو أي الاعتماد على الأبعاد النانوية للدقائق الداعمة السيراميكية لأنها تحسن من بنية المعدن المدعم وخواصه.

5. دراسة تأثير تغيير بارامترات عملية السباكة بالمزج والعمل على ضبطها بطرق رياضية.

المراجع:

Abbass,M., and Sultan,B., 2019- **"EFFECT OF AL2O3 NANOPARTICLES ON CORROSION BEHAVIOR OF ALUIMNUM ALLOY (AL-4.5 WT% CU-1.5 WT% MG) FABRICATED BY POWDER METALLURGY"**, *Journal of Engineering Structures and Technologies* IRAQ,(11)(1), 25-31p.

Bommana, D., DORA, T., Senapati , P., and Annum, S., 2021 -" **Effect of 6 wt.% Particle (B4C+SiC) Reinforcement on Mechanical Properties of AA6061 Aluminum Hybrid MMC",** *Journal of Engineering Structures and Technologies Squra*, (14)(4), 100-119p.

Clyne, T.W., 2001- "**Metal Matrix Composites: Matrices and Processing**". *Encyclopaedia of Materials Science and Technology*, Cambridge,1-140 p.

Farahany, S., Hamdani, M., Salehloo , M., and Cheraghali, E., **2024** -" **Synthesis and Characterization of Novel Aluminum Composites: A Compo-Casting Approach with ZrO2 , Al2O3 , and SiC ",** *Journal A R C H I V E S o f F O U N D R Y E N G I N E E R I N G*, Iran, (2024) (02),88-97p.

Kirman, K., Suhartono, H., vano , O., and Irawadi, Y., **2024** -" **Enhancing Aluminum Alloys for High-Strength Electrical Conductor with Nanoparticle Reinforcement",** *Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, Indonesia, (11) (03), 2720-2727p.

Khalid ,A., and Sabah ,K., 2015-**" Review of Effective Parameters of Stir Casting Process on Metallurgical Properties of Ceramics Particulate Al Composites"**. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* , (12) 6, 22-40p.

Kainer ,K 2006-"**Basics of Metal Matrix Composites**". WILEYVCH Verlag GmbH Co KGaA Weinheim**,** third Edition, *THE UNITED STATES OF AMERICA*, 54p.

Lemine, S., Fayyaz, O., Bhadra , J., and Thani, J., 2022 -" **Microstructure and mechanical properties of aluminum matrix composites with bimodal-sized hybrid NbC-B4C reinforcements ",** *Materials Today Communication ELSEVIER*, Qatar, (33) (104512), 1-10p.

Mattli, W., Khan, A., Abdelrazeq , M., and Yusuf, M., 2020 -"**Structural and Mechanical Properties of Al-SiC-ZrO2 Nanocomposites Fabricated by Microwave Sintering Technique",** *Published in Crystals, National University of Singapore*, (10)(904), 1-12p.

Ramani,S., Murthy,S., and Sarada, B.N**.,** 2017 - **"HEAT TREATMENT OF CERAMIC REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES"**. *International Journal of Advances in Engineering Research (IJAER), Bengaluru,* (11) (1) ,132-144 p.

Rana, R. S ., and Das, S., 2012-" **Review of recent Studies in Al matrix composites**" *International Journal of Scientific & Engineering Research*, USA , (3), 1-16p.

Sapra,P., and Sharma, F., 2013**-" Evaluating the Influence of Heat Treatment and Reinforcement on the Mechanical Properties of Al-Mg-Si Alloy"** . *Journal of Surface Engineering & Materials*, India, (3), 22 -26 p.

Singh,G., and Kalra, S.,2014 -" **CHARACTERISATION AND FABRICATION OF Al-BASED HYBRID COMPOSITE REINFORCED WITH SiC, Al2O3 AND C PARTICLES BY SQUEEZE CASTING"**. *IJMME-IJENS*, India,(3)(01),2320-2491p.

Surappa, M., 2003- "**Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities**"., *Printed in S¯adhan¯a, First Edition*, India, (28), (Parts 1 & 2) 319–334 p.

Sekar, K., and Joseph, M**.,** 2013- **" Design of a stir casting machine".** *American International Journal of Research in Science* , (7), 56-62p.

Evaluation Some Mechanical Properties of AA6063 Alloy Reinforced with Silicon Carbide and Graphite Particles After Heat treatment T6

***Mootaz Al husaria* * (1)**

(1) Teacher in the Design and Production Engineering Department, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Homs University, Homs, Syria.

Abstract

As a result of the industrial development witnessed by the world in all fields, scientists and researchers have sought to manufacture new materials with distinct engineering properties at a low economic cost, in line with the various industrial uses and applications, including reinforced metals. Reinforced aluminum alloys are defined as modern engineering materials consisting of two or more materials with different properties, one of which must be an aluminum alloy, and the other can be ceramic, glass, or metal reinforcement materials.

In this research, composite materials were prepared based on the alloy (AA 6063) and reinforced with micron-sized common particles of silicon carbide (SiC) at a fixed weight percentage (8 wt.%) and graphite (Gr) at variable weight percentages (2, 4, 6, 8 wt.%) by stir casting (SCT) method to obtain hybrid Aluminium with improved mechanical properties. Then, heat treatment - Precipitation Tempering - T6 was performed on the reinforced cast samples (solution heat treatment and artificial aging). After that, mechanical examinations and tests were carried out on all samples. The microscopic examination and (XRD) results showed that the hybrid supporting particles were distributed in a quasi-homogeneous manner, thus the process of obtaining hybrid reinforced Aluminium (HAMC) by stir casting (SCT) method was successful.

In general, the test results showed that the hardness, yield stress and ultimate tensile strength improved with the addition of hybrid reinforcement particles and heat treatment compared to (AA 6063) and that the best mechanical properties were obtained at reinforcement ratios (8% SiC + 6% Gr) of sample - E compared to the rest of the samples with an improvement rate of properties exceeding (50%), as the hardness value in the mentioned sample reached (97 Hv), the Ultimate tensile strength value (254 MPa) and the yield stress value (209 MPa).

Keywords: Reinforced Aluminium, Hybrid Particles, Stir Casting, Heat Treatment Ultimate tensile strength , Hardness .