Journal of Engineering Sciences and Information Technology
Volume (5), Issue (1): 30 Mar 2021
P: 53 - 72

AJSRP
ISSN: 2522-3321

مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات
المجلد (5)، العدد (1): 30 مارس 2021م
ص: 53 - 72

Studying the Effect of hybrid Reinforcement with Particles from Silicon Carbide and Alumina on some of Mechanical Properties of Aluminum Alloy 6063

Mootaz EzAlddin Al husaria

Fouad Dahiye

Al Mohanad Makki

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al-Baath University || Syria

Abstract: Metal matrix composite (MMC) is new engineering materials that contain two or more materials with different properties one being metal and the other may be metal, ceramic, glass reinforced materials.

Aluminum metal-matrix composites are being used as materials for automobile and aerospace applications. So in This present article, We try to prepare hybrid composite materials based on aluminum alloy (6063) (AL- Mg-Si) and reinforce it by shared particles having the size of micron of silicon carbide (7.5 wt%) and Alumina particles are added in specific countrified parentage (2.5, 5, 7.5, 10 wt%) by stir casting technique to obtain hybrid Aluminum Which having the improving mechanical properties.

After that inspections and mechanical tests have been done on all reinforcement samples.

The results of tests have shown the Hardness, Ultimate tensile strength, and Impact toughness were determined; with the addition of reinforcement the properties are improved compared to the parent metal Aluminum (6063) alone. Based on the evaluation (7.5 % SiC +7.5 AL2O3 %) gives a better result as compared to other composition and demonstrated superior hardness (87.74Hv), Impact toughness (18 Joul), and Ultimate tensile strength(218.9 Mpa).

Keywords: Hybrid Aluminum matrix composites HAMC, Silicon carbide, Alumina, Hardness, Impact toughness, UTS.

دراسة تأثير التدعيم الهجين بدقائق من أوكسيد الألمنيوم وكربيد السيلكون على بعض الخواص الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم 6063

معتز عز الدين الحصريه

فؤاد ضحية

المهند مكي

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || سوريا

الملخص: المواد المركبة ذات الأساس المعدني (MMC)هي مواد هندسية جديدة تتكون من مادتين مختلفتين بالخواص أو أكثر إحداهما يجب أن تكون سبيكة معدنية والأخرى من الممكن أن تكون مواد تدعيم سيراميكية أو زجاجية أو معدنية.

المواد المركبة ذات الأساس المعدني من الألمنيوم (AMC)أصبحت تُستخدم في المركبات وتطبيقات الطيران لذا قمنا بهذا البحث الحالي بتحضير مواد مركبة معدنية هجينة ذات أساس من سبيكة الألمنيوم 6063 (Mg-Si-AL) مدعمة تدعيم مشترك بدقائق حجمها من رتبة الميكرون من كربيد السيلكون (SiC) بنسبة وزنية محددة(7.5 wt%) ومن أكسيد الألمنيوم (AL2O3)بنسب وزنية (2.5, 5, 7.5, 10 wt %) ومصنعة بطريقة السباكة بالتحريك بهدف الحصول على ألمنيوم هجين بخواص ميكانيكية مُحسنة .

بعد ذلك قمنا بالفحوصات والاختبارات الميكانيكية على كل العينات. وقد بينت نتائج الفحص بالمجهر الضوئي توزع الدقائق الهجينة بشكل شبه متجانس ضمن الألمنيوم وبالتالي نجاح عملية الحصول على الألمنيوم المدعم الهجين بطريقة السباكة بالمزج.
وأظهرت نتائج الاختبارات أن القساوة والمتانة الصدمية ومقاومة الشد العظمى تحسنت مع إضافة دقائق التدعيم الهجين مقارنة مع (AL6063) وأن أفضل الخواص الميكانيكية تم الحصول عليها عند نسب تدعيم ((AL2O3 7.5+ SiC% 7.5 بالمقارنة مع باقي العينات حيث وصلت قيمة القساوة إلى (87.74Hv) وقيمة المتانة الصدمية (18 Joul) وقيمة مقاومة الشد العظمى (218.9 Mpa).

الكلمات المفتاحية: الألمنيوم المدعم الهجين، كربيد السيليكون، أوكسيد الألمنيوم، القساوة، المتانة الصدمية، مقاومة الشد العظمى.

المقدمة.

تحتاج العديد من التطبيقات الهندسية نتيجة للتقدم الصناعي والثورة التكنولوجية الحديثة إلى العديد من الخواص التي لا يمكن الحصول عليها من بعض المعادن الأساسية المتوفرة بشكلها المفرد كالمقاومة العالية لظروف التحميل الشديد ولدرجات الحرارة المرتفعة والقدرة على تخميد الاهتزازات والخواص الميكانيكية المُحسنة من قساوة ومتانة صدمية وخواص شد مع المحافظة على قابلية التشكيل والخفة في الوزن والكثافة المنخفضة والتكلفة المقبولة لذا برزت أهمية تدعيم هذه المعادن لتكون مواد بديلة لمواد هندسية أخرى عالية التكلفة وغير مستقرة الخواص، ومرشحة نتيجة لخواصها المُحسنة لتطبيقات صناعية عديدة في مجال هندسة الطيران والفضاء والسيارات والصناعات العسكرية.

تهدف دراستنا إلى تصنيع مادة مركبة معدنية هجينة (HAMCs) بأساس من الألمنيوم (AL6063) مدعمة بنوعين مختلفين من الدقائق القاسية كربيد سيلكون وألومينا باستخدام تقنية السباكة مع التحريك الميكانيكي Stir castingلتحسين خواص الألمنيوم وبالتالي توسيع مجال استخدامه في التطبيقات الصناعية المختلفة وحل بعض المشاكل التي توجهه والتغلب على ظروف العمل المتنوعة ومواكبة التطور الصناعي وحاجات السوق من المواد الحديثة بالإضافة إلى أن الدارسة الحالية تهدف إلى توضيح تأثير زيادة نسبة الأولومينا (AL2O3) عند تثبيت نسبة الكربيد عند(7.5%SiC) على القساوة والمتانة الصدمية وخواص الشد من مقاومة شد أعظمية واجهاد خضوع واستطالة لسبيكة الألمنيوم6063 -تحقيق التدعيم الهجين- والعمل على الوصول إلى النسب المثالية من الدقائق المُضافة والتي تُعطي أفضل الخواص الميكانيكية.

معظم الدراسات السابقة لجأت إلى استخدام مواد تدعيم مختلفة غالية الثمن مع أنواع متنوعة من سبائك الألمنيوم وتقنيات تصنيع تقليدية معقدة ومكلفة باستخدام منهجيات مختلفة وبارامترات تصنيع غير المعتمدة بدراستنا.

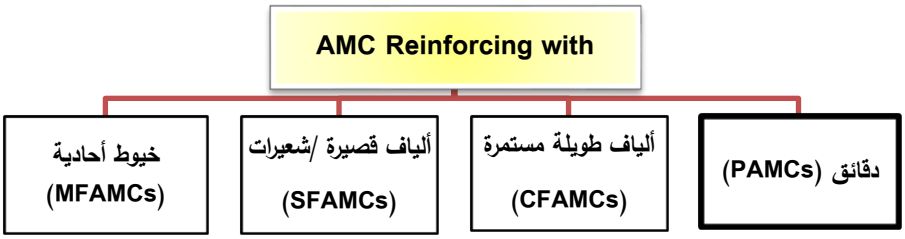
مشكلة الدراسة:

يجري تدعيم سبائك الألمنيوم بطرق تدعيم تقليدية وحديثة للحصول على المواد المركبة ذات الأساس المعدني من الألمنيوم (AMCs).

حيث تقوم الطرق التقليدية على استخدام طور تدعيم وحيد(Single) بمقياس من مرتبة الميكرو (Mecro) وبتموضع بسيط لمادة التدعيم كما يلي:

1. الألمنيوم المدعم بالدقائق (PAMCs) بأحجام $(10 \to 150\mu m)$.
2. الألمنيوم المدعم بألياف قصيرة أو شعيرات (SFAMCs) بقطر أقل من$(1\mu m)$.
3. الألمنيوم المدعم بألياف طويلة مستمرة (CFAMCs) بقطر $(5 \to 30\mu m)$.

4. الألمنيوم المدعم بخيوط أحادية (MFAMCs) حيث أن الخيوط الأحادية هي ألياف بأقطار كبيرة $(100 \rightarrow 150 \mu m)$ (SURAPPA, M 2003 [3]) ..وهي موضحة بالشكل (1):



الشكل (1) طرق التدعيم التقليدية للألمنيوم

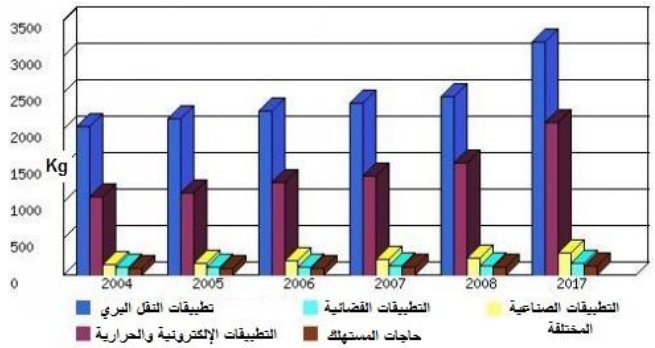
أما الطرق الحديثة لتدعيم سبائك الألمنيوم: تعتمد على الاستفادة من التقنيات الحديثة والمتطورة في التدعيم والتصنيع للحصول على ألمنيوم بخواص مميزة ولتلافي المشاكل في الطرق التقليدية (Vinoth kumar, S [8]) 2014 ومن أهم الطرق الحديثة لتدعيم سبائك الألمنيوم:

- التدعيم باستخدام تقنية النانو (Nano composites AMNCs) حيث تكون مواد التدعيم المستخدمة (ألياف –دقائق) بمقياس من مرتبة النانو.
- التدعيم باستخدام بناء أو شبكة (Structural or Woven reinforced) حيث يتم بناء شبكة التدعيم من الألياف ثنائية البعد أو ثلاثية البعد بتقنيات هندسية.
- التدعيم باستخدام تقنية التهجين (Hybrid composites(HAMCs الطريقة (المعتمدة 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.

تبرز مبررات وأهمية الدراسة الحالية نظراً للمكانة الاقتصادية العالية للألمنيوم وسبائكه 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 ولتحسين خواصه الميكانيكية وزيادة مساحة استخدامه صناعياً في مجال السيارات والطائرات والتطبيقات الفضائية والتجهيزات الرياضية والإلكترونية مع تحقيق تخفيض في التكلفة الاقتصادية الشكل (2) (SURAPPA, M 2003 [3]) .

إلا أن تدعيم سبائك الألمنيوم بالطرق التقليدية تقيده محدودية التطبيق وعدم الوصول إلى الخواص المرجوة في معظم الحالات والتكاليف الكبيرة لمواد التقوية وللألمنيوم المدعم بالإضافة إلى عدم مواكبة متطلبات الصناعات المتقدمة والتقدم الصناعي.

لذا تم التوجه إلى تدعيم الألمنيوم بالطرق الحديثة المذكورة مسبقاً ولكن ما يُأخذ على هذه الطرق التكاليف التصنيعية المرتفعة لمواد التدعيم – مواد نانوية أو شبكات تدعيم- وبالتالي تكلفة الألمنيوم المدعم وعدا عن الحاجة إلى تجهيزات وآلات معقدة للتصنيع.



الشكل (2) تزايد الطلب علىMMC

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 الهجين المدعم بها وتعدد تطبيقاته وإمكانية التحكم بخواصه وإجراء عمليات لاحقة على المنتجات وقابلية إعادة التدوير من خلال الصهر وإعادة تشكيل مرات كثيرة.

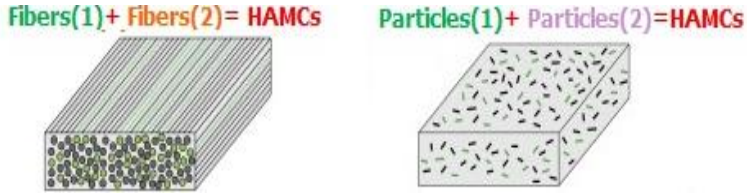
تتحقق سهولة ونجاح عملية تصنيع الألمنيوم المدعم الهجين HAMC باختيار طريقة مناسبة مثل السباكة بالتحريك الي تتميز على باقي طرق التصنيع من حيث التكلفة المنخفضة والبساطة والانتشار والفعالية وإمكانية إنتاج منتجات كبيرة نسبياً ([2]KAINER, K 2006) ([3] SURAPPA, M 2003) .

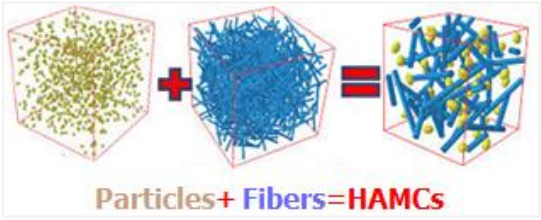
لذا قمنا بهذا الدراسة بتدعيم إحدى سبائك الألمنيوم السبيكة 6063 تدعيماً هجيناً لتحسين خواصها الميكانيكية: (قساوة –متانة الصدمية-خواص شد) وتوسيع مجال تطبيقها والتخلص من بعض المشاكل التي تعاني منها أثناء استخدامها في مكان العمل، باستخدام (دقائق) قاسية متنوعة (أكاسيد -كربيدات –...) بطريقة (السباكة بالمزج أو التحريك).

فرضيات الدراسة:

تفترض الدراسة أمرين أساسين سيتم اعتمادهم:

1. التدعيم باستخدام تقنية التهجين Hybrid composites(HAMCs) الطريقة (المعتمدة 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). وفكرة التدعيم الهجين موضح بالشكل (3) ([9]Singh, G 2014) :



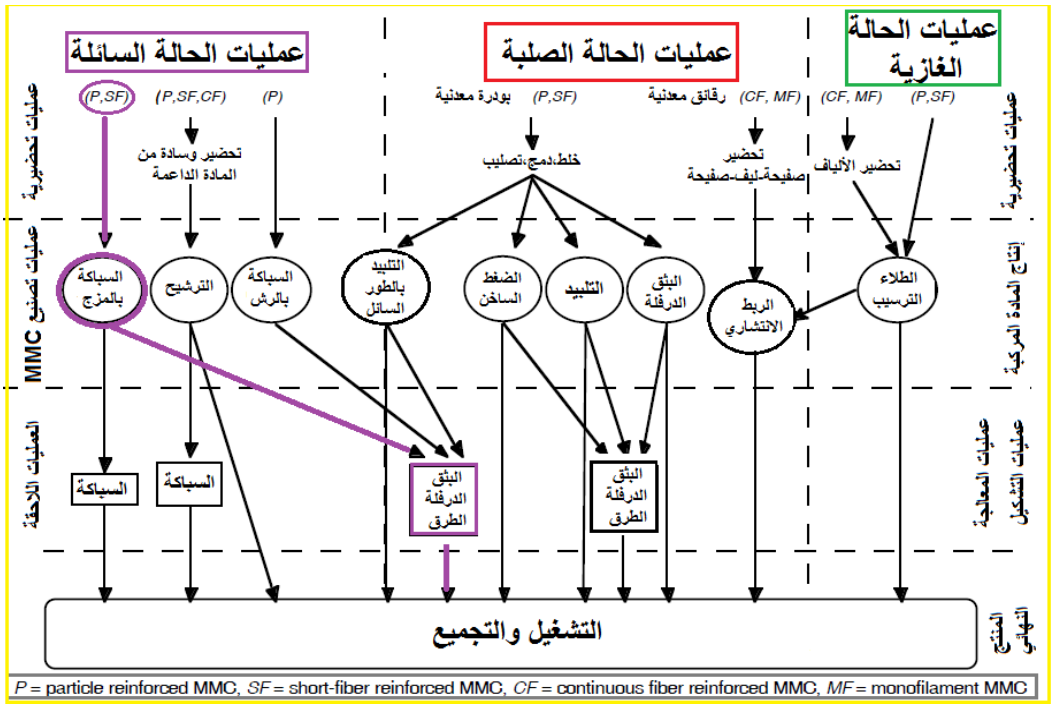


الشكل (3) فكرة التدعيم الهجين

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 الذي سوف تدخل المادة المركبة المصنعة فيه.

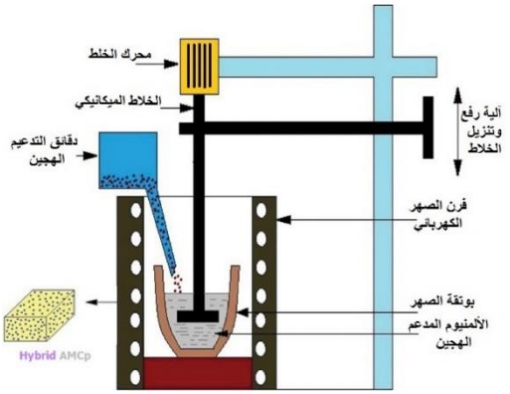
إن خصائص المواد المركبة المعدنية التي سنحصل عليها تعتمد على نوع العملية المختارة للتصنيع وشروط هذه العملية ونوع المعدن الأساس الداخلة في التصنيع ونوع المادة الداعمة.

يمكن تصنيف أساليب التصنيع المستخدمة في صناعة المواد المركبة ذات الأساس المعدني وفقا" لدرجة حرارة المعدن الأساس أثناء عملية تصنيع (HMMC) كما في الشكل (4) الذي يُظهر طرق تصنيع (HMMC)] ([1] (Clyne T.W, 2001) (SURAPPA, M 2003 [3]) .



الشكل (4) طرق تصنيع المواد المركبة المعدنية الهجينة HMMC

2. تعد السباكة بالمزج أو تقنية الدوامة Vortex Technique التي سوف نستخدمها ببحثنا إحدى أهم طرق تصنيع المواد المركبة الهجينة في الطور السائل – تأتي بالمرتبة الثانية بعد تقنية المساحيق metallurgy Powder الباهظة التكلفة –, التي تخلط فيها المواد الداعمة (غالباً P=Particlesدقائق بحجم لا يزيد عن 150 ميكرون, SF=Short Fibers ألياف قصيرة بقطر لا يزيد عن 30ميكرون) بنسبة وزنية لا تزيد عن 30% مع معدن الأساس المصهور بطرق الخلط الميكانيكية كما في الشكل (5) يتم بعد ذلك صب المواد المركبة السائلة في قوالب صب معدنية أو رملية وقد يتم معالجتها فيما بعد بتقنيات تشغيل وتشكيل المعادن المعروفة.



الشكل (5) مبدأ طريقة السباكة بالمزج

تتميز السباكة بالتحريك الميكانيكي – المزج - بأنها طريقة التصنيع الأكثر فعاليةً وانتشاراً: لبساطتها وسهولتها وفعاليتها وقابليتها للاستخدام في المنتجات الكبيرة وانخفاض تكلفتها مقارنة بالطرق الأخرى. (SURAPPA, M 2003 [3]) .

أهمية الدراسة:

تنبع الأهمية العلمية للدراسة من خلال السعي للوصول إلى تحقيق الأهداف التالية:

1. تحضير مادة مركبة معدنية هجينة (HAMCs) بأساس من الألمنيوم (AL6063) مدعمة بنوعين مختلفين من حيث العائلة من الدقائق القاسية (كربيدات (SiC) وأكاسيد(AL2O3)) باستخدام تقنية بسيطة هي السباكة مع التحريك الميكانيكي.
2. تحقيق التدعيم المشترك(الهجين) للألمنيوم بالنوعين المختلفين من الدقائق بشكل ناجح.
3. دراسة تأثير زيادة نسبة إحدى نوعي الدقائق الداعمة المُضافة - الأوكسيد(AL2O3) عند تثبيت نسبة الكربيد (7.5%SiC) - على القساوة والمتانة الصدمية لسبيكة الألمنيوم 6063.
4. دراسة تأثير زيادة نسبة إحدى نوعي الدقائق الداعمة المُضافة - الأوكسيد(AL2O3) عند تثبيت نسبة الكربيد(7.5%SiC) - على خواص الشد (مقاومة شد أعظمية واجهاد خضوع واستطالة) لسبيكة الألمنيوم 6063.
5. الوصول إلى النسب المثالية من الدقائق المُضافة والتي تُعطي أفضل الخواص.

منهجية الدراسة:

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

أ- منهجية التحليل: علمية مبينة على التجارب التي قمنا بها وفق ما سنقوم بتوضيحه لاحقاً من خطوات وإجراءات:

ب- مصادر البيانات:

- المواد الاولية المستعملة لتحضير الألمنيوم المدعم (HAMC Materials):

1. المعدن الأساس(Metal Matrix) :

هو سبيكة الألمنيوم 6063 على شكل قطع كبيرة ingots قمنا بتقطيعها إلى قطع صغيرة لسهولة وزنها وصهرها تركيبها الكيميائي كما في الجدول (1).

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكة 6063

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.

2. مواد التدعيم (Reinforcement Particles):

هي عبارة عن بودرة ناعمة قاسية بحجم حبيبي (من رتبة الميكرون) من كربيد السيليكون (SiC) وأوكسيد الألمنيوم (AL2O3) تمت غربلتها على جهاز المناخل لفصل الحجم المحدد حيث تم الحصول على دقائق كربيد بحجم $(20 \rightarrow 40\mu m)$ أما حجم دقائق الأوكسيد فكانت أقل من $(20\mu m)$ الشكل (6).

الشكل (6) جهاز المناخل المستخدمة والدقائق الدعمة بعد نخلها

3. مواد مساعدة:

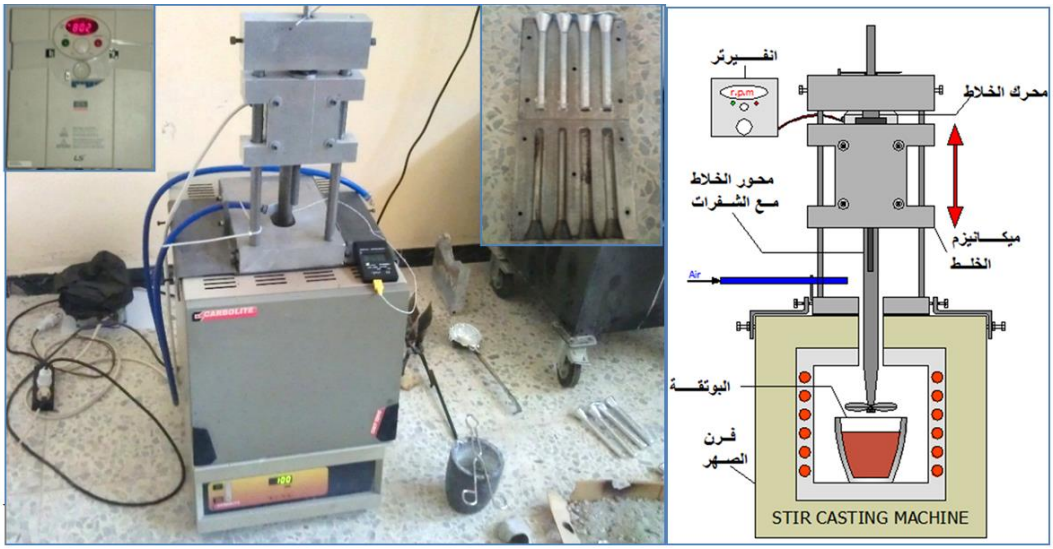
هي عبارة عن رقائق من ورق الألمنيوم النقي وبودرة مغنزيوم ناعمة.

- التجهيزات المستعملة لتحضير HAMC بطريقة السباكة بالمزج Stir Casting:

آلة السباكة بالمزج Stir Casting Machine:

قمنا بتصنيع الآلة والتي تضم الأجزاء التالية الموضحة بالشكل (7) ([6]: Sekar, K and Joseph, M, 2013,)

1. فرن الصهر: فرن كهربائي استطاعته $3Kw$ بحرارة قصوى $1200C^{\circ}$ لصهر الألمنيوم 6063 وضمنه تتم عملية الخلط وقد تم تركيب قاعدة حاملة لآلية الخلط أعلى الفرن.
2. آلية الخلط: يعتبر العنصر الأساسي في هذه الآلة ويتألف من محرك الخلط وهو محرك كهربائي باستطاعة $0.25Hp$ ومحور الخلط وشفرات الخلط التي تم تصنيعها من الستانلس ستيل لإنجاز عملية الخلط بعد إضافة الدقائق الداعمة الهجينة إلى مصهور المعدن.
3. وحدة التحكم بالسرعة: تم توصيله مع محرك الخلط للتحكم بسرعة الخلط مع إمكانية تغير سرعة الخلط $(0 \rightarrow 1200r.p.m)$.
4. أداة تغذية المصهور بالدقائق الداعمة: بعد نخل وغربلة الدقائق كانت تغلف برقائق الألمنيوم وتضاف إلى مصهور الألمنيوم من خلالها.
5. البوتقة: استخدمنا بوتقة مخروطية الشكل مصنوعة من الغرافيت المقاوم للحرارة تستوعب حوالي $3kg$ من الألمنيوم المراد صهره الشكل(7).



الشكل (7) آلة السباكة بالمزج التي تم تصنيعها

قالب الصب المعدني Metal Mold:

تم تصنيع قالب الصب المعدني من الفولاذ وهو عبارة عن قطعتين أبعادهما: $200\times200\times30mm$ تم تشغيل أربع فتحات عليهما بطول $150mm$ (تمثل العينات) فتحتين بقطر 20ϕ وفتحتين بقطر 15ϕ أما قمع الصب كان عبارة عن جذع مخروط ارتفاعه وقطره العلوي .

ميزان حساس Weighing Machine:

استخدمنا ميزان بدقة من مرتبة ميلي الغرام لوزن قطع الألمنيوم والدقائق الداعمة بنوعيها للحصول على نسبة الخلط والتدعيم الصحيحة.

هيكلة الدراسة:

بعد استعراض المواد والتجهيزات التي استخدمنها في البحث سيتم تقسيم هذه الدراسة إلى ثلاثة مباحث، يتناول المبحث الأول منها الإطار النظري للدراسة والدراسات السابقة، بينما يتطرق المبحث الثاني الإجراء العملي لتحقيق هدف البحث والوصول للنتائج المرجوة أما المبحث الثالث مخطط يُلخص منهجية البحث.

المبحث الأول- الإطار النظري والدراسات السابقة

أولاً- المقدمة

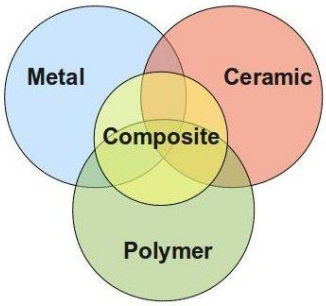
تُعدُّ المعادن المدعمة (MMC) مواد مُرشحة لتطبيقات واستخدامات صناعية عديدة في مجال هندسة الطيران والفضاء والسيارات والصناعات العسكرية، ومواد بديلة لمواد هندسية أخرى عالية التكلفة وغير مستقرة الخواص، ومواكبة لمتطلبات الثورة الصناعية الحديثة من مواد ذات خواص مميزة وخاصة، حيث تقدم كفاءة أداة ميكانيكية بموثوقية أعلى من المعادن التقليدية المفردة نتيجة لخواصها المُحسنة وخفة وزنها.

تصنف المواد المركبة من حيث المادة الأساس كما يلي:

- ✓ المواد المركبة ذات الأساس البوليميري (Polymer Matrix Composite PMC).

- ✓ المواد المركبة ذات الأساس السيراميكي .(Ceramic Matrix Composite CMC).
- ✓ المواد المركبة ذات الأساس المعدني .(Metal Matrix Composite MMC).

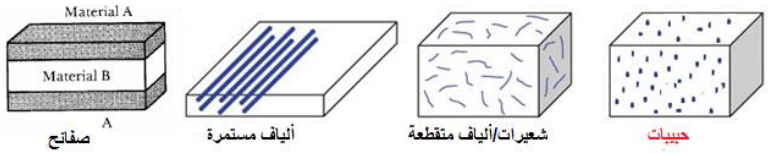
تعد المواد المركبة ذات الأساس المعدني(Metal Matrix Composite =MMC) -اختصاراً المعادن المدعمة - واحدة من أهم أنواع المواد المركبة الموضحة بالشكل (8):



الشكل (8) التصنيف العام للمواد المركبة حسب المادة الأساس

وتعرف المواد المركبة ذات الأساس المعدني على أنها مواد هندسية تتكون من أرضية معدنية مطلية ومدعمة بمواد سيراميكية غالباً ذات معامل مرونة عالي ومقاومة مرتفعة بغرض الحصول على خواص ومواصفات لا تتوفر في المعدن المتجانس لوحده (سلوك ميكانيكي متميز) تلائم تطبيقات صناعية معينة يحتاجها السوق.

تقوم طرق التدعيم التقليدية على تدعيم المعادن بإحدى المواد التالية (دقائق Particles – ألياف قصيرة أو شعيرات Whiskers -ألياف مستمرة Fibers - صفائح Laminar) وهي موضحة بالشكل (9):



الشكل (9) طرق التدعيم التقليدية المستخدمة في (MMC)

نسبة التدعيم هو غالباً في حدود $(1 \rightarrow 70\%)$ وتستخدم السبائك كمادة أساس ونادرا" ما يستخدم المعدن النقي ([2]KAINER, K 2006) .

تأتي أهمية دراستنا نظراً لبعض المشاكل التي تواجهها سبائك الألمنيوم أثناء الاستخدام بسبب تغير خواصها الميكانيكية بالإضافة إلى زيادة الطلب على سبائك الألمنيوم في جميع مجالات الحياة الصناعية (مكانة -وفرة –رخص ثمن –ميزات عديدة) أتت الحاجة إلى تدعيمه لزيادة فعاليته ولتحسين خواصه وتوسيع مجال استخدامه صناعياً مع تحقيق تخفيض في الوزن والتكلفة (أي استخدام تقنية التدعيم بدل التسبيك والتشكيل والمعالجة الحرارية).

إلا أن تدعيم الألمنيوم بطرق التدعيم التقليدية تقيده التكاليف التصنيعية المرتفعة لمواد التقوية وللألمنيوم المدعّم ومحدودية التطبيق عدا عن الحاجة إلى تجهيزات وتقنيات معقدة للإنتاج والأهم من ذلك عدم الوصول إلى الخواص والميزات المرجوة في كثير من الأحيان وهذا ما أدى إلى ظهور طرق وتقنيات حديثة في تدعيم الألمنيوم انطلاقاً من الاستفادة من طرق التدعيم التقليدية وتطويرها وبهدف الوصول إلى خواص ملائمة ومستقرة نسبياً ولمواكبة التطور التكنولوجي الحاصل وتحقيق متطلبات الصناعات المتقدمة من المواد الحديثة من أهم هذه الطرق (Hybrid Reinforcement) التي تقوم على استخدام مادتي تقوية أو أكثر مما يساعد على الاستفادة من خواص مواد التقوية العديدة المستخدمة . وما يميز طريقة التدعيم الهجين مقارنة بطرق التدعيم الحديثة الأخرى انخفاض تكاليف التصنيع وتعدد التطبيقات والحصول على خواص مميزة (أداء عالي) (High Performance).

ثانياً- الدراسات السابقة

1. دراسة (Whed) (Abd) في عام (2009) [4] تناولت تأثير التدعيم المشترك لكربيد وأوكسيد على الألمنيوم النقي حيث تم تصنيع المعدن المدعم باستعمال تقنية المساحيق Powder metallurgy. وقد بينت النتائج مقاومة الاهتراء للمادة الأساس عند تطبيق التدعيم المشترك.
2. دراسة (ALKSANDR)في عام (2013) [5] تناولت تصنيع قرص كابح من الألمنيوم AL356 ودعمه بدقائق من كربيد السيلكون بطريقة السباكة بالمزج ونجح الباحث بتحقيق المطلوب.
3. دراسة (Yoshio)((IQBAL (Wakako) (2014) [7] تناولت تصنيع مادة مركبة ذات أساس من الالمنيوم 7075 بطريقة السباكة بالضغط Squeeze casting وباستخدام ألياف قصيرة من أوكسيد الألمنيوم ودقائق من كربيد السيليكون كمادة تدعيم هجينة، وقد بينت النتائج ارتفاع مقاومة التعب للألمنيوم المدعم الهجين بالنسبة للغير المدعم .
4. دراسة (kumar) (Manisekar) ((Ravindran) عام (2014)[8] تناولت الحصول على مادة مركبة هجينة بأساس من سبيكة الألمنيوم 2024 باستعمال تقنية المساحيق Powder metallurgy وباستخدام نوعين مختلفين من الدقائق النانوية من كربيد السيليكون والغرافيت كمادة تدعيم مشتركة وقد بينت النتائج نجاح إنتاج المادة المركبة الهجينة بالطريقة المعتمدة وقد بينت النتائج أيضاً تحسن الخواص (القساوة-مقاومة الاهتراء) مع زيادة نسبة التدعيم.
5. دراسة الباحثين(Kalra) (Singh) (2014) [9]تناولت تحضير ألمنيوم مدعم هجين باستعمال تقنية السباكة بالضغط Squeeze castingوباستخدام دقائق تدعيم مشتركة من كربيد السيليكون والكربون وأكسيد الألمنيوم وقد بينت النتائج نجاح إنتاج الألمنيوم الهجين وقد بينت النتائج أيضاً تحسن الخواص (القساوة-المتانة الصدمية) عند ضبط نسب التدعيم للدقائق المستخدمة.
6. دراسة (Satyanarayana) (Kumar) (2017) [10] تناولت تدعيم سبيكة من الألمنيوم 7075 باستعمال تقنية السباكة بالتحريك الميكانيكي وباستخدام مواد تدعيم مشتركة من أكسيد الألومنيوم و3% من دقائق Fly ash وقد بينت النتائج نجاح إنتاج الألمنيوم الهجين وقد بينت النتائج أيضاً تحسن القساوة مع زيادة نسبة الأوكسيد حتى9 % وتحسن مقاومة الشد مع زيادة نسبة الأوكسيد حتى6 % .
7. دراسة (Shreyas) (Rajanna) (Shobha) (Rajesh) (2019)[11] تناولت تدعيم سبيكة من الألمنيوم 6061 باستخدام دقائق من الغرافيت مع دقائق الألومينا باستعمال تقنية السباكة بالتحريك الميكانيكي ومن ثم إجراء المعالجات الحرارية(التعتيق الاصطناعي ومن السقاية بالماء) وقد بينت النتائج ارتفاع القساوة ومقاومة التعب مع زيادة نسب التدعيم بالألومينا وإن إجراء المعالجات الحرارية ساهم بتحسين الخواص بشكل كبير.
8. دراسة(Harish) (Siddiq) (Srikanth)(Reddy)(Kumar) (2019)[12] تناولت تدعيم السبيكة AL7075 باستخدام دقائق من الغرافيت (بنسبة متزايدة) مع دقائق الألومينا (بنسبة متزايدة) باستعمال تقنية السباكة بالمزج وقد بينت النتائج ارتفاع القساوة وانخفاض الكثافة ومعدل الاهتراء مع زيادة نسب التدعيم بالألومينا والغرافيت معاً وإن أفضل النتائج عند نسبة (3%) لكلا النوعين من الدقائق أي مجموع (6%).
9. دراسة(Yusuf) (Mattli) (Abdelrazeq) (Khan) (Adnan) (2020)[13] قام الباحثون بتدعيم الألمنيوم بدقائق من كربيد السيلكون بنسبة ثابتة وأكسيد الزركونيوم بنسب متغيرة بتقنية التلبيد بالأمواج الميكروية Microwave Sintering Technique وقد أظهرت نتائج الدراسة أن افضل خواص ميكانيكية(قساوة-مقاومة شد عظمى- إجهاد خضوع)كانت عند أعلى نسبة من أكسيد الزركونيوم.

10. دراسة(Jahromi) (Khayati)(Vaghari) (2019)[14] تناولت تدعيم سبيكة الألمنيوم بتدعيم إفرادي من دقائق نانوية من أوكسيد الألمنيوم بنسب من(2%) إلى(8%) باستعمال تقنية المساحيق Powder metallurgy وكانت أفضل النتائج للخواص الميكانيكية (قساوة-مقاومة شد عظمى- إجهاد خضوع) عند نسبة(6%).

نلاحظ من الدراسات السابقة أن اختيار طريقة تدعيم الألمنيوم ومواد التدعيم وطريقة التصنيع تمثل تحدياً مهماً في مجال تدعيم المعادن.

تطرقت الدراسات المرجعية السابقة إلى فكرة التدعيم الهجين كطريقة تدعيم حديثة مع اعتماد مواد تدعيم ثنائية غالباً وطرق تصنيع مختلفة وكان التركيز غالباً على طريقة تكنولوجيا المساحيق (عالية التكلفة).

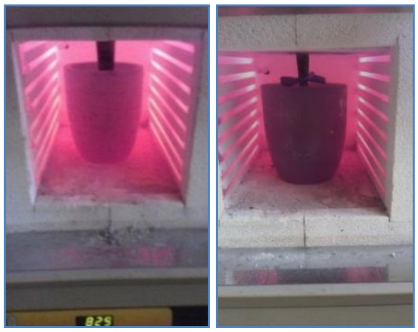
لم تتناول الدراسات المرجعية دراسة تأثير أنواع مواد التدعيم المختلفة معاً (عند التدعيم الهجين)على الخواص الميكانيكية للألمنيوم مع تثبيت نسبة التدعيم لإحدى المواد وكما لم توضح الدراسات المرجعية خطوات فعلية لتصنيع الألمنيوم الهجين ولم تهتم بتحديد بارامترات السباكة بالتحريك الميكانيكي على عكس دراستنا الحالية التي قمنا بإنجازها.

فيما يتعلق بالنتائج التي توصلنا إليها كانت متميزة ومتفوقة على بعض الدراسات السابقة مع مراعاة اختلاف السبيكة المدعمة وطريقة التصنيع ودقائق التدعيم وسنتطرق لهذا الموضوع عند مناقشة النتائج.

المبحث الثاني- الإجراء العملي

أولاً: كيفية إضافة دقائق التدعيم الهجين بطريقة السباكة بالتحريك لسبيكة الألمنيوم 6063 (تصنيع الألمنيوم المدعم الهجين): تتم وفق الخطوات التالية:([11](Rajesh N, Shobha, R, Rajanna, S, Shreyas, P, S, 2019) (Vinoth kumar, S 2014[8]) (Singh, G 2014[9]) :

1. تقطيع سبيكة الألمنيوم الأساس إلى قطع صغيرة ووزنها وتحديد أوزان النسب $wt\,\%$المُضافة من الكربيد والأوكسيد ثم وضع قطع الألمنيوم الموزونة في البوتقة داخل الفرن الكهربائي ورفع درجة حرارته إلى $800C^\circ$ لضمان انصهار السبيكة التام.
2. بعد التأكد من انصهار الألمنيوم بشكل كامل يتم خفض درجة الحرارة ضمن الفرن إلى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة $700C^\circ$ ليتم إضافة الدقائق الداعمة الهجينة (كربيد السيلكون- أوكسيد الألمنيوم) المخلوطة بشكل متجانس والمعلومة الحجم والوزن والنسبة والمغلفة برقائق من الألمنيوم النقي والمُسخنة مسبقاً إلى درجة الحرارة حوالي $250C^\circ$ 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 تتجاوز1%) 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 المقاومة للصدأ في المعدن المصهور ضمن البوتقة الموجودة الشكل (10) داخل الفرن وتدويره بسرعة $(350r.pm)$ ولمدة $(5\min)$ للحصول على دوامة ضمن المصهور Vortex (تم اختيار هذه الشروط اعتماداً على مجموعة تجارب وعلى الدراسات المرجعية) ونتيجة لفعل الدوامة يتم سحب خليط الدقائق الهجينة الى داخل المصهور المعدني وتوزيعه خلاله.



الشكل (10) ادخال الخلاط ضمن البوتقة

4. أثناء 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 (11).
6. تكرر العملية عدة مرات وفقاً للنسب المطلوب إضافتها من الدقائق الداعمة الهجينة للسبيكة الأساس.

الشكل (11) القالب والعينات بعد الصب

ثانياً: التجهيزات المستعملة لإجراء الاختبارات الميكانيكية على ألمنيوم المدعم المُصنع:

وهي موضحة بالشكل (12):

الشكل (12) أجهزة الفحص والاختبارات: جهاز الشد-جهاز القساوة – جهاز اختبار الصدم -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) وتشغيلها بعمليات التشغيل الميكانيكي لتكون جاهزة للاختبارات الميكانيكية كما في الجدول (2).

اعتمدنا في بحثنا على أن نسبة التدعيم لكربيد السيلكون (7.5%SiC) ثابتة مع استخدام نسب متغيرة من أوكسيد الألمنيوم (AL_2O_3) للوصول إلى النسبة الأفضل للتدعيم الهجين من الكربيد والأوكسيد التي تعطي أفضل الخواص الميكانيكية المدروسة والجدول (2) يوضح أنواع وتسميات العينات حسب نسب التدعيم الهجين:

الجدول(2) أنواع العينات المدعمة الهجينة

	العينة المدعمة(AL+SiC)	Sample
كربيد +أوكسيد	PureAL6063	A
	AL6063+7.5SiC%	B
	AL6063+7.5SiC%+2.5%AL2O3	C
	AL6063+7.5SiC%+5%AL2O3	D
	AL6063+7.5SiC%+7.5%AL2O3	E
	AL6063+7.5SiC%+10%AL2O3	F

والشكل (13) يوضح عينات الاختبارات الميكانيكية والفحص المجهري:

الشكل (13) عينات الاختبارات الميكانيكية والفحص المجهري

المبحث الثالث- مخطط يُلخص منهجية البحث

يمكن تلخيص طريقة تنفيذ البحث كما في المخطط التالي الشكل (14):

الشكل (14) مخطط تنفيذ البحث

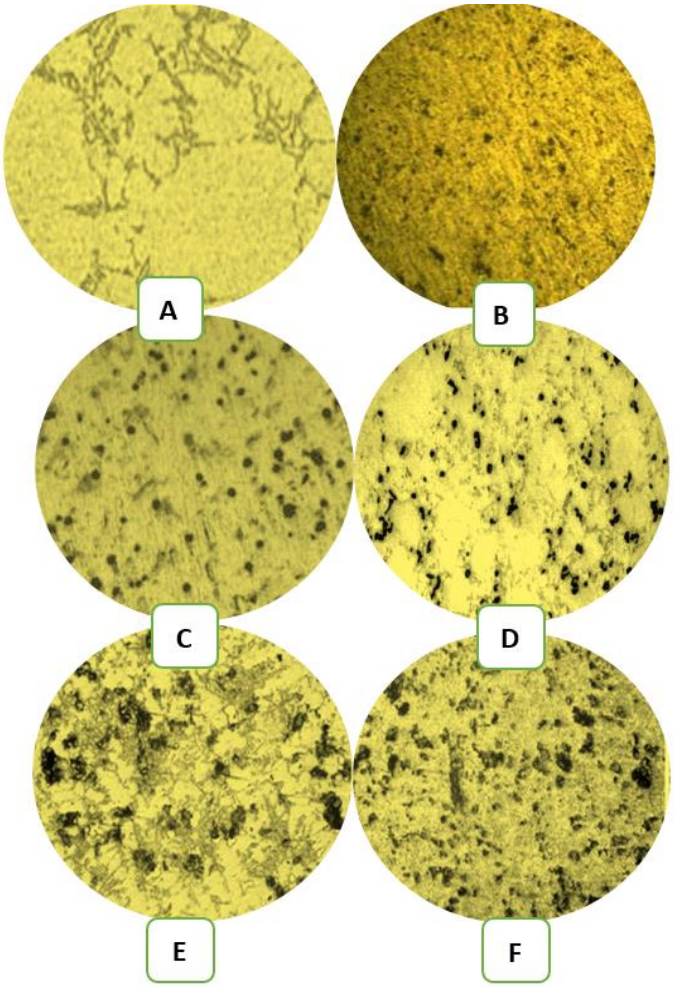
مناقشة النتائج

بعد دراستنا توصلنا إلى النتائج التالية:

- **نتائج الفحص المجهري Results of optical Microscope:**

تم تحضير عينات الفحص المجهري بإجراء عمليات الشحذ الرطب بالماء بأوراق شحذ بدرجات نعومة مختلفة (400,600,800,1000,1200) على جهاز الشحذ نصف الآلي ثم عملية التلميع باستعمال معجون الألماس الصناعي بحجم ($0.5\mu m$) ثم أجريت عملية غسل للعينات بالماء والكحول ثم التجفيف أما إظهار البنية فتمت باستخدام محلول من حمض الفلور الممدد لمدة (60sec) ثم تم فحصها على المجهر الضوئي.

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (15) حيث توزعت الدقائق الداعمة من الأكسيد والكربيد ضمن الألمنيوم الأساس بشكل شبه منتظم تقريباً ومع زيادة نسبة الكربيد كان تظهر ضمن البنية بشكل أغزر.



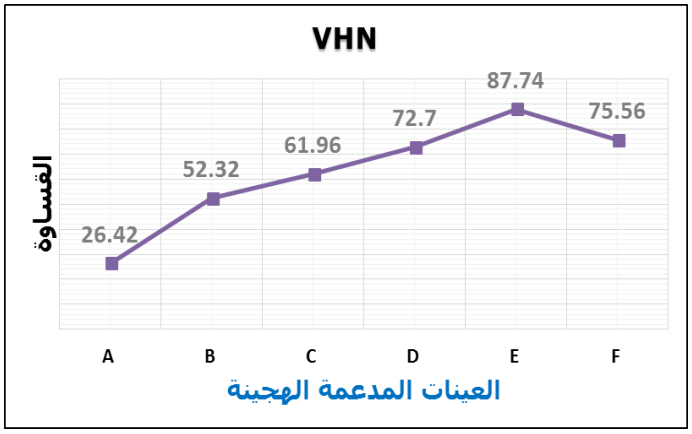
الشكل (15) صور المجهر الضوئي توضح توزع دقائق التدعيم الهجينة ضمن الألمنيوم 6063. نسبة تكبير X400

A. AL6063.	B. AL6063+7.5% SiC.	C. AL6063+7.5SiC%+2.5%AL2O3.
D. AL6063+7.5SiC%+5%AL2O3	E. AL6063+7.5SiC%+7.5%AL2O3.	**F. AL6063+7.5SiC%+10%AL2O3.**

نتائج اختبار القساوة Hardness testing Results:

تم تجهيز جميع عينات القساوة بعمليات ميكانيكية (شحذ رطب وصقل) ثم قمنا بإجراء الاختبار على جهاز قساوة Vickers وكان الحمل المطبق يساوي 4 Kgf لمدة 20Sec وأخذنا أربع قراءات (Hv4/20) بشكل عشوائي للقساوة من كلّ عينة من مناطق مختلفة لتحديد القيمة المتوسطة للقساوة.

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (16) حيث ازدادت قساوة الألمنيوم مع ارتفاع نسبة الدقائق الداعمة الهجينة القاسية الموزعة ضمنه.

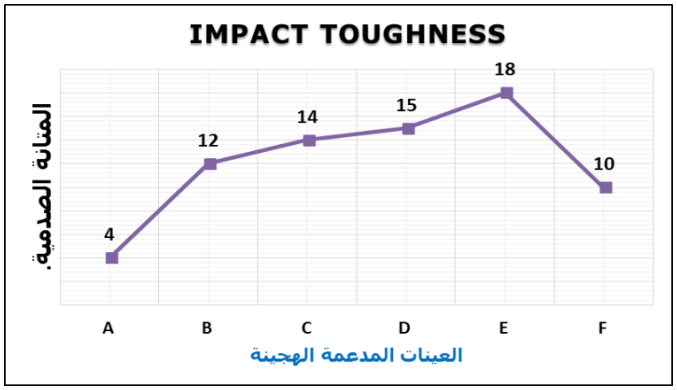


الشكل (16) تأثير التدعيم الهجين على قيم القساوة

نتائج اختبار الصدم Impact test Results:

تم تحضير عينات الصدم حسب اختبار تشاربي (Charpy V notch impact test) بطول 55mm ومقطع عرضي 10×10mm وتم تشغيل ثلم بوسط العينة بزاوية 45° بعمق 2mm .

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (17) حيث إن المتانة الصدمية [Joul] الألمنيوم زادت مع ارتفاع نسبة دقائق الأوكسيد القاسية المشتتة ضمنه والملتصقة معه بقوة بالإضافة لوجود دقائق الكربيد.

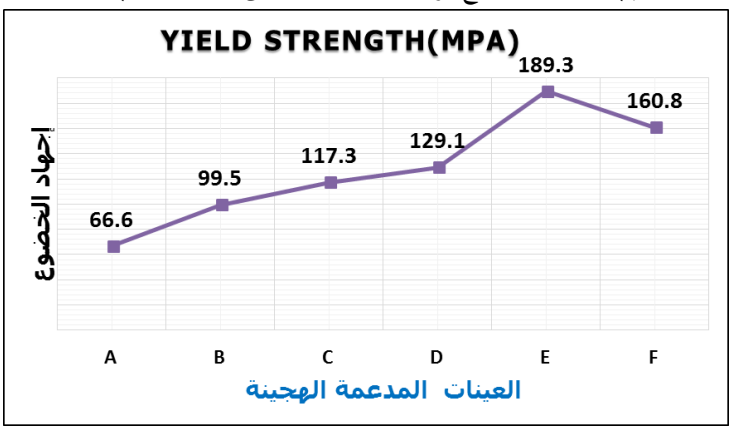


الشكل (17) تأثير التدعيم الهجين على قيم القساوة

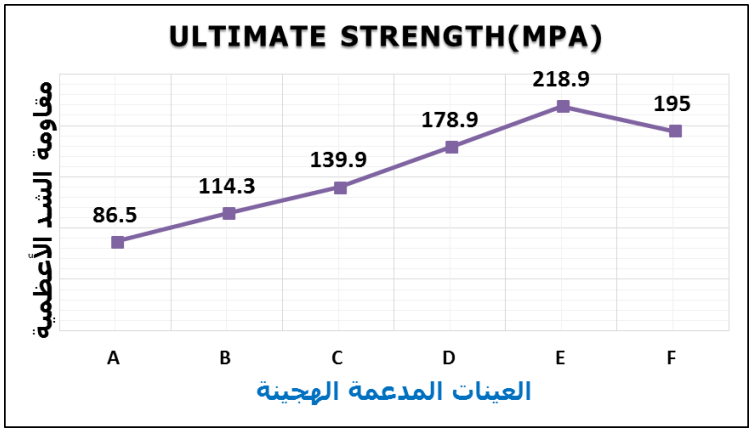
- **نتائج اختبار الشد Tensile Test Results:**

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) بطول قياس (36mm) وبعد الحصول على مخططات الشد للعينات تم التركيز على تحديد قيم:(مقاومة الخضوع Y - مقاومة الشد الأعظمية UTS -الاستطالة).

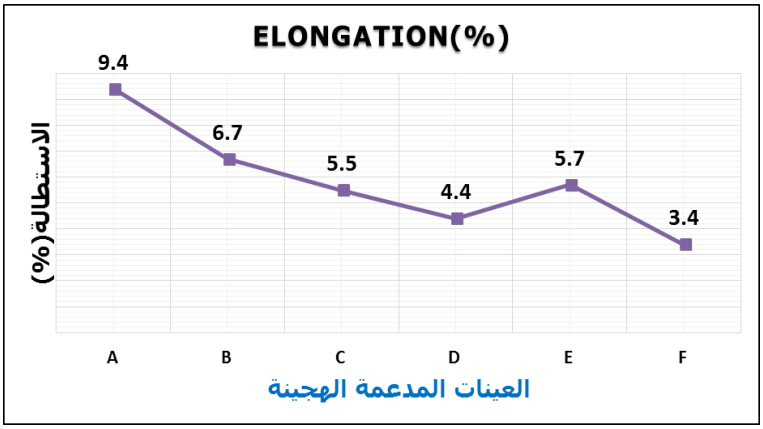
وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (18) (19) (20) حيث إن قيم إجهاد الخضوع ومقاومة الشد العظمى للألمنيوم الأساس زادت مع ازدياد ارتفاع نسبة دقائق الأوكسيد القاسية وبالتالي ارتفاع كمية الدقائق الهجينة الموزعة ضمنه. أما بالنسبة للاستطالة فإنها انخفضت مع ازدياد نسبة الدقائق الداعمة الهجينة.



الشكل (18) تأثير التدعيم الهجين على قيم إجهاد الخضوع



الشكل (19) تأثير التدعيم الهجين على قيم مقاومة الشد الأعظمية



الشكل (20) تأثير التدعيم الهجين على قيم الاستطالة

مناقشة وتفسير النتائج:

تقييم النتائج:

يوضح الجدول (3) مقدار التحسن بالخواص الميكانيكية المدروسة للعينات الستة المدعمة الهجينة مقدرة كنسبة مئوية:

الجدول (3) مقدار التحسن بالخواص الميكانيكية المدروسة

Sample	الخواص الميكانيكية المدروسة							
	القساوة	التحسن %	المتانة الصدمية	التحسن %	إجهاد الخضوع	التحسن %	مقاومة الشد	التحسن %
A	26.42	0	4	0	66.6	0	86.5	0
B	52.32	49	12	65	99.5	33	114.3	24
C	61.96	57	14	71	117.3	43	139.9	38
D	72.7	63	15	73	129.1	48	178.9	51
E	87.74	70	18	77	189.3	65	218.9	60
F	75.56	65	10	60	160.8	58	195	55

نلاحظ كما ذكرنا سابقاً أن **العينة E** التي نسب تدعيم عندها (7.5% SiC +7.5% AL2O3) كان مقدار التحسن بالخواص عندها أعلى بالمقارنة مع باقي العينات حيث بلغ (70%)للقساوة بالمقارنة مع العينة Aغير المدعمة ووصل إلى(77%) بالنسبة للمتانة الصدمية أما إجهاد الخضوع ومقاومة الشد فقد حقق تحسن وسطي ((60+5% بالمقارنة مع العينة Aغير المدعمة.

مقارنة النتائج:

بمقارنة النتائج التي توصلنا لها مع دراسة (Harish, Siddiq, Srikanth, Reddy, Kumar) , (2019)[12]) نجد أن أعلى قيمة توصلت لها للقساوة كانت (Hv=81, 17) عند نسبة (3%) لكلا النوعين من الدقائق الالومينا والغرافيت أي مجموع (6%).

نلاحظ أننا في دراستنا وصلنا لقيمة أعلى من خلال العينة E التي نسب تدعيم عندها (7.5% SiC +7.5% 7.5AL2O3) .

وفي دراسة (Vaghari, Khayati, Jahromi) ,(2019) ([14] نجد أن أعلى قيمة توصلت لها للقساوة كانت (Hv=75) عند نسبة تدعيم (8%) من دقائق أكسيد الألمنيوم النانوية بشكل إفرادي وكانت أعلى قيمة لإجهاد الخضوع (155MPa) ولمقاومة الشد(250 MPa) عند نسبة تدعيم (6%) وفي دراستنا وصلنا لقيم قريبة من خلال العينة E. ألا أن قيمة مقاومة الشد كانت أعلى كون الدراسة السابقة اعتمدت على تقنية الدقائق النانوية وتقنية المساحيق لإنتاج الألمنيوم المدعم.

في دراسة(Adnan, Khan, Abdelrazeq, Mattli, Yusuf) (2020)[13]) توصلت الدراسة لقيمة مرتفعة للقساوة كانت (Hv=71, 1) وكانت أعلى قيمة لإجهاد الخضوع (355MPa)عند نسبة تدعيم (5% SiC +9% ZrO2) ويعود سبب ارتفاع هذه القيمة عن ما توصلنا له بدراستنا استخدام تقنية تصنيع حديثة ومتطورة Microwave Sintering Technique.

في دراسة(Kumar, Satyanarayana) (2017) [10])كانت أعلى قيمة لمقاومة الشد عند (6% +fly ash 3%AL2O3)فقد وصلت(407 MPa) أما القساوة فقد وصلت(Hv=65) ألا أن قيمة مقاومة الشد كانت أعلى كون الدراسة السابقة اعتمدت على المنيوم أساس من العائلة 7XXX ذات المتانة العالية.

في دراسة الباحثين (Singh, Kalra(2014) ([9] توصلت الدراسة لقيمة عليا للقساوة كانت (Hv=125) أما أعلى قيمة للمتانة الصدمية كانت (9.8Joul) عند (5% C+ 10%SiC + 10%Al2O3) ألا أن قيمة مقاومة الشد كانت أعلى كون الدراسة السابقة اعتمدت ثلاث أنواع من دقائق التدعيم معاًمع التصنيع بتقنية SQUEEZE CASTING.

تفسير النتائج:

تأثير التدعيم الهجين (التقسية بالتشتيت): [10, 11, 12, 13, 14, 9, 7, 8]

زيادة **قيم القساوة** للألمنيوم 6063 مع زيادة نسبة الدقائق الداعمة الهجينة: تعود إلى الدعم الذي تعطيه الدقائق الداعمة القاسية إلى الألمنيوم الأساس نتيجة توزعها بشكل متجانس تقريباً ضمن البنية نتيجة نجاح السباكة بالتحريك 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 لرد الانخلاع وتقيد التشوه اللدن.

ارتفاع **قيم المتانة الصدمية** للألمنيوم 6063 مع زيادة نسبة الدقائق الداعمة الهجينة: نتيجة التوزع المناسب للدقائق الداعمة الهجينة ضمن الألمنيوم الأساس إضافة للعلاقة السطحية البينية القوية بين الألمنيوم الأساس وأسطح الدقائق الداعمة المنوعة من أكسيد وكربيد عدا عن كون الدقائق الداعمة الهجينة تعمل كعوائق لتشوه سبيكة الأساس بسبب قساوتها العالية وبالتالي تعمل على عرقلة حركة الانخلاعات وانتشار الشقوق وبالتالي سوف تغير اتجاه وشكل الشق وتؤدي لصعوبة التشوه اللدن وبالتالي زيادة متانة المادة.

زيادة **المقاومة** UTS و**إجهاد الخضوع** Yللألمنيوم 6063مع زيادة نسبة الدقائق الداعمة الهجينة: ناتجة عن الدقائق الداعمة التي تعمل على إعاقة حركة الانخلاعات وزيادة كثافتها وتكديسها أي إن وفرة هذه الدقائق يسبب إنقاص المسافة بين مكونات المادة وبالتالي زيادة في مقاومة حركة الانخلاعات إضافة للعلاقة السطحية البينية القوية بين الألمنيوم الأساس 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 ودقائق التقوية، والمحصلة فقدان التطابق بالإجهاد والذي يولد انخلاعات إضافية وهذه الزيادة في كثافة الانخلاعات تساهم في تقوية الألمنيوم.

انخفاض **قيم الاستطالة** للألمنيوم 6063 مع زيادة نسبة الدقائق الداعمة الهجينة: يعزى إلى وجود الدقائق الداعمة القاسية التي تسبب مناطق تركيز للإجهادات الموضعية عند أسطح التماس بين الدقائق والمعدن (local stress concentration sites) 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.

الاستنتاجات والتوصيات للأعمال المستقبلية

الاستنتاجات:

1. نجاح تصنيع مادة مركبة بأساس معدني من الألمنيوم (6063) مدعمة تدعيم هجين بدقائق من كربيد السيلكون (SiC) ومن أكسيد الألمنيوم(AL2O3) بطريقة السباكة بالتحريك الميكانيكي.
2. أدت زيادة نسبة دقائق الأوكسيد المُضافة حتى (7.5%) مع ثبات نسبة الكربيد (7.5%) إلى زيادة القساوة والمتانة الصدمية للألمنيوم الأساس 6063 .
3. أدت زيادة نسبة دقائق الأوكسيد المُضافة حتى (7.5%) مع ثبات نسبة الكربيد المُضافة إلى تحسين خواص الشد (إجهاد الخضوع – مقاومة الشد العظمى) للألمنيوم الأساس 6063 مع انخفاض في الاستطالة.
4. أفضل الخواص الميكانيكية للألمنيوم المدعم الهجين تم الحصول عند نسب تدعيم ((7.5 %SiC +7.5 AL2O3) - **العينة E -.**
5. زيادة نسبة الأوكسيد حتى (10% wt) مع ثبات نسبة الكربيد المُضافة أدى إلى انخفاض في الخواص الميكانيكية.

التوصيات للأعمال المستقبلية:

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها توصي الدراسة بالتالي:

1. تغيير نسب التدعيم لكل من أطوار التدعيم الهجين بنفس الوقت ودراسة الخواص الميكانيكية للألمنيوم وفق ذلك.
2. استخدام أنواع أخرى من الدقائق الداعمة (غرافيت -نتريدات -بوريدات مثلاً) في التدعيم الهجين للوصول إلى أطوار هجينة جديدة.
3. دراسة تأثير عمليات المعالجة الحرارية وعمليات التشكيل المختلفة على المعدن المدعم الهجين المحضر.
4. استخدام تقنيات تصنيع مختلفة كتكنولوجية المساحيق والسباكة بالضغط والتلبيد بالأمواج الميكروية لتحقيق التدعيم الهجين عند نفس النسب السابقة ومقارنة النتائج مع الدراسة الحالية.

قائمة المراجع.

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

[2] KAINER, K 2006-Basics of Metal Matrix Composites. WILEYVCH Verlag GmbH Co KGaA Weinheim, third Edition, 54p., THE UNITED STATES OF AMERICA.

[3] SURAPPA, M 2003- Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities. Vol. 28, Parts 1 & 2, Printed in S¯adhan¯a, First Edition, 319–334 p., India.

[4] Whed M and Abd H, 2009, Effect of Dual Reinforcement on Wear Resistance by Aluminum Compacts Reinforce by SiC, Al2O3. International Journal of Metallurgical, the, Vol.7p. IRAQ

[5] Abdulkader, I 2013, FABRICATION OFMANUFACTURING SET-UP AND MANUFACTURING OF MMC BRAKE DRUM (AL356+SiC) International Journal of Engineering and Advanced Technology, 58-70p, USA.

[6] Sekar, K and Joseph, M, 2013, Design of a stir casting machine. American International Journal of Research in Science Vol. 7, 56-62p, India.

[7] Yoshio ARAI and Wakako, F, 2014, Fatigue crack growth mechanism in cast hybrid metal matrix composite reinforced with SiC particles and Al2O3 whiskers Journal Science direct, Japan, Vol. 3, Japan-22 13 p.

[8] Vinoth kumar, S 2014-DEVELOPMENT AND TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF NANO SiC PARTICLES ON THE AA 2024 HYBRID COMPOSITES WITH THE ADDITION OF NANO GRAPHITE. Vol.5, No 26, Design and Research Conference, 173-164p p, India

[9] Singh, G 2014-FABRICATION AND CHARACTERISATION OF Al-BASED HYBRID COMPOSITE REINFORCED WITH SiC, Al2O3 AND C PARTICLES BY SQUEEZE CASTING. Vol.3, No 01, IJMME-IJENS, , 2320-2491p., India

[10] Kumar, K, Satyanarayana, M 2017- Effect of Flyash and Alumina Reinforcement on Mechanical Properties of AL7075 based Metal Matrix Composite. Vol.12, Issue 5 Ver, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 108-122 p, India.

[11] Rajesh N, Shobha, R, Rajanna, S, Shreyas, P, S, 2019- Experimental Investigation of Wear and Hardness Properties of Reinforced Al- MMC's Without and with Heat Treatment Process Article No-40 Special Issue, I International Journal of Engineering & Science Research (IJESR), India, 191-196 p, India.

[12] Harish, P, Siddiq, S, Srikanth, V, S.B.K. Reddy, K. Ch. Kumar, 2019 -EFFECT OF ALUMINA AND GRAPHENE ON MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL BEHAVIOUR OF Al-7075 HYBRID COMPOSITE, Published by the Serbian Academic Center, Vol.4, No.3, 79-87p, India.

[13] Khan, A, Abdelrazeq, W, Mattli, M, Yusuf, M, 2020 -Structural and Mechanical Properties of Al-SiC-ZrO2 Nanocomposites Fabricated by Microwave Sintering Technique, Published in Crystals, Vol.10, No.904, 1-12p National University of Singapore.

[14] M. VaghariG.R. Khayati, S.A. Jenabali J, -Studying on the fatigue behavior of Al- Al2O3 metal matrix nano composites processed through powder metallurgy, Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials Vol. 52, No.2, pp. 210-217 Shiraz, Iran..