

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

الباحث: الدكتور المهندس: معنز الحصريه

الملخص

إن الثورة الصناعية الرابعة والتطور التكنولوجي المتسارع يفرض الحاجة الدائمة إلى ابتكار مواد هندسية حديثة وتطوير المواد الهندسية التقليدية لتلبية المتطلبات الصارمة للتطبيقات الصناعية الحديثة من خفة في الوزن مع سلوك ميكانيكي مميز بتكاليف منخفضة ومن هنا ظهرت فكرة المواد المركبة المعدنية (MMCs) أو ما يُسمى "المعادن المدعمة" ونظراً للمكانة الصناعية للألمنيوم وسبائكه يتم حالياً تقويته بمواد تدعيم مختلفة بتقنيات تصنيع متنوعة والحصول على الألمنيوم المدعم (AMCs) بهدف تحسين خواصه الميكانيكية الأمر الذي من شأنه توسيع مساحة الاستخدام الصناعي له.

في هذا البحث تم تدعيم سبيكة (AA7075) بدقائق قاسية ميكروية من كربيد السليكون (SiC) بنسب وزنية (X= 5, and 10 wt%) و من كربيد البورون (B4C) بنسب وزنية (5, and 10 wt%) بشكل إفرادي ومن ثم تم التدعيم بشكل هجين بكلا النوعين من الكربيدات معاً (SiC + 5% B4C) بتقنية السباكة بالعصر أو بالضغط (SQT).

وقد أوضحت نتائج الفحص المجهرى توزيع الدقائق الداعمة الكربيدية بشكل شبه متجانس ضمن البنية الأساس للسبيكة (AA7075) وبالتالي نجاح عملية التدعيم و الحصول على الألمنيوم المدعم (AMCs) وفعالية تقنية السباكة بالعصر (SQT).

وقد بينت نتائج الاختبارات الميكانيكية أن القساوة ومقاومة الشد وإجهاد الخضوع ومقاومة الضغط ومقاومة الانحناء تحسنت مع إضافة كل من النوعين من دقائق التدعيم بشكل إفرادي وزيادة نسبتها وأن أفضل الخواص تم الحصول عليها بعد التدعيم المشترك بكلا النوعين معاً من الدقائق-العينة (S5) -بالمقارنة مع باقي العينات بنسبة تحسن بالخواص تجاوزت الـ (54%) حيث وصلت قيمة القساوة في العينة المذكورة إلى (155.3HV) وقيمة مقاومة الشد العظمى (274.6MPa) وقيمة

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

إجهاد الخضوع (205.3MPa) وقيمة مقاومة الضغط إلى (332MPa) وقيمة مقاومة الانحناء إلى (344Mpa).

الكلمات المفتاحية: سبائك الألمنيوم (AA7075) ، الدقائق الكربيدية، التدعيم الإفرادي، التدعيم الهجين، تقنية السباكة بالعصر ، الخواص الميكانيكية.

Manufacture of Metal Matrix Composites based Aluminum Alloy (AA7075) Reinforced with Different Carbide Particles by Squeeze Casting Technique (SQT) and Studying some of its Mechanical Properties

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution and the technological development that is not required assume the need to create a new, modern and precise content for traditional materials and the modern need for low consumption of lightweight materials with specific control at costs. From here begins the idea of metal materials (MMCs) or what is called "reinforced metals". Given the industrial status of aluminum and its alloys, it is currently being reinforced with variable materials by various manufacturing technologies and obtaining (AMCs) to improve its mechanical properties, which would expand the space of industrial use for it.

In This research an aluminum alloy (AA7075) was reinforced with hard particles having size of micron of Silicon Carbide with a weight percentage (X= 5, and 10 wt%) and Boron Carbide particles are added in variable weight percentages (X= 5, and 10 wt%) Single and then better hybrid reinforced in both types of carbide (5% SiC + 5% B4C) by Squeeze casting technique (SQT).

The results of microscope have shown uniform distribution, Distribution of partially supported caridean particles as part of the alloy, reinforced Aluminum alloy successfully prepared and effectiveness of Squeeze casting technique.

The results of tests have show The VHN, UTS,YS , UCS, and Flexure strength were determined, with the addition of Single reinforcement particles and the increase in its percentage and. and that the best mechanical properties were obtained after hybrid reinforced in both types of carbide at reinforcement ratios (5% SiC + 5% B4C) (sample S5) compared to the rest of the samples with an improvement rate of studying properties exceeding (54%) as the hardness value in the mentioned sample reached (155.3 Hv), Ultimate tensile strength (274.6

(MPa), Yield strength(274.6 MPa), Compressive strength (332 MPa) and the Flexure strength(344 MPa) .

Keywords: AL-7075 alloys, Carbide Particles, Single reinforcement, Hybrid reinforcement ,Squeeze Casting ,Mechanical properties.

1. مقدمة:

تُعدُّ المواد المركبة المعدنية (**Metal Matrix Composites**) مواد مُرشحة لتطبيقات هندسية واستخدامات صناعية عديدة في مجال هندسة الطيران والفضاء والسيارات والصناعات العسكرية، وبديلة لمواد هندسية أخرى عالية التكلفة وغير مستقرة الخواص، و مواكبة لمتطلبات الثورة الصناعية من مواد ذات خواص خاصة مميزة حيث تقدم كفاءة أداة ميكانيكية بموثوقية أعلى من المعادن التقليدية المُفردة نتيجة لخواصها المُحسنة وخفة وزنها.

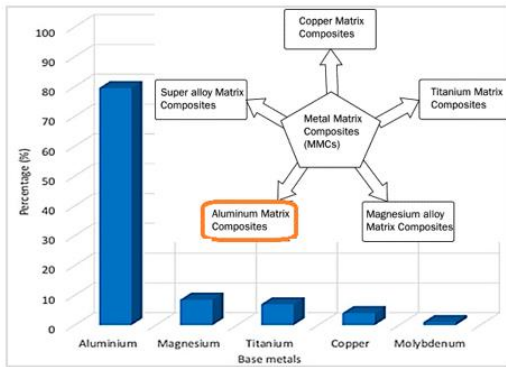
تتمتع سبائك الألمنيوم بخواص مُميّزة بالفعل تلبي المتطلبات التصميمية والتكنولوجية للتطبيقات الهندسية المختلفة إلا أن خواصها الميكانيكية كمقاومتها على الشد والضغط والانحناء وقساوتها منخفضة مقارنةً بمواد هندسية أخرى، حيث لا تزال بعض التطبيقات مُقتصرة على استخدام معادن مُحددة مرتفعة الوزن غالية الثمن ، ولن تتمكن من استخدام سبائك الألمنيوم - بهدف الاستفادة من خواصها المميزة - كمواد بديلة عن هذه المعادن مثلاً في تطبيق ما، إلا في حال تمكنا من تحسين خواصها الميكانيكية بنسب تحسن مميزة [2] [7].

لذلك لا يزال العمل البحثي مستمراً من قبل الدارسين في هذا المجال من أجل اقتراح واعتماد طرق جديدة لتحقيق التطوير والتحسين في الخواص الميكانيكية لسبائك الألمنيوم سواء بالتسبيك (إضافة العناصر السبائكية) أو عمليات التشكيل المتنوعة أو المعالجات الحرارية أو طرائق التدعيم المختلفة. ومن هنا تبرز أهمية وقيمة البحث الحالي في اعتماد ونشر وتوطين تقنية التدعيم الإفرادي والهجين كوسيلة في تحسين السلوك الميكانيكي لسبائك الألمنيوم بما يحقق إمكانية التوسع في استخدامها الصناعي.

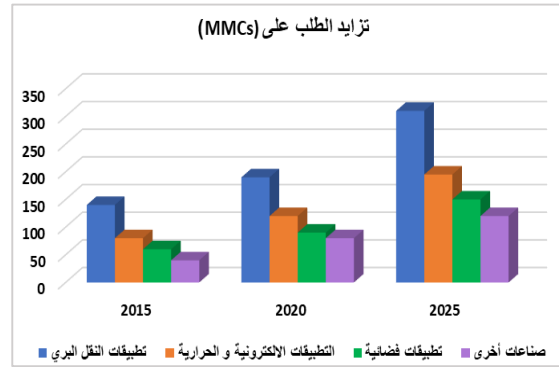
يوضح الشكل (1) تزايد الطلب على المواد المركبة ذات الأساس المعدني (MMCs) ما بين عامي (2015-2025) لأجل عديد التطبيقات الصناعية [2] [10] .

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

تكتسب سبائك الألومنيوم أهمية متزايدة (موضوع البحث) في التطبيقات الهندسية المعاصرة كبديل فعالة للمواد الهندسية التقليدية، ويُعزى هذا التحول إلى المزايا العديدة التي يوفرها الألومنيوم وسبائكه، علاوة على ذلك، تتميز سبائك الألومنيوم بوزن نوعي أقل، بالإضافة إلى فعالية من حيث التكلفة، مما يجعلها خياراً جذاباً لمختلف الصناعات [2] [3] ، وهو ما جعله أهم وأول سبائك المعادن الملونة الجاري تدعيمها في الوقت الحالي ثم يليه المغنيزيوم أما السبائك الأخرى الجاري تدعيمها بالإضافة لسبائك الألمنيوم و المغنيزيوم فهي موضحة بالشكل (2) [1] [2] [7] .



الشكل (2) أهم أنواع سبائك المعادن الجاري تدعيمها مع نسبة الاستخدام [2]



الشكل (1) تزايد الطلب على (MMCs) في عديد التطبيقات الصناعية [3]

يتم تدعيم سبائك الألمنيوم (التدعيم التي تعتبر أحدث وأهم آليات تقوية السبائك) بطرائق تدعيم تقليدية وطرائق متطورة للحصول على المواد المركبة ذات الأساس المعدني من الألمنيوم (AMCs).

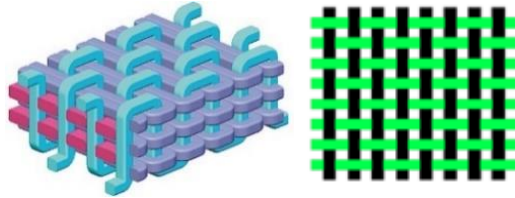
حيث إن الطرائق التقليدية للتدعيم تقوم على استخدام مادة تدعيم وحيدة (Single) بمقياس من مرتبة الميكرن (Micro scale) ويتموضع بسيط لمادة التدعيم ذات الطبيعية المعدنية أو السيراميكية أو الزجاجية لنحصل على : الألمنيوم المدعم بالدقائق (PAMCs) -الألمنيوم المدعم بألياف قصيرة أو شعيرات (SFAMCs) -الألمنيوم المدعم بألياف طويلة مستمرة (CFAMCs) - الألمنيوم المدعم بالطبقات (SLAMCs) [1] [7] . وهي موضحة كالتالي بالشكل (3):



الشكل (3) طرائق التدعيم التقليدية للألمنيوم

أما الطرائق المتطورة لتدعيم سبائك الألمنيوم : تعتمد على مواكبة التقنيات الحديثة والمتقدمة في التدعيم والتصنيع للحصول على ألمنيوم بخواص مميزة وتلافي العيوب والسلبيات في الطرائق التقليدية القديمة، ومن أهم الطرائق الحديثة لتدعيم سبائك الألمنيوم [7] [10]:

(a) تدعيم سبائك الألمنيوم باستخدام شبكة -نسيج- ثنائية أو ثلاثية من الألياف والأسلاك (Structural or Woven reinforced) الشكل (4).

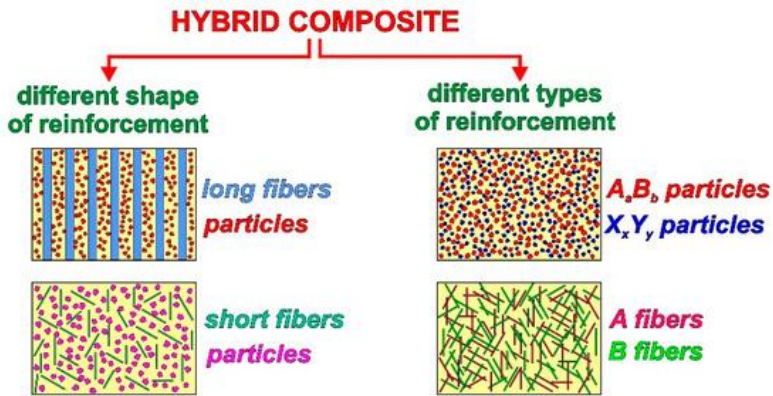


الشكل (4) التدعيم باستخدام شبكة -نسيج(2D-3D)

- (b) تدعيم سبائك الألمنيوم باستخدام ألياف أو دقائق أو طبقات أو أنابيب نانوية Nano (composites AMNCs).
- (c) تدعيم سبائك الألمنيوم باستخدام تقنية الساندويش تتم عن طريق ربط عدة طبقات صفائحية من الألياف الداعمة مع طبقات معدنية لتقويتها وتدعيمها (Sandwich Structure) (composites).
- (d) تدعيم سبائك الألمنيوم باستخدام تقنية التدعيم الهجين (Hybrid composites) (HAMCs) (التدعيم المُشترك) الطريقة (المعتمدة في بحثنا) والتي تعتبر تقنية هامة ومُتقدمة وقد بدأ هذا النوع من الألمنيوم المُدعم الهجين بالانتشار والتطور بعد عام (2010) (بسرعة فائقة والدخول في تطبيقات كثيرة ، يتم فيه تدعيم الألمنيوم هنا بخليط من أكثر من نوع من مواد التدعيم المذكورة سابقاً وله نوعين:

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "

النوع الأول: مواد تدعيم مختلفة بالشكل: الجمع بين التدعيم بالدقائق والتدعيم بالألياف الطويلة والدمج بين التدعيم بالألياف والقصيرة والتدعيم بالدقائق أما النوع الآخر مواد تدعيم مختلفة بالنوع : التدعيم بنوعين مختلفين من الدقائق أو الألياف أو أكثر (دقائق نانوية-دقائق ميكروية) (ألياف كربون-ألياف زجاج) (دقائق أكسيد-دقائق كربيد). وكيفية التدعيم الهجين موضح بالشكل (5) [7] [10] [12] :



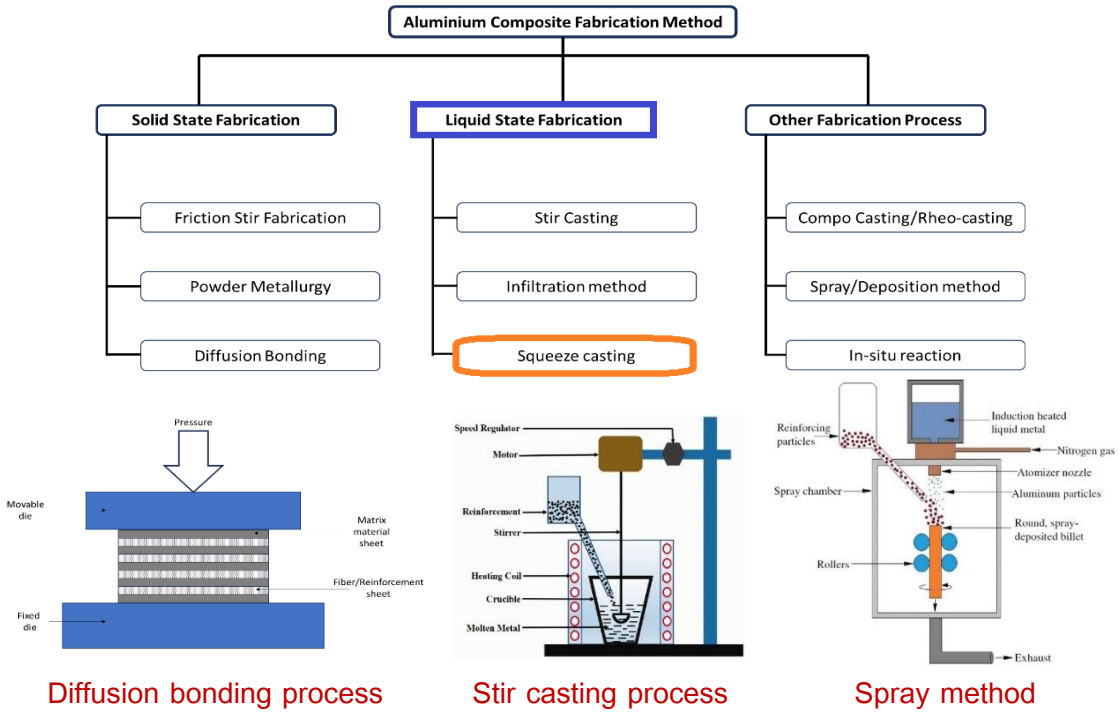
الشكل (5) طريقة التدعيم الهجين -المشترك-

يتم تنفيذ التدعيم لسبائك الألمنيوم بتقنيات تصنيع متعددة أغلبها حديثة و متطورة، وقد تم تعديل العديد من تقنيات التصنيع التقليدية لتناسب مع متطلبات تصنيع المعادن المُدعمة ويعتمد اختيار الطريقة الهندسية الأفضل وفق كمية وتوزيع وشكل المواد الداعمة ونوع المعدن الأساس وطبيعة التطبيق الذي سوف تدخل المادة المركبة المصنعة فيه.

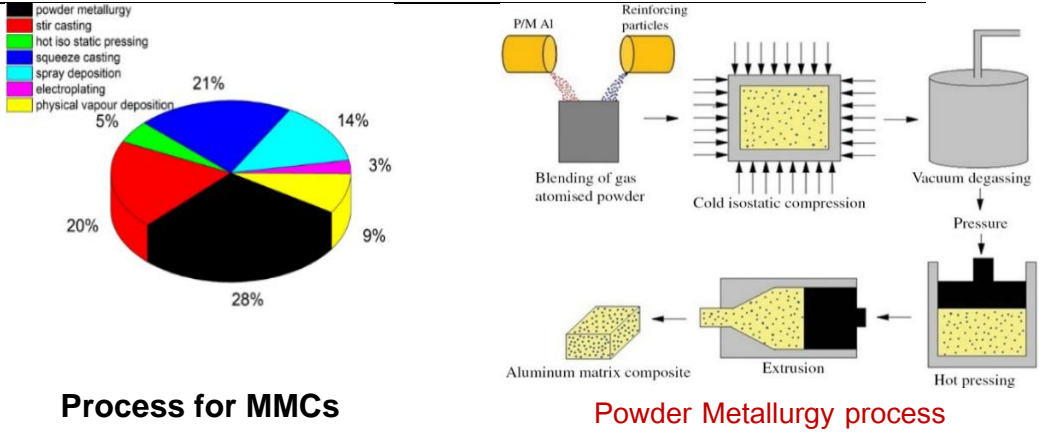
إن اختيار الطريقة الصحيحة لتصنيع (MMCs) يمثل أحد العوامل الأساسية لضمان نجاح المواد المركبة المعدنية، فالخصائص النهائية التي تتمتع بها المادة تعتمد بشكل مباشر على تقنية التصنيع المُختارة، وبارامترات هذه التقنية (درجة الحرارة، الضغط، زمن المعالجة)، إلى جانب نوعي المعدن الأساس والمادة الداعمة [7].

شهدت تقنيات تصنيع المواد المركبة تطوراً ملحوظاً على مر السنين، بهدف تحسين البنية المجهرية (الميكروية) والخواص الميكانيكية لـ (MMCs)، ويُعد التحدي الرئيسي في اختيار طريقة التصنيع المناسبة هو ضمان توزيع متجانس لأطوار التدعيم (سواء كانت دقائق أو ألياف أو خليط منهم) داخل المعدن الأساس، لتحقيق بنية خالية من العيوب المجهرية وضمان أداء عالي في التطبيقات

النهائية. وبشكل عام تصنف أساليب التصنيع المستخدمة في صناعة (MMCs) تبعاً لدرجة حرارة المعدن الأساس أثناء عملية تصنيع (MMCs) كما في الشكل (6) الذي يُظهر بعض طرائق تصنيع (MMCs) [1] [2] [7].



"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

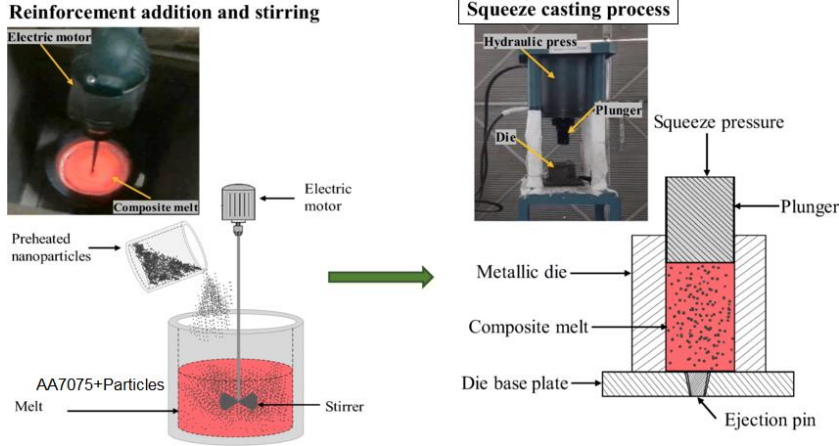


Process for MMCs

Powder Metallurgy process

الشكل (6) بعض طرائق تصنيع المواد المركبة المعدنية (MMCs) -تصنيف طرائق تصنيع من حيث الاستخدام [7]

تقنية السباكة بالعصر أو بالضغط (SQT= Squeeze Casting Technique) تعتبر أهم طرائق تصنيع المعادن المدعمة وأكثرها شيوعاً في الحالة السائلة (تحتل المرتبة الثانية من حيث تقنيات التصنيع عامةً بعد تقنية المساحيق PM) التي تكون فيها المواد الداعمة دقائق (P) أو ألياف قصيرة (SF) بنسبة وزنية قد تصل إلى (40%) تخلط مع مصهور المعدن الأساس بطرق التحريك الميكانيكية كما في الشكل (7) يتم بعد ذلك صب المواد المركبة المصهورة في قوالب الصب المُجهزة تحت مكبس وتعريضها لضغط قبل التجمد وتعتمد التقنية على تجميد المعدن تحت الضغط أحادي الاتجاه عادة $MPa (30 \rightarrow 150)$ (في بعض الأحيان تُصنع المادة الداعمة على شكل وسادة Perform ويصب عليها المعدن المصهور ثم يطبق ضغط العصر) و قد يتم معالجة المسبوكات فيما بعد بتقنيات تشغيل والمعالجة الحرارية المعروفة التي غالباً ما تكون قليلة وأحياناً نحصل على منتجات مُشكلة نهائية و تتميز هذه التقنية للتصنيع ببساطتها وسهولتها وفعاليتها والحصول على بنية ناعمة دقيقة نتيجة سرعة التبريد والتغلب على مشكلة قابلية التبلل والتقليل من المسامية والغازات والحصول على إنهاء جيد للسطح وخواص ميكانيكية جيدة وانخفاض تكلفتها من خلال انخفاض الهدر في المعدن مقارنة بالطرائق الأخرى مما جعلها من الأكثر انتشاراً وتطبيقاً بين باقي الطرق من سلبيات هذه الطريقة كثرة متغيراتها وشروطها وإن ضبط والتحكم بها يعدّ مفتاحاً لنجاح العملية وتحقيق البنية والخواص المطلوبة [7] [11].



الشكل (7) تقنية السباكة بالعصر (SQT) [7].

تبرز مبررات وأهمية البحث كما ذكرنا سابقاً نظراً للمكانة الاقتصادية العالية لسبائك الألمنيوم كونه يأتي بالمرتبة الثانية بعد الفولاذ من حيث الاستخدام ونظراً لتوافره وانخفاض سعره وخفة الوزن - مقاومة نوعية عالية - High Specific strength وما يتمتع به من ميزات عديدة وخواص ميكانيكية جيدة مقارنة بالسبائك التقليدية أتت الحاجة إلى تدعيمه لتحقيق متطلبات الأداء والموثوقية والتحكم بخواصه الميكانيكية من خلال طريقة التدعيم ونسبته ومتغيرات تقنية التصنيع لزيادة فعاليته ومساحة الاستفادة منه صناعياً - رفع الكفاءة ومستوى الأداء الكلي - بما يتوافق مع الحاجات في مجال السيارات والطائرات والتطبيقات الفضائية والتجهيزات الرياضية مع تحقيق التخفيض في التكلفة والوزن [1] [3] [7].

إن تدعيم سبائك الألمنيوم بالصفائح والألياف بأنواعها المختلفة تقيدته التكاليف الباهظة لمواد التقوية ولتصنيع الألمنيوم المدعم وصعوبة الوصول إلى الخواص المرجوة في كثير من الحالات وصعوبة التطبيق والحاجة إلى تجهيزات تصنيع خاصة و بالإضافة إلى تأخر في مواكبة التطورات التكنولوجية الحديثة نظراً لاستخدام تقنيات تصنيع محدودة كل ما سبق دفع إلى الاهتمام بتدعيم الألمنيوم بالدقائق المتنوعة من بين الطرائق التقليدية لانخفاض تكاليفه وسهولة تحقيق التدعيم باستخدامها وتعدد تقنيات تصنيع الـ AMCs المتأخرة عند التدعيم بالدقائق

سواء بشكل إفرادي (Single) أو هجين (Hybrid) [7] [10].

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "

إن استخدام مواد تدعيم رخيصة وذات قابلية عالية للاندماج مع الأساس المعدني كالدقائق المتنوعة (مقارنة بمواد التدعيم الأخرى كالمواد النانوية NAMCs وشبكات التدعيم Woven والألياف المستمرة CF) عند التدعيم الهجين (Hybrid Reinforcement) أو ما يسمى التدعيم المزدوج (Daul Reinforcement) كطريقة تدعيم حديثة لسبائك الألمنيوم تحقق الجدوى الاقتصادية بالإضافة إلى الوصول إلى الخواص المطلوبة من خلال الاستفادة من جمع ومزج خواص دقائق التدعيم المُضافة معاً عدا عن سهولة تصنيع الألمنيوم الهجين المدعم بالدقائق وتعدد تطبيقاته وإمكانية التحكم بخواصه من خلال نسب ومواد التدعيم (ينطبق هذا أيضاً عند التدعيم الإفرادي) وقابلية إعادة التدوير من خلال الصهر وإعادة تشكيل مرات كثيرة [7] [12].

وأن ما يحقق فعالية عملية تصنيع الألمنيوم المدعم بالدقائق (AMCp) سواء عند التدعيم الإفرادي أو الهجين اختيار طريقة ملائمة ومجدية للتصنيع مثل تقنية السباكة بالعصر أو بالضغط (SQT) والتي تجمع ما بين السباكة بالترشيح (Infiltration) وعملية التشكيل بالطريق (Forging) وتتفوق تقنية (SQT) على باقي تقنيات التصنيع بالحالة السائلة كما ذكرنا من حيث انخفاض التكلفة والبساطة والمرونة وسهولة التطبيق وتميز خواص المنتج المُصنع بها وهي معتمدة تجارياً [7] [9] [11].

وفي عديد من الحالات كون منتجات (SQT) شبه نهائية يمكن أن نكتفي بالمعالجة الحرارية فقط كعملية لاحقة في حال أردنا تعديل خواص (AMCs) الميكانيكية دون تغيير شكلها.

إن استخدام الضغط وضبطه بشكل مناسب خلال عملية تصنيع (AMCs) بطريقة السباكة بالعصر من شأنه تحسين الخواص الميكانيكية والتشكيل إلى الأجزاء النهائية بدقة عالية وتقليل العيوب الناتجة عن السباكة وتصحيح عيوب البنية وتحسين التجانس وهذا ما يُعزز من الأداء والسلوك الميكانيكي للمنتجات [3] [8].

لذا في هذا البحث تم تسليط الضوء على تصنيع مادة مركبة معدنية ذات أساس من سبائك الألمنيوم (AA7075) مدعمة تدعيماً إفرادياً ثم هجيناً باستخدام دقائق كربيدية مختلفة من (SiC-B4C) بتقنية (السباكة بالعصر SQT) ودراسة تأثير زيادة نسبة التدعيم من كل نوع من الكربيدات على حدا عند التدعيم الإفرادي وتحديد الأفضل من الكربيد المُستخدمين ومن ثم مقارنة التدعيم الإفرادي مع التدعيم الهجين باستخدام نوعي الكربيدات المختلفين معاً على

السلوك الميكانيكي: (القساوة - خواص شد والضغط - مقاومة الانحناء) على الخواص الميكانيكية المدروسة للألمنيوم المدعم الهجين المُصنع. بالرجوع إلى بعض الأوراق البحثية الحديثة التي تمحورت حول تقوية سبائك الألمنيوم بالدقائق المختلفة بتقنيات تصنيع متنوعة ودراسة تأثير التدعيم بنوعيه الإفرادي والهجين على خواصها الميكانيكية نجد ما يلي:

في مقالة (2020) تناول الباحثان (Nazeer and Safiulla) دراسة السبيكة AA6063 المُنتجة بطريقة السباكة بالمزج (SCT) والمدعمة بدقائق مختلفة وبشكل إفرادي من كربيد السيلكون وأوكسيد الألمنيوم وأوكسيد السيريوم CeO₂ بنسب (X = 0, 2, 4, 6, 8%) وقد بينت النتائج أن ازدياد نسبة التدعيم و إجراء التشكيل بالبتق على الباراد أدى إلى تحسين القساوة وخواص الشد مع انخفاض المتانة الصدمية وانخفاض معدل الاهتراء وازدياد نسبة التدعيم حسن من السلوك الميكانيكي و التدعيم بكربيد السيلكون أعطى أفضل النتائج [4].

في عام (2022) قام الباحث (Lemine) وآخرون بتدعيم الألمنيوم بدقائق من الكرييدات القاسية من كربيد البورون B₄C وكربيد النيوبيوم NbC بنسب متغيرة بتقنية المساحيق (Powder metallurgy) بشكل إفرادي ومن ثم هجين و قد أظهرت نتائج الدراسة أنه مع زيادة نسبة الدقائق تتحسن الخواص الميكانيكية المدروسة (القساوة ومقاومة الضغط ومعامل يونغ) وكانت أفضلها عند نسبة تدعيم هجين (2%B₄C+5 %NbC) [5].

في دراسة نُشرت في (2022) تطرق الباحث (Haripriya) وفريقه البحثي إلى مقارنة بعض خواص الألمنيوم النقي المدعم بدقائق من أوكسيد التيتانيوم بشكل إفرادي بنسب متزايدة وصلت حتى (9%) والمصنعة بطريقة السباكة بالمزج أو بالتحريك (SCT) مع خواص الفولاذ متوسط الكربون (MCS) وقد أظهر البحث تفوق الفولاذ بالخواص بالرغم من ارتفاع مقاومة الشد الأعظمية ومقاومة الضغط ومقاومة الانحناء والقساوة مع انخفاض في الاستطالة لمعظم عينات الألمنيوم المدعم وذلك مع ازدياد نسبة التدعيم بالأوكسيد [6].

في ورقة بحثية عام (2024) صنَّع (Seshappa) وزملائه سبائك الألمنيوم المدعم الهجين بتقنية السباكة بالعصر أو بالضغط (Squeeze Casting) حيث تم تقوية سبيكة الألمنيوم (AA7075)

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "

بدقائق مختلفة من الألومينا بنسبة ثابتة (3%) ودقائق أوكسيدية من Rice Husk) (Ash) بنسب متغيرة (5%, 10%, 15%) تدعيماً مشتركاً مع تطبيق ضغط على الألمنيوم المدعم يصل إلى (60Mpa) وقد أظهرت النتائج نجاح إنتاج الألمنيوم الهجين من خلال الصور المجهرية وتحليل XRD وتحسن في السلوك الميكانيكي على الشد والقساوة وتفاوت في المتانة الصدمية مع ازدياد نسبة دقائق التدعيم المُضافة [8].

في (2024) قام الباحث (Habelalmateen) وآخرون بتدعيم الألمنيوم AA6105 بدقائق من كربيد السيلكون وكربيد التيتانيوم بشكل هجين بتقنيي (السباكة بالمزج SCT) والسباكة بالعصر (SQT) وإجراء المقارنة بين تأثير الطريقتين على مقاومة الشد والقساوة للعينات المدعمة عدا عن ذلك عمل الباحثون على دراسة تأثير مجموعة من متغيرات التصنيع على الخواص في كلا الطريقتين (سرعة الخلط-زمن الخلط-نسبة التدعيم) وقد وجد الباحثون أن تقنية السباكة بالعصر (Squeeze Casting) أعطت نتائج أفضل من السباكة بالمزج (Stir Casting) من حيث الخواص المدروسة وأن تأثير المتغيرات على الخواص اختلف من حيث الأهمية حسب تقنية التصنيع المتبعة [9].

في عام (2025) قام كل من (Imanze) (Omotehinse) بدراسة تأثير بارامترات السباكة بالعصر (Squeeze Casting) حيث بحثا في تأثير ضغط العصر ودرجة حرارة الصب ودرجة حرارة تسخين القالب مستخدمين طريقة (Taguchi) على قساوة ومقاومة الشد العظمى للألمنيوم المصبوب المصنع بطريقة (SQT) وبينت النتائج أن هذه الخواص تتأثر بشكل كبير بتغير هذه البارامترات وبالأخص مقاومة الشد وأن أكثر البارامترات تأثيراً هي ضغط العصر ثم درجة حرارة الصب وأخيراً درجة حرارة التسخين المسبق للقالب [11].

في أحدث الدراسات (2025) عمل كل من (Yakoub) (Bakrey) على تدعيم سبيكة AA 6061 بمواد تدعيم مزدوجة من دقائق ميكروية من أوكسيد التيتانيوم و كربيد السيلكون باستعمال تقنية السباكة بالتحريك الميكانيكي (SCT) ومن ثم مقارنة التدعيم الإفرادي بكل منها على حدا مع التدعيم الهجين بكلا النوعين للوصول للخواص الميكانيكية الأمثل من خلال دراسة ثنائي حالات للتدعيم وقد أظهرت النتائج نجاح إنتاج الألمنيوم الهجين وتحسن في مقاومة الانحناء والقساوة ومقاومة الشد الأعظمية مع زيادة نسب دقائق التدعيم لكل نوع حتى حد معين (8%)

ولكن أفضل النتائج على الشد والانحناء والقساوة كانت بعد عملية التدعيم الهجين بالأوكسيد والكربيد بنسبة (8%) أوكسيد ونسبة (6%) كربيد العينة [12]S8.

مما تقدم في الدراسات الحديثة السابقة والمسح المرجعي نلاحظ أن اختيار طريقة تدعيم سبيكة الألمنيوم ونوع مواد التدعيم ونسبتها وطريقة التصنيع والعمليات اللاحقة وضبط شروط كل ما سبق يمثل تحدياً مهماً وأمر ضرورياً لتحسين وضبط السلوك الميكانيكي للألمنيوم وبالتالي رفع الأداء وزيادة الكفاءة الميكانيكية.

2. هدف البحث:

1. تصنيع الألمنيوم المدعم بدقائق الكربيدات المختلفة (AMCs) بتقنية السباكة بالعصر (SQT) انطلاقاً من السبيكة الأساس (AA7075) ودراسة الخواص الميكانيكية - القساوة وخواص الشد والضغط ومقاومة الانحناء - لسبيكة (AA7075) عند زيادة نسبة دقائق التدعيم بشكل إفرادي دقائق (SiC) حتى (10%) ودقائق (B4C) حتى (10%) وإجراء المقارنة بينهم.
2. دراسة تأثير التدعيم الهجين بدقائق النوعين من الكربيدات معاً بنسبة (5% SiC + 5% B4C) في الخواص الميكانيكية المدروسة لسبيكة (AA7075) ومقارنته مع التدعيم الإفرادي بكل نوع على حدا.
3. التوصل إلى مواد هندسية حديثة ذات أساس معدني من سبائك الألمنيوم (AA7075) وفق نسب تدعيم محددة والحصول على تصور أوضح حول ربط نوع ونسبة الدقائق الداعمة وطريقة التدعيم (إفرادي-هجين) بتغير خواص الألمنيوم المدعم الناتج بما يتلاءم مع التطبيق المطلوب وبالتالي توقع مجال الاستخدام صناعياً.

3. مواد وطرق البحث :

1.3 المواد الأولية المستعملة لتصنيع الألمنيوم المدعم (AMCs):

1.3.1 المعدن الأساس (Metal Matrix):

تم استلام سبيكة (AA7075) موضوع البحث وكانت على شكل بيليت بقطر (20cm) تركيبها الكيميائي التجريبي (من جهاز التحليل الطيفي Spectrometer) والقياسي حسب ASTM كما في الجدول (1).

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكة (AA7075)

العنصر	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Cr	Ti	AL
التركيب القياسي	< 0.4	(2.1-2.9)	< 0.5	(1.2-2)	< 0.3	(5.1-6.1)	(0.18-0.28)	<0.2	Bal.
التركيب التجريبي	0.085	2.35	0.17	1.8	0.01	5.8	0.18	0.05	Bal.

1.3.2 مواد التدعيم (Reinforcement Materials):

هي عبارة عن بودرة ناعمة قاسية ميكروية من كربيد السيلكون (SiC) ومن كربيد البورون (B4C) حيث تم استخدام دقائق بحجم وسطي ($20 \rightarrow 35 \mu m$) بعد نخلها على جهاز المناخل الآلي نوع من (Rids dale & Co LTD, England).

1.3.3 مواد مساعدة (Added Materials):

هي بودرة مغنزيوم ناعمة تُضاف لتحسين التبلل والترطيب بين المعدن والدقائق المُضافة بالإضافة لبودرة من الألمنيوم النقي وأقراص طاردة للخبث.

2.3 التجهيزات المُستعملة لتحضير (AMCs) بطريقة السباكة بالعصر (SQT):

2.3.1 تجهيزات السباكة بالعصر Squeeze Casting Set up:

تضم الأجزاء التالية الموضحة بالشكل (8) (9) [7] [8] [9] [11]:

*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 AA7075.

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

*فرن الصهر: النوع (CurboLite, Hope watt: 3100 w) فرن كهربائي استطاعته $3Kw$ بدرجة قصوى $1200C^\circ$ لصهر الألمنيوم (AA7075) وضمنه تتم عملية الخلط وقد تم تركيب قاعدة حاملة لآلية الخلط أعلى الفرن وتم تجهيز الفرن بمنظم حساس لضبط درجة الحرارة.

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

*المكبس: مكبس هيدروليكي باستطاعة 20ton لتطبيق الضغط على مصهور الألمنيوم المخلوط مع دقائق الكريد بعد صبه بالقالب المعدني.

2.3.1. قالب الصب المعدني Metal Mold :

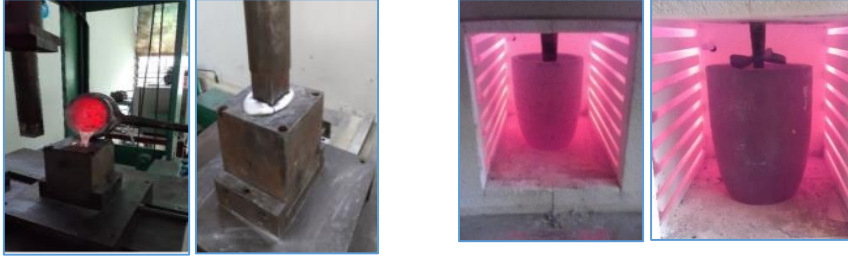
قمنا بتصنيع قالب الصب المعدني من الفولاذ في المخبر الجامعي للتشغيل المبرمج على الفارزة المبرمجة مع تجهيزه بفتحة لصب الألمنيوم المدعم عن طريق البوتقة ومن خلال هذه الفتحة بعد الانتهاء من الصب يتم تسليط الضغط على الألمنيوم المدعم بالإضافة لفتحة أسفل القالب للفظ المنتج بعد التجمد الشكل(9).

2.3.2. ميزان حساس Weighing Machine :

استخدمنا ميزان إلكتروني نوع (LS1000) صنع شركة (Sartrious) له قابلية المعايرة والتصفير يقيس (0→1000gr) بدقة عالية من مرتبة أجزاء الغرام لوزن قطع الألمنيوم والدقائق الداعمة بنوعها للحصول على نسبة التدعيم الصحيحة والمطلوبة.



"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "



الشكل (9) مكبس الضغط - قالب الصب
المعدني-حامل البوتقة- تطبيق ضغط
العصر (50 MPa)

الشكل (8) فرن الصهر - ميكانيزم الخلط -
بوتقة الصهر-منظم الحرارة-وحدة ضبط
السرعة-عبوات دقائق الكريد

3.3.3 طريقة تنفيذ البحث:

3.3.1 تصنيع الألمنيوم المدعم [7] [8] [9] [11] [12]:

يتم تقطيع بيليت الأساس (AA7075) إلى قطع صغيرة ووزنها وتحديد أوزان دقائق الكرييدات المُضافة بنوعيتها حسب النسب الوزنية المطلوبة (wt%) في العينات المدروسة ثم وضع قطع الألمنيوم في البوتقة الغرافيتية داخل الفرن ورفع درجة حرارته إلى $850C^{\circ}$ لضمان انصهار السبيكة التام وبعد التأكد من انصهار الألمنيوم يتم خفض درجة الحرارة ضمن الفرن إلى درجة حرارة $750C^{\circ}$ ليتم إضافة الدقائق الداعمة (B4C- SiC) المعلومة الحجم والوزن والنسبة والمُسَخنة مسبقاً إلى درجة الحرارة حوالي $200C^{\circ}$ لخمس دقائق وذلك لإزالة الرطوبة والغازات الممتصة وتنظيف السطح من طبقة الأكاسيد وتحسين توزيع الدقائق داخل المصهور تتم الإضافة بشكل إفرادي ثم بشكل مشترك ويتم معها إضافة كمية قليلة من المغنيزيوم (لا تتجاوز 1%) لتحسين التبلل أيضاً ولتعويض الفقد نتيجة الاحتراق والتأكسد مع تنفيذ الخلط يدوياً بقضيب مزج لضمان تجانس التوزع، بعد ذلك يتم إدخال الخلاط الميكانيكي في المصهور ضمن البوتقة الموجودة داخل الفرن وتدويره بسرعة (400r.pm) ولمدة (15min) للحصول على دوامة ضمن المصهور Vortex

(تم اختيار هذه الشروط اعتماداً على مجموعة تجارب تحضيرية قمنا بها وعلى الدراسات المرجعية) ونتيجة لفعل الدوامية يتم سحب خليط الدقائق الى داخل المصهور وتوزيعه خلاله وأثناء عملية الخلط يتم إعادة تسخين الخليط إلى درجة الحرارة $800C^{\circ}$ لتحسين انتشار وتوزيع الدقائق الداعمة ضمن المصهور وبعد انتهاء الخلط وعند درجة الحرارة $800C^{\circ}$ تتم عملية صب خليط الألمنيوم والدقائق في القالب المعدني المُسخن مسبقاً لدرجة حرارة $200C^{\circ}$ لتلافي التجمد المسبق للمصهور وللتقليل من عيوب السباكة والموضوع تحت المكبس وعند الانتهاء من الصب وامتلاء القالب يتم تطبيق ضغط Squeeze Pressure مقداره (50MPa) لزمن Pressure time مقداره حوالي (60 sec) وأخيراً بعد التجمد (Solidification) يتم لفظ العينات من داخل القالب بعد تبريده الشكل (9) (10) وتكرر العملية عدة مرات وفقاً للنسب المطلوب إضافتها من الدقائق الداعمة الأساس لنحصل على ست عينات لكل اختبار (S0, S1, S2, S3, S4,) والجدول (2) يوضح بارامترات (SQT) المُستخدمة أثناء التصنيع [8] [9]:

الجدول (2) بارامترات (SQT) المستخدمة أثناء التصنيع

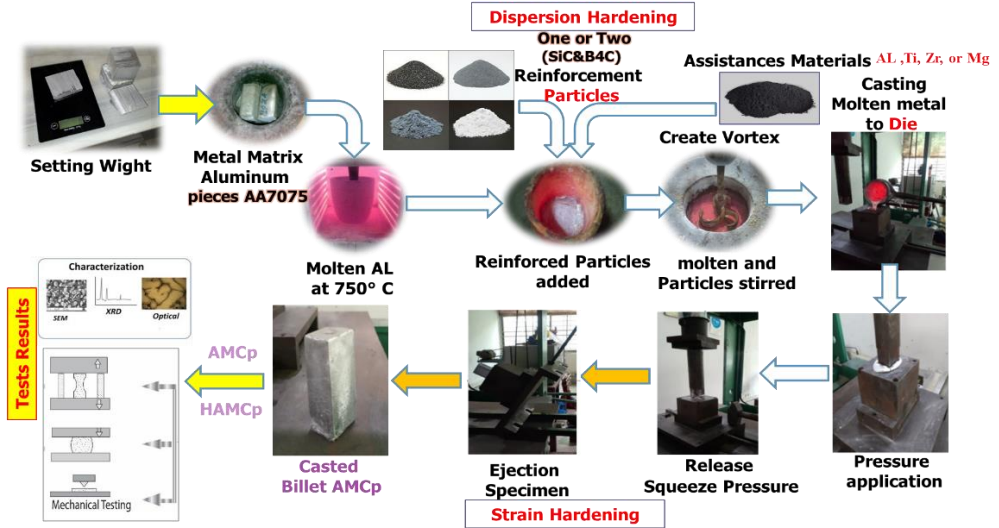
Squeeze Casting Parameters	
Preheating temperatures of reinforcements	($200C^{\circ}$)
Preheating temperatures of die	($200C^{\circ}$)
Spindle speed	(400r.p.m)
Stirring time	(15 min)
Stirring temperature	($750C^{\circ}$)
Squeeze Pressure	(50MPa)
Pressure time	(60sec)

بعد عملية التدعيم ستكون المسبوكات مُجهدة نتيجة عملية التجمد لذا تم إجراء عملية المُجانسة (Homogenization) (إحدى عمليات التخثير) لجميع مسبوكات الألمنيوم المُدعمة لتحقيق

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "

التجانس وإزالة الإجهادات الداخلية بالتسخين لدرجة 410°C وإبقاء لزمان 2hour ثم تبريد بطيء بجر الفرن لتكون العينات جاهزة للاختبارات [7] [10].

وبالتالي يمكن تلخيص خطوات تنفيذ البحث كما في المخطط التالي الشكل (10):



الشكل (10) مخطط تنفيذ البحث الذي أنجز في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

4.3. التجهيزات المستعملة لإجراء الفحوصات والاختبارات الميكانيكية:

وهي موضحة بالشكل (11):



الشكل (11) أجهزة الفحص والاختبارات : (السيكرومتر - المجهر الضوئي -جهاز الشد والضغط والانحناء- جهاز القساوة) في مخبر علم المواد والمعالجات الحرارية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة حمص.

قبل إجراء الاختبارات على العينات المدعمة تم تقسيمها إلى ست عينات وفقاً لنسب المواد المُضافة (نسب التدعيم) (S0, S1, S2, S3, S4, S5) وبعد ذلك تم تجهيز العينات (مع عينات إضافية عند نفس الشروط لتحقيق من النتائج) بعمليات التشغيل للاختبارات الميكانيكية وفق (ASTM standards) كما في الجدول (3) الذي يوضح أنواع وتسميات العينات حسب نسب التدعيم الإفرادي و الهجين:

الجدول(3) أنواع العينات المدعمة مع نسب التدعيم

Sample Name(ID)	AA7075(%)	SiC(%)	B4C(%)
S0	100	0	0
S1	95	5	0
S2	90	10	0
S3	95	0	5
S4	90	0	10
S5	90	5	5

والشكل (12) يوضح عمليات تحضير عينات الاختبارات الميكانيكية والفحص المجهرى:



"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "



الشكل (12) تجهيز وتشغيل عينات الاختبارات الميكانيكية والفحص المجهرى

4. النتائج ومناقشتها (Results and Discussion):

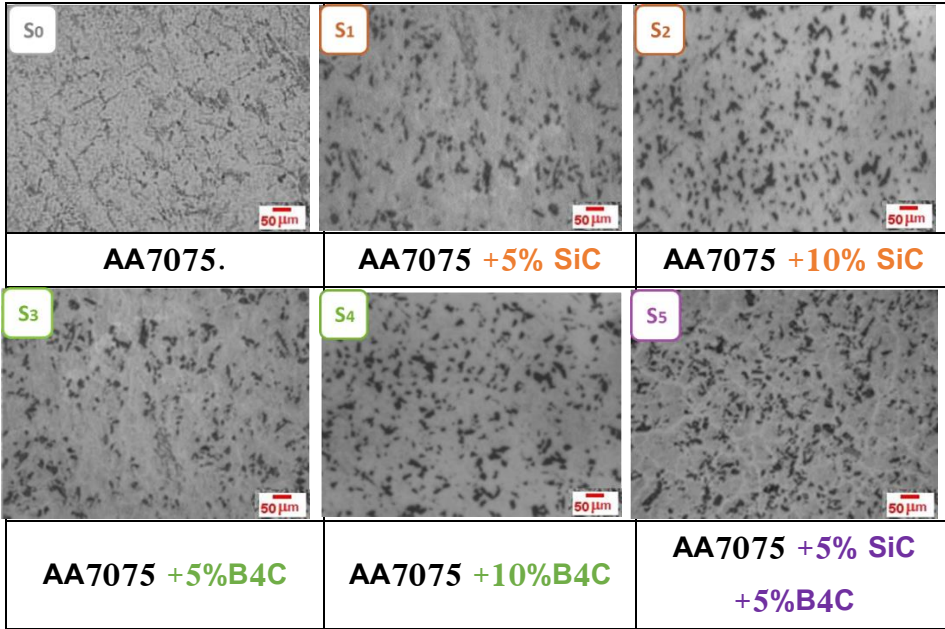
النتائج:

1) نتائج الفحص المجهرى Results of optical Microscope:

تم شحذ عينات الألمنيوم المدعم بأوراق صنفرة بدرجات نعومة مختلفة (600, 800, 1200, 1500, 2000) على جهاز الشحذ نصف الآلي بوجود تيار مائي ثم عملية التلميع باستعمال معجون الألماس الصناعي بحجم (0.25 μ m) ثم أجريت عملية غسل للعينات بالماء والكحول ثم التحفيف بالهواء أما إظهار البنية - التخريش - فتتمت بالغمس لمدة حوالي (30sec) على الأقل بمحلول كاشف كيلر (Keller) ذو التركيب التالي (ml H₂O, 5ml 190HNO₃, 3ml HCL & 2ml HF) ثم تم فحصها على المجهر الضوئي وبمقدار تكبير قدره 200X وفق المواصفة ASTM-E3.

كما هو موضح بالشكل (13) في الصور المجهرية حيث توزعت الدقائق الداعمة من الكربيدات بنوعيتها والعديد من الرواسب ضمن الألمنيوم الأساس بشكل شبه منتظم تقريباً وكان تظهر ضمن البنية بشكل أغزر وأكثر حيث تزداد المساحة المشغولة فيها على الصور المجهرية -المناطق العاتمة- مع زيادة نسبتها في الألمنيوم AA7075 [8] [12].

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



الشكل (13) صور المجهر الضوئي توضح توزيع دقائق التدعيم المفردة والهجينة ضمن الألمنيوم
الأساس AA7075 . نسبة تكبير 200X

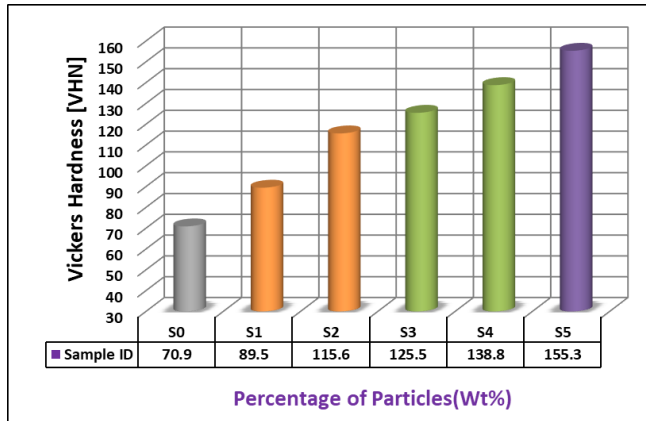
(2) نتائج اختبار القساوة Hardness test Results :

تم إجراء الاختبار على جهاز نوع (HARTEPRÜFER GNEHM:230) جهاز قساوة
(Vickers) وفق المواصفة ASTM-E92 حيث طبقت حمولة ($4Kgf$) عن طريق هرم رباعي
وجوه منتظم بزاوية رأس (136°) لزمن تحميل (Dwell Time= 10sec) وسُجّلت لضمان
موثوقية القياس أربعة قراءات بشكل عشوائي للقساوة من مناطق مختلفة من كلّ عينة لتحديد القيمة
المتوسطة لقساوة العينات المدروسة.

الهدف من إجراء القساوة مراقبة نجاح التدعيم وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (14) حيث
إنّ ازدادات قيم قساوة الألمنيوم (AA7075) مع ارتفاع نسبة الدقائق الداعمة لكل نوع من
الكربيدات القاسية الموزعة ضمنه .

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

أما التدعيم الهجين فقد ساعد على الحصول على أعلى قيمة للقساوة لعينات الألمنيوم المدعم حيث ارتفعت القساوة وبلغت أعلى قيمة (155.3HV) العينة S5- .

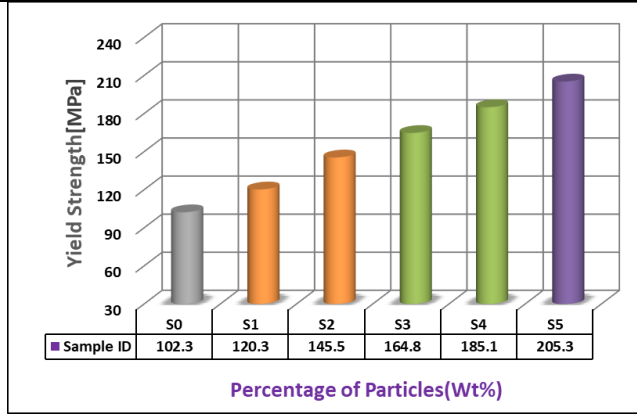


الشكل (14) تأثير التدعيم الإفرادي والهجين على قيم القساوة لسبيكة الألمنيوم AA7075

(3) نتائج اختبار الشد Tensile Test Results :

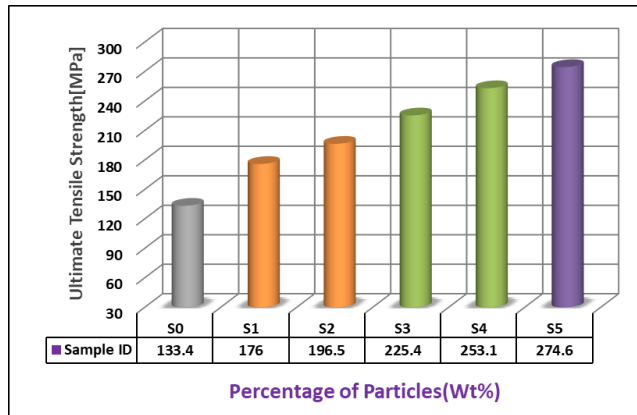
تم إجراء اختبار الشد والضغط على جهاز الشد (TINIUS OLSEN H25KS) المزود براسم بياني إلكتروني لمنحني الشد وبأخذ عينتين لكل قراءة ومن ثم المعدل الوسطي بعد أن تم تحضير جميع العينات حسب المواصفة القياسية (ASTM- B557) وبمقاطع مسطحة (10X15mm) بطول قياس (36mm) وبعد الحصول على مخططات الشد للعينات تم التركيز على تحديد قيم كل من: (مقاومة الخضوع YS- مقاومة الشد الأعظمية UTS- الاستطالة النسبية).

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (15) (16) (17) حيث إن قيم إجهاد الخضوع ومقاومة الشد العظمى للألمنيوم الأساس (AA7075) زادت مع ازدياد نسبة دقائق كل من كربيد السيليكون والبورون القاسية حتى 10% , وعند التدعيم الهجين بكلا النوعين من الكربيدات حصلنا على أفضل وأميز خواص شد بنسبة تحسن كبيرة عن (AA7075) الأساس غير المدعم . أما بالنسبة للاستطالة النسبية (المطيلية) فإنها انخفضت مع ازدياد نسبة الدقائق الداعمة وأيضاً عند التدعيم الهجين ، وكانت قد بلغت أفضل خواص للشد للقيم التالية: (YS=205.3MPa&UTS=274.6MPa) عند التدعيم الهجين بنسبة تدعيم S5- (Wt=5%SiC+5%B4C) .



الشكل (15) تأثير التدعيم الإفرادي والهجين على قيم إجهاد الخضوع لسبيكة الألمنيوم

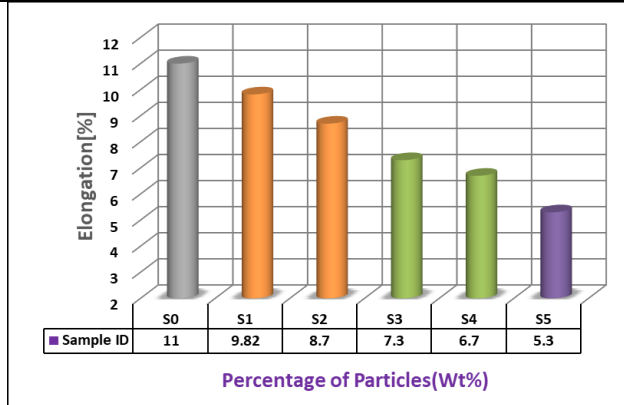
AA7075



الشكل (16) تأثير التدعيم الإفرادي والهجين على قيم مقاومة الشد الأعظمية لسبيكة الألمنيوم

AA7075

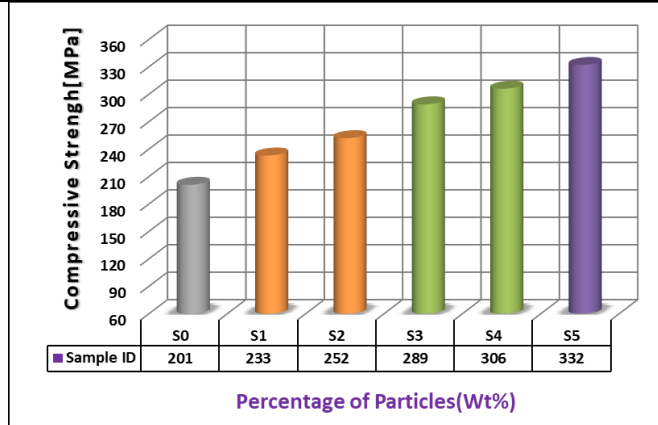
"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"



الشكل (17) تأثير التدعيم الإفرادي والهجين على قيم الاستطالة النسبية لـ AA7075 يمكننا القول أن التدعيم الهجين في العينة -S5- أعطى أفضل خواص شد مقارنة بالتدعيم الإفرادي فقط في العينات (S1.....S4) وحالة عدم التدعيم العينة العيارية -S0- مع تراجع وانخفاض في المطيلية (معبراً عنها بالاستطالة كنسبة مئوية).

(4) نتائج اختبار الضغط Compressive Test Results :

إن اختبار تحديد مقاومة الانضغاط للمعادن المدعمة غاية في الأهمية بالأخص إنه لا يتأثر بمسامية العينات المدروسة مثل اختبار الشد وقد تم إجراء اختبار الضغط على نفس جهاز اختبار الشد (TINIUS OLSEN H25KS) تحت حمولة ضغط تدريجية مُطبقة من الجهاز وبعد الحصول على منحنى الضغط وبأخذ عينتين لكل قراءة ومن ثم المعدل الوسطي بعد أن تم تحضير جميع العينات بسطوح مصقولة جيداً لضمان انتظام التحميل وبمقاطع دائرية متناسبة مع ارتفاع العينة حتى لا يحصل التواء أو انبعاج أثناء إجراء الاختبار حسب المواصفة القياسية (ASTME9-95) بطول ($L_0=25mm$) وقطر قيمته ($D_0=15mm$) وبعد الحصول على المخططات للعينات تم التركيز على تحديد قيمة : (مقاومة الانضغاط الأعظمية UCS Ultimate Compressive Strength) الشكل (18).



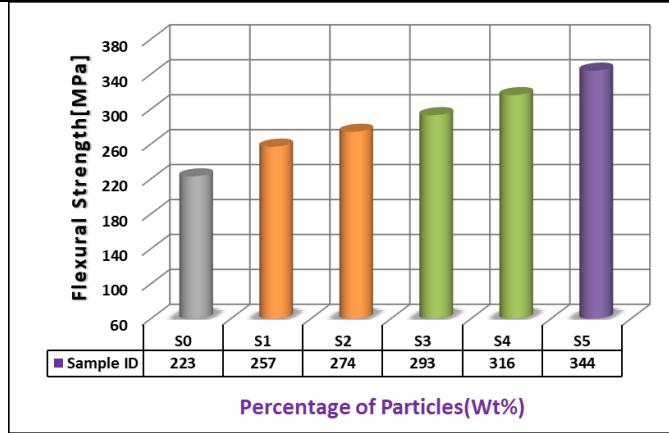
الشكل (18) تأثير التدعيم الإفرادي والهجين على مقاومة الضغط العظمى

وكانت النتائج كما هو موضح بالشكل (18) حيث إن مقاومة الضغط العظمى (UCS) للألمنيوم الأساس AA7075 زادت مع ازدياد نسبة دقائق الكرييدات القاسية الموزعة ضمنه. كما يمكن ملاحظة أن التدعيم الهجين فقد أدت إلى تحسن قيمتها لتبلغ (UCS=332MPa) وذلك للعينة S5- متفوقة على باقي العينات المدعمة بشكل إفرادي والعينة غير المدعمة.

(5) نتائج اختبار الانحناء Flexural Test Results :

تم إجراء اختبار الانحناء ثلاثي النقاط (three-point bending test) الذي يعطي نتائج أكثر واقعية من اختبار الشد والضغط في دراسة المواد المركبة ذات الأساس المعدني المدعمة بالدقائق عند تعرضها لعزوم انحناء (انعطاف) يتم إجراء اختبار الانحناء على نفس جهاز اختبار الشد (TINIUS OLSEN H25KS) مع تركيب رأس خاص يسمى برأس التحميل الأسطواني تطبق الحمولة في منتصف العينة عن طريقه بشكل بطيء وتدرجي حتى نهاية الاختبار بعد أن تم تحضير جميع العينات بمقاطع مسطحة للاختبار حسب المواصفة القياسية (ASTM- B557) بأبعاد (160x20x10mm³) توضع العينة بشكل أفقي لضمان توازنها وعدم انزلاقها على مسندين أسطوانيين البعد بينها بطول العينة القياسي (L₀=120mm) وبعد الحصول على المخططات للعينات تم التركيز على تحديد وحساب قيمة: (مقاومة الانحناء الأعظمية Flexural Bending Strength=Strength).

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "



الشكل (19) تأثير التدعيم الإفرادي والهجين على مقاومة الضغط العظمى

من الشكل (19) نجد إن مقاومة الانحناء للألمنيوم الأساس ازادت مع ارتفاع نسبة دقائق الكرييدات الداعمة الموزعة خلاله . كما يمكن ملاحظة أن التدعيم الهجين فقد أدت إلى تحسن قيمتها لتبلغ (344MPa) وذلك للعينة S5 - متفوقة على باقي العينات المدعمة بشكل إفرادي من AA7075 وغير المدعمة العينة العيارية-S0-.

مناقشة وتفسير النتائج:

المناقشة والتقييم:

يوضح الجدول (4) مقدار التحسن بالخواص الميكانيكية المدروسة للعينات الخمسة مقدرة كنسبة مئوية بعد التدعيم الإفرادي و الهجين والذي يُحسب من العلاقة:

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

على اعتبار: P_0 : قيمة الخاصية لعينة الألمنيوم غير المدعمة في كل مجموعة . P_{New} : قيمة الخاصية لعينة الألمنيوم المدعمة بتدعيم إفرادي أو هجين.

الجدول (4) مقدار التحسن في الخواص الميكانيكية المدروسة بعد التدعيم

Sample (ID)	القساوة (HV)	مقدار التحسن (%)	مقاومة الشد (UT S)	مقدار التحسن (%)	مقاومة الضغط (CS)	مقدار التحسن (%)	مقاومة الانحناء	مقدار التحسن (%)
S0	70.9	0	133.4	0	201	0	223	0
S1	89.5	27	176	32	233	16	257	15
S2	115.6	63	196.5	48	252	25	274	23
S3	125.5	77	225.4	69	289	44	293	31
S4	138.8	96	253.1	90	306	52	316	41
S5	155.3	118	274.6	106	332	65	344	54

نلاحظ أن حققنا مقدار تحسن في الخواص تراوح بين (15%-118%) حسب بارامترات العمل في بحثنا وأنه عند نسبة التدعيم الهجين (5%SiC+5%B4C) العينة (S5) كانت أعلى قيم للخواص الميكانيكية وبالتالي أصبح لدينا طيف واسع من العينات بخواص مختلفة تحقق الكفاءة العالية والتكلفة المنخفضة) بما يتلاءم مع التطبيق المفروض .

يجدر بنا الإشارة إلى أن التحسن الحاصل في السلوك الميكانيكي عند الخواص المدروسة عند التدعيم الهجين إلى نسبة معينة (5%SiC+5%B4C) والذي توصلنا له في بحثنا الحالي يتوافق مع ما توصل له العديد من الباحثين بالأبحاث الحديثة ذات الصلة بموضوعنا مع اختلاف نوع دقائق التدعيم ونسبتها وسبائك الألمنيوم الجاري تدعيمها والخواص الميكانيكية المدروسة وطريقة التصنيع ومُتغيرتها [5] [8] [9] [10] [12].

تفسير النتائج:

يتعلق الميكانيزم المسؤول عن تحسن الخواص الميكانيكية المدروسة للألمنيوم المدعم الهجين بانتظام وحسن توزع الدقائق الداعمة ضمن الأساس بشكل شبه متجانس بالإضافة لتفاعلها معه وارتباطها والتصاقها به ويمكن تلخيص هذا الميكانيزم في نقاط رئيسية توضح آليات التقوية وتحسن الخواص في (MMCs): [7] [10] [12]:

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كبريدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "

*وفقاً لنظرية أورووان بالتقوية (Orowan Strengthening Mechanism) أو التقسية بالتشيت للدقائق والتي تعتبر المسؤولة عن زيادة قساوة ومقاومة المعادن والسبائك للتشوه اللدن حيث تعتمد هذه النظرية على مبدأ إعاقة حركة الانخلاعات داخل المعدن الأساس فعندما تتحرك الانخلاعات تحت تأثير إجهاد تصطم بالدقائق القاسية والمشتتة بشكل متجانس ضمن الألمنيوم وفي هذه الحالة بدلاً من أن تقطع الدقائق تضطر الانخلاعات إلى الالتفاف حولها مما يؤدي إلى توليد حلقات من الانخلاعات حول كل جسيم من الدقائق المشتتة، هذه الحلقات تعمل كعوائق إضافية لحركة الانخلاعات اللاحقة وصعوبة مرورها خلال أو حول الدقائق المترسبة مما يزيد بشكل كبير من مقاومة المعدن للتشوه اللدن وكلما كانت الدقائق أصغر وأكثر تباعداً ونوزعاً (تشتتاً) زادت كثافة الانخلاعات (Dislocation density) الناتجة الجديدة (منبع فرانك-ريد) وبالتالي زادت فعالية تقوية أورووان في تحسين مقاومة وقساوة المعدن.

*نقل الحمل (Load Transfer): هو المبدأ الأساسي في عمل المواد المركبة فعندما تتعرض لقوة خارجية (قوة شد أو ضغط مثلاً) تقوم مادة الأساس الأضعف بنقل جزء كبير من الحمل إلى الدقائق الداعمة الأكثر قساوة ومقاومة ويتم هذا النقل عبر سطوح التماس البينية بين المكونات مما يؤدي إلى توزيع الحمل المطبق على هذه السطوح للتغلب على قوة الربط القوية بينها وتحقيق التشوه اللدن وكلما كان الترابط أقوى بين المعدن والدقائق كان نقل الحمل أكثر كفاءة مما يزيد بشكل كبير من مقاومة المعدن المدعم.

*تثبيت حركة الانخلاعات (Dislocations Pinning): حركة هذه الانخلاعات هي المسؤولة عن التشوه اللدن للمعدن إضافة الدقائق الداعمة يؤدي إلى إعاقة أو تثبيت حركة الانخلاعات داخل المعدن فعندما تصطم هذه الانخلاعات بالدقائق الداعمة فإنها تتوقف أو تغير مسارها مما يزيد من مقاومة المعدن للتشوه اللدن وهذا من شأنه تحقيق زيادة كبيرة في مقاومة وقساوة المعدن المدعم.

* تعميم البنية المجهرية (Microstructural Refinement): تساعد الدقائق الداعمة على تحسين البنية المجهرية للمعدن الأساس بعدة طرق منها:

1. تصغير الحجم الحبيبي: تعمل الدقائق الداعمة المقدمة للمصهور كعوامل وبنور وأنوية تبلور (Nucleating agents) أثناء تصلب المادة وتُسهم في تصغير الحجم الحبيبي (decreasing the grain size) مما يؤدي إلى تكوين عدد أكبر من الحبيبات الدقيقة وفقاً

لقانون (هول- بيتش Hall-Petch) فإن مقاومة المادة تزداد مع تناقص حجم حبيباتها. تساهم الدقائق في تقليل العيوب الداخلية والمسامية مما يزيد من كثافة المادة وخواصها الميكانيكية.

2. تأثير التصلب بالترسيب Precipitation Hardening: من الممكن أن تتفاعل دقائق التدعيم مع المعدن الأساس لتكوين أطوار مترسبة دقيقة جداً عند حدود الدقائق وداخل المعدن وبالتالي تعمل هذه الرواسب الدقيقة بنفس طريقة الدقائق الداعمة حيث تعيق وتعرقل حركة الانخلاعات وتزيد مقاومة المعدن.

عدا عن الاختلافات الكبيرة بمعامل التمدد الحراري بين الألمنيوم الأساس ودقائق التدعيم الهجينة بنوعها 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 .

بينما انخفاض قيم الاستطالة للألمنيوم AA7075 يُعزى إلى وجود الدقائق الداعمة التي تسبب مناطق تركيز للإجهادات الموضعية عند أسطح التماس بين الدقائق والمعدن عدا على أن إضافة هذه الدقائق يولد مناطق انزلاق (Slip regions) في المعدن أو نتيجة اختلافات كبيرة في السلوك المرن بين المعدن الأساس والدقائق المبعثرة وكون إضافة الدقائق له تأثير مشابه للتشحييم حيث يسهل حركة الدقائق على طول مستويات الانزلاق.

من الجدير ذكره أن تطبيق الضغط أثناء عملية السباكة بالعصر يحقق تقوية المسبوكات المدعمة وتجعلها أقوى وذات مقاومة أعلى وذلك من خلال إدخال شبكة انخلاعات جديدة في المادة والتي تتداخل مع استمرار حركة الانخلاعات الأساسية وتكديسها وتكون عوائق لحركة بعضها البعض عدا على أنها تساعد على التخلص من المسامية والفراغات الميكروية الموجودة ضمن البنية [9] [8] [7].

5. الاستنتاجات والتوصيات للأعمال المستقبلية:

الاستنتاجات:

1. من خلال هذه الدراسة توصلنا إلى تحديد الشروط العملية لتصنيع مادة مركبة معدنية (AMCp) من أساس سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة تدعيماً إفرادياً وهجيناً بنوعين مختلفين من الدقائق الكريبيدية القاسية بتقنية السباكة بالعصر (SQT).

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مُدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية "

2. تحسن وارتفاع الخواص الميكانيكية له صلة وثيقة بطريقة التدعيم (إفرادي - هجين) وضبط نسب التدعيم وبالاختيار المناسب لمتغيرات طريقة التصنيع بما يتلاءم مع الاستخدام المطلوب.
3. في ضوء الدراسة الحالية أدت زيادة نسبة دقائق كربيد السيلكون المُضافة ودقائق كربيد البورون المُضافة عند التدعيم بشكل إفرادي (10 wt% → 5 wt%) إلى تحسن الخواص الميكانيكية المدروسة للألمنيوم الأساس (AA7075) بالمقارنة مع الأساس (AA7075) غير المدعم -العينة العيارية- وأن التدعيم الإفرادي بكربيد البورون أعطى نتائج أفضل من التدعيم الإفرادي بكربيد السيلكون عند نفس نسب التدعيم.
4. أدى التدعيم الإفرادي والهجين إلى انخفاض في المطيلية (ممثلة بالنسبة المئوية للاستطالة) مع زيادة نسبة التدعيم بالمقارنة مع (AA7075).
5. تفوق التدعيم الهجين بكلا النوعين من الدقائق الكربيدية معاً عن التدعيم الإفرادي بالدقائق عند نفس نسبة التدعيم الكلية (10%) من حيث التحسن في الخواص الميكانيكية المدروسة للألمنيوم الأساس (AA7075) بالمقارنة مع المعدن الأساس (AA7075) غير المدعم - العينة العيارية S0-.
6. أفضل قيم للخواص الميكانيكية للألمنيوم المدعم (القساوة وإجهاد الخضوع ومقاومة الشد الأعظمية ومقاومة الضغط ومقاومة الانحناء) تم الحصول عليها عند نسب تدعيم هجين (5%B4C+5%SiC) - العينة (S5)-.

التوصيات لأعمال المستقبلية:

1. مقارنة النتائج التي توصلت لها الدراسة مع طرق وتقنيات تصنيع أخرى (تكنولوجيا المساحيق أو السباكة بالمزج الميكانيكي) كما نوصي باستخدام دقائق داعمة نانوية في تحقيق التدعيم للألمنيوم واستخدام ومقارنة سبائك أخرى من الألمنيوم مع ما تناولناه في دراستنا الحالية.
2. نوصي بدراسة تأثير نسب تدعيم أعلى من تلك التي استخدمناها في هذه الدراسة على نفس الخواص وعند نفس الشروط المطبقة.
3. دراسة تأثير متغيرات وشروط التصنيع (سرعة الخلط -ضغط العصر -نسبة التدعيم- نوع الدقائق-.....) على الخواص الميكانيكية للألمنيوم المُدعم المُصنع.

4. نوصي في مجال توصيف سلوك هذا النوع من المواد بتوسيع النتائج لتشمل دراسة خواص ميكانيكية أخرى للألمنيوم بعد التدعيم (مقاومة التعب والزحف....) بالإضافة إلى دراسة خواص الاهتراء والاحتكاك والصلمود الحراري عند درجات حرارة مرتفعة .
5. دراسة تأثير عمليات المعالجة اللاحقة سواء ميكانيكية او حرارية أو كليهما ودراسة تأثير تغيير بارامتراتهما وشروطها على خواص للألمنيوم المُدعم المُصنع.

6. المراجع:

- [1] SURAPPA, M 2003- **Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities**. Vol. 28, Parts 1 & 2, Printed in S⁻adhan⁻a, First Edition, India, 319–334 p.
- [2] Chawla, N and Chawla, K, 2013, **Metal Matrix Composites**. Springer Science +Business Media New York Journal of Metals Vol. 2, Second Edition USA,1-381p.
- [3] Stojanović, B and Ivanović ,L 2015-**APPLICATION OF ALUMINIUM HYBRID COMPOSITES IN AUTOMOTIVE INDUSTRY**. Vol.22, Issue 3 Ver, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME) Tehnički vjesnik, Serbia, 247-251 p.
- [4] Nazeer, A and Safiulla ,M, 2020-**Mechanical and Wear Properties of Cold Extruded Al6063 Metal Matrix Alloy Reinforced with Silicon Carbide, Alumina and Cerium Oxide**. Vol.9, Issue 3, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), India, 4091-4097p.
- [5] 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**, Vol (33), Journal Materials Today Communication ELSEVIER, Qatar, 1-10p. [6] Haripriya ,M and Rao ,N, 2022-**Fabrication and Tensile, Compressive, Flexural Mechanical Testing of Aluminium Metal Matrix Composites Reinforcement with TiO2**. Vol.7, No 1, International Journal of Mechanical Engineering Kalahari Journals, India, 2523-2531p.

"تصنيع مواد مركبة معدنية ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (AA7075) مدعمة بدقائق كربيدية مختلفة بتقنية السباكة بالعصر (SQT) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية"

[7] Gaurav ,M,Kafaltiya,S and Chauhan ,S, **2024-Fabrication and Mechanical Strengthening of Aluminium Composite Material.** Volume 15, Issue 11,Journal of Materials and Environmental Science, India, 1526-1548p.

[8] Seshappa, A., Ra,K., Pranavi,U., and Chhabra ,S., **2024-Manufacturing while Investigations of Al-7075/RHA/Al₂O₃ Composite by Squeeze Casting.** Vol ,(04)(392), Issue 04, Journal of MATEC Web of Conferences EDP Sciences (ICMED), India, 1-12p.

[9] Habelalmateen,M, R. Srinivasan, Ruby ,P and SHERIL,S **2024-Mechanical Property Evaluation of Stir-Squeeze Cast Al-Based Nano SiC Composites.** Vol.26, 491 International Journal of Web of Conferences (EDP Sciences), Iraq, China, 19-28p.

[10] Liang-Yu Chen , Peng, Q Lina Zhang and Lai- Zhang,C **2024-An overview of additively manufactured metal matrix composites: preparation, performance, and challenge.** Vol.6, International Journal of Extreme Manufacturing (IJEM), China, 1-45p.

[11] Imanze ,K and Omotehinse ,S, **2025-Effect of Squeeze Casting Parameters on Tensile Strength and Hardness of Aluminum Cast Part.** Vol.1, Issue 1, International Journal of Tropical Engineering and Computing, , Nigeria, 9-17p.

[12] Yakoub ,G and Bakrey ,M, **2025-Optimizing Mechanical Properties of Al-6061 Alloy with Varied Nanoparticle Reinforcements: A Study Using Titanium Dioxide and Silicon Carbide Nanoparticles.** Vol.6, Issue 1, International Journal of Engineering Sciences and Applications (SVU), Egypt, 39-45p.