* دراسة تأثير اضافة كل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون في سلوك الكلال لسبيكة (Al-Si-Mg)

سرمد عماد ابراهيم حسين*

تاريخ الاستلام :2007/9/4

تاريخ القبول :2008/5/8

الخلاصة

تناول البحث الحالي تحضير قضبان طولها(13Cm) وقطرها(1.5Cm) من مواد متراكبة ذات اساس معدني تمثل بسبيكة(Al-Si-Mg) مقواة بدقائق كاربيد السليكون (SiC) من جهة ودقائق كاربيد البورون (B4C) من جهة اخرى وبنسب وزنية مختارة (0.2,0.6,1%). حضرت سبيكة الاساس والمادة المتراكبة بطريقة السباكة بأستخدام تقنية الدوامة(Vortex Technique) لتشتيت دقائق التقوية في ارضية سبيكة الاساس، وقد تم تحضير مجموعتين رئيستين من الموادالمتراكبة بالاعتماد على نوعية مواد التقوية، حيث تضمنت المجموعة الاولى(a) مادة متراكبة مقواة بدقائق كاربيد السليكون والمتمثلة بالاحجام الحبيبية(30μm≥p.size≥0.1μm) بينما تضمنت المجموعة الثانية(b) مادة متراكبة مقواة بدقائق كاربيد البورون والمتمثلة بالاحجام الحبيبية(25μm≥p.size≥0.1μm).

اما الفحص الذي اجري على النماذج المحضرة فقد تمثل بفحص الكلال لكل من السبيكة الاساس والمادة المتراكبة المنتجة، وتضمنت الدراسة ايضاً تأثير المعاملة الحرارية المحلولية عند درجة(520C°) مدة ساعة واحدة وعملية التشكيل اللاحقة فضلاً عن عملية التعتيق المزدوجة التي اجريت على النماذج المحضرة لفحص الكلال والمتمثلة بالتعتيق الاولي عند درجة(150C°) مدة ساعتين ثم تبعها تعتيق عند درجة(170C°) خلال فترات مختلفة.

ولقد بينت نتائج فحص الكلال زيادة مقاومة الكلال مع زيادة نسب دقائق التقوية المضافة. حيث تبقى عند قيم اعلى مما هي عليه في السبيكة الاساس، اما تأثير نوعية دقائق التقوية في تلك الخاصية فقد لوحظ ان هنالك زيادة ملحوظة في قيم مقاومة الكلال بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق كاربيد البورون مقارنة مع المادة المتراكبة المقواة بدقائق كاربيد السليكون والتي اكتسبت قيماً اعلى مما هي عليه في السبيكة الاساس.

Keywords: Nf **:-**Cycle to Failure.

Abstract

The presnt research had dealt with preparation of bars with length of about (13Cm) and a diameter of (1.5Cm) of composite material with metal matrix represented by (Al-Si-Mg) cast reinforced by (SiC) or (B4C) particles with choosen weight persentages (0.2,0.6,1%). The matrix alloy and the composite materials were prepared by casting methode and using vortex technique in order to dispers reinforced prticles in homogeneous way on the matrix alloy floor. In addition to that, two main groups of composite materials, the first group included composite material reinforced by (SiC) particles represented by the particle size

*قسم هندسة المواد/الجامعة التكنلوجيا

(30μm≥p.size≥0.1μm) while the second group included composite material reinforced by (B4C) particles represented by the particle size (25μm≥p.size≥0.1μm).
Concerning test that were made for the prepared models, they included fatigue test to either matrix alloy and product composite material. The study contained the effect of solution heat treatment at (520C°) for (1hr) and the following forming process in addition to double aging process were made for the prepared model of fatigue test and included the aging at (150C°) for (2hr) and then aging at (170C°) during different periods.
Results of fatigue test showed an increase in fatigue resistance in addition to the increase in reinforced particles that were added, but staying at higher values than that in the matrix alloy, The effect of type for reinforced particles in this property was noted, There was a specified increase in fatigue resistance of composite material reinforced by (B4C) particles in comparasion with the reinforced by (SiC) particles. Their values were more than in the matrix alloy.

المقدمة

نتيجة للتطور الصناعي الكبير الذي شـهده العالم في كافة المجالات، سـعى العلمـاء والباحثون الى ايجاد بدائل مختلفـة للمـواد ذات الاستخدامات الصناعية المتعددة، حيث تحتاج العديد من التطبيقات الهندسـية الـى مزيج من الخواص الملائمة التي لا يمكـن الحصول عليها من المواد الهندسية الاساسية (كالسبائك واللدائن والسيراميك) ومن اهـم هذه الخواص هي المقاومة النوعية العاليـة ومعامل المرونة العالي والجسـاءة العاليـة والمتانة وقابلية التشكيل [1].

تعد سبائك (الالمنيوم-سليكون) المصـبوبة سواء المحتوية او غير المحتوية على نسب من عناصر اخرى كالمغنيسيوم من اكثـر سبائك الالمنيوم المستخدمة في التطبيقـات الصـناعية نظـراً لاهميتهـا الصـناعية ولخواصها الميكانيكية المقبولة ومقاومتهـا الجيدة للتآكل وتمتلك معامل تمدد حـراري منخفض، وقابلية لحام جيدة ومقاومة بلـى مقبولة وسيولتها العالية عند الانصهار ممـا يجعل لها قابلية سباكة ممتازة [2]. حيـث تشكل هذه السبائك (85-90%) من الانتاج الكلي للاجزاء المسبوكة حيث تنتج بكميات كبيرة سواء بالسباكة الرمليـة او السـباكة بالقوالب الدائمية او السباكة بالضغط [3].

ان اهم الصعوبات التي تواجه تصنيع هـذه المواد هي غياب التبلل بين السبائك المعدنية وطور التقوية، لذلك يعـد تحديـد طريقـة التصنيع من اهم متطلبات نجـاح اسـتخدام المواد المتراكبـة ذات الاسـاس المعـدني المقواة بالمواد السـيراميكية وذلـك لعـدم ملائمة طرائق السباكة التقليدية مما ادى الى قيام الكثير من الدراسات حول ايجاد سـبل جديدة لتصنيع المواد المتراكبة وحتى يومنا هذا. وتعد كـل مـن تقنيـات المسـاحيق والسباكة بالمزج من اهم التقنيات لامكانيـة الحصول على توزيـع متجـانس للـدقائق السـيرميكية خـلال الارضـية وبالتـالي الحصول علـى الاسـتمرارية المطلوبـة للخواص [4].

تتعرض العديد من اجزاء المكـائن والالات عملياً الى الالاف (او قد تصل الى الملايين) من دورات الاجهاد المتكرر (Repeated Stresses) او بصورة عامة فـان المـواد المستخدمة في صناعة هذه الاجزاء قد تفشل عند تعرضها لعدد معين من دورات الاجهاد المتكرر حتى لو كانت قيمة اقصى اجهـاد متكرر اقل بكثير من الاجهاد الذي يسـبب كسرها ويسمى الفشل النـاتج مـن دورات الاجهاد المتكرر بفشل الكـلال (Fatigue Failure) [5].

يوجد هنالك اصناف رئيسية من العوامـل، والتي لها تأثير في سـلوك (Behaviour) الكلال في المواد الهندسية وهـذه العوامـل هي :- [6]

a- حجم الحبيبة واتجاه واستطالة الحبيبات (Size).

b- الانهاء السطحي (Surface Finish).

c- درجة الحرارة (Temperature).

d- الظروف البيئية (Enviroment).

e- تركيـز الاجهـادات (Stress Concentration).

اما مصادر فشـل الكـلال فمـن الممكـن تصنيفها الى ثلاثة اصناف هي :-

a- مصادر الفشل الناتجة عـن العمليـات التصنيعية (Faulty Processing).

b- اعتبـارات تصـميمية (Design Consideration).

c- التلف وظروف الخدمة الغير متوقعـة (Deterioration and Unexpected Service Conditions).

تسلط احمال الكلال بترددات ذات سـعة ثابتة كما في اختبارات الكلال المسـتعملة لأنشاء منحنى الاجهاد-عدد الدورات (S-N Curve) وذلك بتعريض كل عينة مـن عينات الاختبار الى حمل دوري ذي سـعة اجهاد ثابتة وتسجيل عدد الدورات المطلوبة لحصول الفشل حيث ينقصان الاجهاد يزداد عدد الدورات المطلوبة لحصـول الفشـل. ويمكن تصنيف منحنـى الكـلال (S-N Curve) الى نوعين تبعاً الى طبيعة المواد :- [8]

a- منحنى (S-N Curve) للمعادن الحديدية (Ferrous Metals) :- حيث يتميز هـذا المنحنى بظهور خط افقي في نهاية المنحنى ويدعى بحـد الكـلال (Fatigue Limit) ويمثل اعلى اجهاد يسـلط علـى المعـادن الحديدية، ولا يسبب الفشل اذ يكون العمـر في هذه المنطقـة غيـر محـدد (Infinit Life).

b- منحنى (S-N Curve) للمعادن غيـر الحديديـة (Non-Ferrous Metals) :- حيث يتميز هذا المنحنى بعدم ظهـور حـد الكلال (Fatigue Limit) حيـث تسـتمر العلاقة عكسية بين الاجهاد وعـدد دورات الفشل. وفيما يلي سرد لعدد من البحـوث التي اهتمت بـالمواد المتراكبـة لسـبائك الالمنيوم :-

ففـي عـام (1998) قـام الباحـث (Smagorinski) وجماعته [9] بدراسـة الخواص الميكانيكية لمـادة متراكبـة ذات اساس من الالمنيوم مدعمـة بمـزيج مـن الحبيبات السيراميكية ومحضـرة بتقنيتـي ميتالورجيا المساحيق والرش بالبلازما، وقد تبين ان الخواص الميكانيكيـة والفيزيائيـة تكون افضل للمادة المتراكبـة المحضـرة بتقنية ميتالورجيا المساحيق مثـل معامـل المرونة ومعامل التمدد الحراري. اما المواد المتراكبة المحضرة بتقنية الرش بالبلازمـا فان خواصها تتحسن بشكل كبير عند اجراء معاملات حرارية وميكانيكية اضافية.

اما في عام (2000) فقد قـام الباحثـان (Perez & Yawny) [10] بدراسـة خاصية متانة الكسر لنوعين مـن المـواد المتراكبة، الاولـى سـبيكة (Al-Si-Mg) مقواة بنسبة (15%) من مـادة الالومينـا، والثانيـة سـبيكة (Al-Si) مقـواة بنسـبة (15%) من كاربيـد السـليكون واجريـت عملية تلدين للمادتين عند درجـة حـرارة (*340C°*) مدة (2hr) وتم اجـراء اختبـار متانة الكسر. وتوصـلا الـى ان اجـراء المعاملة الحرارية تحسن من قيمـة متانـة الكسر وكذلك الاجهاد المطلوب لنمو تقـدم الشق ذا قيمة عالية وليس هناك تأثير لدرجة حرارة الاختبار على قيم متانة الكسر.

وفي عام (2006) قام الباحث (Hamza) [11] بتحضـير سـبيكة (Al-7%Si-0.3%Mg) وتقويتها بدقائق كل من مـادة كاربيد السـليكون (SiC) ومـادة كاربيـد البورون (B4C) بكسر وزني وحجم حبيبي

مختلفين ودراسة مقاومة البلى ومقاومة الشد والصلادة لكل من سبيكة الاساس والمادةالمتراكبة المحضرة، وقد بينت النتائج ازدياد قيم كل من مقاومة البلى ومقاومة الشد والصلادة مع زيادة نسب دقائق التقوية المضافة حيث تبقى عند قيم اعلى مما هي عليه في السبيكة الاساس، في حين لوحظ ان قيم المطيلية تقل بأستمرار مع زيادة نسب دقائق التقوية المضافة. اما تأثير نوعية دقائق التقوية المضافة في الخواص الميكانيكية فقد لوحظ ان هناك زيادة ملحوظة في قيم مقاومة البلى ومقاومة الشد والصلادة بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق كاربيد البورون مقارنة مع المادة المتراكبة المقواة بدقائق كاربيد السليكون والتي اكتسبت قيماً اعلى مما هي عليه في السبيكة الاساس.

أما فيما يخص البحوث السابقة المتعلقة بدراسة خاصية الكلال لسبائك الالمنيوم فهي على النحو الاتي :-

ففي عام (2005) قام الباحث (Jamal) [12] بأعادة صهر سكراب من سبيكة (Al-Cu-Mg) واجراء معاملات حرارية مختلفة على المصبوبات الناتجة ومحاولة التقرب من خواص السبيكة المشكلة ودراسة الخواص الميكانيكية لها ومنها (فحص الكلال والشد والصلادة) حيث تم تحضير اربع مجاميع من العينات تضمنت المجموعة الاولى مصبوبات معالجة محلولياً ومبردة بالهواء ومعتقة اصطناعياً اما المجموعة الثانية فهي مصبوبات معالجة محلولياً ومبردة بالهواء ومعتقة اصطناعياً والمجموعة الثالثة
مصبوبات معالجة محلولياً ومبردة بالماء ومعتقة طبيعياً اما المجموعة الرابعة فهي مصبوبات معالجة محلولياً ومبردة بالماء ومعتقة اصطناعياً وبعد اجراء المعاملات الحرارية المختلفة للمصبوبات تم التوصل الى ان مصبوبات المجموعة الرابعة كانت ذات مواصفات ميكانيكية اعلى مقارنةً مع مصبوبات المجاميع الاخرى حيث ان بينت النتائج ان افضل مقاومة كلال للمجموعة الرابعة تزداد بنسبة (76%) بينما افضل مقاومة شد تزداد بنسبة (37%) اما افضل صلادة فتزداد بنسبة (15%).

وفي عام (2006) قام الباحث (Sarmad) [13] بتحضير سبيكة (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) وتقويتها بدقائق كل من مادة الزركونيا (ZrO2) ومادة الالومينا (Al2O3) بكسر وزني وحجم حبيبي مختلفين ودراسة مقاومة الكلال والصلادة لكل من السبيكة الاساس والمادة المتراكبة المنتجة، وقد بينت النتائج ازدياد قيم كل من الصلادة ومقاومة الكلال مع زيادة نسب دقائق التقوية المضافة حيث تبقى عند قيم اعلى مما هي عليه في السبيكة الاساس. اما تأثير نوعية دقائق التقوية المضافة في الخواص الميكانيكية فقد لوحظ ان هناك زيادة ملحوظة في قيم مقاومة الكلال والصلادة بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق الالومينا مقارنة مع المادة المتراكبة المقواة بدقائق الزركونيا والتي اكتسبت قيماً اعلى مما هي عليه في السبيكة الاساس.

2.الهدف من البحث

1- دراسة تصنيع مواد متراكبة بطريقة السباكة بالمزج وذلك بأضافة نوعين مختلفين من المواد السيراميكية وهي كاربيد السليكون (SiC) وكاربيد البورون (B4C) الى سبيكة (Al-Si-Mg) وبنسب وزنية مختلفة (0.2,0.6,1%).

2- دراسة تأثير اضافة المواد السيراميكية المذكورة في خاصية الكلال للسبيكة الاساس.

3- تضمنت الدراسة ايضاً تأثير عملية التشكيل على البارد (Cold Working) وطبيعة المعاملة الحرارية التي اجريت على العينات المحضرة لغرض فحص الكلال.

الجانب العملي

قسمت المواد المستخدمة في البحث الحالي الى مواد الاساس ومواد التقوية المستخدمة في تحضير المادة المتراكبة، حيث اختيرت سبيكة (Al-Si-Mg) كمادة اساس لما تتميز به من خصائص ميكانيكية جيدة فضلاً عن استخداماتها الواسعة. وتم استخدام نوعين من المواد السيراميكية واضافتها الى مادة الاساس بنسب وزنية مختلفة ودراسة تأثيرها على خاصية الكلال نظراً لما تتميز به هذه الدقائق من خواص ميكانيكية عالية. وقد تم اجراء عملية تجفيف للمساحيق قبل الاستخدام لازالة الرطوبة الموجودة على سطحها عند درجة حرارة ($250C^{\circ}$) لتحسين قابلية الترطيب عند اضافتها للسبيكة الاساس وهما:

a- المجموعة الاولى:- مواد متراكبة متكونة من مادة الاساس المتمثلة بسبيكة (Al-Si-Mg) مقواة بدقائق كاربيد السلسكون المختبري (α-SiC) ذات احجام حبيبية مختلفة تتراوح بين (30μm≥p.size≥0.1μm) وبنسب وزنية مختارة (1,0.6,0.2%) على الترتيب.

b- المجموعة الثانية:- مواد متراكبة متكونة من مادة الاساس المتمثلة بسبيكة (Al-Si-Mg) مقواة بدقائق كاربيد البورون المختبري (B4C) ذات احجام حبيبية مختلفة تتراوح بين (25μm≥p.size≥0.1μm) وبنسب وزنية مختارة (1,0.6,0.2%) على الترتيب.

تم تحضير السبيكة الأساس والمتكونة من (Al-7%Si-0.4%Mg) وذلك بصهر سبيكة (Al-12%Si) والمجهزة من قبل الشركة العامة للصناعات الكهربائية وبكتلة معلومة داخل بودقة من كاربيد السليكون (SiC) وبأستعمال فرن كهربائي ذي فوهة عليا، حيث اجريت عملية الصهر عند درجة حرارة ($750C^{\circ}$) لضمان اتمام عملية الصهر. وبعد التأكد من حدوث الصهر التام يتم اضافة الالمنيوم النقي (99.99%) الى السبيكة لغرض تقليل نسبة السليكون الى النسبة المطلوبة مع التحريك المستمر للمنصهر، ثم اضافة المغنيسيوم الى داخل المنصهر بعد ان تم تهيئته بشكل حبيبات صغيرة (Chips) ذات لون فضي وبنقاوة عالية جداً (99.99%) وتغليفه برقائق من الالمنيوم (Aluminium Foils) بشكل يمنع اتصالها مع الهواء تفادياً لحدوث عملية الاكسدة التي تعيق عملية الصهر والسباكة. وتغمر داخل المنصهر مع تثبيت درجة حرارة الفرن للحفاظ على سيولة المنصهر لحين اكتمال ذوبانية المغنيسيوم مع المنصهر، ثم تتم مجانسة المنصهر بواسطة قضيب من الكرافيت، مع التحريك المستمر للمنصهر لحين التجانس. ثم اضافة كلوريد الالمنيوم (AlCl4) بشكل مسحوق الى المنصهر حيث يعمل على طرد الغازات وازالة الخبث نتيجة لتفاعله مع المنصهر وتكوين طبقة الخبث التي تعلو سطح المنصهر والتي تزال من السطح. بعدها تتم عملية صب منصهر السبيكة في قوالب اسطوانية الشكل من الحديد الصلب ذات قطر (1.5Cm) وارتفاع (13Cm) مع ملاحظة التسخين المسبق للقالب الى درجة حرارة ($250C^{\circ}$) لمنع حدوث التبريد المفاجئ للمنصهر، وبعد تجمد المنصهر بشكل تام تخرج الصبة من القالب للحصول على السبيكة الاساس، وقد اجريت عملية التحليل الكيميائي للسبيكة الاساس في شركة نصر العامة للصناعات الميكانيكة والجدول رقم (1) يبين مكوناتها.

بينما حضرت المادة المتراكبة بطريقة السباكة بالمزج (Stirring Casting) وباستخدام تقنية الدوامة (Vortex Technique) وعليه تم تقطيع السبيكة الاساس الى قطع صغيرة لغرض تحديد

الوزن المطلوب منها استناداً الى الكسر الوزني لمادة التقوية لكل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون وللنسب المطلوبة (0.2,0.6,1%). ثم تم وضع القطعالموزونة داخل البودقة وادخلت الى الفرن الكهربائي الذي تم تثبيته عند درجة حرارة ($750C^{\circ}$) لضمان انصهار السبيكة بشكل تام. ولتجانس توزيع دقائق المواد السيراميكية المضافة داخل المنصهر استعمل لهذا الغرض خلاط كهربائي مزود بمروحة مصنعة من مادة مقاومة للصدأ، ثم انزل الخلاط الكهربائي الى داخل البودقة الموجودة داخل الفرن المثبت عند الدرجةالحرارية للحفاظ على سيولة المنصهر، وتم تدوير المنصهر بسرعة (900r.p.m) للحصول على دوامة داخله، وبعد ذلك تم اضافة الدقائق السيراميكية التي تم تغليفها برقائق من الالمنيوم والمسخنة مسبقاً الى درجة حرارة ($250C^{\circ}$) لازالة الرطوبة وتحسين تشتيت الدقائق داخل المنصهر. ونتيجة لفعل الدوامة يتم سحب مسحوق الدقائق السيراميكية الى داخل المنصهر المعدني وتوزيعه خلاله، وبعدها يتم تحريك المنصهر لمدة تتراوح بين (1-4min) لحين تجانس المنصهر الذي يكون بشكل عالق، بعدها تم عملية الصب في قالب من الفولاذ الذي تم تسخينه مسبقاً الى درجة حرارة ($250C^{\circ}$) لمنع حدوث التبريد المفاجئ للمنصهر ثم يترك ليتجمد للحصول على المادة المتراكبة حيث ترفع العينات من القالب وتكون على شكل قضبان اسطوانية الشكل ذات قطر (1.5Cm) وطول (13Cm). تكرر العملية عدة مرات وفقاً للنسب المطلوب اضافتها الى السبيكة الاساس لكل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون.

ولغرض التجانس الحراري والتخلص من بعض عيوب السباكة وضمان توزيع الاطوار بشكل متجانس في الصبة فقد اجريت المعاملة المحلولية للنماذج المحضرة لكل من السبيكة الاساس والمادة المتراكبة المنتجة اذ ان الغرض الرئيسي من المعاملة المحلولية هو تحقيق الاهداف الاتية [15,14]:-

1- الحصول على بنية منتظمة خلال المسبوكة.

2-ازالة الاجهادات الداخلية الناشئة من الظروف الحرارية او التقلص اثناء التجمد.

3- تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة وتحسين استقرارية الابعاد.

فقد تم اجراء المعاملة المحلولية بدرجة حرارة ($520C^{\circ}$) مدة (1hr) ثم الاخماد بالماء البارد، بعدها تم اجراء عملية التشكيل على البارد (التصليد الانفعالي) من اجل تقوية السبائك المطيلية وذلك من خلال ادخال شبكة انخلاعات في المادة والتي تتداخل مع استمرار حركة الانخلاعة ولقد تم اجراء عملية التشكيل على البارد لسبيكة البحث الحالي ولعينات مدعمة بدقائق كاربيد السليكون من جهة ولعينات مدعمة بدقائق كاربيد البورون (B4C) من جهة اخرى وذلك بتسليط حمل مقداره (5tons) حيث تم تسليط الحمل بطريقة الدرفلة (Rolling) على نماذج عينات فحص الكلال، ثم تبع عملية التشكيل على البارد عملية التعتيق الصناعي بدرجة حرارة ($150C^{\circ}$) ولمدة (2hr) ومن ثم تبعها تعتيق صناعي بدرجة حرارة ($170C^{\circ}$) والابقاء لفترات زمنية مختلفة ما بين (5-0.5hr).

تم تشغيل العينات المحضرة لفحص الكلال في شركة نصر العامة للصناعات الميكانيكية وعلى مكائن (CNC) وحسب المواصفات القياسية للعينة وقبل اجراء فحص الكلال اجريت عملية تنعيم وصقل لسطح العينة وعلى مرحلتين حيث تضمنت المرحلة الاولى استخدام ورق تنعيم من كاربيد السليكون وبدرجة نعومة (1200,100,.800,500,320) اما المرحلة الثانية فقد تم فيها استخدام معلق الماس (DP-Suspension) مع القماش الخاص به. لقد تم اجراء فحص الكلال في قسم هندسة المكائن والمعدات في الجامعة التكنولوجية وقد استخدم جهاز من نوع

Hsm 19mk3 , HI-TECH England) Company) والذي يعمل بطريقة الانحناء الدوار (Wohler Rotating Bending)، حيث يتم تعريض عينة الاختبار الى الاجهاد عن طريق عزم انحناء حيث يبقى اجهاد الانحناء ثابتاً طيلة فترة الانحناء (R=-1) ويتم تسليط الحمل على النهاية الحرة للعينة والذي يكون عمودياً على محورها السيني (X-axis) وهذا بدوره يعرض سطح العينة الى اجهاد شد واجهاد ضغط خلال الدوران.

النتائج والمناقشة

من البيانات التي حصل عليها من جهاز فحص الكلال تم انشاء منحنى (S-N)، حيث يمثل محور (y-axis) سعة الاجهاد (Stress Amplitude "Sa") اما محور (x-axis) فيمثل لوغارتيم عدد دورات الفشل (Cycle to Failure "Nf") ولكافة السبائك المحضرة. ويلاحظ من الشكلين (1) و (2) زيادة عدد دورات الفشل كلما قلت سعة الاجهاد المسلط، فقد لوحظ عند سعة الاجهاد العالية يكون عدد دورات الفشل قليلة نتيجة التشوه المرن-اللدن الذي يحدث على سطح المعدن وهذا يؤدي الى نمو الشق الذي يؤدي الى الفشل، حيث ميكانيكية الفشل هذه تدعى ميكانيكية الكسر المرن اللدن (Elastic-Plastic Fracture Mechanism "E.P.F.M")، اما عندما تكون سعة الاجهاد قليلة فأن عدد الدورات المؤدية الى الفشل تكون عالية نتيجة الفشل المرن المعروف بميكانيكية الكسر الخطي المرن (Linear Elastic Fracture Mechanism "L.E.F.M"). [16]

وبالاعتماد على تلك النتائج تم انشاء منحنيات الكلال والمبينة في الشكلين (1) و (2) لكل من سبيكة الاساس والسبائك المقواة بدقائق كاربيد البورون من جهة ودقائق كاربيد السليكون من جهة اخرى وبنسب وزنية مختارة (1,0.6,0.2%) على الترتيب، وقد تم اجراء المعاملة المحلولية عند درجة ($520C^{\circ}$) مدة (1hr) ثم اجراء عملية التشكيل على البارد (Cold Working) ويتم حساب اجهاد الانحناء من خلال العلاقة الاتية:- [16]

$$\sigma b = 20 * P \ (MPa) \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث ان:-

σb: اجهاد الانحناء (MPa).

P: الحمل المسلط (N).

ومن ثم اجراء عملية التعتيق المزدوجة والمتمثلة بالتعتيق الاولي عند درجة ($150C^{\circ}$) مدة (2hr) ثم تبعها تعتيق عند درجة ($170C^{\circ}$) مدة تتراوح بين (0.5-5hr) لكافة النماذج المحضرة لهذا الفحص. ويلاحظ من الشكلين السابقين ان تقوية سبيكة الاساس بدقائق كاربيد البورون او كاربيد السليكون ادى الى زيادة مقاومة الكلال عما هي عليه في سبيكة الاساس وان معدل الزيادة يزداد مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة، ان الزيادة في قيم مقاومة الكلال للسبائك المقواة بدقائق التقوية يعود الى طبيعة هذه الدقائق الصلدة والموزعة في سبيكة الاساس بأحجام جزيئية مختلفة والتي تعمل على زيادة متانة السبيكة خلال اليه الاصلاد بالتشتيت من جراء وجود دقائق ذات احجام حبيبية صغيرة جداً وخاصة تلك التي يقل حجمها الحبيبي عن (1μm) وكذلك من خلال تواجد الدقائق الاكبر حجماً والتي تعمل كعوائق لتشوه سبيكة الاساس وذلك بسبب صلادتها العالية وعليه فأن كلا الاليتين سوف تعملان على عرقلة حركة الانخلاعات وبالتالي زيادة متانة المادة مما ادى الى تزايد عدد دورات الفشل للسبائك المقواة بهذه الدقائق، ولتوضيح دراسة تأثير النسب الوزنية المضافة من دقائق التقوية في دورات الفشل للسبائك المحضرة تم انشاء العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسب الوزنية المضافة من دقائق التقوية بثبوت الاجهاد المسلط والبالغ (300MPa,180MPa,60MPa) والمتمثلة

بالاشكال(3) و (4) و (5) على الترتيب.
حيث نلاحظ من هذه الاشكال ان معدل الزيادة في قيم مقاومة الكلال متناظراً في كلا المجموعتين (السبائك المقواة بكاربيد البورون وكاربيد السليكون) سوى فارق زيادة قليلة في عدد دورات الفشل (Nf) بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق كاربيد البورون مقارنة مع المادة المتراكبة المقواة بدقائق كاربيد السليكون ويعود سبب ذلك الى الخواص الميكانيكية العالية التي تتمتع بها دقائق كاربيد البورون مقارنة مع دقائق كاربيد السليكون حيث تبلغ مقاومة الشد القصوى (U.T.S) لدقائق (B4C) ودقائق (α-SiC) (6.5GPa) ، (3GPa) على الترتيب بينما تبلغ صلادة فيكرز (Vickers Hardness) لدقائق (B4C) ودقائق (α-SiC) (3200Kg/mm^2) ، (2600Kg/mm^2) على الترتيب [17].
ان الزيادة في عدد دورات الفشل للسبائك المقواة عند فحص الكلال يمكن ان ينسب الى وجود دقائق صلدة والمتمثلة بدقائق كاربيد البورون او دقائق كاربيد السليكون في سبيكة الاساس بنسب وزنية مختلفة سيعمل على تغيير بعض العوامل مثل المسافة بين الدقائق (Dp) علاوة على معدل المسار الحر (m.f.p) وطبقاً للعلاقتين الاتيتين:- [18]

$$Dp = (2d^2\backslash 3Vp) * (1-Vp) \ldots\ldots (2)$$

$$m.f.p = (2d\backslash 3Vp) * (1-Vp) \ldots (3)$$

حيث ان:
d: حجم الدقائق.
Vp: الكسر الحجمي للدقائق المضافة.
ان وجود مثل هذه الدقائق ستعمل على اعاقة حركة الانخلاعة وسوف يكون معدل الاعاقة اكبر عند زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة. وعليه لكي تمر الانخلاعة خلال الدقائق المشتتة في طور سبيكة الاساس فأن الاجهاد المسلط يجب ان يكون كافياً لحني الانخلاعة، وفضلاً عن ذلك فأن الاجهاد المطلوب لحني الانخلاعة (Ti) يتناسب عكسياً مع المسافة بين الدقائق (Dp) وحسب العلاقة الاتية:- [18]

$$Ti = (Gm*b') * Dp \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث ان:
Gm: معامل القص للمادة الاساس.
b′: متجه بيرجر.
وعند التشتيت المتجانس لدقائق التقوية سوف تقل المسافة بين الدقائق (Dp) مع زيادة نسب الدقائق المضافة وعليه سوف يحتاج الى اجهاد اكبر لمرور الانخلاعة خلال الدقائق [19]، وبالتالي زيادة مقاومة الكلال من خلال زيادة عدد دورات الفشل عند اجهاد مسلط ثابت وهذا ما بينته نتائج فحص الكلال من خلال الاشكال (3) و (4) و (5) عند اجهاد تحميل ثابت مقداره (60MPa) ، (180MPa) ، (300MPa).

الاستنتاجات

ان اهم الاستنتاجات المستنبطة من خلال البحث الحالي هي:
1- إن اضافة دقائق كاربيد البورون (B4C) من جهة ودقائق كاربيد السليكون (SiC) من جهة اخرى وتشتيتها في بنية السبيكة الاساس ادى الى زيادة مقاومة الكلال للسبيكة الاساس مع تغير الاجهاد المسلط، وان زيادة المقاومة تزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق.
2- ان قيم مقاومة الكلال للمادة المتراكبة المنتجة اعلى مما هو عليه في السبيكة الاساس كما وتزداد هذه القيم مع زيادة

النسب الوزنية لـدقائق التقويـة المضـافة لسبيكة الاساس.
3-ان قيم مقاومة الكلال للمـادة المتراكبـة المقواة بدقائق كاربيد البورون هي اعلى من قيم مقاومة الكلال للمادة المتراكبة المقـواة بدقائق كاربيد السليكون ولكن في كلتا الحالتين تكون ذات خواص ميكانيكية اعلى مما هي عليـه فـي السـبيكة الاسـاس.

المصادر

[1-]G.Piatti, "Advance in Composite Materials", Applied Science Publishers LTD , (1978).

[2-] K.King, "Aluminium and its Alloys", Ellis Horwood Ltd. (London), (1987).

[3-] I.J.Polmer , " Light Metals" , Edward Arnold (London) , (1989).

[4-] P.G.Mickel , "Fundamentals of Modern Manufacturing" , New Jersey (1996).

[5-] Bolton , W. "Engineering Materials Technology" Third ed. , Worth-Heinemann Publication , England , (1998).

[6-] R.L.Norton "Machin Design An Integrated Approach" Prentic-Hall , USA , (1998).

[7]- M. Abd-Latif , "Fatigue Under Combined Stresses" M.S.C.Thesis , University of Technology College of AL-Rasheed , (1994).

[8-] O.Arif , "Corrosion Fatigue Behaviour for Aluminium Alloy (Al-Mg3)" M.S.C.Thesis , University of Technology Mechanical Engineering Department , (2000).

[9-] M.E.Smagorinski , S.Greier , A.Cavasin , and G. Kim , "The Properties and Microstructure of Al-based Composite Reinforced with Ceramic Particles", J.Mat. Sci. and Eng. A244 (1998).

[10-] J. E .Perez and A. A .Yawny , "Fracture Toughness in Metal]

[11-] حمزة مصـطفى كـمال الجنـابي، "تقوية سبيكة (Al-Si-Mg) بأضافة مـواد سيراميكية" ، رسالة ماجستير، قسم هندسـة المواد، الجامعة التكنولوجية، (2006).

[12-] جمال جلال داود، "دراسـة تحسـين الخواص الميكانيكيـة لمصـبوبات سـبيكة الالمنيوم- نحاس بأستعمال معدلات تبريـد ومعاملات حرارية مختلفة" رسالة ماجستير، قسم الهندسة الميكانيكية في كليـة الرشـيد، الجامعة التكنولوجية، (2005)

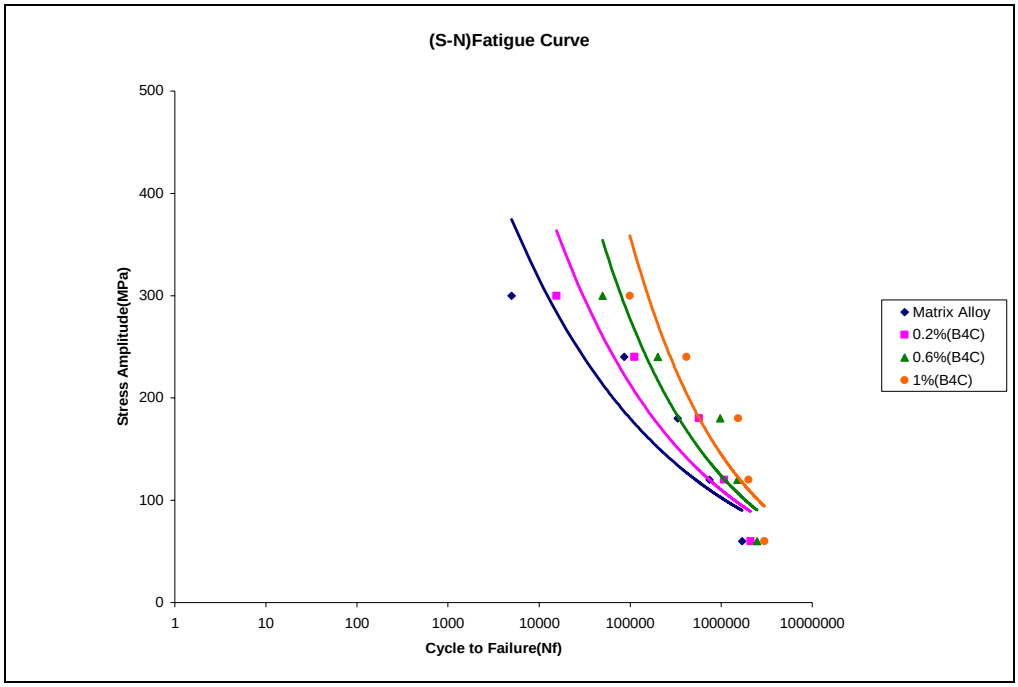
[13-] سرمد عماد ابراهيم، "دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمتراكبات ذات اسـاس من سبيكة (Al-Cu-Mg) مدعمة بحبيبـات سيراميكية" ، رسالة ماجستير، قسم هندسـة المواد، الجامعة التكنولوجية، (2006).

Kluwer Academic Publishers , (1988).
[17-] S. Ukissmiya , "Advance Technical Ceramics" , Academic Press. Inc. (1984).
[18-] D. A. Porter and K. E. Easterling "Phase Transformations in Metals and Alloys" 2nd. Ed. Champan and Hall India (1992).
[19-] D.A. Porter and K. E. Easterling " Phase Transformations in Metals and Alloys" 2nd. Ed. Champan and Hall India (1992).

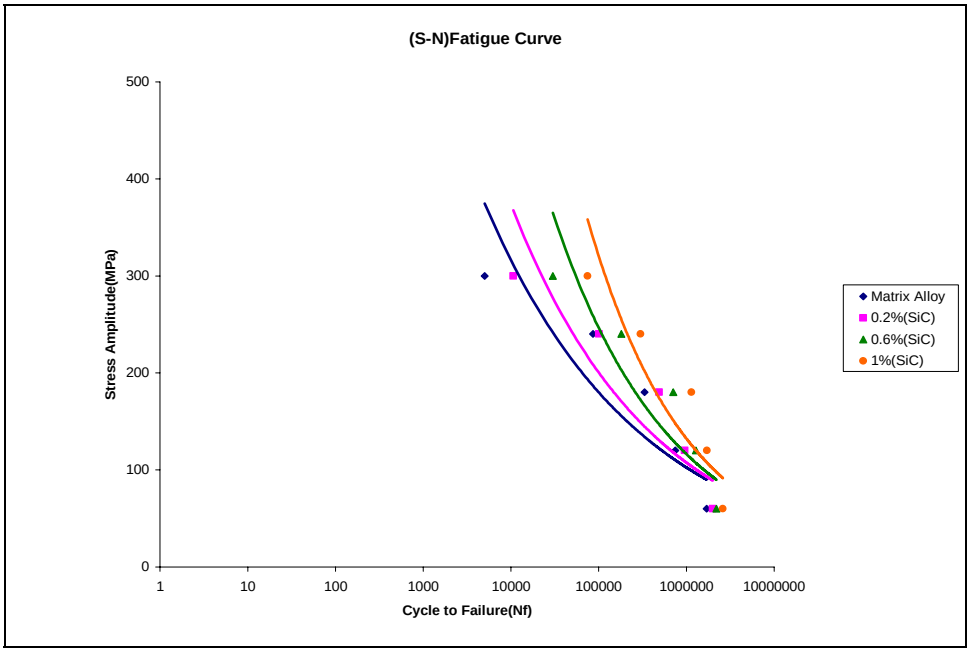
[14-] J.G. Sylvia, "Cast Metals Technology", by Addition Wesley Comp. Inc, (1973).
[15-] T.V. Rajan and C.P. Sharma , "Heat Treatment: Principles and Techniqes ", Prentic Hall of India, private Ltd. (1997).
[16-] De Los Rios , E.R., " Experimental Techniques to Observe and Monitor Short Fatigue Cracks ", Advances in Fatigue Science and Technology , Vol. 159, Branco , C.Moura and L.Guerra Rosa , Published by

جدول (1): يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة الأساس بعد الصب.

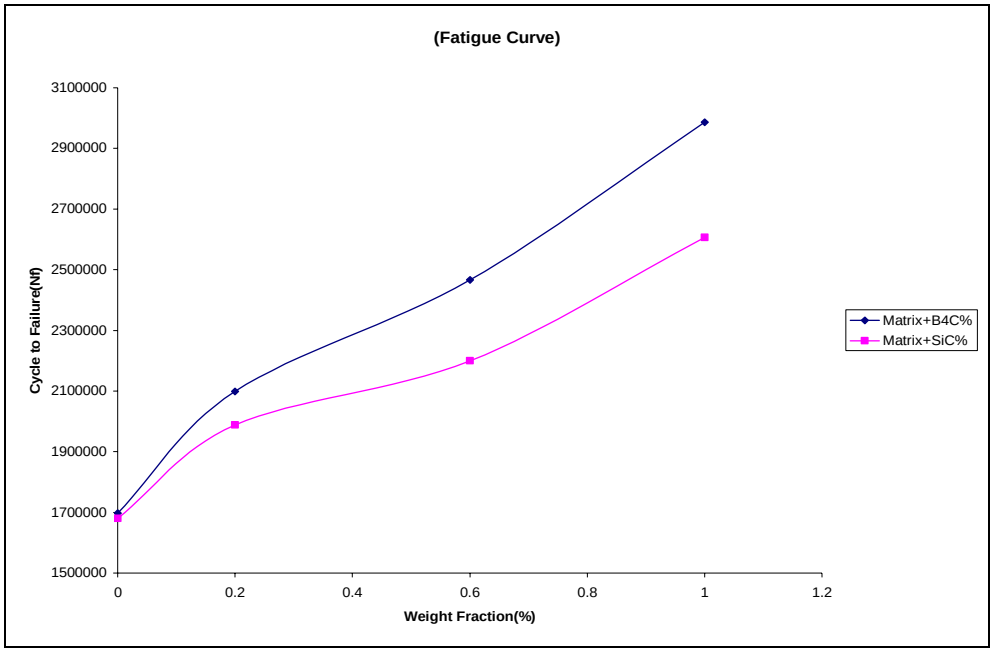
العنصر	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb	Al
النسبة المئوية (%)	7.2	0.41	0.15	0.05	0.45	0.025	0.009	0.01	0.004	0.02	0.008	0.023	Rem (%)



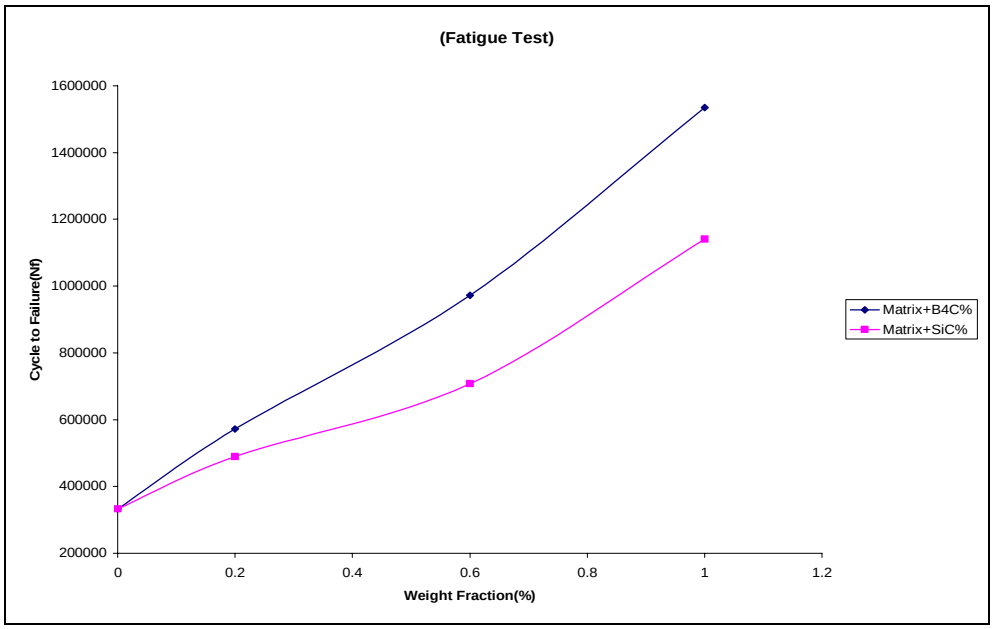
شكل (1): يوضح العلاقة بين سعة الاجهاد وعدد دورات الفشل لكل من السبيكة الاساس والسبائك المقواة بدقائق كاربيد البورون وبنسب وزنية (1,0.6,0.2%).



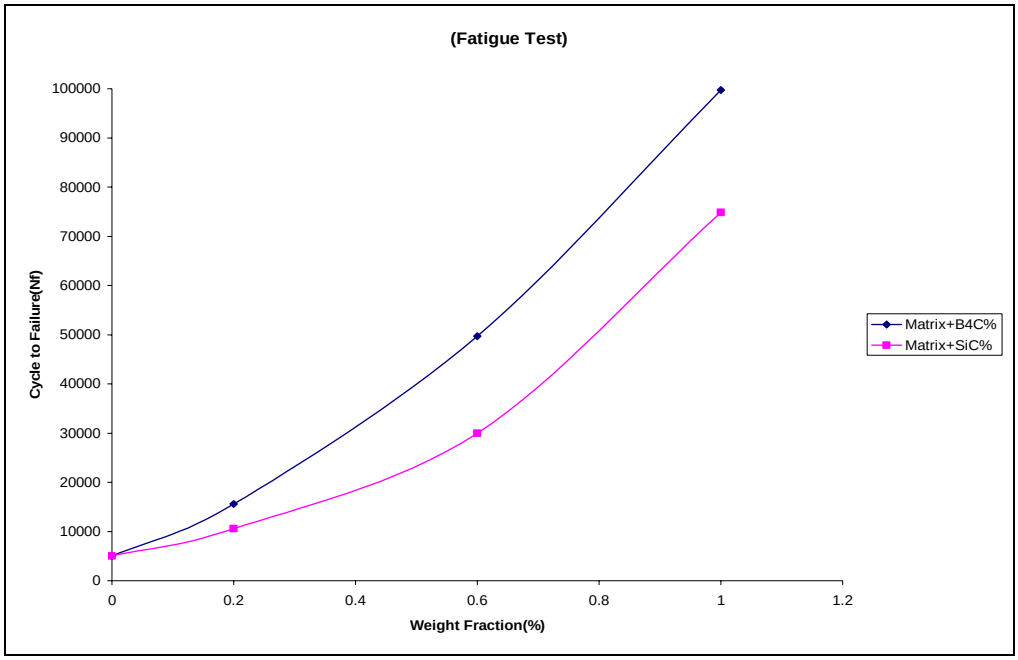
شكل (2): يوضح العلاقة بين سعة الاجهاد وعدد دورات الفشل لكل من السبيكة الاساس والسبائك المقواة بدقائق كاربيد السليكون وبنسب وزنية (1,0.6,0.2%).



شكل (3): يوضح العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسب الوزنية لدقائق التقوية المضافة بثبوت الاجهاد المسلط والبالغ (60MPa).



شكل (4): يوضح العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسب الوزنية لدقائق التقوية المضافة بثبوت الاجهاد المسلط والبالغ (180MPa).



شكل (5): يوضح العلاقة البيانية بين عدد دورات الفشل والنسب الوزنية لدقائق التقوية المضافة بثبوت الاجهاد المسلط والبالغ (300MPa).