

## دراسة البلى لمتراكبات ذات أساس من سبيكة (Al-Cu-Mg) المقواة بحبيبات سيراميكية

م.م. سرمد عماد إبراهيم حسين  
قسم هندسة المواد  
الجامعة التكنولوجية، بغداد،  
العراق

### الخلاصة

تناول البحث الحالي تحضير قضبان طولها (13Cm) وقطرها (1.5Cm) من مواد متراكبة ذات أساس معدني تمثل بسبيكة (Al-Cu-Mg) مقواة بدقائق الزركونيا (ZrO<sub>2</sub>) من جهة ودقائق الالومينا (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) من جهة أخرى ونسب وزنية مختارة هي (1,3,5%). حضرت سبيكة الأساس والمادة المتراكبة بطريقة السباكة بأستخدام تقنية الدوامة (Vortex Technique) لتشتيت دقائق التقوية في أرضية سبيكة الأساس. تم تحضير مجموعتين رئيسيتين من المواد المتراكبة بالاعتماد على نوعية مواد التقوية، حيث تضمنت المجموعة الأولى (a) مادة متراكبة مقواة بدقائق الزركونيا والمتمثلة بالأحجام الحبيبية (0.05µm ≤ particle size ≤ 25µm) بينما تضمنت المجموعة الثانية (b) مادة متراكبة مقواة بدقائق الالومينا والمتمثلة بالأحجام الحبيبية (0.1µm ≤ particle size ≤ 30µm). تم إجراء فحص البلى لكل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة المنتجة، وتضمنت الدراسة أيضاً دراسة تأثير المعاملة الحرارية المحلولة عند درجة (495 °C) وعملية التشكيل اللاحقة فضلاً عن عملية التعتيق المزدوجة التي أجريت على النماذج المحضرة لفحص البلى والمتمثلة بالتعتيق الأولي عند درجة (150 °C) لمدة ساعتين ثم تبعها تعتيق عند درجة (170 °C) خلال فترات مختلفة. أظهرت النتائج نقصان قيم معدل البلى مع زيادة نسب دقائق التقوية المضافة حيث تبقى عند قيم أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس، أما تأثير نوعية دقائق التقوية في تلك الخاصية فقد لوحظ إن هنالك زيادة ملحوظة في قيم مقاومة البلى بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق الالومينا مقارنة مع المادة المتراكبة المقواة بدقائق الزركونيا والتي اكتسبت قيماً أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس.

### Abstract

*The present 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-Cu-Mg) cast reinforced by (ZrO<sub>2</sub>) or (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) particles with choosen weight percentages (1,3,5%). The matrix alloy and the composite materials were prepared by casting method using vortex technique in order to disperse reinforced particles in homogeneous way on the matrix alloy.*

*In addition to that, two main groups of composite materials, the first group included composite material reinforced by (ZrO<sub>2</sub>) particles with by the particle size (0.05µm ≤ p.size ≤ 25µm) while the second group included composite material reinforced by (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) particles represented by the particle size (0.1µm ≤ p.size ≤ 30µm).*

*Wear tests were conducted on matrix alloy and on composite materials. The effect of solution heat treatment at (495°C) for (4hr) and the following forming process were studied. Double aging process were made for the prepared model of wear test and included the aging at (150°C) for (2hr) and then aging at (170°C) for different periods.*

*Results showed that wear rate decreases with increasing reinforced particle sizes, but staying at higher values than that for the matrix alloy, The effect of reinforced particles type on this property was noted. There was a specified increase in the wear resistance of composite material reinforced by (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) particles in comparison with the reinforced by (ZrO<sub>2</sub>) particles. Their values were more than in the matrix alloy.*

## ١. المقدمة

تتعرض السبائك المستخدمة في صناعة المعدات المدنية والأسلحة العسكرية إلى كثير من المشاكل وذلك بسبب انخفاض مقاومة هذه السبائك (تغير الخواص الميكانيكية) عند تعرضها إلى ظروف العمل بتحميل عالٍ وإحدى هذه السبائك هي سبيكة البحث الحالي نوع ديور الومين (Duralumin2024) والمكونة من (Al, Cu%4.5, Mg%1.5). تم اختيار هذه السبيكة لاحتوائها على عنصر الألمنيوم والذي يعتبر من أوسع المعادن اللاحديدية استعمالاً لكونه الثاني بعد الصلب استهلاكاً في العالم حيث ينتج بنوعيه النقي والمسبك، ولزيادة مقاومة الألمنيوم يتم إنتاج سبائك بإضافة عناصر السبك ومن أهمها (النحاس والسيلكون والمغنيسيوم والمنغنيز والخراسين) والتي تضاف بنسبة لا تتجاوز (5%)<sup>[1]</sup>.

وتعد سبيكة (Al-Cu-Mg) إحدى سبائك الألمنيوم المهمة حيث تكتسب هذه السبيكة بعد المعاملة الحرارية خواص ميكانيكية عالية نتيجة قابليتها على الاصلاد بالترسيب (Precipitation Hardening)، لذلك تركزت الدراسات والبحوث حول استخدام هذه السبائك في تصنيع أجزاء مختلفة كالمحركات والقضبان ومحاولة إنتاج مواد متراكبة من سبائك الألمنيوم مع مواد تقوية سيراميكية لغرض تحسين خواص الاصلاد بالتعتيق لهذه السبائك<sup>[2]</sup>.

وفي نهاية التسعينات من القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين أجريت تحسينات كبيرة على طرائق تصنيع المواد المتراكبة ذات الأساس المعدني (Metal Matrix Composite) فقد تم استخدام تكنولوجيا المساحيق والسباكة بالعصر وطريقة الترشيح (Infiltration) للحصول على مواد متراكبة تتحمل ظروف التشغيل من درجة حرارة واحتكاك عاليتين. كما اتجهت البحوث إلى دراسة تأثير عناصر السبك المضافة في آلية تعديل وتحسين مواصفات المواد المتراكبة ذات الأساس المعدني وتضاربت النتائج حول تأثير حجم وشكل مواد التقوية المضافة في آلية التصليد بالتشئيت لهذه الدقائق فقسم من الباحثين يشير إلى إن إضافة مواد التقوية تؤدي إلى تحسين قابلية الاصلاد بالتعتيق بينما يشير البعض الآخر إلى عدم تأثير هذه المواد في آلية تصليد هذه السبائك<sup>[3]</sup>.

يعد تحديد طرق التصنيع من أهم متطلبات نجاح المواد المتراكبة ذات الأساس المعدني والمقاومة بالمواد السيراميكية لعدم ملائمة طرق السباكة التقليدية. حيث تم استخدام تقنية السباكة بالمزج الميكانيكي والتي تعتمد على مبدأ التحريك الميكانيكي للمنصهر وتكوين دوامة داخله والتي تعمل على تشئيت الدقائق بصورة متجانسة تقريباً داخل المنصهر، إن كمية مادة التقوية المحتفظ بها من قبل المنصهر ونوعية التشئيت تعتمد على عدة عوامل مثل درجة حرارة المنصهر وخواص مادة التقوية وسرعة الخلط<sup>[4,5]</sup>.

يعرف البلى على أنه الفقدان التدريجي من أحد السطحين المتلامسين أو كليهما عندما يكونان تحت تأثير حركة نسبية. ويمكن تعريفه على أنه التغير الحاد في مظهر السطح وإزالة المادة منه<sup>[6]</sup>. يعد البلى أحد المشاكل الصناعية الرئيسية الثلاثة إلى جانب الكلال والتآكل لما يسببه من خسائر مادية كبيرة نتيجة لتبديل الأجزاء المتضررة وتقليل الكفاءة للمواد الهندسية<sup>[7]</sup>. لا يعد البلى خاصية جوهرية للمادة لكنه يعد صفة مميزة للنظام الهندسي إذ إن أي تغير بسيط في الحمل أو السرعة أو الظروف البيئية على سبيل المثال يمكن أن يسبب تغيراً كبيراً في معدل البلى لأحد أو كلا السطحين المتلامسين. وبالرغم من كون ظاهرة البلى تسبب الكثير من الضرر للأجزاء الهندسية إلا إنها في نطاق آخر تعد ظاهرة مفيدة كما في عمليات الصقل والقطع والبرادة والتجليخ<sup>[8]</sup>.

تلعب عمليات الطلاء والمعاملات الحرارية دوراً في تحسين مقاومة البلى كما إن التزبييت يكون الوسيلة لحفظ السطوح بوساطة عزلها بطبقة رقيقة تؤدي إلى تقليل البلى<sup>[8]</sup>. تعد تقنية إضافة المواد السيراميكية ذات الصلادة العالية إلى المعادن وسبائكها من أهم التقنيات الحديثة لتقليل ظاهرة البلى بشكل كبير في المعادن والسبائك. تقسم ظاهرة البلى صناعياً إلى الأنواع الآتية:

- a- البلى الاحتكاكي (Abrasive Wear).
- b- البلى الالتصاقي (Adhesive Wear).
- c- بلى التعرية (Erosion Wear).

d- بلى السحق (Fretting Wear).

أما أهم العوامل المؤثرة في البلى فهي على النحو الآتي:

- تأثير الحمل (Load Effect).
- تأثير الأغشية السطحية (Effect of Surface Film).
- تأثير درجة الحرارة (Effect of Temperature).
- تأثير التركيب البلوري (Effect of Crystal Structure).
- تأثير الصلادة (Effect of Hardness).
- تأثير التوافقية (Effect of Compatibility).

يتطلب تطور وتقدم استخدامات المواد المترابكة وبالأخص ذات الأرضية المعدنية والمقواة بالمواد السيراميكية وبأشكالها المختلفة (دقائق، شعيرات، ألياف) الإلمام بطرق تصنيع هذه المواد ومتغيراتها. ومعالجة مشكلة غياب التبللية (Wettability) بين طور التقوية والوسط والتي تؤدي إلى انعزال الدقائق. ودراسة تأثير إضافة هذه المواد على الخواص المختلفة للمواد الهندسية نظراً لأهمية هذه المواد التي أخذت تدخل في مختلف الصناعات المدنية والعسكرية وفي شتى مجالات التكنولوجيا [9]. وفيما يلي استعراض لعدد من البحوث التي اهتمت بالمواد المترابكة لسبائك الألمنيوم.

ففي عام (1982) درس الباحثان (Banerji and Rohatgi) [10] تأثير التسخين المسبق للدقائق السيراميكية في درجة حرارة تتراوح بين (500-700 °C) ومن ثم إضافتها وهي ساخنة إلى منصهر الألمنيوم. وقد تبين إن التسخين المسبق يؤدي إلى زيادة نسبة الدقائق السيراميكية المحتفظ بها من قبل المنصهر وبالتالي إمكانية تشتيتها. تم استخدام أنواع متعددة من الدقائق السيراميكية.

أما في عام (1989) قام الباحث (Kamat) [11] بتقوية سبيكتي (Al-4%Cu) و (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) وذلك بتقوية الأولى بدقائق الالومينا بحجم حبيبي (5-15µm) والثانية بحجم حبيبي (5-50µm) وبنسب وزنية مختلفة وأوضحت النتائج:

- ازدياد مقاومة الشد والخضوع للسبائك مع زيادة النسبة الوزنية لدقائق الالومينا المضافة مع ثبوت الحجم الحبيبي.
- انخفاض قيم كل من مقاومة الخضوع والشد والانفعال عند الكسر مع زيادة حجم الدقائق المضافة للسبيكتين.

وفي عام (1998) قام الباحث (Gang) [12] بتحضير المادة المترابكة المتكونة من (Al-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ولكن بتقنية مختلفة وذلك بإدخال نسبة (60%) من الألمنيوم النقي و (40%) من أكسيد النحاس ومن ثم إحداث تفاعل كيميائي بينها عند درجات حرارة عالية وفترات مختلفة ونتيجة التفاعل تتكون المادة المذكورة بأحجام حبيبية (>1µm) لدقائق الالومينا وهي مناسبة لحصول التقوية إلا إن توزيعها يكون غير متجانس بشكل كافٍ ضمن مادة الأساس.

وفي العام ذاته قام الباحث (Smagorinski) وآخرون [13] بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة مترابكة ذات أساس من الألمنيوم ومدعمة بمزيج من الحبيبات السيراميكية ومحضرة بتقنيتي ميتالورجيا المساحيق والرش بالبلازما، وقد تبين إن الخواص الميكانيكية والفيزيائية تكون أفضل للمادة المترابكة المحضرة بتقنية ميتالورجيا المساحيق مثل معامل المرونة ومعامل التمدد الحراري. أما المواد المترابكة المحضرة بتقنية الرش بالبلازما فأن خواصها تحسن بشكل كبير عند إجراء معاملات حرارية وميكانيكية إضافية.

في عام (2000) قام الباحث (Shamkhy) [14] بدراسة تحسين قابلية تبلل دقائق (SiC) بسائل الألمنيوم بعدة آليات وتوصل إلى إن هنالك تأثيراً واضحاً لحجوم الدقائق في قابلية التبلل كما إن إضافة المغنيسيوم واستعمال الموجات فوق الصوتية يحسن من هذه القابلية، واستنتج أيضاً تحسن بعض الخواص مثل الصلادة ومقاومة البلى والانضغاط مع إضافة الدقائق المدعمة وإلى حد معين.

أما في عام (2001) حضر الباحث حازم [15] مادة مترابكة (Al-4%Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO) ودرس تأثير إضافة دقائق المغنيسيا في تبللية الالومينا مع سبيكة (Al-Cu) وبالتالي تأثيرها في بعض الخصائص الميكانيكية وأظهرت النتائج إن أفضل نسبة مغنيسيا مضافة إلى خليط المسحوق (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO) كانت بنسبة (14%) ولاحظ بان مقاومة الشد القصوى والصلادة تزداد مع زيادة نسبة الالومينا إلى حد (0.5wt%) بعده تسلك المادة سلوكاً مغايراً ولكنها تبقى عند قيم أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس، بينما تقل المطيلية باستمرار مع زيادة نسبة الالومينا المضافة. وعلاوة على ذلك وجد إن زيادة الحجم الحبيبي يؤدي إلى نقصان في مقاومة الشد القصوى والصلادة بينما تزداد المطيلية مع زيادة الحجم الحبيبي ولكنها تبقى أقل من مطيلية المادة الأساس.

وفي العام ذاته قام الباحث عدنان [16] بإنتاج مادة مترابكة ذات أساس (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) وبتقنية السباكة حيث تم تشتيت دقائق الالومينا فيها ومن ثم إجراء معاملة حرارية محلولية عند درجة حرارة (575°C) ولمدة (1hr) ثم اجري التعتيق عند درجة حرارة (190°C) وبأزمان مختلفة واستنتج بأن إضافة الالومينا يؤدي إلى زيادة الصلادة ونقصان معدلات البلى، كما لاحظ إن مدة التعتيق المطلوبة للوصول إلى أقصى صلادة تزداد مع زيادة الالومينا، ومن خلال فحص البنية المجهرية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح تبين إن الالومينا تتوزع في سبيكة الأساس بشكل متجانس على الحدود البلورية. كما لاحظ من خلال فحص حيود الأشعة السينية نقصان نسب الطور المترسب (CuAl<sub>2</sub>) مع زيادة نسب الالومينا المضافة.

وفي عام (2003) قامت الباحثة ندى [17] بدراسة تأثير عملية التشكيل والمعاملة الحرارية في بعض الخواص الميكانيكية للمادة المترابكة حيث قامت بتحضير سبيكة الأساس (Al-4%Cu-1.1%Mg) مقواة بدقائق كربيد السليكون بنسب مختلفة (10,5%) بطريقة السباكة حيث أظهرت النتائج إن قيم الصلادة للمادة المترابكة أعلى من السبيكة الأساس وتزداد قيم الصلادة مع زيادة نسبة الدقائق المضافة، أما نتائج فحص الصدمة فقد لوحظ إن قيم مقاومة الصدمة تنخفض مع زيادة نسبة دقائق كربيد السليكون المضافة، ومن نتائج اختبار الشد فقد لوحظ إن قيم مقاومة الشد للسبيكة الأساس أعلى من قيم مقاومة الشد للمادة المترابكة ولكن خواص المرونة كانت أفضل.

أما في عام (2005) قامت الباحثة ميرفت [18] بتحضير سبيكة (Al-4%Cu-1.5%Mg) وتقويتها بدقائق من مادة الزركونيا (ZrO<sub>2</sub>) وبكسر وزني وحجم حبيبي مختلفين ودرست مقاومة الشد والمطيلية والصلادة لتلك المادة المترابكة. بينت النتائج ازدياد قيم كل من الصلادة ومقاومة الشد مع زيادة نسب الزركونيا المضافة إلى حد (3.5%wt) ثم تسلك المادة سلوكاً مغايراً ولكنها تبقى عند قيم أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس، في حين لوحظ إن قيم المطيلية تقل باستمرار مع زيادة نسبة الزركونيا المضافة. أما تأثير الحجم الحبيبي لدقائق الزركونيا على الخواص الميكانيكية فقد لوحظ إن هناك انخفاضاً قليلاً في قيم مقاومة الشد والصلادة مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق الزركونيا بينما هنالك زيادة قليلة في قيم المطيلية مع زيادة الحجم الحبيبي ولكنها تبقى أقل مما هي عليه في السبيكة الأساس.

## ٢. الهدف من البحث

١- يهدف البحث الحالي إلى تصليد سبيكة (Al-Cu-Mg) عن طريق إضافة دقائق الزركونيا (ZrO<sub>2</sub>) إلى المنصهر المعدني كمجموعة أولى ودقائق الألومينا (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) كمجموعة ثانية، ودراسة خاصية البلى لكل من المادة الأساس والمادة المترابكة المنتجة.

٢- تضمن البحث دراسة تأثير ما يلي في فحص البلى:

a- نسبة الكسر الوزني لدقائق الزركونيا (ZrO<sub>2</sub>) المضافة إلى السبيكة الأساس ذات حجم حبيبي (0.05µm ≤ p.size ≤ 25µm).

b- نسبة الكسر الوزني لدقائق الألومينا (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) المضافة إلى السبيكة الأساس ذات حجم حبيبي (0.1µm ≤ p.size ≤ 30µm).

٣- تضمنت الدراسة أيضاً تأثير عملية التشكيل على البارد (Cold Working) وطبيعة المعاملة الحرارية التي أجريت على العينات المحضرة لغرض فحص البلى.

## ٣. الجانب العملي

قسمت المواد المستخدمة في البحث الحالي إلى مواد الأساس ومواد التقوية المستخدمة في تحضير المادة المترابكة، تم اختيار سبيكة (Al-Cu-Mg) كمادة أساس لما تتميز به من خصائص ميكانيكية جيدة وقابلية التشكيل والتشغيل الجيدة فضلاً عن استخداماتها الواسعة. وتم استخدام نوعين من المواد السيراميكية وإضافتها إلى مادة الأساس بنسب وزنية مختلفة ودراسة تأثيرها على خاصية البلى نظراً لما تتميز به هذه الدقائق من خواص ميكانيكية عالية. وقد تم إجراء عملية تجفيف للمساحيق قبل الاستخدام لإزالة الرطوبة الموجودة على سطحها عند درجة حرارة (250°C) لتحسين قابلية الترطيب عند إضافتها للسبيكة الأساس.

تم تحضير السبيكة الأساس والمكونة من (Al-4.5%Cu-1.5%Mg) وذلك بصهر قطع من الألمنيوم النقي ذات نقاوة (99.8) معلومة الوزن داخل بودقة من الكرافيت، وباستخدام فرن كهربائي نوع (Carbolite) شركة (Sheffield) البريطانية حيث تم تسخين البودقة مع محتوياتها إلى درجة حرارة (750°C)، وبعد التأكد من حدوث الانصهار التام أضيف رايش من النحاس النقي بنسبة وزنية (4.5%) المحضر مسبقاً محفوظاً داخل رقائق من الألمنيوم (Aluminium Foils). أجريت عملية الغمر بشكل سريع جداً تفادياً لحدوث عملية الأكسدة التي تعيق عملية الصهر والسباكة علاوة على ذلك فقد رافق عملية الغمر السريعة لرايش النحاس مباشرة تحريك المنصهر باستخدام قضيب من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) وبعد ذلك تم إضافة رايش من المغنيسيوم النقي بنسبة وزنية (1.5%) إلى منصهر السبيكة وبنفس الطريقة التي تم إتباعها عند إضافة رايش النحاس مع التحريك المستمر، ولضمان تجانس عناصر السبك بشكل تام كررت عملية خلط المنصهر (ثلاث مرات) مع المحافظة على سيولة المنصهر خلال مراحل الخلط، وبعد الانتهاء من عملية الخلط النهائي تركت البودقة مع محتوياتها داخل الفرن لفترة من الزمن ضماناً للحصول على السيولة الكافية ومن ثم سكب المنصهر في داخل قوالب اسطوانية الشكل مصنوعة من الحديد الصلب ذات قطر (1.5cm) وارتفاع (13cm) مسخنة مسبقاً عند درجة حرارة (250°C) وذلك لمنع حدوث التبريد المفاجيء للمنصهر، وبعد التأكد من تجمد المنصهر تم إخراج الصبات المحضرة من القوالب والتي تمثل سبيكة الأساس، ولمعرفة مكونات السبيكة النهائية أجريت عملية التحليل الكيميائي لها في شركة نصر العامة للصناعات الميكانيكية والجدول (١) يبين مكوناتها.

جدول (١) يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة الأساس بعد الصب

| العنصر         | Si   | Fe   | Cu   | Mn    | Mg   | Zn    | Ti    | Cr    | Ni   | Pb      | Sn    | Sb      | Al      |
|----------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|-------|---------|---------|
| النسبة المئوية | 0.56 | 0.15 | 4.37 | 0.008 | 1.41 | 0.018 | 0.004 | 0.002 | 0.01 | 0.00122 | 0.004 | 0.02182 | Rem (%) |

بينما حضرت المادة المترابطة بطريقة السباكة بالمزج وباستخدام تقنية الدوامة (Vortex Technique)، وفيما يأتي المسلك العملي المتبع في تحضيرها:

١. حددت النسب الوزنية المختارة من الدقائق السيراميكية وحفظت داخل رقائق من الألمنيوم (Aluminium Foils) وأدخلت في فرن كهربائي عند درجة حرارة (250°C).
٢. وضعت قطع موزونة من السبيكة المحضرة مسبقاً داخل بودقة من الكرافيت وأدخلت إلى فرن كهربائي نظمت درجة حرارته إلى درجة (750°C).
٣. لتجانس توزيع مواد التقوية المضافة إلى داخل المنصهر استعمل لهذا الغرض خلاط ميكانيكي مزود بمروحة مصنعة من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel)، بعد التأكد من الصهر التام لسبيكة الأساس انزل الخلاط في داخل المنصهر وتم تدوير المنصهر بسرعة (700r.p.m) للحصول على دوامة داخله. وخلال هذه المرحلة أغمرت الحبيبات السيراميكية المغلفة برفائق من الألمنيوم والمسخنة مسبقاً إلى داخل المنصهر مع الاستمرار بعمل الخلاط الميكانيكي مدة تتراوح بين (50-40Sec) على إن يبقى المنصهر محافظاً على سيولته وبانتهاء فترة المزج الأولى تترك البودقة مع محتوياتها داخل الفرن فترة من الزمن.
٤. لمزيد من التجانس في توزيع الدقائق داخل منصهر سبيكة الأساس، تكرر عملية المزج من (2-3) مرات مدة (20Sec) لكل مرحلة مزج وذلك لمنع ترسب دقائق التقوية المضافة بشكل غير متجانس فضلاً عن المحافظة على سيولة المنصهر قدر الإمكان، وبعد الانتهاء من مراحل المزج تترك البودقة داخل الفرن فترة من الزمن لضمان السيولة التامة.
٥. صب المنصهر مع محتوياته في داخل قوالب معدنية ذات أشكال اسطوانية والتي تم تسخينها مسبقاً إلى درجة حرارة (250°C).
٦. وبعد انتهاء تجمد الصبة ترفع العينات من القالب وتكون على شكل قضبان اسطوانية الشكل ذات قطر (1.5Cm) وطول (13Cm).

ولغرض التجانس الحراري والتخلص من بعض عيوب السباكة كالانعزال وضمان توزيع الأطوار بشكل متجانس في المصبوبات فقد أجريت المعاملة المحلولية للنماذج المحضرة لكل من السبيكة الأساس والمادة المترابطة المنتجة وقد تم إجراء المعاملة المحلولية بدرجة حرارة (495°C) مدة أربع ساعات ثم الإخماد بالماء البارد، بعدها تم إجراء عملية التشكيل على البارد (التصليد الانفعالي) من أجل تقوية السبائك المطيية، ولقد تم إجراء عملية التشكيل على البارد لسبيكة البحث الحالي وعينات مدعمة بدقائق الزركونيا (ZrO2) من جهة وعينات مدعمة بدقائق الالومينا (Al2O3) من جهة أخرى وذلك بتسليط حمل مقداره (5tons) على نماذج عينات فحص البلى، ثم تبع عملية التشكيل على البارد عملية التعتيق الصناعي بدرجة حرارة (150°C) ولمدة (2hr) ومن ثم تبعها تعتيق صناعي بدرجة حرارة (170°C) والإبقاء لفترات زمنية مختلفة ما بين (2-0.5hr).

تم تحضير عينات البلى بالأبعاد القياسية بقطر (10mm) وطول (20mm)، بعدها تم إجراء عملية تنعيم للعينات بورق من كاربيد السليكون بدرجات نعومة (1000,800,500,320)، ومن ثم صفل العينات باستعمال قماش صفل خاص ومعجون الماس بحجم (1µm) مع وجود مزيت لتقليل الاحتكاك ومن ثم تم غسل العينات بالماء والكحول ثم جففت بالهواء الساخن. ومن خلال معدلات نتائج هذا الفحص يتم حساب معدل البلى.

تم إجراء اختبار البلى باستخدام جهاز البلى الالتصاق نوع (Pin-on disk) الموجود في مختبر الترابولوجيا العائد لقسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية والمكون من قرص يدور بسرعة (510 r.p.m) وحاملة العينة الاسطوانية المثبتة (Specimen Holder) بواسطة ذراع ذي مقطع مستطيل، حيث نصف القطر (r) من مركز العينة إلى مركز القرص (5Cm). ويحتوي الجهاز محركاً ذا سرعة دورانية ثابتة مقدارها (940 r.p.m) حيث تنتقل الحركة من هذا الجهاز على مرحلتين الأولى يتم نقل الحركة فيها من المحرك عن طريق بكرة تم تثبيتها عليه وحزام ناقل إلى العمود الوسطي المثبت عليه بكرتان إحداهما لاستلام الحركة والأخرى لنقلها. أما المرحلة الثانية فيتم نقل الحركة فيها من العمود الوسطي إلى العمود المثبت عليه القرص المصنوع من الفولاذ. حيث تبلغ صلادة القرص (HRC=45)، بعدها يتم وضع الأحمال بصورة عمودية على العينة. وفيما يأتي بيان لخطوات إجراء الاختبار:

١. إجراء عملية تنعيم للقرص وبالأخص عند منطقة التلامس بوساطة ورق تنعيم من كاربيد السليكون بدرجة (1000,500) لتقليل خشونة السطح والمحافظة على مستوى واحد من الخشونة لسطح القرص وتنظيف السطح مما علق به من عينة الاختبار عند منطقة التلامس.
٢. تم وزن العينة قبل بدأ الاختبار بميزان حساس رقمي من نوع (Mettler AE 200) ذي حساسية (0.0001gm).
٣. تم تثبيت العينة بصورة مستوية مع القرص والتأكد من حدوث التلامس التام بينهما، بعدها تم تسليط الحمل بصورة عمودية على العينة وبأحمال (2.5, 5, 7.5, and 10N) لمادة الأساس والمادة المترابطة المنتجة فترة زمنية مقدارها (30) دقيقة.
٤. تم وزن العينة مرة أخرى بعد إجراء الاختبار وحساب الفرق في الوزن (W1-W2)، ومن ثم حساب معدل البلى الالتصاقى وكما هو موضح في العلاقة الآتية:

$$\text{Wear Rate (Wr)} = \Delta W / SD = \Delta W / 2\pi r n t \dots\dots\dots (1)$$

حيث ان:

(Wr): معدل البلى (gm/Cm).

(SD) ( $2\pi rNt$ ): مسافة الانزلاق (Cm).

( $\Delta W=W1-W2$ ): الفرق بوزن العينة (gm).

(W1): وزن العينة قبل الاختبار ، (W2): وزن العينة بعد الاختبار.

(r): نصف القطر من مركز العينة إلى مركز القرص (Cm).

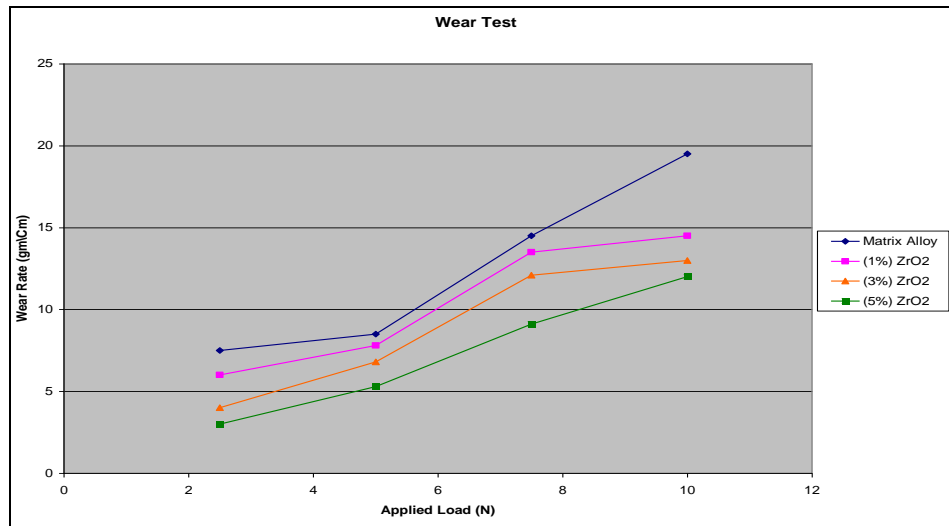
(n): عدد دورات القرص (r.p.m).

(t): زمن الاختبار (min).

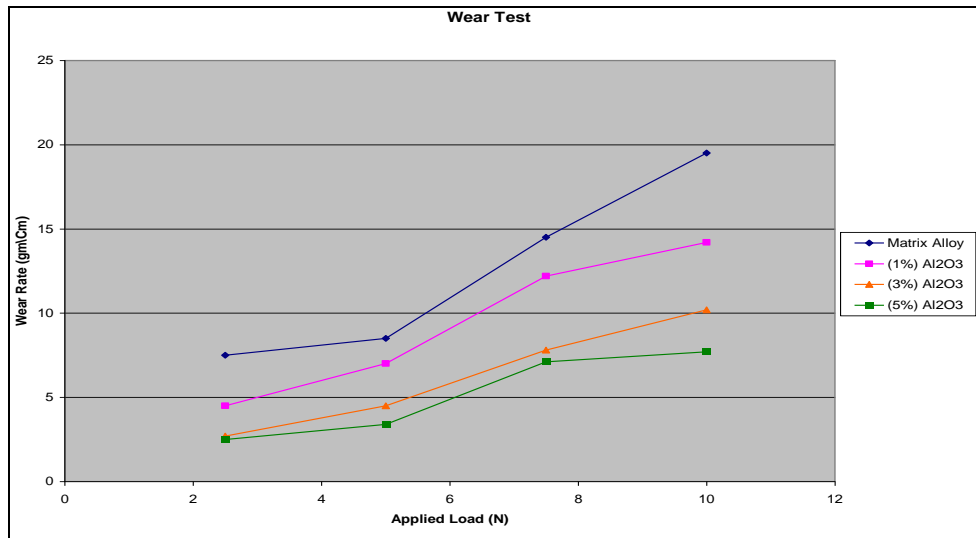
#### ٤. النتائج والمناقشة

**الشكلان (١) و (٢)** يوضحان العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على كل من السبيكة الأساس والمادة المترابطة المنتجة الحاوية على كل من الزركونيا من جهة والالومينا من جهة أخرى وبنسب وزنية مختلفة بعد المعاملة المحلولية والتشكيل والتعتيق المزدوج عند درجة حرارة (150°C) لمدة (2hr) ثم تبعها تعتيق صناعي آخر عند درجة حرارة (170°C) ولفترات زمنية تتراوح بين (0.5-2). يلاحظ من خلال الشكلين إن معدل البلى للسبيكة الأساس يزداد مع زيادة الحمل المسلط ويمكن تقسيم سلوك البلى لهذه السبيكة إلى ثلاثة أقسام وهي البلى الطري (Mild Wear) ويحدث ما بين قيم الأحمال (2.5-5N) حيث يكون حطام البلى المتكون عبارة عن جسيمات ناعمة إذ يتكون غشاء اوكسيدي واقى يؤدي إلى انخفاض مساحة التلامس بين العينة والقرص مما يؤدي إلى معدل بلى قليل. والبلى الانتقالي (Transition Wear) ويحدث في منطقة الأحمال ما بين (5-7.5N). والبلى الشديد (Severe Wear) الذي يحدث عندما تزداد قيم الأحمال المسلطة بين (7.5-10N) حيث تكون جسيمات حطام البلى كبيرة ومعدنية إذ تتكسر طبقة الاوكسيد المتكونة فيؤدي ذلك إلى اتصال بمساحة كبيرة بين نتوءات السطحين، ثم تتكسر تلك النتوءات وتنفصل عن السطح.

إن لقيمة الحمل تأثيراً مباشراً على التشوه اللدن الذي يحدث عند قمع النتوءات والمنطقة القريبة من السطح فتزداد كثافة الانخلاعات وتنشط حركتها لذا يزداد التشوه اللدن مع زيادة الحمل المسلط، ثم تتجمع الانخلاعات مكونة فجوات صغيرة تقترب من بعضها لتكون شقوق صغيرة وتحصل عملية إزالة لطبقات رقيقة من المعدن باتجاه الانزلاق لتكون حطام البلى [19].



شكل (١) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط للسبيكة الأساس وتأثير إضافة نسب من دقائق الزركونيا إليها بعد المعاملة المحلولية والتشكيل والتعتيق المزدوج عند درجة (150°C) لمدة (2hr) ثم تعتيق بدرجة (170°C) مدة تتراوح بين (0.5-2)



شكل (٢) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط للسبيكة الأساس وتأثير إضافة نسب من دقائق الألومينا إليها بعد المعاملة المحلولية والتشكيل والتعتيق المزدوج عند درجة (150°C) لمدة (2hr) ثم تعتيق بدرجة (170°C) مدة تتراوح بين (2-0.5hr)

أما فيما يخص المادة المترابكة فان الشكل (١) يوضح تأثير إضافة دقائق الزركونيا للسبيكة الأساس في معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط. حيث يلاحظ من خلال الشكل إن إضافة دقائق الزركونيا إلى السبيكة يؤدي إلى نقصان معدل البلى وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق، ويعود سبب ذلك إلى صلادة الدقائق المضافة نتيجة إلى ارتباط مقاومة البلى مع الصلادة السطحية للسبائك والمواد حيث بزيادة الصلادة تزداد مقاومة البلى للسبيكة لأنها تعمل على تقليل مساحات التلامس الحقيقية بين سطح العينة والقرص المستعمل، وأصبحت منطقة البلى الانتقالي أكثر وضوحاً بعد إضافة هذه الدقائق والتي انحصرت بالمدى من الحمل المسلط الواقع بين (5-7.5N). ومن جهة أخرى لم يتأثر حمل الانتقال كثيراً بنسبة دقائق الزركونيا المضافة حيث يوضح الشكل حدوث انتقال حاد من بلى الأكسدة إلى البلى المعدني بينما انخفض معدل البلى للمادة المترابكة عند الأحمال المسلطة المحصورة بين (7.5-10N) وأصبح هذا الانخفاض أكبر بزيادة نسبة الدقائق المضافة إلى السبيكة الأساس.

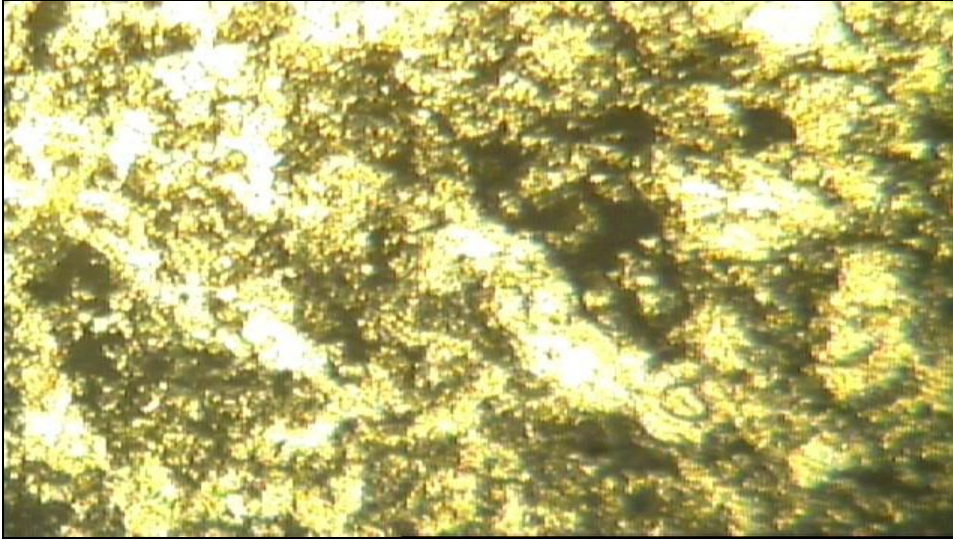
أما الشكل (٢) يوضح تأثير إضافة دقائق الألومينا للسبيكة الأساس في معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط. حيث يلاحظ من خلال الشكل إن إضافة دقائق الألومينا إلى السبيكة يؤدي إلى نقصان معدل البلى وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق بسبب الصلادة العالية جداً لهذه الدقائق فضلاً عن امتلاكها خواص مقاومة بلى عالية جداً. حيث إن إضافة هذه الدقائق أثرت بشكل كبير على حمل الانتقال من البلى الأوكسيدي إلى البلى المعدني الذي انخفض بشكل كبير والذي أصبح أقل حدة مقارنة مع السبيكة الأساس ومع المادة المترابكة المقواة بدقائق الزركونيا فضلاً عن انخفاض معدل البلى للمادة المترابكة عند الأحمال العالية ما بين (7.5-10N).

ويستمر الانخفاض بصورة كبيرة بزيادة نسب الدقائق المضافة وذلك لطبيعة هذه الدقائق وقدرتها على تحمل الأحمال العالية حيث تتصرف كأنها عناصر حاملة للثقل والإجهاد (Load Bearing Element) داخل السبيكة الأساس وتؤدي إلى عدم تلامس مباشر بين سطح العينة والقرص فضلاً عن ظاهرة التصليد الانفعالي (Strain Hardening) مما يؤدي إلى تقليل معدل البلى لسبيكة الأساس المقواة.

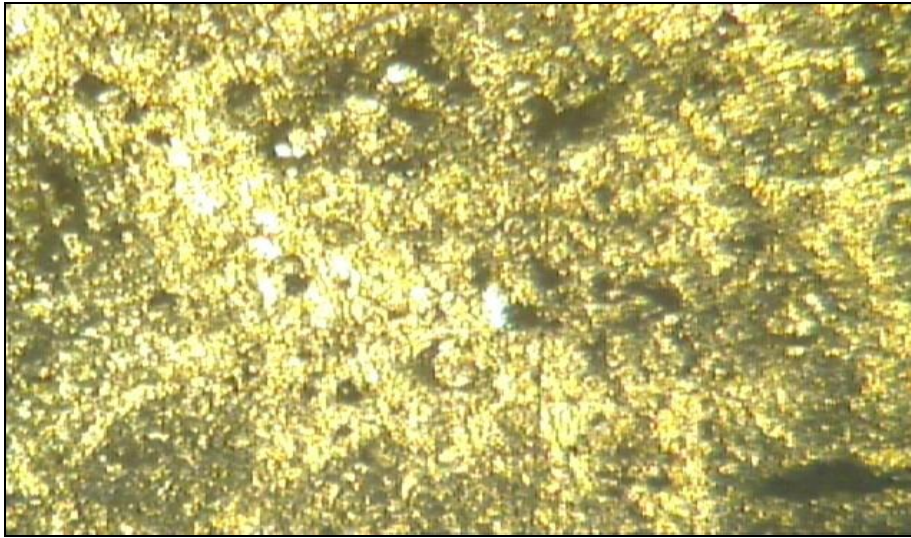
أن لعملية التشكيل على البارد (التصليد الانفعالي) والمعاملة الحرارية اللاحقة تأثير على عملية التعتيق حيث إنها ساهمت في تسريع عملية التعتيق وذلك بسبب تكوينها نسب عالية من الفراغات والتي تتجمع على مسافات قصيرة مما تسبب في تسريع عملية الانتشار علاوة على إنها تعمل كنوية لمناطق الترسيب [20].

الأشكال (٣) و (٤) و (٥) تبين البنية المجهرية لكل من السبيكة الأساس والمادة المترابكة المنتجة المقواة بدقائق الزركونيا من جهة ودقائق الألومينا من جهة أخرى على الترتيب قبل إجراء فحص البلى، بينما الأشكال (٦) و (٧) و (٨) فتبين البنية المجهرية لكل من السبيكة الأساس والمادة المترابكة المنتجة المقواة بدقائق الزركونيا من جهة ودقائق الألومينا من جهة أخرى على الترتيب بعد إجراء فحص البلى.

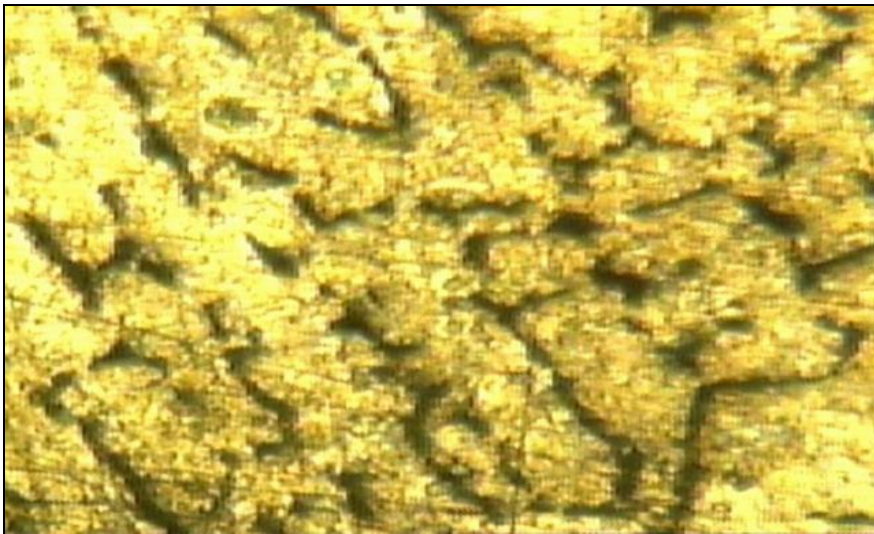




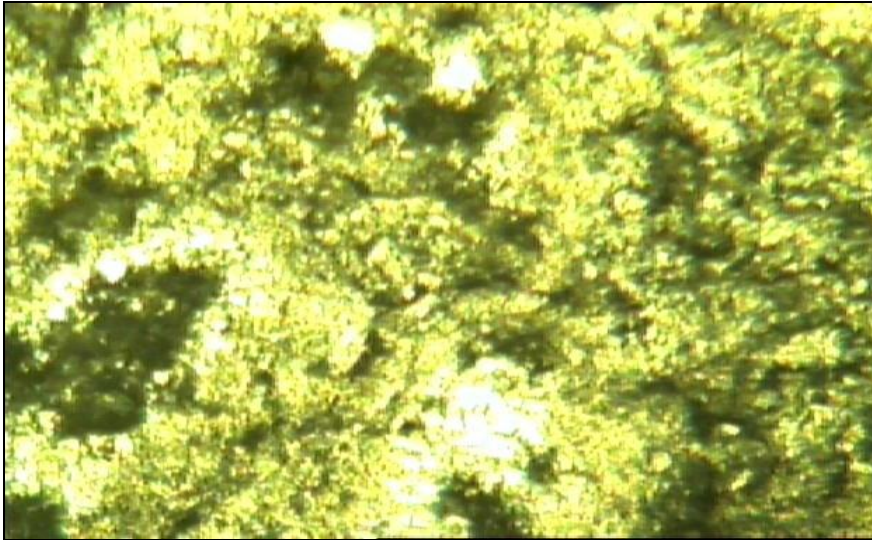
شكل (٣) يوضح البنية المجهرية للسبيكة الأساس قبل إجراء فحص البلى قوة التكبير (320X)



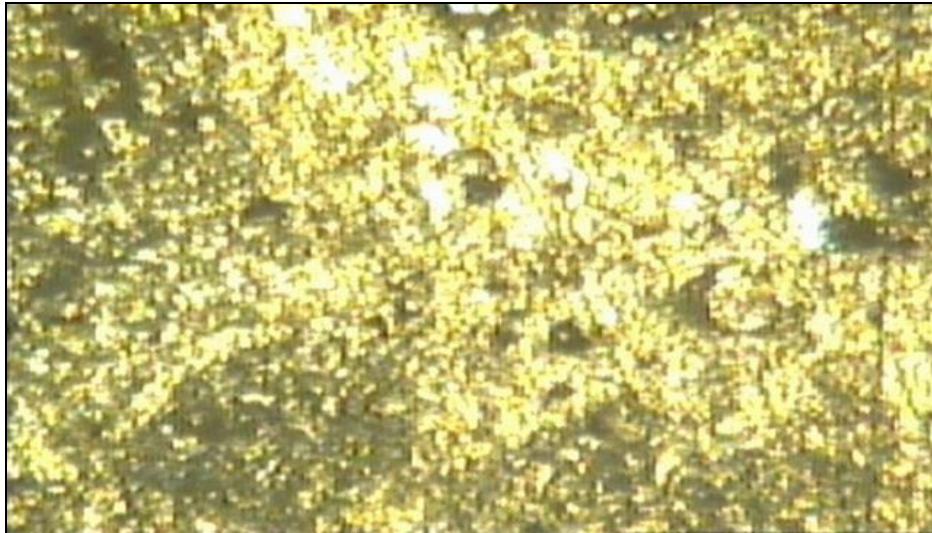
شكل (٤) يوضح البنية المجهرية للمادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا بنسبة وزنية (5%) قبل إجراء فحص البلى قوة التكبير (320X)



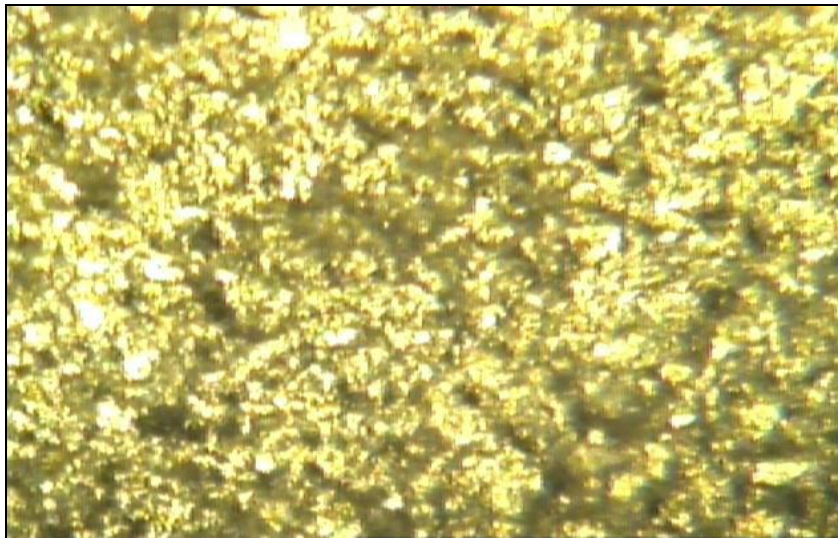
شكل (٥) يوضح البنية المجهرية للمادة المترابطة المقواة بدقائق الالومينا بنسبة وزنية (5%) قبل إجراء فحص البلى قوة التكبير (320X)



شكل (٦) يوضح البنية المجهرية للسبيكة الأساس بعد إجراء فحص البلى قوة التكبير (320X)



شكل (٧) يوضح البنية المجهرية للمادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا بنسبة وزنية (5%) بعد إجراء فحص البلى قوة التكبير (320X)



شكل (٨) يوضح البنية المجهرية للمادة المترابطة المقواة بدقائق الالومينا بنسبة وزنية (5%) بعد إجراء فحص البلى قوة التكبير (320X)

## ٥. الاستنتاجات

- إن أهم الاستنتاجات المستنبطة من خلال البحث الحالي هي:
١. إن إضافة دقائق الالومينا ( $Al_2O_3$ ) من جهة ودقائق الزركونيا ( $ZrO_2$ ) من جهة أخرى وتشبيثها في بنية السبيكة الأساس أدى إلى تقليل معدل البلى للسبيكة الأساس مع تغيير الحمل المسلط، وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق.
  ٢. إن قيم مقاومة البلى للمادة المترابطة المنتجة أعلى مما هو عليه في السبيكة الأساس كما وتزداد هذه القيم مع زيادة النسب الوزنية لدقائق التقوية المضافة لسبيكة الأساس.
  ٣. إن قيم مقاومة البلى للمادة المترابطة المقواة بدقائق الالومينا هي أعلى من قيم مقاومة البلى للمادة المترابطة المقواة بدقائق الزركونيا ولكن في كلتا الحالتين تكون ذات خواص ميكانيكية أعلى مما هي عليه في السبيكة الأساس.
  ٤. أدت إضافة دقائق الالومينا إلى التقليل من حمل الانتقال من البلى الأوكسيدي إلى البلى المعدني والذي انخفض بشكل كبير مقارنة مع السبيكة الأساس بينما لم يتأثر حمل الانتقال بشكل كبير عند إضافة دقائق الزركونيا وأصبح أكثر وضوحاً بالمدى من الأحمال بين (5-7.5N).

## ٦. المصادر

1. R., L., Norton, “*Machine Design an Integrated Approach*”, Prentice-Hall, USA, 1998.
2. Merle, P., “*MMC Assessl-Thermatic Network 2000*”, Goggle Cite, Internet, 2000.
3. Massardier, V., Merle, P., “*Mechanisms of Interaction Controlling the Kineties of Zone Formation in MMC*”, Materials Science and Eng. A249, 1998, pp. 109-120.
4. P., G., Mickel, “*Fundamentals of Modern Manufacturing*”, Publisher, New Jersey, 1996.
5. D., J., Liloyd, H., Lagace, A., McLeod, P., L., Morries, “*Micro Structural Aspect of Aluminum-Silicon Carbide Particle Composite Produced by Casting Method*”, Material Science and Engineering, 1989.

6. A., Z., Szeri, "*Tribology, Friction, Lubrication, and Wear*", McGraw-Hill Book Company, 1980.
7. T., S., Eyre, "*Wear Characteristics of Metals*", Tribology Int., October 1976, 203p.
8. J., Halling, "*Principle of Tribology*", Mac Millan Press Ltd., London, 1979.
9. M., Grason, "*Encyclopedias of Composite Material and Components*", Willy-Inter Science, 1993.
10. P., K., Rohatgi, and A., Banerji, "*Cast Aluminium Alloy Containing Dispersion of TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> Particle*", J. Mat. Sci., 17, 1982, pp. 198-204.
11. S., V., Kamat, "*Reinforcing of Aluminium Alloy by Alumina Particle*", Acta Metallurgica, Vol. 37, No. 9, 1989.
12. G., Gang, G., Sn, and Z., Zhu, "*On the Chemical Reaction to Process Particle Reinforced Al-Cu Alloy Matrix Composites*", J. Mat. Sci. and Eng., A252, 1998, pp. 226-231.
13. 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, pp. 218-222.
14. A., Shamkhy, "*Preparation and Characterization of Cast Aluminium Matrix-Silicon Carbide Particle Composite*", Ph.D. Thesis, University of Technology, Department of Engineering, Baghdad, 2000.
15. حازم محمد ناصر، "*تصليد سبيكة الألمنيوم (Al-Cu) بواسطة تشتيت الالومينا*"، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، ٢٠٠١.
16. عدنان ابراهيم الجرجري، "*تأثير إضافة الالومينا على قابلية الاصلاح بالتشتيت لسبيكة الألمنيوم- نحاس- مغنيسيوم*"، رسالة ماجستير، قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية، ٢٠٠١.
17. ندى طاهر، "*تأثير إضافة دقائق كاربيد السليكون على متانة الكسر لسبيكة الألمنيوم- مغنيسيوم*"، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، ٢٠٠٣.
18. ميرفت مهدي الجنابي، "*دراسة الخواص الميكانيكية لمتراكبات ذات أساس سبيكة (Al-Cu-Mg)*"، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، ٢٠٠٥.
19. D., A., Rigney, "*Fundamentals of Friction and Wear Materials*", American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1981.
20. D., A., Porter, and K., E., Easterling, "*Phase Transformations in Metals and Alloys*", 2<sup>nd</sup> Ed, Champan and Hall, India, 1992.