دراسة بعض الخواص الفيزيائية و الميكانيكية لمادة متراكبة ذات اساس من الالمنيوم٦٠٦٣ مدعم بدقائق الزركونيا و المحضرة بتقانة ميتالورجيا المساحيق

نجيب سلمان عبطان

جامعة تكريت/كلية الهندسة/قسم الهندسة الميكانيكية

Nageebsalman@yahoo.com

رابحة صالح ياسين

الجامعة التكنلوجية/قسم هندسة الإنتاج والمعادن

rabihazw@yahoo.com

انمار ضيف مهدي

جامعة تكريت/كلية الهندسة/قسم الهندسة الميكانيكية

anmardhaif@yahoo.com

الخلاصة

يهدف البحث الى دراسة بعض الخواص الفيزيائية (الكثافة و المسامية و قابلية إمتصاص الماء) و بعض الخواص الميكانيكية (صلادة فيكرز المايكروية و مقاومة الإنضغاط القطرية و مقاومة البلى) لمادة متراكبة ذات اساس من الالمنيوم ٦٠٦٣ مدعمة بنسب وزنية مختلفة wt.% (2.5,5,7.5&10) من دقائق الزركونيا. وقد تم إتباع تقانة ميتالورجيا المساحيق في تحضير العينات حيث تم كبس العينات على البارد بطريقة الكبس احادي الإتجاه بضغط ٥ طن تلى ذلك تلبيد العينات بدرجة حرارة ٦٠٠ مo في جو خامل.

وقد اظهرت النتائج ان تدعيم الالمنيوم ٦٠٦٣ بدقائق الزركونيا تحسن من مقاومة البلى و مقاومة الإنضغاط و صلادة فيكرز المايكروية وكذلك زيادة في قيم الكثافة و المسامية و قابلية إمتصاص الماء . إذ تزداد الصلادة من (44.5 – 101.13) و مقاومة الإنضغاط القطرية من (36.1998 – 46.7) N/mm^2 و يقل معدل البلى من ((9.5*exp(−8) – (4.8*exp(−8))غم/سم عند زمن ٣٠ دقيقة ومحتوى %(0 – 10) من الزركونيا. بينما تزداد الكثافة الظاهرية (1.388 – 3.15)غم/سم^3 و المسامية الظاهرية %(0.96 – 4.61) و قابلية إمتصاص الماء %(0.699 – 2.09) عند محتوى %(0 – 10) من الزركونيا.

الكلمات المفتاحية :- MMCS، المواد المتراكبة ، ميتالورجيا المساحيق ، المنيوم ، الخواص الفيزيائية ، الخواص الميكانيكية.

Abstract

The aim of this work is studying some physical properties (density , porosity & water absorption) and some mechanical properties (micro hardness Vickers , compression strength & wear resistance) of aluminum 6063 matrix composite material that reinforced by (2.5,5,7.5&10) wt.% of ZrO_2 particles. Powder metallurgy technique is used in samples preparing. Samples were compacted by using cold uniaxial pressing then followed sintering process at 600 ^oC under inert gas.

Results were showed improving in (wear resistance , compression strength & micro hardness Vickers) and increasing in (density , porosity & water absorption). Increase micro hardness (44.5 – 101.13), compression strength (36.1998 – 46.7) N/mm^2 and decrease wear rate (9.5*exp(-8) – 4.8*exp(-8)) g/cm at time 30 min. with (0 – 10)% ZrO_2. While increase apparent density (1.388 – 3.15) g/cm^3 , apparent porosity (0.96 – 4.61)% and water absorption (0.699 – 2.09)% at (0 – 10)% ZrO_2.

Keywords: MMCS , Composite materials , Powder metallurgy , Aluminum , Physical properties , Mechanical properties.

١.المقدمة

يعود تاريخ المساحيق المعدنية الى ٣٠٠٠ سنة قبل الميلاد. حيث قام المصريون القدامى بصناعة بعض الادوات والاسلحة التي كانوا يستعملونها (Ramakrishnan 1983). إستخدم البابليون منذ عدة قرون المواد المتراكبة في بناء بيوتهم وذلك بتقوية الطين عن طريق خلطه مع نشارة الخشب (علي الموسوي

٢٠٠٩). ولم يتحقق التطور الفعلي في تقانة ميتالورجيا المساحيق الا في بداية القرن التاسع عشر. اذ تم الحصول من خلال هذه التقنية على البلاتين الصلب نتيجة التجارب التي اجراها وليم هايد ولاستون William Hyde Wollastone(Ramakrishnan,1983).

ان تقانة ميتالورجيا المساحيق تتلخص في اعداد مساحيق معدنية، اذ يتم كبس هذه المساحيق للحصول على منتوجات بالاشكال المطلوبة ثم يتم تسخين هذه المنتوجات بعملية التلبيد وذلك لتحسين الروابط بين الجسيمات والحصول على منتوج ذو كتلة متماسكة(Rigid Mass). ويتم استعمال ماكنات كبس وقوالب مصممة لهذا الغرض وذلك للحصول على منتوجات مكبوسة بمستويات ضغط معينة، اما عملية التلبيد تجرى عند درجات حرارية اقل من درجة حرارة انصهار المعدن الاساس (Mikell , 2010).

ونتيجة للتقدم الصناعي الهائل فقد قام الباحثون بتصنيع مواد تكون ذات صفات نوعية متميزة مثل مقاومة الصدمة ومقاومة التآكل و واطئة الكلفة، تدعى هذه المواد " بالمواد المتراكبة " وهي عبارة عن خليط من مادتين او اكثر احدهما تسمى بالمادة الاساس (Matrix Material) او الطور المستمر (Phase Continue) ، والاخر يسمى بمادة التدعيم (Reinforcement Material) او الطور الموزع (Distributed Phase) ، ويسمى الطور الذي يحيط بالمادة الاساس "بالطور البيني". وتكون مواد الاساس معدنية او سيراميكية او بوليميرية، اما مواد التدعيم فتكون دقائق او الياف او صفائح او شعيرات.

حيث قام الباحث (Ramachandra) وآخرون عام ٢٠١٥ م بدراسة (سلوك مقاومة البلى والصلادة لمتراكبات الالمنيوم النانوية المقواة بدقائق الزركونيا ZrO_2 النانوية المنتجة بتقانة ميتالورجيا المساحيق)، إذ تم إضافة نسب وزنية من دقائق الزركونيا ZrO_2wt.%(1,2,3&4) . وقد تم إختبار البلى بتسليط حمل مقداره (10 N) وكانت سرعة القرص المنزلق (600 r.p.m) مصنوع من الفولاذ الكاربوني العالي ذو صلادة تبلغ 64HRC. وقد تبين أن صلادة متراكبات الألمنيوم_ الزركونيا Al/n-ZrO_2 تزداد مع زيادة محتوى الزركونيا النانوي n-ZrO_2، وأن معدلات البلى لمتراكبات الألمنيوم_ الزركونيا Al/n-ZrO_2تكون منخفضة مقارنة بالالمنيوم الغير مدعم وهذا يشير إلى زيادة مقاومة البلى مع زيادة محتوى الزركونيا ZrO_2. (Ramachandra وآخرون عام ٢٠١٥)

وقام الباحثان (Refaat&.Emara)عام ٢٠١٤ م بدراسة (تأثير الكسور الحجمية لدقائق الزركونيا على السلوك الميكانيكي لسبيكة الألمنيوم ٢١٢٤)، فقد تم إضافة دقائق الزركونيا ($ZrSiO_4$) بنسب إضافة وزنية (٠-٣٠)% وبمعدل حجم حبيبي لمسحوق Al2124 مقداره ٤٥µm، إذ تم خلط المسحوق مع دقائق الزركونيا ذو الحجم الحبيبي µm (2-15) بواسطة خلاط نوع (Turbula) ولمدة خمس ساعات وبسرعة(46 r.p.m)، وتم كبس المساحيق عند ضغط 275 Mpa ثم تلى ذلك بثق المكبوسات على الساخن عند درجة حرارة ٥٠٠^{o}C وبنسبة بثق ١:٤ وقد إستنتج الباحثان بأن إضافة دقائق الزركونيا ($ZrSiO_4$) الى سبيكة الألمنيوم ٢١٢٤ يزيد كل من الصلادة و المقاومة مع إنخفاض في المتانة. وقد لوحظ ان الصلادة تزداد عند زيادة نسبة دقائق الزركونيا ($ZrSiO_4$) من (٥-٢٥)% (Emara& Refaat ,2014)

ان معرفة خصائص و مواصفات المواد الاساس و المواد المدعمة تساعدنا في تحديد نوع المادة الممكن انتاجها والمكان الذي تستعمل فيه هذه المادة. فمثلا في الصناعات الفضائية تم تصنيع مواد متراكبة تعمل في درجات الحرارة العالية و واطئة الكثافة، اما في الصناعات الطبية فقد تم استحداث مواد متراكبة ذات مقاومة عالية للتآكل و التهشم (رولا, ٢٠٠٧).اثبتت المواد المتراكبة ذات اساس من الالمنيوم خواص متطورة في مجال المواد الهندسية اكثر من سبائك الالمنيوم التقليدية. وقد إزداد الإعتماد على هذه المتراكبات

بصورة كبيرة في الصناعة مع تطور طرائق التشكيل الحديثة وإعتماد مواد تقوية ذات تكلفة منخفضة. وتعد متراكبات الالمنيوم المدعمة بمواد سيراميكية من اكثر المتراكبات شهرة و إستعمالا، وذلك لان هذه المواد تعطي مقاومة بلى وصلادة وجساءة عالية إذا ماقورنت مع المادة الاساس غير المقواة. ومن ابرز تطبيقات هذا النوع من المتراكبات هي تطبيقات السفن الفضائية والملاحة الجوية والتطبيقات الهندسية والطبية (محمد وآخرون ٢٠١٠م).

٢.الجانب العملي

تم إستخدام مسحوق الالمنيوم ٦٠٦٣ هندي المنشأ بحجم حبيبي ≤63 µm وبنقاوة ٩٩.٧% و دقائق الزركونيا هندية المنشأ بحجم حبيبي ≤100 µm و بنقاوة ٩٩.٥% ويبين الجدول (١) مكونات سبيكة الالمنيوم ٦٠٦٣. تم إضافة نسب وزنية مختلفة من الزركونيا wt.% (2.5,5,7.5&10) الى سبيكة الالمنيوم٦٠٦٣ لتكوين المتراكبات حسب ما مبين بالجدول (٢). وقد تم قياس الحجم الحبيبي عن طريق إستخدام غرابيل خاصة لهذا الغرض في المختبر، اما النقاوة فقد تم تحديدها عن طريق ستاندرد شركة (Central Drug House) الهندية. تم خلط المساحيق بواسطة خلاط ميكانيكي لمدة ٢٥ دقيقة وبعد ذلك تم كبس العينات بإستخدام طريقة الكبس على البارد و بإتجاه واحد في قالب مصنوع من فولاذ العدة تم تسليط ضغط مقداره (٥ طن) (د.محمد ٢٠٠٩). تلى ذلك تلبيد المكبوسات عند درجة حرارة ٦٠٠ مo لمدة ١٢٠ دقيقة في جو خامل (غاز الآركون).

أجري فحص الصلادة في الجامعة التكنلوجية/قسم العلوم التطبيقية/فرع هندسة المواد بإستخدام جهاز (Digital micro hardness tester) و بتسليط ضغط مقداره (10 g) لمدة (10 sec) وقد تم اخذ خمس قراءات مختلفة على سطح العينة ثم حساب معدل الصلادة.و فحص مقاومة الإنضغاط القطرية بإستخدام ماكنة الإختبارات الجامعة(Microcomputer Controlled Electronic Universal Testing Machine) صيني المنشأ وبتطبيق المعادلة (1−1) فيما اجري إختبار البلى بإستخدام جهاز (pin-on-disc)محلي الصنع وبسرعة دورانية تبلغ (500 r.p.m) وكانت ابعاد العينات المستخدمة (١٠*٦) ملم وقد تم إختيار ثلاثة ازمان مختلفة .min(5,15&30) ويتم حساب معدل البلى بإستخدام المعادلات(4−1)&(3−1),(2−1) (كمال مصطفى حسين ٢٠١٥). اما إختبار الكثافة و المسامية و قابلية إمتصاص الماء فقد اجريت بإتباع قاعدة ارخميدس بإستخدام المعادلات (7−1)&(6−1),(5−1) على التوالي (كمال مصطفى حسين ٢٠١٥). وقد اجري تحضير العينات للفحص المجهري في الجامعة التكنلوجية/قسم هندسة الإنتاج والمعادن بإستخدام ورق تنعيم ذو حجم حبيبي (600,800,1000,1200) ثم صقل العينات بإستخدام قماش صقل ومعجون الماس.

$$\sigma_D = \frac{2F}{\pi dh} \ldots\ldots (1-1)$$

اذ ان

σ_D= مقاومة الكسر الانضغاطية (ميكاباسكال).

F=القوة المسلطة (نت).

d=قطر العينة (ملم).

h=سمك العينة (ملم).

$$Wear\ Rate = \frac{\Delta w}{SD}\left(\frac{gm}{cm}\right) \ldots\ldots\ldots (1-2)$$

$$\Delta w = w1 - w2 \ldots\ldots\ldots (1-3)$$

$$SD = 2\pi rnt \ldots\ldots\ldots (1-4)$$

حيث ان :-

Δw :تمثل الفرق بالوزن للعينة قبل وبعد الاختبار(غم).

W1: يمثل وزن العينة قبل الاختبار (غم).

w2: يمثل وزن العينة بعد الاختبار (غم).

S_D: تمثل مسافة الانزلاق (سم).

r: نصف القطر من مركز العينة الى مركز القرص (سم).

n:عدد دورات القرص (دورة/دقيقة).

t:زمن الاختبار (دقيقة).

$$A.D. = \frac{Wd}{Wd-Wi} * \rho w \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-5)$$

$$A.P. = \frac{Ws-Wd}{Ws-Wi} * 100\% \ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}6)$$

$$W.A. = \frac{Ws-Wd}{Wd} * 100\% \ldots\ldots\ldots (1\text{-}7)$$

اذ ان

ρi= كثافة الماء (غم/سم٣).

W_d= وزن الجسم وهو جاف (غم).

W_i=وزن الجسم وهو معلق بالماء (غم).

W_s = وزن الجسم وهو مشبع بالماء (غم).

٣.النتائج و المناقشة

يبين الشكل (١) العلاقة بين الكثافة الظاهرية و محتوى الزركونيا، إذ تزداد الكثافة الظاهرية (3.15 – 1.388)غم/سم^{3}عند محتوى ZrO2 %(10 – 0) ويعود السبب في زيادة الكثافة الظاهرية الى الكثافة المرتفعة للزركونيا (5.68)غم/سم^{3}إذ ما قورنت مع كثافة الالمنيوم (Venkatesh, 2015) 2.7 غم/سم^3. ويبين الشكل (٢) العلاقة بين المسامية الظاهرية ومحتوى الزركونيا، إذ تزداد المسامية الظاهرية (4.61 – 0.96)%(فاضل و آخرون ٢٠١٠). ويبين الشكل (٣) العلاقة بين قابلية إمتصاص الماء و محتوى الزركونيا ، إذ تزداد قابلية إمتصاص الماء (0.699 – 2.09) % و يعود السبب في زيادة قابلية إمتصاص الماء الى زيادة المسامية (فاضل و آخرون ٢٠١٠).

ويبين الشكل (٤) العلاقة بين صلادة فيكرز المايكروية و محتوى الزركونيا، إذ تزداد الصلادة (44.5– 101.13) من الزركونيا وذلك بسبب الصلادة العالية لدقائق الزركونيا بالمقارنة مع صلادة الالمنيوم فضلا عن زيادة المقاومة للتشوه اللدن و كثرة الاسطح البينية المتكونة نتيجة إضافة دقائق الزركونيا وكما موضحة في فحص حيود الاشعة السينية في الشكل (٩) (Muna and mohammed ,2014) . ويبين الشكل (٥) العلاقة بين مقاومة الإنضغاط القطرية و محتوى الزركونيا، إذ تزداد مقاومة الإنضغاط القطرية (36.1998 – 46.7)N/mm^2 من الزركونيا ويرجع السبب في زيادة مقاومة الإنضغاط القطرية الى نفس الاسباب التي ادت الى زيادة الصلادة بالإضافة الى درجة حرارة التلبيد العالية ٦٠٠ مo لمدة ١٢٠ دقيقة و التي تؤدي الى زيادة قوة الترابط بين مكونات المتراكب من خلال التوزيع الجيد لدقائق الزركونيا في ارضية الالمنيوم٦٠٦٣ وكما موضحة في الصور البنية المجهرية في الشكل (٨)(سدير وآخرون ٢٠٠٩). ويبين الشكل (٦) العلاقة بين معدل البلى ومحتوى الزركونيا، إذ يقل معدل البلى(1.2*exp(−7) – 1.77*exp(−

((7غم/سم((−7)exp*1.4 − (−8)exp(5.2*) ,غم/سم ((−8)exp*9.5 − (−8)exp(4.2*) &غم/سم عند زمن (٥,١٥,٣٠) دقيقة على التوالي ومحتوى %(10 – 0) من الزركونيا، ويرجع السبب في نقصان معدل البلى الى ان متراكبات الالمنيوم٦٠٦٣ تكون اكثر صلادة عند تقويتها بدقائق الزركونيا التي بدورها تعرقل تقدم الإنخلاعات بالإضافة الى الفرق بمعامل التمدد الحراري يؤدي الى زيادة الصلادة بزيادة محتوى الزركونيا علاوة على ان الجسيمات الصلدة مثل الزركونيا تقاوم الإجهادات التي تتولد و من ثم توليد كثافة إنخلاعية (Ramachandra, 2015) والشكل (٧) يبين الصور المجهرية للعينات التي اجري لها إختبار البلى. ويبين الشكل (٨) الصور المجهرية لمتراكبات $Al6063_ZrO_2$ويبين التوزيع المتجانس لدقائق الزركونيا في ارضية الالمنيوم٦٠٦٣. اما الشكل (٩) يبين فحص حيود الاشعة السينية (XRD)لمتراكب $90\%Al6063_10\%ZrO_2$ و الاطوار المتكونة.

٤. الإستنتاجات

١. زيادة في قيم الكثافة الظاهرية و المسامية الظاهرية و قابلية إمتصاص الماء مع زيادة محتوى الزركونيا.
٢. تحسن في قيم صلادة فيكرز المايكروية و مقاومة الإنضغاط القطرية مع زيادة محتوى الزركونيا.
٣. إنخفاض في قيم معدل البلى مع زيادة محتوى الزركونيا %(10 – 0)في الالمنيوم٦٠٦٣.

٥.المصادر

د. فاضل عطية جياد، احمد حسين علي، و رونق صلاح الدين مهدي، ٢٠١٠ "**دراسة الخواص الفيزيائية لمادة متراكبة من نظام (الالمنيوم _كاربيد البورون)**" ، مجلة الهندسة والتكنلوجيا ، المجلد ٢٨ ، العدد ١٠.

د. محمد سعيد وحيد ، سدير موفق مجيد، ٢٠٠٩ " **الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات اساس من المنيوم**"، مجلة الهندسة و التكنلوجيا ، المجلد ٢٧ ، العدد ١٥.

د.محمد سعيد وحيد ، سدير موفق مجيد، ٢٠١٠ "**دراسة معدلات التأكل لمكبوسات الالمنيوم المدعمة بمادة كاربيد السيليكون**"، مجلة الهندسة والتكنلوجيا، المجلد ٢٨، العدد ١٨.

رولا عبد الخضر عباس، ٢٠٠٧ " **دراسة التأثير الحراري على الخواص الميكانيكية لمتراكب هجيني** " ، مجلة جامعة النهرين ، المجلد ١٠ ، (١) حزيران.

علي ابراهيم الموسوي ، ٢٠٠٩ " **دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليميرية مقواة بالالياف**" مجلة القادسية للعلوم، المجلد ٢ ، العدد ١.

كمال مصطفى حسين , ٢٠١٥" **دراسة تأثير تغيير نسبة الإضافة و نسبة الإرتفاع الى القطر$\frac{H}{D}$على بعض الخصائص الميتالورجية و الميكانيكية للمتراكب (Cu–Sic) والمنتج بتقانة ميتالورجيا المساحيق**" رسالة ماجستير، جامعة تكريت، كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانيكية.

Muna Khethier Abbass, Mohammed Jabber Fouad, 2014 **"Study of Wear Behavior of Aluminum Alloy Matrix Nanocomposites Fabricated by Powder Technology"**,Eng. & Tech. Journal ,Vol.32, Part (A), No.7.

Emara M. M. and Refaat A., 2014 **"Effect of Zircon Sand Volume Fractions on the Mechanical Behaviors of 2124 AluminumAlloy reinforced Metal Matrix Composites"**,International Conference on Advances in Engineering and Technology (ICAET'2014) March 29-30 Singapore.

Mikell P. Groover ,2010" **Fundamentals of Modern Manufacturing Materials , Processes , and Systems** "4th Edition , Copyright © John Wiley & Sons.

Ramachandra M. , A. Abhishekb , P. Siddeshwarc , V. Bharathid ,2015 **"Hardness and Wear Resistance of ZrO2 Nano Particle Reinforced Al Nanocomposites Produced by Powder Metallurgy"**Elsevier journal, Procedia Materials Science 10 , 212 – 219, 2nd International Conference on Nanomaterials and Technologies (CNT 2014).

Ramachandra M. , A. Abhishekb , P. Siddeshwarc , V. Bharathid ,CNT 2014**"Hardness and Wear Resistance of ZrO2 Nano Particle Reinforced Al Nanocomposites Produced by Powder Metallurgy"**Procedia Materials Science 10 (2015) 212 – 219,2nd International Conference on Nanomaterials and Technologies,Center of Excellence in Advanced Materials Research, BMS College of engineering, Basavanagudi, Bangalore-560019, Karanataka, INDIA.

RAMAKRISHNAN, P., 1983" **History Of Powder Metallurgy"**Indian Journal Of History Science , 18(1): 109-114 -Department Of Metallurgical Engineering, Indian Institute Of Technology, Bombay 400076.

Venkatesh B. ,B.Harish, 2015 **"MECHANICAL PROPERTIES OF METAL MATRIX COMPOSITES (Al/SiCp) PARTICLES PRODUCED BY POWDER METALLURGY"**,International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 1, January-February.

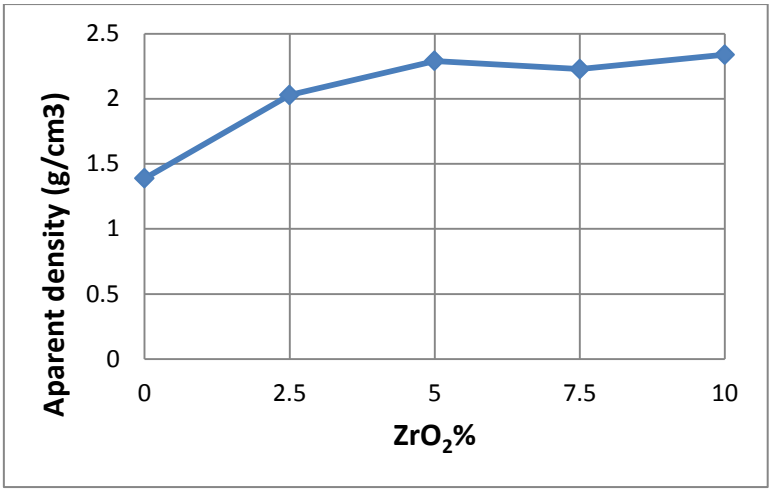
Zakaria H.M., 2014 ,**"Microstructural and corrosion behavior of Al/SiC metal matrix composites"**, Ain Shams Engineering Journal 5, 831–838,Mechanical Engineering Department, Shoubra Faculty of Engineering, Benha University, Cairo, Egypt.

الجدول (١) مكونات سبيكة الالمنيوم٦٠٦٣

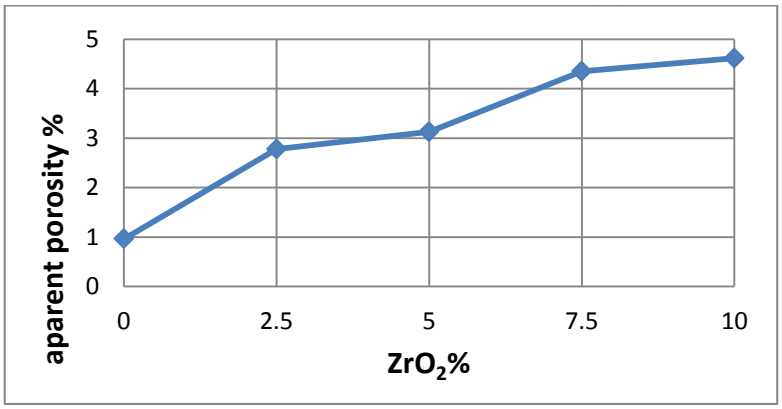
النوع	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
النسبة%	٠.٤٢	٠.٣٥	٠.١	٠.١	٠.٧٤	٠.١	٠.١	٠.١	Rest.

الجدول (٢) النسب الوزنية الداخلة في تكوين متراكبات $Al6063–ZrO_2$

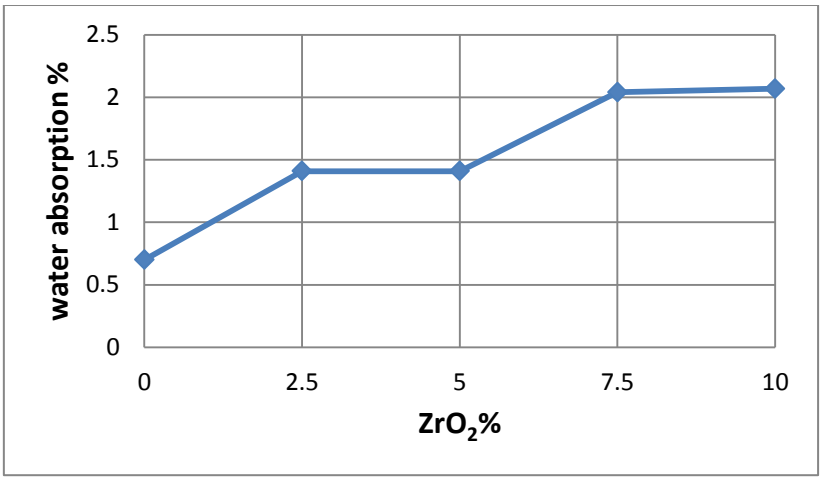
المادة الاساس %	**الالمنيوم٦٠٦٣**	١٠٠	٩٧.٥	٩٥	٩٢.٥	٩٠
مادة التدعيم %	**اوكسيد الزركونيا**	٠	٢.٥	٥	٧.٥	١٠



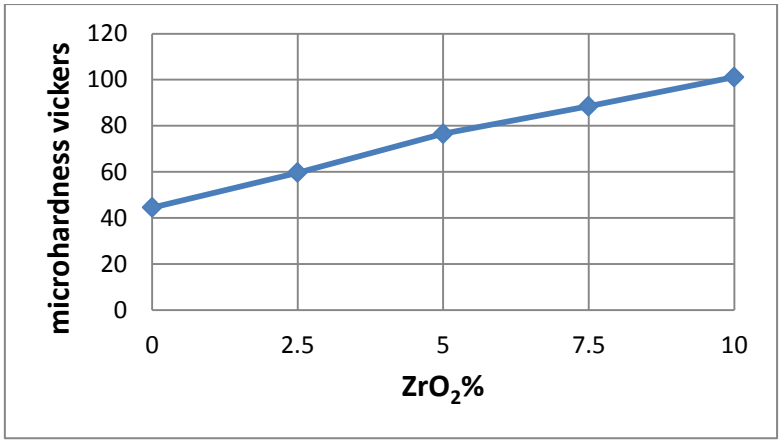
الشكل (١) العلاقة بين الكثافة الظاهرية ومحتوى الزركونيا



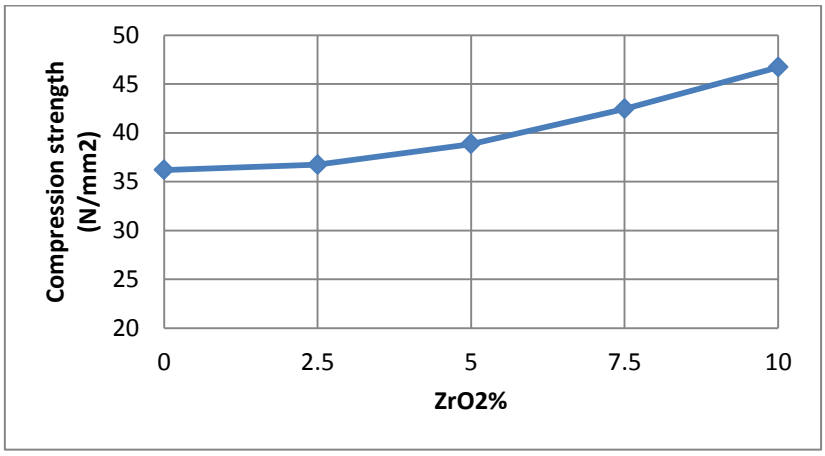
الشكل (٢) العلاقة بين المسامية الظاهرية ومحتوى الزركونيا



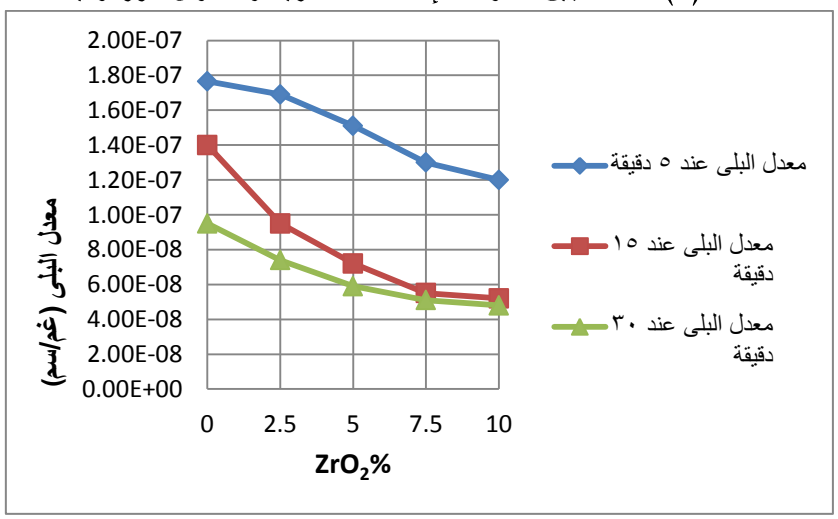
الشكل (٣) العلاقة بين قابلية إمتصاص الماء ومحتوى الزركونيا



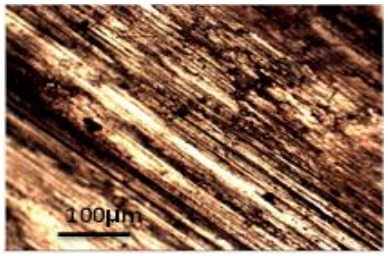
الشكل (٤) العلاقة بين صلادة فيكرز المايكروية ومحتوى الزركونيا



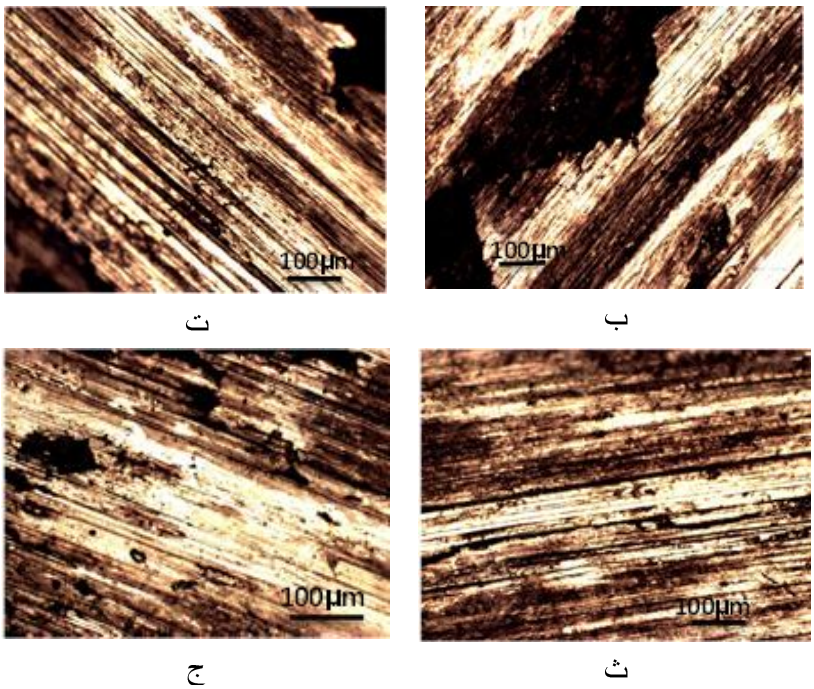
الشكل (٥) العلاقة بين مقاومة الإنضغاط القطرية ومحتوى الزركونيا



الشكل (٦) العلاقة بين معدل البلى ومحتوى الزركونيا



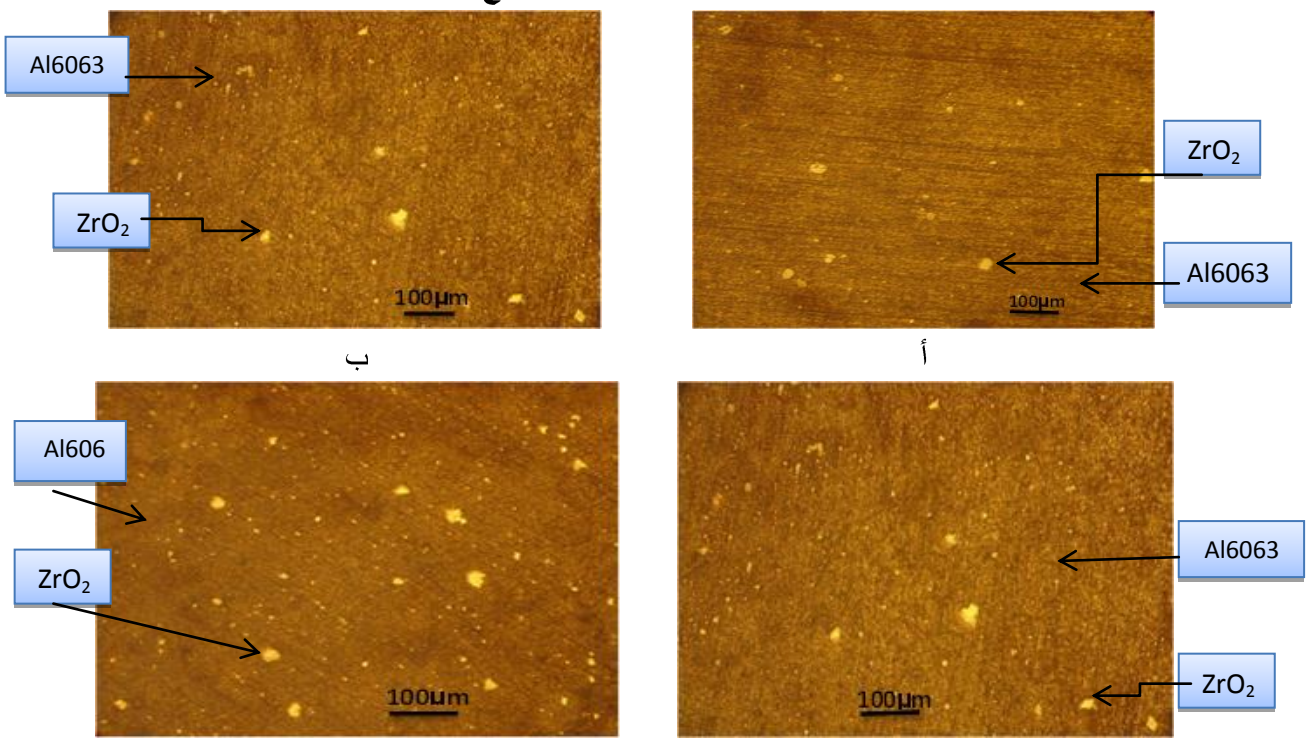
أ



ت ب

ج ث

لشكل (٧)الصور المجهرية لعينات البلى أ-Al6063، ب-Al6063_2.5%ZrO_2، ت-Al6063_5%ZrO_2، ث-Al6063_7.5%ZrO_2، ج-Al6063_10%ZrO_2

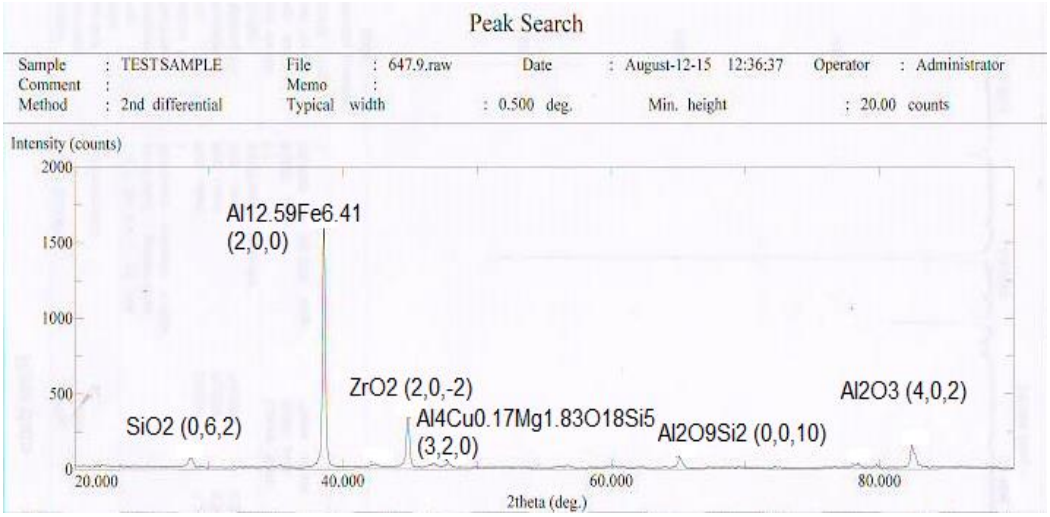


ب أ

ث ت

الشكل (٨) الصور المجهرية لمتراكبات Al6063_ZrO_2

أ-Al6063_2.5%ZrO_2، ب-Al6063_5%ZrO_2، ت-Al6063_7.5%ZrO_2، ث-Al6063_10%ZrO_2



الشكل (٩) حيود الاشعة السينية $90\%Al6063_10\%ZrO_2$