



ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: <http://www.tj-es.com>

TJES
Tikrit Journal of
Engineering Sciences

Razooqi RN, Akbar AA, Hamada ML. Influence of the Yttria and Graphite Particles on the same of Al 2024 Alloy Properties. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2019; 26(4):1-7.

Raed N. Razooqi¹
Ahmed A. Akbar²
Mohanad L. Hamada*¹

¹ Mechanical Eng. Dept./ College of
Eng./ Tikrit University
² Dept. of Production Eng. And
Metallurgy/ University of Technology

Influence of the Yttria and Graphite Particles on the same of Al 2024 Alloy Properties

ABSTRACT

Powders have been mixed as (Al with 99% purity $\leq 53\mu\text{m}$ particle size, Cu with 99.5% purity $\leq 53\mu\text{m}$ particle size, Mg with 99.5% purity $\leq 53\mu\text{m}$ particle size, Y2O3 with 99.9% purity $\leq 53\mu\text{m}$ particle size, Gr with 99.9% purity $\leq 53\mu\text{m}$ particle size). one set of composite samples was prepared by addition (3wt%Gr) to metal powders shown above. For the each sample of composite varying (Y2O3) weight percentage as: (Al 2024-3wt%Gr-XY2O3) was added $x=(0,2,4,6,8)$ (wt%) the other set of composite was in opposite. Well mixed samples was pressed uniaxial with (700Mpa) and (30sec). the compacted samples were sintered at (6000C) for (2hr). Results have shown an increase in bulk density by (5.3%) for (Al 2024-3wt% Gr-XY2O3) with the increase of reinforcement until (8wt%) of (Y2O3), while bulk density have been reduced for (Al 2024-3wt%Y2O3-XGr) with (5%) with the increase of (Gr) weight content in the composite. An increase in real porosity was noticed with the increase of (Y2O3) with (8wt%) (11.9%) for (Al 2024-3wt%Gr-XY2O3) but this was less in comparison with (Al 2024-3wt%Y2O3-XGr) were porosity increase with the increase of (Grwt%) up to reduced (18.5%) at (8wt%Gr). Mean value was of micro hardness decreased gradually with the increase of (Grwt%) to reach (19.4%) reduction at (8wt%Gr) in opposite the micro hardness mean value increased by (20%) as (Y2O3wt%) increased to (8wt%). Compression strength have was increased by (51%) as (Y2O3) content increased from (2-8)(wt%) for (Al 2024-3wt%Gr-XY2O3) composite, while it was decreased by (48%) with the addition of (8wt%) graphite to (Al 2024-3wt%Y2O3-XGr). The content of (Gr) had higher effect on wear rate than (Y2O3) where the wear rate decreased by (59.7%) and (41%) for composite samples respectively, within the limits of addition in the current study.

© 2019 TJES, College of Engineering, Tikrit University

Keywords:

Yttery
Graphite
2024 Aluminum alloy

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 June 2016
Accepted 06 March 2018
Available online 20 December 2019

DOI: <http://doi.org/10.25130/tjes.26.4.01>

تأثير جسيمات اليتيريا والكرافيت على بعض خواص سبيكة الألمنيوم 2024

رائد نجيب رزوقي / قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق
أحمد علي أكبر أكبر / قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية، العراق
مهند لطيف حمادة / قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق

الخلاصة

تم خلط المساحيق (الألمنيوم ذي نقاوة (99%) وبحجم جسيمي ($53\mu\text{m}$))، النحاس ذي نقاوة (99.5%) وبحجم جسيمي ($53\mu\text{m}$)، المغنيسيوم ذي نقاوة (99.5%) وبحجم جسيمي ($53\mu\text{m}$) مع جسيمات اليتيريا (Y2O3) ذي نقاوة (99.9%) وبحجم جسيمي ($53\mu\text{m}$) والكرافيت ذي نقاوة (99.9%) وبحجم جسيمي ($53\mu\text{m}$) بمرحلتين الأولى إضافة مسحوق الكرافيت بنسبة ثابتة مقدارها (3wt%) إلى متراكبات (Al2024-3wt%Gr-xY2O3) إذ أن $x=(0,2,4,6,8)$ (wt%) أما المرحلة الثانية فتمثلت بإضافة مسحوق الكرافيت بنسب متغيرة (x) مع تثبيت نسبة اليتيريا لتكون بمقدار (3wt%) لإنتاج متراكبات (Al2024-3wt%Y2O3-xGr)، كبس الخليط على البارد باتجاه واحد بضغط كبس مقداره (700MPa) ولمدة (30sec). وأجريت عملية التليد عند درجة حرارة (600oC) لمدة ساعتين، أظهرت نتائج الدراسة الحالية زيادة في الكثافة الحجمية بمقدار (5.3%) للمتراكبات (Al2024-3wt%Gr-xY2O3) مع زيادة النسب الوزنية لجسيمات اليتيريا حتى الوصول إلى (8wt%)، بينما انخفضت الكثافة الحجمية للمتراكبات (Al2024-3wt%Y2O3-xGr) بمقدار (5%) عند زيادة محتوى جسيمات الكرافيت كما ازدادت المسامية الحقيقية مع زيادة محتوى اليتيريا بمقدار (11.9%) للمتراكبات (Al2024-3wt%Gr-xY2O3) لكنها الأقل بالمقارنة مع المتراكبات التي تحتوي على نسبة ثابتة من اليتيريا إذ ازدادت نسبة مساميتها بزيادة محتوى الكرافيت وبلغت (18.5%) عند محتوى كرافيت (8wt%)، أما الصلادة المتوسطة فقد انخفضت بشكل تدريجي مع زيادة محتوى الكرافيت لتصل إلى (19.4%) عند الوصول إلى محتوى كرافيت (8wt%)، ولكن عندما بلغ محتوى جسيمات التقوية باليتيريا نسبة (8wt%) ازدادت الصلادة المتوسطة للمتراكبات بنسبة (20%). وعند زيادة محتوى جسيمات التقوية للمتراكبات من (2-8)(wt%) ازدادت مقاومة الانضغاط بنسبة (51%) عند التقوية باليتيريا بينما انخفض بنسبة (48%) عند التقوية بالكرافيت. وكان لمحتوى الكرافيت تأثير كبير على معدل البلى مقارنة مع اليتيريا إذ انخفض بالمقدارين (41%) و(59.7%) على التوالي ضمن حدود النسب المضافة قيد الدراسة.

الكلمات الدالة: اليتيريا، الكرافيت، سبيكة الألمنيوم 2024

* Corresponding Author: E-mail: muhanad.lateef@yahoo.com

1. المقدمة

تعد تقانة كبس مساحيق المعادن إلى أشكال محددة ليست جديدة إذ إن الحضارات القديمة في عصور ما قبل التاريخ قد مارست هذا الفن إذ إن المصريون قاموا بصناعة بعض العدد والأدوات الثمينة، ومنذ ذلك الحين توسع نمو تقانة ميتالورجيا المساحيق بصورة سريعة ويرجع سبب ذلك إلى التصنيع الاقتصادي والخواص المنتجة الفريدة من نوعها التي تتميز بها تلك التقانة [1].

2. المواد المترابطة

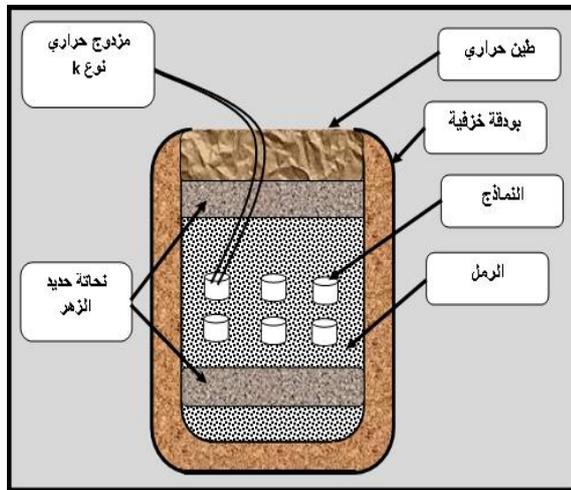
نظام مواد يتكون من اثنين أو أكثر من المكونات غير متشابهة، مختلفة بالأشكال غير دائب أحدهما بالآخر، تختلف فيزيائياً وغير متجانسة كيميائياً، كل من هذه المكونات المختلفة تحافظ على هيكلية بنيتها وخواصها وتحفظ بمميزاتها الخاصة بها في المترابك وبالنتيجة إنتاج مترابك يمتلك خواص تختلف عن خواص مكوناته. وتتكون المواد المترابكة من الأرضية (Matrix) وهي المادة التي تغلف مواد التدعيم وتعمل على تماسكها وتعطي صلادة ومقاومة منخفضة ومادة التدعيم أو التقوية (Reinforcement) وهي المادة التي تعمل على تقوية المادة الأساس وتكون ذات صلادة ومقاومة عاليتين ومطيلية منخفضة إذ تؤدي إلى تحسين الكثير من الموصفات والخواص الميكانيكية [2,3]. أستحدثت المواد المترابكة ذات الأساس المعدني لتتناسب التطبيقات المتقدمة مثل التطبيقات الحرارية والترابولوجية إذ تظهر تحسينات واضحة ومهمة في الخواص الفيزيائية والميكانيكية مقارنة بالمواد المنفردة مثل المقاومة (strength) ومعامل يونك ومقاومة الكلال. ويمكن استثمار هذه الخصائص في التطبيقات الصناعية للمترابكات ذات الأساس المعدني (MMCs) مثل المترابكات المعدنية ذات الأساس من الألمنيوم (AMCs) المقواة بألياف الألومينا (Al₂O₃) المستمرة والتي تستخدم في صناعة خطوط نقل الطاقة الكهربائية و المترابكات المقواة بجسيمات (SiC) المستخدمة في صناعة الطائرات والسيارات ومترابكات النحاس المدعمة بشعيرات (NB-Ti) التي تستخدم في صناعة المواد المغناطيسية علاوة على استخدام مترابكات ذات الأساس من الكوبلت (Co) المدعمة بجسيمات كاربيد التتستن (WC) في صناعة عدد القطع والتقيب عن النفط ومنذ عقد السبعينات ركزت التطورات صوب الألمنيوم وسبائكه كمواد أساس وعلى نطاق واسع في شتى المجالات المدنية والعسكرية إذ يعد من أوسع الفلزات للحديدية استعمالاً، والثاني بعد الصلب استهلاكاً في العالم. ويتعرض الألمنيوم وسبائكه المستخدمة في الصناعة لمختلف المجالات إلى تغيرات في مقاومته عند تعرضه إلى ظروف العمل والتحميل العالي عند درجات الحرارة العالية لذلك تعد تقنية إضافة المواد السيراميكية إلى المعادن والسبائك ومنها الألمنيوم مرغوب بها اقتصادياً لإنتاج مواد جديدة تدعى بالمواد المترابكة ذات الأساس المعدني وفي مقدمتها المواد المترابكة ذات الأرضية من الألمنيوم المدعمة بمواد سيراميكية بأشكال مختلفة (دقائق، شعيرات، ألياف مستمرة، ألياف متقطعة). كونها تضيف على المادة تحسن واضح في الأداء من أجل زيادة مساحة استعمالها في مختلف التطبيقات الهندسية. وقد بدأت هذه السبائك تحل محل حديد الزهر والبرونز في صناعة الأجزاء المقاومة للبلل. [4-8].

في عام 2007 درس الباحث Bouaeshi تأثير إضافة اليتيريا (Y₂O₃) على الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية علاوة على السلوك الكهروكيميائي والبلل التآكلي للألمنيوم المنتج

بتقانة ميتالورجيا المساحيق. استخدم الباحثان مسحوق الألمنيوم التجاري ذو نقاوة (99.8%) وبحجم جسيمات (40-325Mesh) أما مسحوق اليتيريا فقد تم إضافته بنسب وزنية (0,5,10,15,20wt%) وكانت جسيماته بحجوم تقل عن (10µm). طُحن الخليط في خلاط ميكانيكي بوجود كرات من الألومينا لمدة 10 ساعات. ومن ثم الكبس. تبع ذلك صهر الأنموذج الناتج وتركه ليتصلب في جو من الأركون. توصل الباحثان إلى زيادة كل من الصلادة ومقاومة البلل الجاف والبلل التآكلي علاوة على تحسن سلوك الاستقطاب والبنية المجهرية مع زيادة نسبة اليتيريا التي أدت إلى انخفاض الاستطالة [9]. وفي عام 2009 درس الباحث Zare-Bidaki تأثير محتوى الكرافيت على سلوك البلل الانزلاقي الجاف والبلل الانزلاقي المغمور بالزيت لمترابكات (Al₂O₃/graphite) المنتجة باستخدام طريقة (in-situ) ميتالورجيا المساحيق. استخدم الباحثان مسحوق سبيكة الألمنيوم 2024 مع مسحوق الكرافيت الذي تمت إضافته بنسب حجمية (Vol%) (0,5,10,15,20) ومن ثم كبس المسحوق على الباراد بضغط قدرة (650Mpa). لبنت العينات باستخدام فرن أنبوبي بوجود النايتروجين لتجنب الأكسدة ومن ثم تم تليد العينات التي تحتوي على نسبة (15Vol%) أو أقل من الكرافيت بدرجة (600oC) لمدة (30min) أما العينات التي تحتوي على نسبة (20Vol%) كرافيت فقد لبنت بدرجة (610oC) لمدة ساعة ومن ثم تم إجراء المعاملة المحلولية بدرجة (495oC) لمدة (3hr) ومن ثم الإخماد بالماء، اجري التعتيق الاصطناعي بدرجة (170oC) لمدة (5hr). توصل الباحثان إلى انخفاض قيم كل من الصلادة ومقاومة الالتواء مع زيادة محتوى الكرافيت، كما تم تحسين مقاومة البلل الانزلاقي الجاف والمغمور عند إضافة نسبة (5Vol%) من الكرافيت أما عند إضافة نسبة (10Vol%) أو أكثر ازداد معدل البلل [10]. وفي عام 2010 درس الباحث Yarra وأخرون زيادة الكثافة لمترابك (Al-Y₂O₃). استخدم الباحثون مسحوق الألمنيوم النقي (99.7%) وحجم جسيمات مقاداره (50µm)، أما مسحوق اليتيريا فقد أضيف بنسبة (5wt%) وبحجم جسيمات (20µm). طُحن الخليط بخلاط ميكانيكي يحتوي على كرات من التتستن لمدة (3) ساعات وبسرعة خلط (300rpm) تبع ذلك الكبس عند درجة حرارة الغرفة بتمريرتين في ممر زاوي متساو.

إن كثافة وصلادة المترابك بعد التمريرة الأولى من الكبس قد بلغت (95%) و (79±6VHN) على التوالي، كما بلغت الكثافة والصلادة بعد التمريرة الثانية (97%) و (83.2±4.7 VHN) على التوالي أيضاً وحصل الباحثون على بنية مجهرية متجانسة ومقاومة ميكانيكية عالية للمترابك [11]. وفي عام 2013 درس الباحث Ravindran السلوك الترابولوجي لمترابكات الألمنيوم الهجينة مع إضافة الكرافيت كمزيت صلب والمنتج بتقانة ميتالورجيا المساحيق. استخدم الباحثون مسحوق سبيكة الألمنيوم 2024 مع مسحوق كاربيد السليكون الذي تم إضافته بنسبة (5wt%) ومسحوق الكرافيت بنسبة (0,5,10wt%). خلطت المساحيق باستخدام ماكينة خلط كوكبية مع وجود الكرات ومن ثم كبس الخليط باستخدام جهاز كبس أحادي الاتجاه بضغط كبس (845MPa) بوجود الزنك كمادة مزيتة. أجريت عملية التليد بدرجة (5300C) لمدة ساعة وأجريت المعاملة المحلولية بدرجة (5400C) لمدة (2hr) ومن ثم الإخماد بالماء والتعتيق طبيعي لمدة (72hr). توصل الباحث إلى انخفاض معدل البلل ومعامل الاحتكاك مع إضافة (5wt%) كرافيت كما قلت الصلادة مع زيادة نسبة الكرافيت أظهرت المترابكات الهجينة معامل احتكاك وفقدان بلل أقل من مترابكات الحاوية على الكرافيت فقط. وحسن استخدام جسيمات التقوية (SiC) وجسيمات الكرافيت في المترابكات الهجينة من الخواص

الجامعة (Universal Testing Machine) نوع (WDW-200E) ذات منشأ صيني وبسعة كبس (180KN) وبذا تم الحصول على نماذج أسطوانية الشكل قطرها (10) ملم وارتفاعها (6) ملم. وأجريت عملية التليد للنماذج من خلال تسخين العينات باستخدام فرن المقاومة الكهربائية نوع (CARBOLITE) إنكليزي المنشأ تصل أقصى درجة حرارة له (1300oC)، استخدمت حاوية خزفية لإجراء عملية تليد النماذج إذ وضعت طبقة من نحاعة حديد الزهر الرمادي في قاع الحاوية ثم طبقة من الرمل بعد غسله وتجفيفه بدرجات حرارية عالية لضمان خلوه من الرطوبة بعد ذلك رصفت النماذج فوق طبقة الرمل مع تثبيت مزدوج حراري نوع (K) قرب النماذج لمراقبة درجة الحرارة والسيطرة عليها، تم تغطية النماذج بطبقة أخرى من مسحوق الرمل تلتها طبقة من نحاعة حديد الزهر الرمادي بعد ذلك تم غلق الحاوية بطبقة من الطين الحراري (Fire Clay) وشكل 1 يبين طريقة توزيع النماذج أثناء عملية التليد [14]. وبعد جفاف الطين الحراري وضعت الحاوية داخل الفرن ثم رفعت درجة حرارته تدريجياً إلى درجة حرارة التليد البالغة (600oC) وبمعدل (12oC/min) ومن ثم الإبقاء على الحاوية عند تلك الدرجة لمدة ساعتين تبع ذلك التبريد البطيء داخل الفرن إلى درجة حرارة الغرفة .



لغرض إجراء الفحوصات الميكانيكية والفيزيائية تم تحضير العينات لغرض إجراء فحص البنية المجهرية أجريت عملية التنعيم الرطب باستخدام أوراق تنعيم من كربيد السليكون بعدة مراحل هي (500, 1000, 1500, 2500) ثم صقلت على مرحلتين بقماش الصقل وباستخدام معجون صقل صناعي (خشن ، ناعم) من معجون الماس، تمت عمليتا التنعيم والصقل باستخدام جهاز التنعيم نوع (BECHWORTH.SURREY) إنكليزي المنشأ وجهاز الصقل (ECOMET) أمريكي المنشأ وبعد كل مرحلة من مراحل التنعيم والصقل تم غسل العينات بالماء والكحول مع التجفيف باستخدام جهاز التجفيف نوع (LABSC) ألماني المنشأ. وتم إجراء التصوير المجهرى للنماذج باستخدام المجهر الضوئي نوع (OLYMPUS) ياباني المنشأ. تم تحديد الأطوار باستخدام جهاز فحص حيود الأشعة السينية

شكل 1: الحاوية الخزفية ومحتوياتها أثناء عملية التليد [14].

(XRD) ألماني المنشأ أما الصلادة فقد تم قياسها باستخدام جهاز فحص صلادة فيكرز المايكروية نوع (Laryee) صيني المنشأ وتم اخذ خمس قراءات لكل وجه من أوجه النموذج ومن ثم أخذ المعدل للوجهين للحصول على قيمة الصلادة، كما تم إجراء اختبار مقاومة الانضغاط القطرية باستخدام ماكينة الاختبارات الجامعة نوع (WDW-200E) وأجريت اختبار مقاومة البلى

الترايولوجية لنظام الانزلاق للمواد المنتجة باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق [12].

3. العملي

يوضح جدول 1 أنواع المساحيق المستخدمة في تصنيع المتراكبات ويمثل مسحوق سبيكة الألمنيوم 2024 المادة الأساس للمتراكبات المستخدمة في الدراسة الحالية ذات التركيب الكيميائي الموضح في جدول 2 بينما يمثل كل من مسحوق الكرافيت ومسحوق اليتيريا مواد التقوية.

جدول 1

أنواع المساحيق المستخدمة في تصنيع المتراكبات

ت	نوع المسحوق	النقاوة (%)	حجم الجسيمات (µm)	المنشأ
1	الألمنيوم (AL)	99	53≥	هندي من شركة CDH
2	النحاس (Cu)	99.5	53≥	هندي من شركة CDH
3	المغنيسيوم (Mg)	99.5	53≥	ألماني من شركة RIERDEL-DEHAEN AG
4	اليتيريا (Y2O3)	99.9	53≥	ألماني من شركة Fixanal
5	الكرافيت (Gr)	99.9	53≥	دنماركي من شركة Struers

إذ يتكون الجانب العملي من مرحلتين الأولى إضافة مسحوق اليتيريا بنسب وزنية (wt%) (2,4,6,8) وإضافة مسحوق الكرافيت بنسبة وزنيه ثابتة مقدارها (3wt%) أما المرحلة الثانية فتتم بإضافة مسحوق الكرافيت بنفس النسب المذكورة آنفا مع تثبيت نسبة اليتيريا بمقدار (3wt%). تم تجفيف مسحوق الكرافيت بدرجة حرارة (200oC) ولمدة ساعتين للتخلص من الرطوبة والمواد الطيارة حسب [13]. وتهيئة أوزان خلطة كل نوع من أنواع المتراكبات بإتباع النسب الوزنية بين سبيكة الألمنيوم 2024 وكل من اليتيريا والكرافيت.

جدول 2

التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم 2024.

Metal	AL	Cu	Mg
(wt %)	Bal.	4.5	1.5

تم الوزن باستخدام ميزان كهربائي حساس نوع (Precisa) سويسري المنشأ وبدقة قياس (0.0001) غرام. ومن ثم وضعت أوزان العناصر المكونة لكل متراكب في داخل الحاوية الفولاذية لماكنة الخلط ومن ثم خلطت المساحيق لمدة ساعتين وبسرعة خلط (300) دورة / دقيقة. تم سكب المسحوق بعناية تامة باستخدام قمع زجاجي لتفادي ضياع المسحوق داخل القالب وبعد ذلك تسليط ضغط أحادي الاتجاه مقداره (700Mpa) والإبقاء على الضغط لمدة (30) ثانية لتفادي احتمال الإرجاع المرن [14]. واستخدم لهذا الغرض ماكينة الاختبارات

إن عملية التغطية هذه تعد عائقاً لحدوث الاندماج (Consolidation) بين جسيمات الألمنيوم والنحاس والتقليل من تكوين المحاليل الجامدة بينهما نتيجة إعاقة حدوث انتشار الحالة الصلبة خلال عملية التليد ولذلك سيقال الانكماش الحجمي الناتج من الاندماج بفعل الكرافيت ومن ثم تقل معه الكثافة الحجمية وهذا يتفق مع ما وجدته [17] لدرجة حرارة وزمن تليد مختلفان كما أن بعض المترابكات التي أظهرها فحص حيود الأشعة السينية (XRD) والمبينة بالشكل 3 (ج،د) تمتاز بأن لها كثافات منخفضة نسبياً مقارنة بالمترابكات الأخرى وبوجود الكرافيت انعكس ذلك على خفض الكثافة الحجمية.

الصلادة

يبين شكل 5 العلاقة بين نسبة مادة التقوية والصلادة المجهرية للمترابكات (Al2024-3wt%Gr-XY2O3) والمترابكات (Al2024-3wt% Y2O3-XGr) إذ يتبين من خلال الشكل أن زيادة محتوى جسيمات التقوية (Y2O3) من (2wt%) إلى (8wt%) يؤدي إلى زيادة صلادة المترابك بنسبة (20%). ويمكن أن يعزى ذلك إلى عدة أسباب تعمل سوية على زيادة قيم الصلادة ومنها الصلادة العالية لمادة التديم (Y2O3) [9]. وعملها على إعاقة التشوه الموضعي لمعدن سبيكة الأساس أثناء إجراء اختبار الصلادة علاوة على ظاهرة الاصلاد الانفعالي التي تظهر بسبب اختلاف معامل التمدد الحراري لمادة التقوية مقارنة بمعدن سبيكة الأساس إذ إن مواد التقوية تمتلك معامل تمدد حراري أقل من سبيكة المعدن الأساس مما يؤدي إلى احتمالية توليد عدد كبير من الانخلاعات عند السطح البيني الفاصل بين جسيمات التقوية والمادة الأساس والتي تزداد كثافتها بزيادة نسب الإضافة وبالتالي تسبب زيادة قيم الصلادة [14]. كما أن وجود عنصر النحاس الذي يعمل على تكوين أطوار بينية شكل 3 (أ،ب) تزيد من الخواص الميكانيكية وهذا يتفق مع ما سبق التوصل إليه في دراسات سابقة من تأثير مواد التقوية على صلادة الألمنيوم وسبائكها [16] ولظروف تحضير مختلفة. أما بالنسبة للمترابكات (Al 2024-3wt% Y2O3-XGr) فيلاحظ من شكل 5 إن العلاقة بين نسبة الإضافة بالكرافيت والصلادة المجهرية للمترابكات قد أدى إلى انخفاض الصلادة للمترابكات بنسبة (19.4%) ويتبين من خلال الشكل أن زيادة نسبة اضافة الكرافيت من (2wt%) إلى (8wt%) يؤدي إلى انخفاض الصلادة المجهرية للمترابكات بنسبة (19.4%) والذي يتفق مع ماتم ملاحظته من خلال شكل 2 من الانخفاض في الكثافة الحجمية بزيادة نسبة الكرافيت الذي يعمل بالتالي على خفض قيم الصلادة ويمكن أن يعزى ذلك أيضاً إلى صلادة الكرافيت المنخفضة علاوة على الانخفاض الشديد لذوبانية في الألمنيوم والنحاس بمعنى آخر عدم حدوث أي اصلاد يذكر بالمحاليل الجامدة (Solid Solution Hardening) بين الألمنيوم والكرافيت من جهة والنحاس والكرافيت من جهة أخرى.

مقاومة الانضغاط

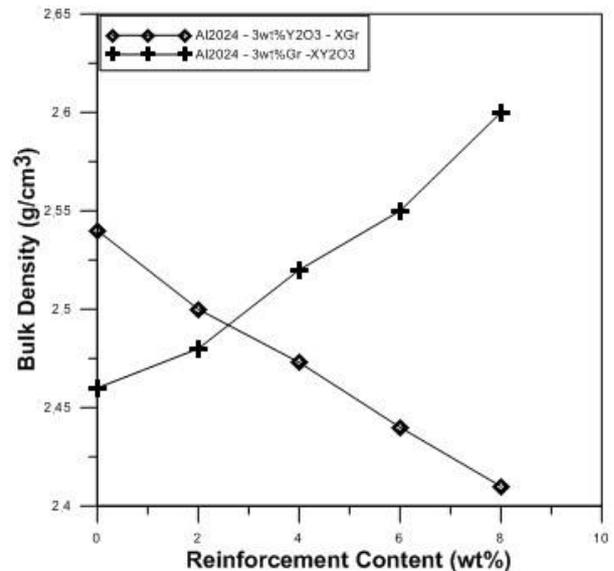
يبين شكل 6 العلاقة بين نسبة التقوية باليتيريا (Y₂O₃) والكرافيت ومقاومة الانضغاط لكلا المترابكات (Al2024-3wt%Gr-XY2O3) والمترابكات (Al2024-3wt% Y2O3-XGr) إذ يتبين من الشكل أن زيادة محتوى جسيمات اليتيريا من (2wt%) إلى (8wt%) يؤدي إلى زيادة مقاومة الانضغاط للمترابك بنسبة (51%). وتعزى هذه الزيادة في قيم مقاومة الانضغاط إلى عدة أسباب ويأتي في مقدمتها زيادة قيم الصلادة كما مبين في شكل 5 علاوة على الصلادة العالية لجسيمات التقوية (Y₂O₃) التي تعمل على توليد الانخلاعات وإعاقة حركتها ومقاومة التشوه اللدن للمترابك. وكما أن فحص حيود الأشعة السينية شكل 3 (أ،ب) قد أظهر وجود بعض الأطوار التي تتميز

باعتقاد طريقة المسمار على القرص (Pin-on-Disk) أما الكثافة الحجمية فقد تم حسابها باتباع قاعدة أرخميدس (Archimedes principle) وفق المعيار العالمي (ASTM C373-88).

4. النتائج والمناقشة

الكثافة الحجمية

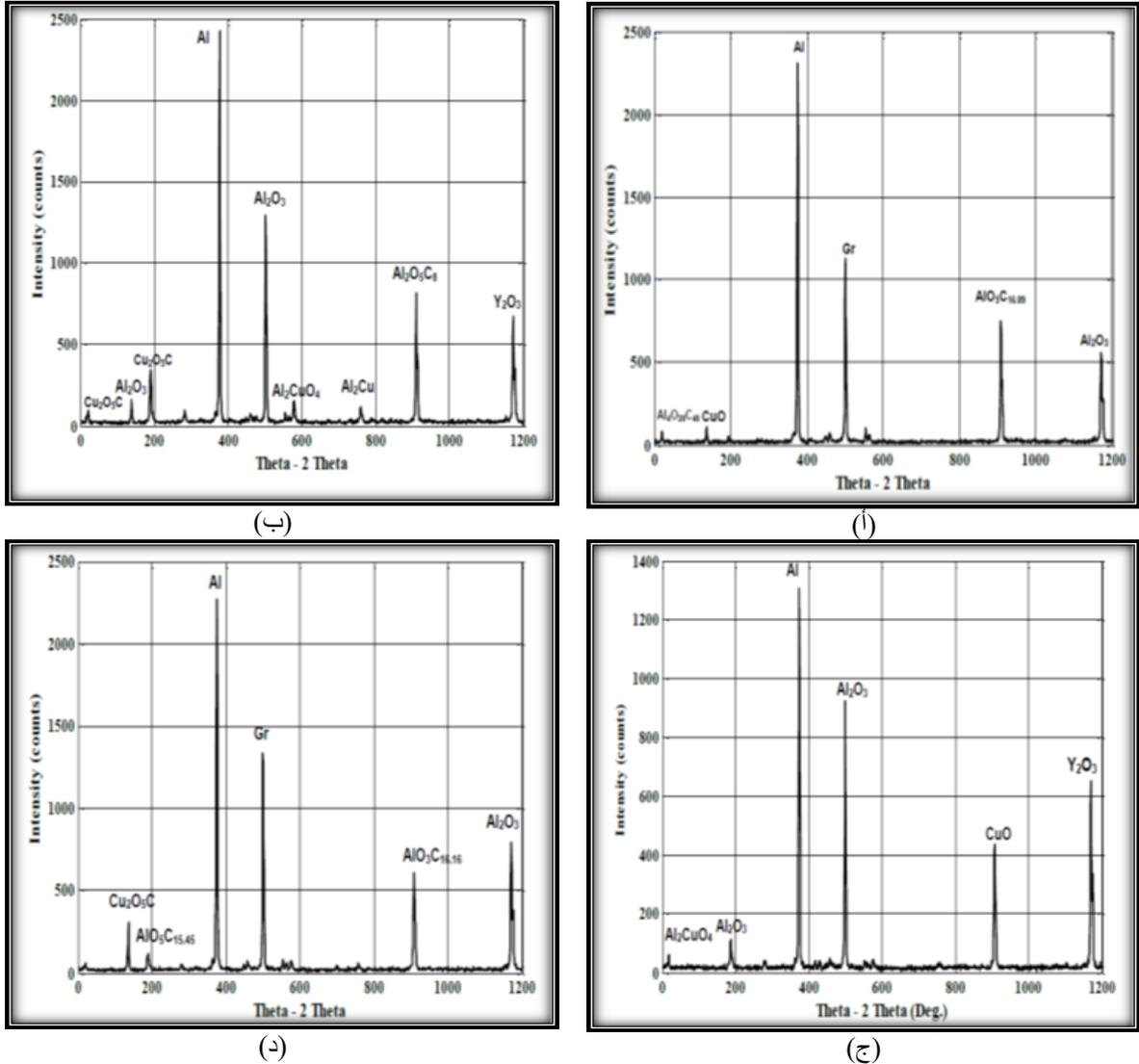
يبين شكل 2 العلاقة بين نسبة التقوية والكثافة الحجمية للمترابكات (Al2024-3wt%Gr-XY2O3) والمترابكات (Al 2024-3wt% Y2O3-XGr) المحضرة بتقانة ميتالورجيا المساحيق إذ إن (X=0,2,4,6,8)(wt%) ويتبين من خلال الشكل أن زيادة محتوى جسيمات التقوية (Y2O3) من (2wt%) إلى (8wt%) أدت إلى زيادة كثافة المترابك بنسبة (5.3%) ويعزى هذا السلوك إلى عدة أسباب يوازرها بعضها البعض الآخر منها الكثافة العالية لجسيمات (Y2O3) والتي تبلغ (5.03g/cm³) مقارنة مع كثافة معدن سبيكة الأساس (Al 2024-3wt%Gr) علاوة على أن درجة حرارة التليد البالغة (600oC) وزمن الوصول إليها البالغه (120min) قد ساعدت على تطوير عملية الانتشار بين مكونات المترابكات وتكون أطوار تتباين في قيم كثافتها (1.308 - 5.028) (g/cm³) حسب ما أظهره فحص حيود الأشعة السينية شكل 3 (أ،ب) والتي قد تشغل بعض الفراغات بين جسيمات المترابك علاوة على بعض الفجوات المرتبطة بمادة التقوية وهو يتفق مع ما توصل إليه كل من [16] لمترابكات أخرى. وأما بالنسبة للمترابكات (Al 2024-3wt% Y2O3-XGr) فمن خلال شكل 2 أن زيادة محتوى الكرافيت أدى إلى انخفاض الكثافة الحجمية للمترابكات بنسبة (5%) مع زيادة محتوى جسيمات الكرافيت من (0wt%) إلى (8wt%). ويمكن أن يعزى ذلك إلى كثافة الكرافيت المنخفضة إذ تبلغ (2.26g/cm³) مقارنة مع كثافة معدن سبيكة الأساس وبذلك أدت زيادة محتواه بالنتيجة إلى انخفاض كثافة المترابك علاوة على دور الكرافيت الذي يتمثل في تكوين تجمعات (cluster) تعمل على تغطية جزء من جسيمات الألمنيوم وجزء من جسيمات النحاس أيضاً والذي يزداد تأثيره بزيادة محتوى الكرافيت وكما موضح في صور البنية المجهرية شكل 4.



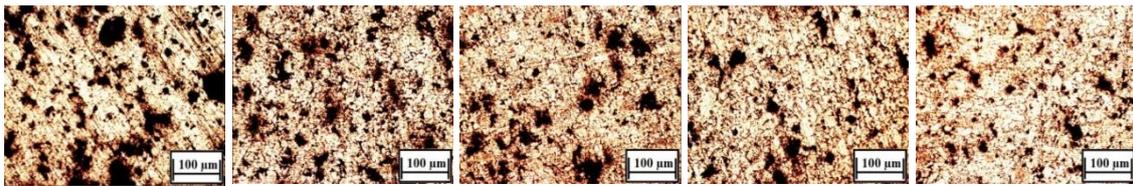
شكل 2: تأثير نسبة جسيمات التقوية على الكثافة الحجمية للمترابكات.

الكرافيت ستعمل على تغليف وعزل بعض من جسيمات المترابك الأمر الذي يقلل من عملية الاندماج بينها وهو يتفق مع ما أشار إليه [17] لذلك فإن زيادة نسبة الكرافيت قد صاحبها انخفاض في الكثافة الحجمية شكل 2. والذي يتفق مع ما وصل إليه [18] لسبيكة الألمنيوم (6061) المدعمة بجسيمات تقوية من الكرافيت والمحضرة بوساطة الطحن بالكرات إذ وجد أن إضافة الكرافيت إلى المترابكات ذات الأساس المعدني يقلل من مقاومة الانضغاط.

بكثافتها العالية التي تساهم في زيادة الكثافة الحجمية شكل 2 التي تعمل بالنتيجة على زيادة الصلادة ومقاومة الانضغاط. كما يتبين من خلال شكل 6 إن بزيادة محتوى الكرافيت من (0wt%) إلى (8wt%) تنخفض مقاومة الانضغاط للمترابكات بنسبة (48%). ويمكن أن يعزى هذا السلوك إلى مقاومة الانضغاط المنخفضة للكرافيت التي تؤدي دورها إلى انخفاض الخواص الميكانيكية وتعزز هذه النتيجة ما تم التوصل إليه من قبل [10] للمترابكات بنسب وظروف تحضير متباينة. علاوة على أن زيادة نسبة



شكل 3: فحص حيود الأشعة السينية لبعض المترابكات (أ) Al2024-3wt% Gr-0wt% Y₂O₃، (ب) Al2024-3wt% Gr-8wt% Y₂O₃، (ج) Al2024-3wt% Y₂O₃-0wt% Gr و (د) Al2024-3wt% Y₂O₃-8wt% Gr



شكل 4: صور البنية المجهرية للمترابكات (أ) Al2024-3wt% Y2O3-0wt% Gr، (ب) Al2024-3wt% Y2O3-2wt% Gr، (ج) Al2024-3wt% Y2O3-4wt% Gr، (د) Al2024-3wt% Y2O3-6wt% Gr و (هـ) Al2024-3wt% Y2O3-8wt% Gr.

إذ إن:

W: معدل البلى

K: ثابت البلى

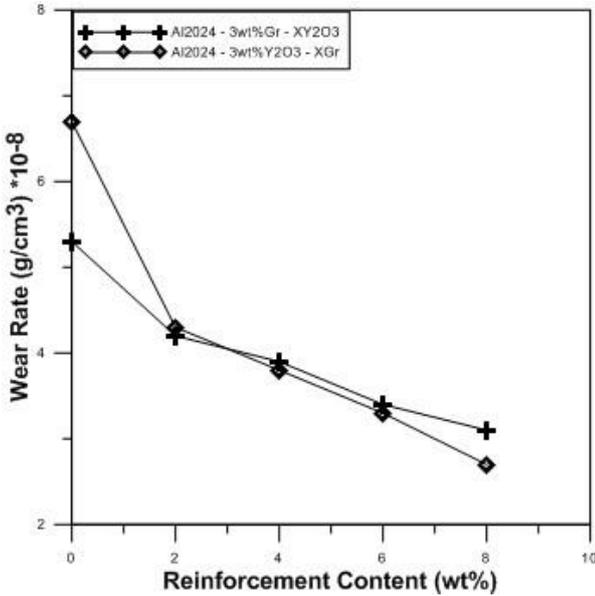
N: الحمل العمودي المسلط

S: مسافة الانزلاق

H: صلادة العينة

C: عامل هندسي يعتمد على البنية المجهرية

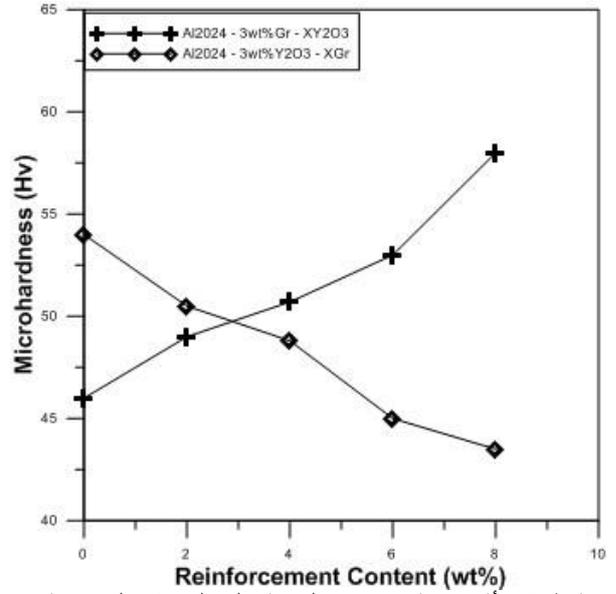
ومن شكل 7 يلاحظ إن معدل البلى للمترابكات (Al2024-3wt% Y2O3-XGr) أقل من معدل البلى للمترابكات المناظرة لها وبجميع النسب وأن زيادة محتوى الكرافيت من (0wt%) إلى (8wt%) يؤدي إلى انخفاض معدل البلى للمترابكات بنسبة (61%). ويعزى ذلك السلوك إلى التأثير الإيجابي لجسيمات الكرافيت في الانخفاض الكبير لمعدل البلى للمترابك الناتج من تكون طبقة مزيتة (كرافيتية) رقيقة بين السطحين المنزلقين تعمل كمزيت صلب نتيجة لطبيعة الكرافيت الطبقيّة وكنتيجة للترابط الضعيف بين تلك الطبقات (التي لا يوجد بينها أصرة سوى قوى فاندرفال الضعيفة) مما يجعلها تنزلق فوق بعضها البعض وعليه سيعمل الكرافيت على تغيير طبيعة الاتصال بين السطحين المنزلقين (سطح المترابك و سطح قرص الاختبار الفولاذي) من حالة الاتصال المعدني إلى حالة الاتصال بين سطحين تفصل بينهما طبقة كرافيتية تعمل كمزيت صلب وبذلك يقلل من الإجهاد القصي وتحسن الخصائص الترابولوجية لتلك الأسطح وبالتالي يقلل حجم البلى الناتج من الحركة الانزلاقية علاوة على خفض درجة حرارة سطح البلى الذي يقود إلى تقليل الالتصاق بين المركبات البينية للمترابك مما يساعد على إزالة أقل كمية ممكنة من جسيمات التقوية من سطح سبيكة المعدن الأساس لذلك سوف يكون حجم السطح البالي أقل بزيادة كمية الكرافيت وهو ما توصل إليه [21] عند التقوية بكاربيد السليكون لمترابكات أخرى.



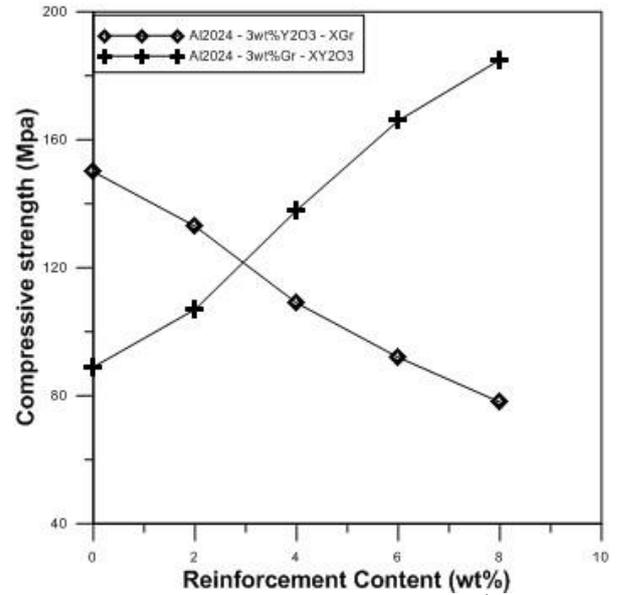
شكل 7: تأثير نسبة جسيمات التقوية على معدل البلى للمترابكات

5. الاستنتاجات

- أدت زيادة محتوى جسيمات البتيرييا من (2wt%) إلى (8wt%) إلى زيادة الكثافة الحجمية للمترابكات بنسبة (5.3%) وانخفضت الكثافة الحجمية للمترابكات بنسبة (5%) مع زيادة محتوى الكرافيت حتى الوصول إلى نسبة إضافة (8wt%).



شكل 5: تأثير نسبة جسيمات التقوية على الصلادة المجهرية للمترابكات



شكل 6: تأثير نسبة جسيمات التقوية على مقاومة الانضغاط للمترابكات

معدل البلى

يبين شكل 7 الانخفاض في معدل البلى للمترابكات (Al 2024-3wt% Gr-XY2O3) والمترابكات (Al 2024-3wt% Y2O3-XGr) إذ يتبين من خلال الشكل أن زيادة محتوى جسيمات التقوية (Y2O3) من (0wt%) إلى (8wt%) يؤدي إلى انخفاض قيم معدل البلى للمترابكات بنسبة (41%). ويعزى هذا السلوك إلى عدة أسباب منها الصلادة العالية لجسيمات التقوية (Y2O3) إذ إن زيادة الصلادة تعمل على تقليل معدل البلى علاوة على زيادة الكثافة الحجمية والصلادة المايكروية شكل 1 و 5 وهناك علاقة عكسية بين معدل البلى ومتوسط الصلادة المايكروية للمترابكات (Al2024-3wt% Gr-xY2O3) وهو ما توصل اليه [19] عند التقوية بكاربيد السليكون والذي يتفق مع العلاقة [20]:

$$W = K \frac{NS}{CH} \quad (1)$$

- Indian Institute of Metals 2010;63(5): 813-817.
- [12] Ravindran P, Manisekar K, Narayanasamy P, Selvakumar N, Narayanasamy R. Application of factorial techniques to study the wear of al hybrid composites with graphite addition. *Materials and Design* 2012;39:42-54.
- [13] سيف صباح ارحيم. دراسة تأثير متغيرات ميتالورجيا المساحيق على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات نحاس-كرافيت. رسالة ماجستير، جامعة تكريت، تكريت، العراق: 2013.
- [14] Mahdi FM, Annas AA. Effect of yttria content on mechanical properties of Al-Y2O3 composites prepared via squeeze casting and powder metallurgy routes. *Sulaimani Journal for Engineering Science* 2015;2(2):
- [15] Kim SCH, Kim MT. Effect of copper addition on the sintering behavior and mechanical properties of powder processed AL/Sic composites. *Journal of Materials Science* 2005;40:441-447.
- [16] Vinoth kumar SV, Manisekar K, Ravindran P. Development and tribological performance of nano Sic particles on The AA2024 hybrid composites with the addition of nano graphite. 5th International & 26th conference 2014 December 12-14; All India Manufacturing Technology, India.
- [17] Goytia-Reyes R, Gallegos-Orozco V. Microstructure and properties in AL-C-Cu system produced by mechanical milling. *Journal of Alloys and Compounds* 2009;485:837-842.
- [18] Son HT, Kim TS. Homogeneous dispersion of graphite in a 6061 Aluminum alloy by ball milling. *Materials Science and Engineering* 2003;A348:163-169.
- [19] Liu ZY, Wang QZ, Xiao BL. Experimental and modeling investigation on SiCp distribution in powder metallurgy processed SiCp/2024AL composites. *Materials Science and Engineering* 2010 A527: 5582-5591.
- [20] Moustafa SF, El-Badry SA. Friction and wear of copper-graphite composites made with Cu-coated and uncoated graphite powders. *Journal of Wear* 2002;253: 699-710.
- [21] Ravindran P, Manisekar K. Tribological behavior of powder metallurgy processed aluminum hybrid composites with the addition of graphite solid lubricant. *Ceramic International* 2013;39:1169-1182.
- 2- ازدادت الصلادة المتوسطة بنسبة (20%) للمتراكبات عند إضافة جسيمات التقوية باليتيريا إلى نسبة (8wt%) إلا أنها انخفضت بنسبة (19.4%) للمتراكبات الأخرى مع زيادة محتوى الكرافيت إلى (8wt%).
- 3- ان زيادة نسبة الإضافة من جسيمات اليتيريا ادى إلى زيادة مقاومة الانضغاط للمتراكبات بنسبة (51%) بينما انخفضت مقاومة الانضغاط لمتراكبات أخرى بنسبة (48%) مع زيادة نسبة التقوية بالكرافيت.
- 4- بلغت نسبة الانخفاض في معدل البلى (41%) عند إضافة اليتيريا للمتراكبات من (wt%) (2-8). وكان لمحتوى الكرافيت التأثير الكبير على معدل البلى إذ انخفض بنسبة (59.7%) عند إضافة الكرافيت بنسبة (wt%) (8).

6. المصادر

- [1] Upadhyaya GS. *Powder Metallurgy Technology*, England, 2002.
- [2] Bansala P, Upadhyay L. Experimental investigations to study tool wear during turning of alumina reinforced aluminum composite. *Procedia Engineering* 2013;51:818-827.
- [3] Moustafa SF, Abdel-Hamid Z. Copper matrix Sic and Al2O3 particulate composites by powder metallurgy technique. *Materials Letters* 2002;53:244-249.
- [4] Karl UK. *Metal matrix composites*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006.
- [5] Chawla N, Chawla KK. *Metal matrix composites*, Springer, 2006.
- [6] Harris B. *Engineering composite materials*. The Institute of Materials, London, 1999.
- [7] محمد سعيد وحيد، سدير موفق مجيد. دراسة معدلات التآكل لمكبوسات الألمنيوم المدعمة بمادة كربيد البورون، مجلة العلوم والتكنولوجيا 2010 28(18):
- [8] Bhargavi R, Ramanaiah N. Studies on mechanical properties of 2024Al-B4C composites. *Advance Materials Manufacturing & Characterization* 2014;4(1):42-46.
- [9] Bouaeshi WB, Li DY. Effect of Y2O3 addition on microstructure mechanical properties electrochemical behavior and resistance to corrosive wear of Aluminum. *Tribology International* 2007;40:188-199.
- [10] Akhlaghi F, Zare-Bidaki A. Influence of graphite content on the dry sliding and oil impregnated sliding wear behavior of Al2024-graphite composites produced by in-situ powder metallurgy method. *Wear* 2009;266:37-45.
- [11] Yarra R, Venkatachalam P. Densification of Al/Y2O3 composite powder by equal channel angular pressing. *Transaction of*

