

تأثير إضافة Graphite/WC على الخواص الفيزيائية والميكانيكية والبلى للألمنيوم

سيف صباح ارحيم

مدرس مساعد، قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة تكريت

saiof11@tu.edu.iq

(الاستلام:-2017/4/13 ، القبول:- 2017/6/18)

الخلاصة

تعد المواد المترابطة المعدنية ذات الأساس من الألمنيوم من أهم المترابكات المستخدمة في التطبيقات الهندسية المعقدة لما تتميز به من صفات وخصائص جيدة مثل المقاومة العالية بالنسبة للوزن والكثافة المنخفضة ومقاومة البلى. يهدف البحث إلى تصنيع مادة مترابطة هجينة ذات أساس من الألمنيوم ومقواة بدقائق كاربيد التنكستن (WC) ويكسر حجمي ثابت يساوي % 3 علاوة على كسور حجمية متغيرة من دقائق الكرافيت (Gr) تساوي 0, 2, 4, 6, 8 % باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق ودراسة تأثيرها على الخواص الفيزيائية والميكانيكية والبلى للألمنيوم، إذ تم مزج الخليط لمدة 15 دقيقة باستخدام خلاط ميكانيكي بعدها كبس المزيج على البارد بضغط 500 MPa للحصول على عينات بقطر 12 mm وبارتفاع 6 mm ومن ثم اجري التليد بدرجة حرارة 550 °C لمدة ساعتين، تم دراسة بعض الخصائص الميكانيكية للمترابك وهي الصلادة ومقاومة الانضغاط ومعدل البلى علاوة على الخصائص الفيزيائية المتمثلة بالكثافة الحجمية والظاهرية والمسامية الحقيقية والظاهرية وامتصاصية الماء بالإضافة إلى فحص التركيب المجهرى. أظهرت نتائج الدراسة انخفاض كل من الصلادة ومقاومة الانضغاط بنسبة % 24 و % 40 على التوالي بزيادة الكسر الحجمي للكرافيت، أما معدل البلى فقد تم الحصول على أقل معدل بلى أي أعلى مقاومة عند محتوى كرافيت يساوي % 2 ومن ثم يرتفع بعد ذلك بينما أظهرت المادة الأساس المقواة بدقائق كاربيد التنكستن فقط أعلى معدل بلى وأقل مقاومة. كما بينت النتائج وجود علاقة طردية بين الكثافة الحجمية والظاهرية إذ تنخفض بزيادة الكسر الحجمي للكرافيت على عكس كل من المسامية الكلية والظاهرية إذ ترتفع بزيادة محتوى الكرافيت مسببة زيادة امتصاصية الماء للمترابك الهجين. **الكلمات الدالة :** المترابكات الهجينة، ميتالورجيا المساحيق، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكانيكية، مقاومة البلى.

1- المقدمة

تملك المواد المترابطة صفات وخصائص فعالة للاستخدام في معظم التطبيقات الحديثة والمهمة مثل تطبيقات الفضاء والنقل وخاصة في محركات الاحتراق الداخلي وكذلك التطبيقات والصناعات البحرية، إذ من الصعوبة الحصول على مادة مفردة تملك خصائص وصفات متنوعة صالحة للاستخدام في التطبيقات المعقدة ولذلك فمن الضروري اللجوء إلى المترابكات (2,1)، تتكون المواد المترابطة من طورين أساسيين وهي المادة الأساس (Matrix) ومادة التقوية (Reinforcement) إذ تمنح مادة التقوية المترابك المقاومة والجلساء بينما تعمل المادة الأساس على ربط مادة التقوية ونقل الحمل إليها وتوزيعه فيما بينها وكذلك حمايتها من البيئة الخارجية (3). تلعب المترابكات ذات الأساس المعدني دور فعال ومهم في العديد من التطبيقات الهندسية، كما يعد الألمنيوم من أهم المواد المعدنية وأبرزها استخداماً في هذه التطبيقات لما يتمتع به من خصائص فريدة منها مقاومته الممتازة بالنسبة لخفة وزنه (الكثافة المنخفضة) وموصلية حرارية والكهربائية الجيدة وكذلك مقاومته العالية للتآكل علاوة على انخفاض معامل التمدد الحراري له (4,1).

تقوى المتراكبات ذات الأساس من الألمنيوم بمواد سيراميكية مثل دقائق الاوكسيدات (Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 ,) و الكاربيدات (SiO_2) و الكاربيدات (SiC , WC , B_4C , TiC) حيث إن التقوية بالدقائق تضمن التوزيع المنتظم للدقائق داخل المادة الأساس وبصورة عامة تعطي هذه المواد مقاومة جيدة للبلية والتآكل علاوة على جساءة عالية ومتانة وصلادة عند كثافة منخفضة عند مقارنتها مع المادة الأساس الغير مقواة (6,5)، وفي بعض الأحيان يتم اللجوء إلى مواد متراكبة هجينة (Hybrid) أي إضافة أكثر من مادة تقوية للحصول على تنوع أكثر في الخصائص مثل إضافة الكرافيت أو الموليبدنيوم لغرض خفض معدل البلى ومعامل الاحتكاك بسبب خاصية التزييت التي تتمتع بها أثناء الخدمة (7,6).

أبرز طرائق تحضير المواد المتراكبة هي طريقة ميتالورجيا المساحيق (Powder Metallurgy) إذ تتميز بإمكانية إنتاج بنية مجهرية متنوعة والحصول على مواد لها جمع من الخصائص لا يمكن الحصول عليها من المعادن والسبائك المشكلة أو المصبوبة على الساخن (8)، وكذلك إمكانية تصنيع منتجات من جميع المعادن تقريباً علاوة على صنع سبائك لا يمكن تحضيرها بطرق الميتالورجيا التقليدية مطلقاً، كما يمكن السيطرة على الحجم الحبيبي وتكون البنية المجهرية له متجانسة ومنتظمة نسبياً كما تعد هذه الطريقة اقتصادية وذات إنتاجية عالية (10,9).

اهتم الباحثون بدراسة المواد المتراكبة ذات الأساس من الألمنيوم وقدموا بحوث عديدة حول هذا المجال، إذ قام الباحث A. R. K. Swamy (11) وجماعته عام 2011 بدراسة مقارنة لتأثير دقائق التقوية على الخصائص الميكانيكية بين متراكبات ($Al6061 - WC$) ومتراكبات ($Al6061 - Gr$) المنتجة بتقانة السباكة بالخلط أو ما تعرف بطريقة الدوامية (Vortex Method) وينسب تقوية لكلا النوعين من المتراكبات هي 0, 1, 2, 3, 4 %، وقد توصل الباحثون إلى إن زيادة نسبة كاربيد التنكستن (WC) سببت زيادة كل من الصلادة، مقاومة الشد، مقاومة الانضغاط حتى تصل إلى أعلى قيمة لها عند نسبة كاربيد تساوي 3 % ومن ثم تنخفض بعد ذلك، بينما عند زيادة نسبة الكرافيت (Gr) فتنخفض الصلادة وترتفع كل من مقاومة الشد ومقاومة الانضغاط.

درس الباحثان S. Jerry Andrews Fabian & B. Selvam (1) عام 2014 سلوك التكتيف لمادة متراكبة ذات أساس من الألمنيوم ومقواة بنسب مختلفة من دقائق كاربيد التنكستن (WC) وهي 0, 2.5, 5, 7.5, 10 % والمحضرة بتقانة ميتالورجيا المساحيق وقد حضرت العينات بنسب مختلفة بالنسبة للارتفاع إلى القطر وهي 0.75, 1, 0.5. توصل الباحثان بأن زيادة نسبة الكاربيد تسبب زيادة الكثافة للمتراكبات كما توصلوا إلى إن أفضل تكتيف للمتراكبات هو عند نسبة ارتفاع إلى القطر تساوي 0.5 ولنسب كاربيد 2 - 5 %.

قام الباحثان Smitha K. & H. V. Byregowda (7) عام 2016 بدراسة عملية للخصائص الميكانيكية والمجهرية لمتراكب هجين من ($Al2024 - WC - Gr$)، إذ كانت نسبة الكرافيت (Gr) ثابتة وهي 1 % بينما كانت نسب كاربيد التنكستن (WC) متغيرة وهي 0, 1, 2, 3, 4, 5 % وقد تم تحضير المتراكبات بتقانة السباكة بالخلط. توصل الباحثان إلى ارتفاع قيم مقاومة الشد ومقاومة الانضغاط بزيادة نسبة التقوية إلى حد 3 % ومن ثم تنخفض بعد ذلك، أما الصلادة فتزداد بزيادة نسب الإضافة.

إن الهدف من البحث تحضير مادة متراكبة هجينة وذلك بإضافة كسر حتمي ثابت من دقائق كاربيد التنكستن تساوي 3 % علاوة على كسور حجمية متغيرة من دقائق الكرافيت تساوي 0, 2, 4, 6, 8 % للألمنيوم ومن ثم دراسة الخصائص الميكانيكية المتمثلة بالصلادة ومقاومة الانضغاط ومقاومة البلى علاوة على الخصائص الفيزيائية.

1- الجانب العملي

1-2 تصنيع النماذج

تم تحضير العينات المستخدمة في هذا البحث باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام رئيسية لإنتاج المتراكبات وهي:

1-1-2 تهيئة المساحيق

استخدم مسحوق الألمنيوم كمادة أساس وبنقاوة % 99.8 وبحجم حبيبي ≥ 63 مايكرومتر كما استخدم مسحوقي كارييد التتكتستن والكرافيت كمادة تقوية وبنقاوة % 99.8 و % 99.8 على التوالي وبحجم حبيبي ≥ 75 مايكرومتر و ≥ 63 مايكرومتر على التوالي أيضا. تم استخدام المناخل القياسية وبتدرجات مختلفة للتحقق من الحجم الحبيبي للدقائق. قبل البدء بعملية خلط المساحيق تم تجفيف مسحوقي كارييد التتكتستن والكرافيت بدرجة حرارة 250°C لمدة ساعتين وذلك للتخلص من الرطوبة والمواد الطيارة الأخرى، وبعدها تم تهيئة أوزان خلطة كل مكون بإتباع النسب الحجمية المبينة في الجدول (1)، إذ وزنت المساحيق باستخدام ميزان كهربائي حساس ذو دقة 0.1 mg ومن ثم تم خلطها باستخدام خلط ميكانيكي لمدة 15 min . تم اعتماد النسب الحجمية بسبب الفارق الكبير في كثافة الرص بين مسحوق الألمنيوم 2.71 g/cm^3 ⁽¹²⁾ ومسحوق كارييد التتكتستن 14.9 g/cm^3 ⁽¹³⁾.

2-1-2 كبس المساحيق

بعد الحصول على مسحوق متجانس، تم كبس وتشكيل العينات باتجاه واحد Uniaxial في قالب فولاذي مصلد تبلغ صلابته HRC 60 ويقطر داخلي 12 mm كما مبين في الشكل (1)، بعدها تم وضع المزيج المخلوط داخل قالب الكبس وسُلط ضغط 500 MPa لمدة دقيقة واحدة لتقادي احتمال الإرجاع المرن باستخدام ماكينة الاختبارات الجامعة Universal Testing Machine ذات سعة كبس 170 KN للحصول على عينات اسطوانية بقطر 12 mm وارتفاع 6 mm ، أي بنسبة ارتفاع إلى القطر Aspect Ratio تساوي 0.5 . ويبين الشكل (2) عينات البحث حسب نسب التقوية.

3-1-2 تلييد العينات

تم إجراء عملية التلييد داخل فرن كهربائي أقصى درجة حرارة له 1000°C بعد إجراء عملية الكبس وذلك لان العينات تكون غير جاهزة لأجراء الفحوصات وتمتلك مقاومة ضعيفة هي المقاومة الخضراء. ولمنع تأكسد العينات تمت عملية التلييد في جو مختزل عن طريق تغطية العينات بمسحوق السليكا SiO_2 ونحاة حديد الزهر داخل حاوية خزفية خاصة وذلك لمنع وصول الأوكسجين إلى سطح العينات، إذ وضعت طبقة من نحاة حديد الزهر في قاع الحاوية وبسمك 1 cm ثم طبقة من مسحوق السليكا بسمك 1.5 cm بعدها رصفت العينات مع تثبيت مزدوج حراري نوع K قرب العينات لمراقبة درجة الحرارة والسيطرة عليها. بعد ذلك تم تغطية العينات بطبقة أخرى من مسحوق السليكا بسمك 1.5 cm ثم طبقة أخرى من نحاة حديد الزهر بسمك 1 cm . وأخيراً غلقت الحاوية الخزفية بطبقة من الطين الحراري وبعد جفاف الطين وضعت الحاوية داخل الفرن. رفعت درجة الحرارة داخل الفرن إلى درجة حرارة التلييد البالغة 550°C تدريجياً وبمعدل 4°C/min والإبقاء على الشحنة عند تلك الدرجة لمدة ساعتين. بعدها تم تبريد العينات داخل الفرن إلى درجة حرارة الغرفة. وتمثل المعادلة التالية درجة حرارة التلييد⁽¹⁴⁾:

$$T_s = (0.7 - 0.9) T_m \dots\dots\dots (1)$$

حيث أن:

T_s : درجة حرارة التلييد (K°).

T_m : درجة حرارة الانصهار للمعدن الأساس (K°).

2-2 تحضير العينات للفحص المجهرى وقياس الصلادة

تم تحضير العينات المستخدمة في البحث لإجراء الفحص المجهرى وقياس الصلادة وذلك بإجراء عملية التنعيم الرطب بالماء باستخدام أوراق تنعيم بدرجات نعومة مختلفة (320, 600, 1000, 2500) ثم الغسل بالماء والتجفيف، بعدها أجريت عملية الصقل باستخدام قماش الصقل الخاص مع محلول الالومينا. وبعدها تم الاظهار بغمر العينات بمحلول النايتل لمدة 10 دقيقة. وتم غسل العينات بالماء والكحول بعدها جففت بالهواء باستخدام مجفف للعينات. أجريت عملية الفحص المجهرى باستخدام مجهر ضوئي مزود بكاميرا وحاسوب. ومن ثم اجري فحص الصلادة للعينات باستخدام

جهاز فحص صلادة فيكرز المايكروبي المبرمج (Micro Vickers Hardness) إذ تم حساب الصلادة بأخذ معدل 5 قراءات لكل عينة.

2-3 فحص الكثافة والمسامية وامتصاصية الماء

تم دراسة الخصائص الفيزيائية وهي كل من الكثافة الحجمية والظاهرية والمسامية الكلية والظاهرية علاوة على امتصاصية الماء باستخدام قاعدة أرخميدس وفق المعيار العالمي ASTM C373 (15). في البداية يتم تجفيف العينات باستخدام فرن كهربائي وبدرجة حرارة 150 °C لمدة ساعتين ومن ثم توزن العينات باستخدام ميزان كهربائي حساس بدقة 0.1 mg حيث يمثل الوزن الجاف M_d ، بعدها يتم وزن العينات وهي معلقة ومغمورة داخل ماء مقطر ذو كثافة تساوي $(\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3)$ بواسطة ميزان تعليق إذ يمثل هذا الوزن المعلق M_i ، وأخيراً يتم وضع العينات داخل الماء المقطر المغلي لمدة 5 ساعات ومن ثم تغمر العينات بالماء المقطر أيضاً بدرجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة بعدها يتم إخراج العينات وإزالة الماء السطحي العالق عليها فقط وتوزن العينات والذي يمثل الوزن المشبع M_s .

1. **الكثافة الحجمية (ρ_B) (Bulk Density):** وهي النسبة بين الكتلة إلى الحجم الكلي للعينة (حجم جسيمات المادة + حجم المسامات المغلقة والمفتوحة)، ويتم حسابها باستخدام العلاقة التالية (16,15,14):

$$\rho_B = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times \rho_w \quad \dots \dots \dots (2)$$

2. **الكثافة الظاهرية (ρ_A) (Apparent Density):** وهي النسبة بين الكتلة إلى الحجم الظاهري للعينة (حجم جسيمات المادة + حجم المسامات المغلقة)، ويتم حسابها باستخدام العلاقة التالية (16,15):

$$\rho_A = \frac{M_d}{M_d - M_i} \times \rho_w \quad \dots \dots \dots (3)$$

3. **المسامية الظاهرية (P_A) (Apparent Porosity):** وهي النسبة بين حجم المسامات المفتوحة إلى الحجم الكلي (حجم جسيمات المادة + حجم المسامات الكلية)، ويتم حسابها باستخدام العلاقة التالية (16,15):

$$P_A = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (4)$$

4. **المسامية الكلية (P_T) (Total Porosity):** وهي النسبة بين مجموع حجوم المسامات المفتوحة والمغلقة إلى الحجم الكلي (حجم جسيمات المادة + حجم المسامات الكلية)، ويتم حسابها باستخدام العلاقة التالية (16,15):

$$P_T = \frac{\rho_{th} - \rho_B}{\rho_{th}} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (5)$$

حيث أن:

ρ_{th} : هي الكثافة النظرية للعينات ويتم حسابها من خلال العلاقة التالية (17,16):

$$\rho_{th} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \times X_i) \quad \dots \dots \dots (6)$$

حيث أن:

ρ_i : الكثافة النظرية للعناصر المكونة للعينة الواحدة.

X_i : نسبة كل عنصر في العينة .

5. **امتصاصية الماء (W_A) (Water Absorption):** وهي النسبة بين وزن الماء الممتص إلى وزن العينة وهي جافة، ويتم حسابها باستخدام العلاقة التالية (16,15):

$$W_A = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (7)$$

2-4 فحص البلى الانزلاقي الجاف

اجري فحص البلى الانزلاقي الجاف وفقاً للمعيار العالمي ASTM G99⁽¹⁸⁾ باستخدام جهاز فحص البلى والاحتكاك ذو منشأ هندي من شركة (Ducom) نوع (Wear and Friction Monitor ED – 201) وبتقنية المسمار على القرص (Pin on Disc) كما في الشكل (3) لعينات بقطر 12 mm وارتفاع 6 mm. يحتوي الجهاز على مؤقت لقياس مدة الاختبار بصورة دقيقة وإيقافه عند انتهاء المدة المحددة مسبقاً والبالغة 20 min، كما يحتوي على حامل للأتقال المستخدمة أثناء مدة الاختبار حيث سلط حمل مقداره 20 N. تبلغ صلادة القرص المثبت في الجهاز 62 HRC ويقطر 60 mm وسرعة دورانية 480 r.p.m، تم تهيئة سطح القرص والعينة المراد إجراء الفحص عليها عن طريق تنعيمها بورق تنعيم بدرجة (1000). تم قياس مقدار فقدان الوزن خلال مدة الاختبار باستخدام ميزان كهربائي حساس.

1. **حجم البلى (W_V):** تم حساب حجم البلى باستخدام المعادلة التالية^(19,18):

$$W_V = \frac{\Delta W}{\rho_B} = \frac{W_1 - W_2}{\rho_B} \dots\dots\dots (8)$$

حيث أن:

W₁: وزن العينة قبل الاختبار (g).

W₂: وزن العينة بعد الاختبار (g).

2. **معدل البلى (Wear Rate (W_R)):** تم حساب معدل البلى باستخدام المعادلة التالية^(19,18,14):

$$W_R = \frac{W_V}{SD} = \frac{W_V}{2\pi RNT} \dots\dots\dots (9)$$

حيث أن:

SD: مسافة الانزلاق (m).

R: نصف القطر من مركز العينة (30 mm).

N: السرعة الدورانية للقرص (480 r.p.m).

T: مدة الاختبار (20 min).

3. **مقاومة البلى (Wear Resistance (W_{Resis})):** تم حساب مقاومة البلى باستخدام المعادلة التالية^(19,18):

$$W_{Resis} = \frac{SD}{W_V} \dots\dots\dots (10)$$

4. **معدل البلى النوعي (Specific Wear Rate (SW_R)):** تم حساب معدل البلى النوعي باستخدام المعادلة التالية^(19,18):

$$SW_R = \frac{W_R}{L} \dots\dots\dots (11)$$

حيث أن:

L: الحمل المسلط على العينة (20 N).

2-5 فحص مقاومة الانضغاط

يمكن تعريف مقاومة الانضغاط بأنها أقصى إجهاد تتحمله المادة تحت تأثير الضغط العمودي وتعد من الخواص الميكانيكية المهمة إذ تعبر عن مقدرة المادة على مقاومة الأحمال المسلطة عليها. تعد مقاومة الانضغاط اختباراً عكسياً لاختبار الشد إذ يتم التحميل انضغاطي وليس شدي ويعد هذا الاختبار مهم لتقييم المواد ذات الهشاشة العالية والتي يكون فيها قيمة إجهاد الشد أقل من قيمة إجهاد الانضغاط مثل بعض الأجزاء المحضرة بتقانة ميتالورجيا المساحيق⁽²⁰⁾.

تحسب مقاومة الانضغاط القطرية بتسليط حمل عمودي على قطر العينة والتي تكون بهيئة قرص وحسب المعادلة التالية (20):

$$\sigma_c = \frac{2 F}{\pi d h} \dots\dots\dots (12)$$

حيث أن:

σ_c : مقاومة الانضغاط (MPa)

F: القوة العمودية المسلطة (N).

d: قطر العينة (mm).

h: سمك العينة (mm).

2- النتائج والمناقشة

1-3 البنية المجهرية

تلعب البنية المجهرية دور أساسي ومهم في فهم الأداء العام للمركبات كما إن معظم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية تستند على طبيعة البنية وتجانسها، إذ تعتمد البنية بصورة عامة على شكل وحجم جسيمات التقوية علاوة على توزيع هذه الجسيمات خلال المادة الأساس أو ما تعرف بأرضية المتراكب.

يوضح الشكل (4) البنية المجهرية للعينات وهي عبارة عن أرضية من الألمنيوم موزعة في داخلها جسيمات مواد التقوية المتمثلة بكسر حجمي ثابت من جسيمات كاربيد التنكستن وهو % 3 علاوة على كسور حجمية مختلفة من جسيمات الكرافيت وهي 0, 2, 4, 6, 8 % على التوالي. إذ نلاحظ من خلال الأشكال التوزيع المتجانس والمنتظم لجسيمات كاربيد التنكستن خلال الأرضية على عكس جسيمات الكرافيت إذ نلاحظ تجانس وانتظام توزيعها وانتشارها خلال النسب القليلة فقط وهي 2, 4 % بينما نلاحظ حصول تجمعات وتكتلات لجسيمات الكرافيت خلال النسب العالية وهي 8, 6 % [21].

2-3 اختبار الصلادة

يبين الشكل (5) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت وصلادة فيكرز المايكروية، إذ نلاحظ من خلال العلاقة انخفاض الصلادة بنسبة % 24 بزيادة الكسر الحجمي للكرافيت من 0 - 8 %. إن انخفاض صلادة المتراكب الهجين بزيادة محتوى الكرافيت هو انخفاض متوقع لعدة أسباب يأتي في مقدمتها صلادة الكرافيت المنخفضة مقارنة بالمادة الأساس وهو الألمنيوم كما إن الطبيعة الهشة للكرافيت وزيادة محتواه تسبب زيادة سهولة المتراكب للتشوه اللدن (Plastic Deformation) من قبل محدث الأثر (أداة الغرز) علاوة على إن زيادة محتوى الكرافيت سوف يعمل على زيادة انتشار وتوليد الشقوق (Cracks) بين أسطح الكرافيت وباقي مواد المتراكب الهجين وهو الألمنيوم وكاربيد التنكستن مسببة ضعف الترابط بينهم [22,23,24].

3-3 الكثافة الحجمية والظاهرية

الشكل (6) يوضح العلاقة بين الكثافة الحجمية والظاهرية ومحتوى الكرافيت على التوالي، إذ يتبين من خلال العلاقة إن زيادة محتوى الكرافيت أدت إلى انخفاض كل من الكثافة الحجمية والظاهرية للمتراكب الهجين حيث تنخفض الكثافة الحجمية من (2.94 g/cm³) عند محتوى كرافيت % 0 إلى (2.49 g/cm³) عند محتوى كرافيت % 8، بينما تنخفض الكثافة الظاهرية من (3.03 g/cm³) عند محتوى كرافيت % 0 إلى (2.81 g/cm³) عند محتوى كرافيت % 8. إن السبب الرئيسي في انخفاض الكثافات سواء كانت حجمية أو ظاهرية بزيادة محتوى الكرافيت هو الكثافة المنخفضة للكرافيت وباللغة (2.09 g/cm³) مقارنة بكثافة باقي مواد المتراكب، كما إن زيادة محتوى الكرافيت قد أدى إلى حدوث تجمعات وتكتلات لجسيمات الكرافيت وهذا ما أكدته صور البنية المجهرية المبينة في الشكل (4) إذ تعمل هذه التكتلات على جمع المسامات المغلقة والمفتوحة فيما بينها وإبقائها في مواقعها كما تعمل جسيمات الكرافيت على إعاقة حدوث

الاندماج بين جسيمات الألمنيوم وانتشار الحالة الصلبة (تعيق عملية التكتيف والتقلص الحجمي أثناء مرحلة التلييد) حيث كل هذه الأسباب تؤدي بالضرورة إلى انخفاض كثافة المتراكب الهجين [25].

3-4 المسامية الكلية

يوضح الشكل (7) العلاقة بين النسبة المئوية للمسامية الكلية (المسامات المغلقة والمفتوحة) ومحتوى الكرافيت، إذ نلاحظ من خلال العلاقة زيادة النسبة المئوية للمسامية الكلية بزيادة محتوى الكرافيت إذ تزداد من % 4.5 إلى % 17.8 بزيادة محتوى الكرافيت من 0 - 8%. يعزى هذا السلوك إلى ذات الأسباب التي أدت إلى انخفاض الكثافة الحجمية والظاهرية وهو أن زيادة محتوى الكرافيت يعمل على إعاقة الاندماج الجزئي ومنع الاندماج التام بين جسيمات الألمنيوم أي عزل الجسيمات أثناء عملية التلييد علاوة على إعاقة أو منع التقلص الحجمي مسببة إبقاء المسامات المغلقة والمفتوحة في أماكنها وصعوبة فنائها وزيادة نسبتها بزيادة محتوى الكرافيت، كما إن صور البنية المجهرية أوضحت حصول تكتلات وتجمعات لجسيمات الكرافيت بزيادة محتواه مسببة أيضاً جمع واستقطاب مقدار كبير من المسامات المغلقة والمفتوحة فيما بينها [25].

3-5 المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء

الشكل (8) يوضح العلاقة بين المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء مع محتوى الكرافيت، إذ نلاحظ من خلال الشكل وجود علاقة طردية بين المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء بزيادة محتوى الكرافيت إذ نلاحظ زيادة النسبة المئوية للمسامية الظاهرية من % 3.14 إلى % 11.5 بزيادة محتوى الكرافيت كما تزداد النسبة المئوية لامتصاصية الماء من 1 % إلى % 4.6 بزيادة محتوى الكرافيت أيضاً. إن العلاقة الطردية بين المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء هي علاقة منطقية لأن زيادة المسامية الظاهرية تعني زيادة نسبة المسامات المفتوحة وهي بالتالي تسبب حتماً زيادة النسبة المئوية لامتصاصية الماء للمتراكب الهجين أي زيادة المسامات التي يمكن أن ينفذ من خلالها الماء داخل المتراكب، إن سلوك المسامية الظاهرية متوافق تماماً مع سلوك المسامية الكلية بزيادة محتوى الكرافيت والمبينة في الشكل (7) ومعاكس تماماً لسلوك الكثافة الظاهرية بزيادة محتوى الكرافيت والمبينة في الشكل (6) وهو ما يشير إلى إن طبيعة تأثير زيادة محتوى الكرافيت على كل من المسامية المغلقة والمفتوحة هي طبيعة واحدة كما إن العوامل التي تتحكم في المسامية المغلقة هي ذاتها التي تتحكم في المسامية المفتوحة وإن آليات تكون هذين النوعين من المسامية واحدة.

3-6 مقاومة الانضغاط

يبين الشكل (9) تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على مقاومة الانضغاط للمتراكب الهجين، إذ يتبين من خلال العلاقة انخفاض مقاومة الانضغاط بنسبة % 40 بزيادة محتوى الكرافيت من 0 - 8%، يعزى هذا السلوك إلى نفس العوامل التي أدت إلى انخفاض الصلادة والمبين في الشكل (5) وهي الطبيعة الهشة للكرافيت وزيادة محتواه كما إن زيادة محتوى الكرافيت يسبب زيادة انتشار الشقوق وضعف الترابط بين جسيمات المتراكب بسبب إعاقة حدوث الاندماج وانتشار الحالة الصلبة بين جسيمات الألمنيوم، علاوة على انخفاض كل من الكثافة الحجمية والظاهرية وزيادة المسامية الكلية والظاهرية بزيادة محتوى الكرافيت كما مبين في الأشكال (6) و(7) و(8) على التوالي حيث إن زيادة المسامية المغلقة والمفتوحة بين جسيمات المتراكب تعمل على زيادة هشاشته وانخفاض مقاومة انضغاطه.

3-7 فحص البلى

الأشكال (10) و(11) و(12) تبين العلاقة بين معدل البلى ومقاومة البلى ومعدل البلى النوعي مع الكسر الحجمي للكرافيت على التوالي، إذ يتبين من خلال الأشكال انخفاض معدل البلى وزيادة المقاومة بزيادة محتوى الكرافيت حتى تصل إلى نسبة % 2 ومن ثم ترتفع بعد ذلك إذ نلاحظ بأن أعلى معدل بلى وأقل مقاومة هو عند محتوى كرافيت 0 % أي للمادة الأساس وأقل معدل بلى وأعلى مقاومة هو عند محتوى كرافيت % 2. إذ يمكن تفسير انخفاض معدل البلى وزيادة المقاومة بزيادة محتوى الكرافيت إلى تكوين طبقة كرافيتية رقيقة بين السطحين المنزلقين، هذه الطبقة تعمل كمزيت صلب نتيجة لطبيعة الكرافيت الطبقية ونتيجة للترابط الضعيف بين تلك الطبقات التي لا يربط بينها سوى قوى فاندرفالز

الضعيفة مما يجعلها تنزلق فوق بعضها البعض ونتيجة لذلك فإن وجود الكرافيت سيعمل على تغيير طبيعة الاتصال من اتصال معدني بين السطحين المنزلقين فوق بعضهما (سطح الألمنيوم و سطح القرص الفولاذي)، إلى حالة اتصال بين سطحين تفصل بينهما طبقة كرافيتية تعمل كمزيت صلب يقلل الإجهاد القصي ويحسن الخصائص التريبولوجية لهذه الأسطح وبالتالي يقلل معدل البلى الناتج من الحركة الانزلاقية [24,23,22].

أما سبب ارتفاع معدل البلى وانخفاض المقاومة بزيادة محتوى الكرافيت عن % 2 هو وجود دقائق كاربيد التنكستن إذ إن زيادة محتوى الكرافيت سوف تعمل على زيادة انتشار وتولد الشقوق بين جسيمات المتراكب بسبب إعاقة الاندماج وانتشار الحالة الصلبة بين جسيمات المادة الأساس علاوة على ارتفاع النسب المئوية للمسامية الكلية والظاهرية مسببة جميعها سهولة انفصال لبعض الدقائق من المادة المتراكبة وهي ما تعرف بحطام البلى من سطح المتراكب إلى سطح القرص والتي تكون غنية بدقائق كاربيد التنكستن وكما هو معروف بأن كاربيد التنكستن يعد من أصلد المواد بعد الماس ووجوده يعمل على تغيير نوع البلى بين السطوح من انزلاقي إلى احتكاكي مسبب زيادة في تشغيل سطح العينة وارتفاع معدل البلى وان تأثيره بين السطوح أعلى من تأثير زيادة تكوين الطبقة الكرافيتية بزيادة محتوى الكرافيت، كما إن ازدياد معدل البلى مع زيادة محتوى الكرافيت يحدث نتيجة لزيادة التشوه اللدن الحاصل عند النتؤات والمناطق القريبة من السطح بسبب ازدياد حطام البلى الغني بكاربيد التنكستن وبالتالي تزداد كثافة الانخلاعات بزيادة التشوه مما يؤدي إلى تكوين شقوق دقيقة في سطح المعدن ومن ثم التقاء هذه الشقوق مع بعضها ومع خطوط البلى وبتجاه متوازي للسطح الفاصل مما يسبب إزالة أجزاء قطع من المتراكب عند الطبقات السطحية الدقيقة وهذه القطع تزال بسهولة باتجاه الانزلاق وتكوين حطام البلى مما يؤدي إلى زيادة في معدل البلى [25].

3- الاستنتاجات

من خلال نتائج الفحوصات والاختبارات العملية للمتراكب الهجين (Al – WC – Gr) المصنع بتقانة ميتالورجيا المساحيق يمكن استنتاج ما يلي:

1. تنخفض قيم كل من صلادة فيكرز المايكروية ومقاومة الانضغاط بزيادة الكسر الحجمي للكرافيت.
2. زيادة نسبة الكرافيت أدت إلى خفض كل من الكثافة الحجمية والظاهرية.
3. ازدياد النسب المئوية للمسامية الكلية والظاهرية وامتصاصية الماء بزيادة الكسر الحجمي للكرافيت.
4. بزيادة الكسر الحجمي للكرافيت انخفض معدل البلى وازدادت المقاومة لغاية محتوى كرافيت % 2 ومن ثم يزداد معدل البلى بعد ذلك، بينما امتلكت المادة الأساس المقواة بدقائق كاربيد التنكستن فقط أعلى معدل بلى وأقل مقاومة.

المصادر

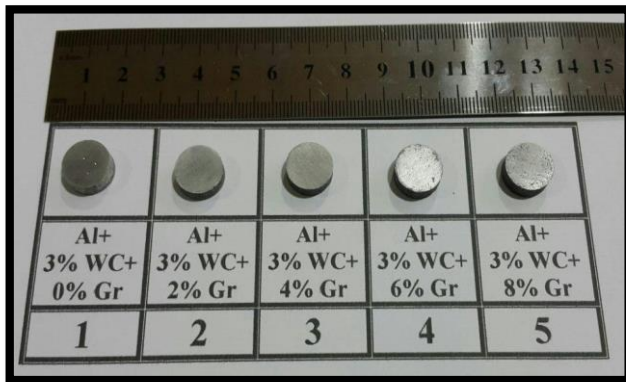
- 1) S. Jerry Andrews Fabian, B. Selvam, (2014), "Densification behavior of Aluminium reinforced with Tungsten Carbide particulate Metal Matrix Composite processed by P/M" Journal of Mechanical and civil Engineering, Vol. 3, PP. 24 – 29.
- 2) Abhijith R, Harish. T. M, (2016), "Fabrication & Analysis of Aluminium (Al-2024) and Tungsten Carbide (WC) Metal Matrix Composite by in situ Method" International Journal of Engineering Research & Technology, Issue 08, Vol. 5, PP. 400 – 407.
- 3) William D. Callister , Jr., (2001), "Fundamentals of Materials Science and Engineering" , John Wiley & Sons, Inc., Fifth Edition.
- 4) H. P. Rao Pydi, B. Adhithan, A. S. Bava Bakrudeen, (2013), "Microstructure Exploration of the Aluminum – Tungsten Carbide Composite with different Manufacturing circumstances" International Journal of Soft Computing and Engineering, Issue 6, Vol. 2, PP. 257 – 261.

- (5) محمد سعيد وحيد، سدير موفق مجيد، (2009) " الخواص الميكانيكية لمتراكب ذات أساس من الألمنيوم " مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 27، العدد 15، ص. 517 – 523.
- 6) K. P. Vetrivel, R. Subramanian, K. Somasundara Vinoth, (2016), "Influence of Wear Parameters on Dry Sliding Wear Behaviour of Al Alloy Hybrid Composites Using Taguchi Method" Advances in Natural and Applied Sciences, Issue 10, Vol. 6, PP. 51 – 65 .
- 7) Smitha K., H. V. Byregowda, (2016), "Experimental Investigation on Mechanical and Microstructural Properties of Al₂₀₂₄ – WC – Gr Hybrid Composites" International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Issue 6, Vol. 5, PP. 10327 – 10333.
- (8) فاضل عطية جباد، احمد حسين علي، رونق صلاح الدين مهدي، (2010) "دراسة الخواص الفيزيائية لمادة متراكبة من نظام (الألمنيوم – كاربيد البورون (B₄C))" مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28، العدد 10، ص. 494 – 485.
- 9) Mikell P. Groover, (2010), "Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems " John Wiley & Sons, 4th Edition.
- 10) H. Masuda , K. Higashitani , H. Yoshida, (2006) "Powder Technology Handbook " CRC Press Taylor & Francis Group, Third Edition.
- 11) A. R. K. Swamy, A. Ramesha, G.B. Veeresh Kumar, J. N. Prakash, (2011) "Effect of Particulate Reinforcements on the Mechanical Properties of Al₆₀₆₁-WC and Al₆₀₆₁-Gr MMCs" Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No. 12, PP. 1141-1152.
- 12) K. P. Gowda, J. N. Prakash, S. Gowda, B. Satish Babu, (2015) "Effect of Particulate Reinforcement on the Mechanical Properties of Al₂₀₂₄-WC MMCs" Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, Vol. 3, PP. 469-476.
- 13) YADUNANDAN K.N, BYREGOWDA, (2015) " Study on Mechanical & Tribological Properties of AL 6063 / Tungsten Carbide / Fly Ash Hybrid Composite" International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, Issue 5, Vol. 4, PP. 531 – 540.
- (14) علي مزهر رسن، (2015) " تأثير إضافة مسحوق الألومينا على مقاومة البلى لسبيكة Zn-4Al المصنعة بطريقة ميتالورجيا المساحيق " مجلة ديالى للعلوم الهندسية، المجلد 8، العدد 3، ص. 20 – 30.
- 15) American Society for Testing and Materials, ASTM C373 – 88, (2009) "Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired White Ware Products ".
- 16) Farouk M. Mahdi, Raed N. Razooqi, Saif S. Irhayyim, (2013) "Effect of Graphite Content and Milling Time on Physical Properties of Copper - Graphite Composites Prepared by Powder Metallurgy Route" Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 7, No. 12, PP. 245 – 255.
- 17) Goutam Dutta, Dipankar Bose, (2012) "Effect of Sintering Temperature on Density, Porosity and Hardness of a Powder Metallurgy Component" International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering , Vol. 2 , No. 8, PP. 121 – 123.
- 18) American Society for Testing and Materials, ASTM G 99 – 04, (2009) "Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus".
- 19) Aswin N. Varghese, Pradeep P. V.,(2014) "Experimental Investigation of Wear Characteristics on AL/SIC/GR Composite Materials" International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering, Vol. 3, No. 3, PP. 23 – 26.

- (20) احمد حسين علي، (2010) " تحضير مادة متراكبة من نظام (المنيوم - كاربيد البورون) ودراسة بعض خواصها الميكانيكية " المجلة العراقية للهندسة الميكانيكية والمعادن , المجلد 10 , العدد 3 , ص. 492-501.
- 21) A. Appanna K E, K. S Keerthiprasad, (2015) "Characterization of AL – Graphite Composite Developed by Powder Metallurgy Technique" International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 4, No. 10, PP. 2321 – 7308.
- 22) A. Baradeswaran, A. Elaya Perumal, (2014) "Wear and mechanical characteristics of Al 7075/graphite composites" Composites: Part B, Vol.56, PP. 472 – 476.
- 23) P. Sharma, K. Paliwal, R. K. Garg, S. Sharma, D. Khanduja, (2017) " A study on wear behaviour of Al/6101/graphite composites" Journal of Asian Ceramic Societies, Vol. 5, PP. 42 – 48.
- 24) Adalet Zeren, (2015) " Effect of the graphite content on the tribological properties of hybrid Al/SiC/Gr composites processed by powder metallurgy" Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 67, No. 3, PP. 262 – 268.
- 25) S. ahýn, N. Yüksel, H. Durmu, S. G. Ýrýzalp, (2014) "Wear Behavior of Al/SiC/Graphite and Al/FeB/Graphite Hybrid composites" Materials and technology, Vol. 48, No. 5, PP. 639 – 646.

الجدول (1) يوضح النسب الحجمية لتركيب العينات.

5	4	3	2	1	رقم العينة / المادة المستخدمة
89	91	93	95	97	الألمنيوم (Al) %
3	3	3	3	3	كاربيد التنكستن (WC) %
8	6	4	2	0	الكرافيت (Gr) %



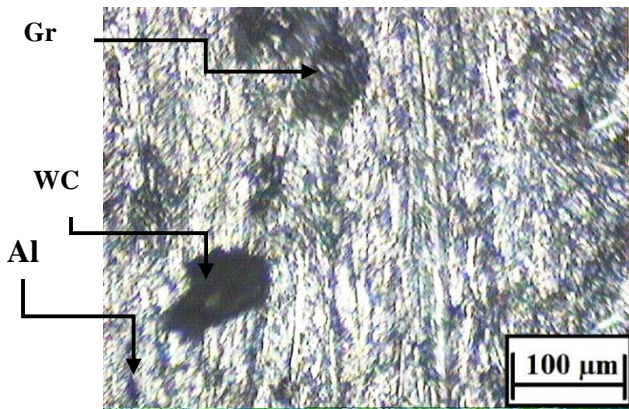
الشكل (2) يبين عينات الدراسة حسب نسب التقوية.



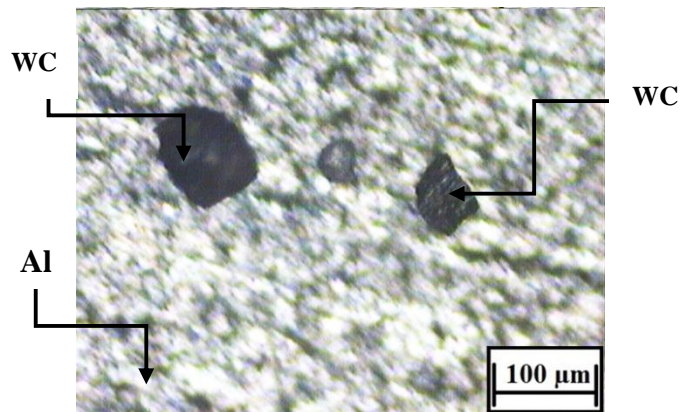
الشكل (1) يبين القالب المستخدم في عملية الكبس.



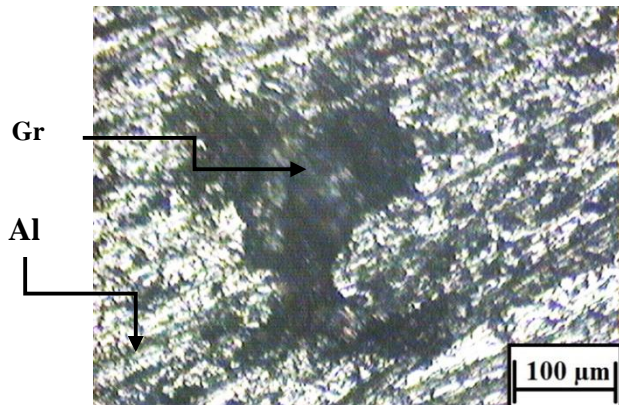
الشكل (3) يبين جهاز فحص البلى المستخدم في البحث.



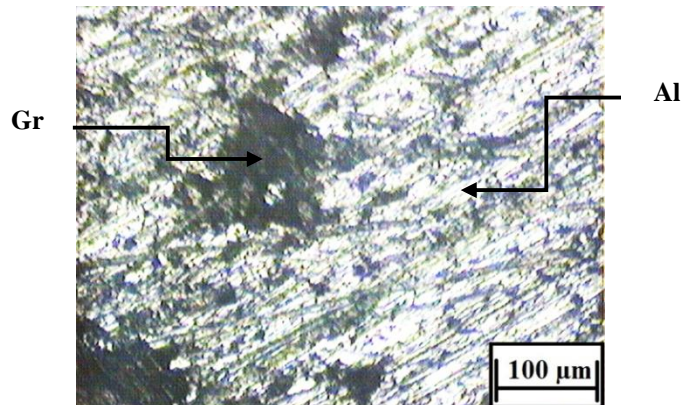
2



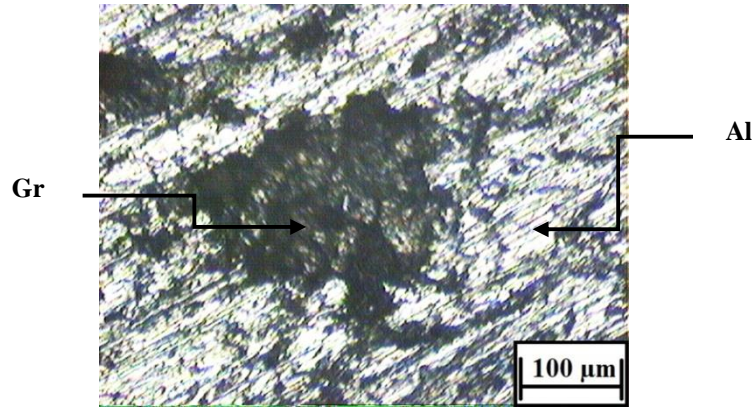
1



4



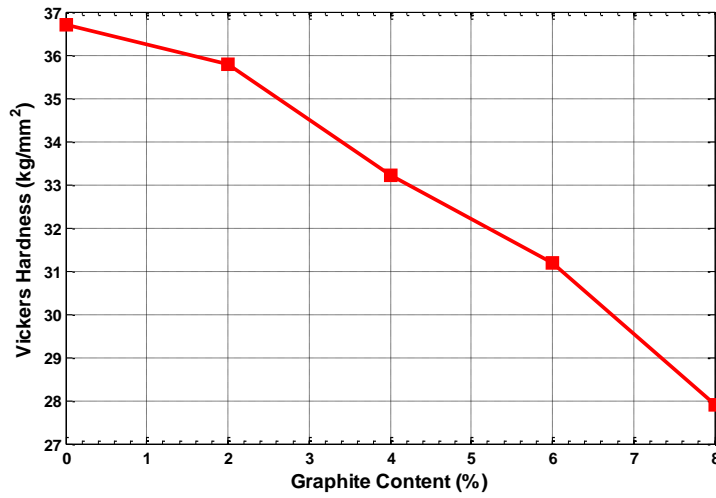
3



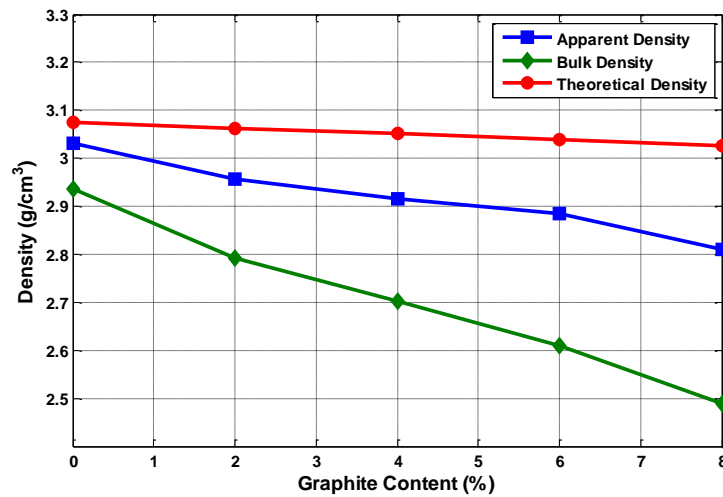
5

الشكل (4) يبين صور البنية المجهرية للعينات حسب نسب التقوية على التوالي

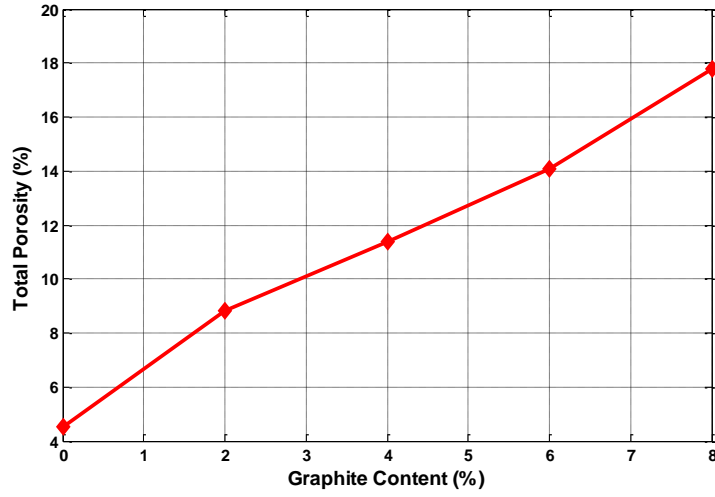
- 1- Al + 3% WC+ 0% Gr
- 2- Al + 3% WC+ 2% Gr
- 3- Al + 3% WC+ 4% Gr
- 4- Al + 3% WC+ 6% Gr
- 5- Al + 3% WC+ 8% Gr



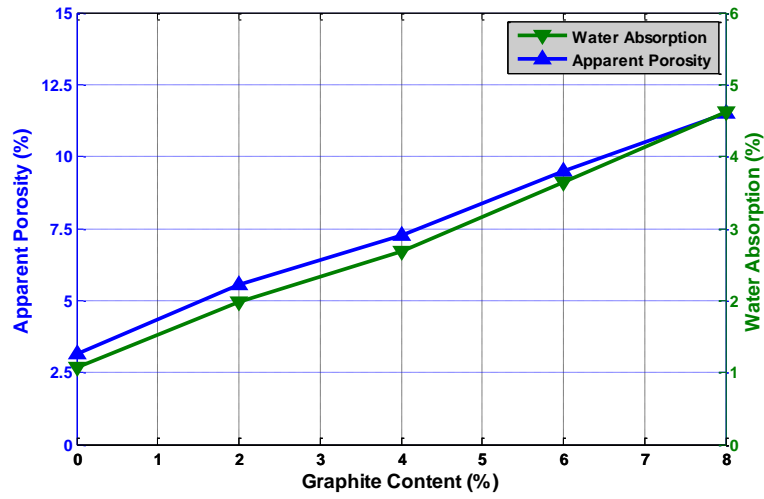
الشكل (5) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والصلادة.



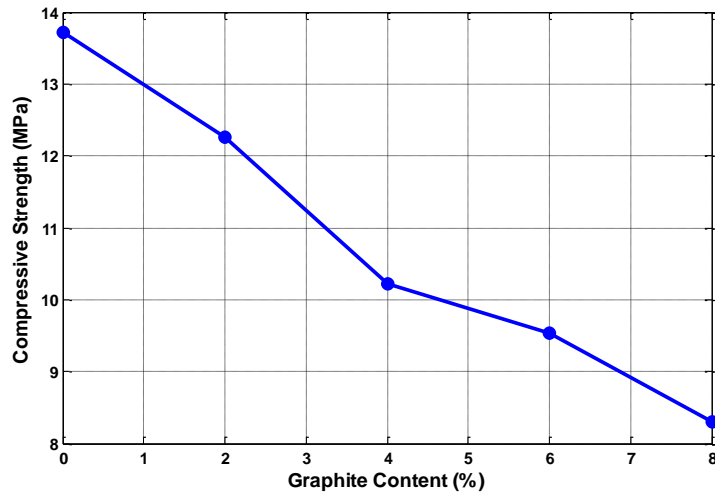
الشكل (6) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والكثافة.



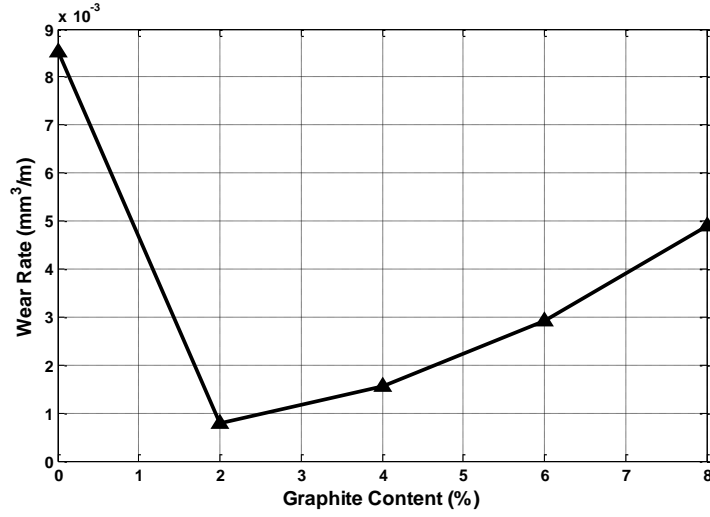
الشكل (7) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والمسامية الكلية.



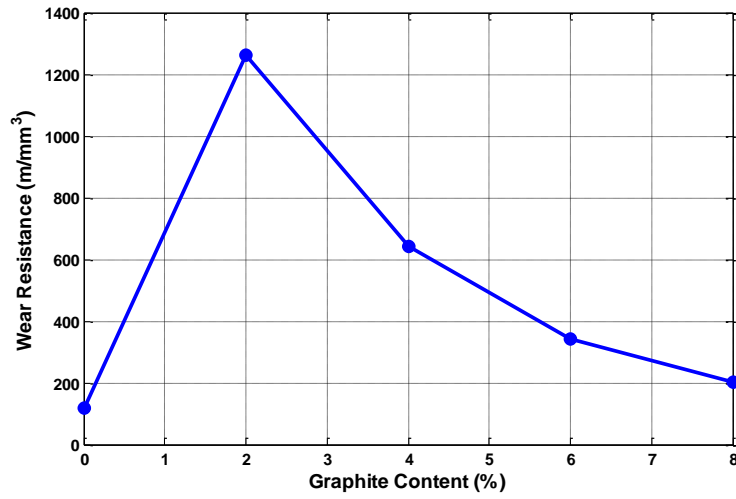
الشكل (8) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والمسامية الظاهرية وامتصاصية الماء.



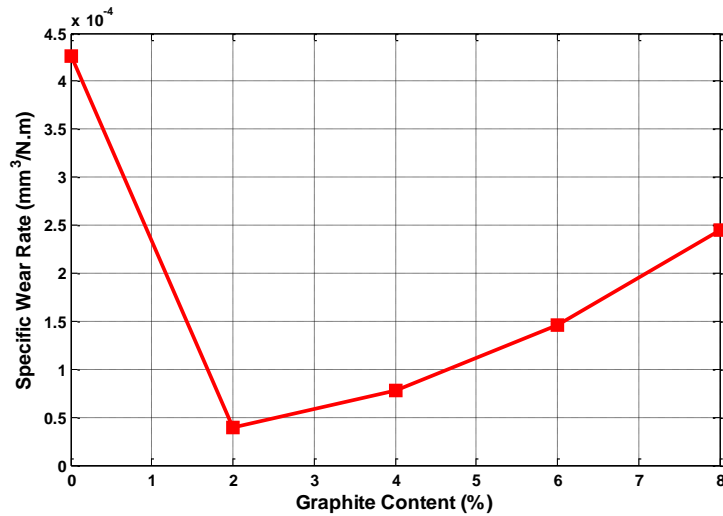
الشكل (9) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومقاومة الانضغاط.



الشكل (10) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومعدل البلى.



الشكل (11) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومقاومة البلى.



الشكل (12) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومعدل البلى النوعي.

EFFECT OF GRAPHITE/WC ADDITIONS ON PHYSICAL, MECHANICAL, AND WEAR PROPERTIES OF ALUMINUM

Saif S. Irhayyim

Assistant Lecturer

Mechanical Department, College of Engineering, Tikrit University

saiof11@tu.edu.iq

ABSTRACT

Metal matrix composites with based of Aluminum are considered among the most important ones that are used in complex engineering application for their good properties; including high resistance to weight ratio, low density, and wear resistance.

This work aims to make an Aluminum matrix composite that is reinforced with Tungsten Carbide (WC) particles with constant volumetric ratio of 3% in addition to Graphite particles (Gr) variable volumetric ratios of (0,2,4,6, and 8%) by using powder metallurgical techniques and study the physical, mechanical and wear properties of aluminum. The materials were mixed for 15 minutes using a mechanical mixer, then the mixture was cold compressed to 500 MPa to get samples with 12 mm in diameter, and 6 mm high, then they were sintered at 550 °C for two hours. Some mechanical properties were studied, hardness, compressive strength, wear rate; in addition to the physical properties of volumetric and apparent density, total and apparent porosity, water absorption, and microscopic structure examination.

The results showed that hardness and compressive strength were decreased by 24% and 40%, respectively by increasing the volumetric ratio of the graphite. Furthermore, the minimum wear rate, or maximum strength, was obtained at graphite ratio of 2%, then it increases after that, while the based composite reinforced with tungsten carbide only showed maximum wear rate and minimum resistance. Moreover, the results also showed that there is a proportional relationship between the volumetric and apparent densities in which they decrease when the volumetric ratio of the graphite increases. On the contrary, the total and apparent porosity increase by increasing graphite content, causing increase in water absorption for the hybrid composite.

Keywords: *Hybrid composites, Powder Metallurgy, Physical Properties, Mechanical Properties, Wear Resistance.*