

TJES

ISSN: 1813-162X

مجلة تكريت للعلوم الهندسية

متاحة على الموقع الإلكتروني: <http://www.tj-es.com>

تأثير ضغط الكبس على خصائص متراكبات النحاس – 10% كرافيت المحضرة بتقنية ميتالورجيا المساحيق

هاشم شكر حمود الكرغولي

قسم الهندسة الميكانيكية ، جامعة تكريت ، صلاح الدين ، العراق

E-mail: hashimshukor@yahoo.com

(Received 08 March 2016, Accepted 27 November 2016, Available online 30 June 2016)

الخلاصة

يملك معدن النحاس موصلية حرارية وكهربائية ممتازة تؤهله للاستخدام في العديد من التطبيقات إلا انه يملك معدل بلى واحتكاك عالي نسبياً، لذا فان هذا البحث يهدف إلى دراسة تأثير ضغط الكبس على الخواص الفيزيائية والميكانيكية ومقاومة البلى للمادة المتراكبة ذات أساس معدني وهو النحاس مقوى بدقائق الكرافيت بنسبة 10% ، لغرض استخدامها في العديد من التطبيقات مثل الفرش الكهربائية والمحامل الميكانيكية الانزلاقية وغيرها من التطبيقات التي تتطلب موصلية حرارية وكهربائية ممتازة علاوة على سلوك بلى منخفض، لقد تم تحضير المادة المتراكبة ذات أساس نحاس بإضافة 10% كرافيت باستخدام تقنية ميتالورجيا المساحيق حيث تم استخدام مسحوق النحاس كمادة أساس بنقاوة 99.7% وبحجم جسيمي ($\leq 63 \mu\text{m}$) مدعماً بمادة تدعيم مسحوق الكرافيت بنقاوة 99.8% حجم جسيمي ($\leq 63 \mu\text{m}$) إذ تم خلط النسب للعينات في خلاط ميكانيكي لمدة 30 دقيقة بعدها تم اجراء الكبس على الباراد باستخدام ضغوط كبس مختلفة هي (600، 700، 800، 900، 1000) ميكاباسكال لمدة 30 ثانية وبعدها اجريت عملية التلييد للمكبوسات بدرجة حرارة (900 درجة مئوية) لمدة ساعة واحدة.

أظهرت نتائج الفحوصات إن كلا من الكثافة الظاهرية والحجمية تزدادان بزيادة ضغط الكبس . أما المسامية الحقيقية والظاهرية فقد انخفضتا مع زيادة ضغط الكبس. كما تبين أن قابلية امتصاص الماء تتناسب طردياً مع انخفاض المسامية وقد تراوحت نسبها بين 0.711% و 0.28%. كما تبين أن صلادة المادة المتراكبة تتناسب طردياً مع ضغط الكبس والتي تؤدي الى حدوث الانخفاض في معدل البلى .

الكلمات الدالة: ميتالورجيا المساحيق، ضغط الكبس، الكثافة الظاهرية، مسامية ظاهرية، مقاومة البلى ، المواد المتراكبة.

Effect of Pressing Pressure on properties of Copper–10% Graphite Composites Prepared by Powder Metallurgy Technique

Abstract

Copper metal has excellent thermal and electrical properties. It is suitable to use in many applications but it possesses relatively high friction and wear rate, So this research aimed to improve the behavior of the wear and reduce friction as well as mechanical and physical properties through the preparation of composite material with a copper as a metal matrix reinforced with graphite who works solid lubricant for the purpose of use in many applications such as electric brushes, mechanical sliding bearings, and other applications that require excellent thermal and electrical conductivity as well as low wear behavior.

Adoption of powder metallurgy technique used copper as the metal matrix with 99.7% purity and ($\leq 63 \mu\text{m}$) particle size reinforcing with graphite 99.8% purity and ($\leq 63 \mu\text{m}$) particle size to prepare the (Cu-10% graphite) composite, Since they were mixing the percentages of the samples in the mechanical blender for 30 min. and then pressed the mixing in cold uniaxial pressing at different pressure of (600,700,800,900,1000) MPa and sintering at 900 °C for one hour.

The result has shown that both bulk and apparent density increasing with increase the amount of pressure. The true and apparent porosity decreasing with increasing the pressure. This study found that the water absorption proportional with porosity and ranged between

0.711% and 0.28%. Also this result appeared the composite hardness proportional with increases the pressure Which in working to reduce wear rate. The microstructures used to promote and interpret the results.

Keyword: Powder metallurgy technique, Pressing pressure, Apparent density, Apparent porosity, wear resistance, composite material.

المقدمة

(Sliding Bearings) والفرش الكهربائية (Electrical Brushes) وغيرها [5,4].

قام الباحث (Ma) وآخرون في عام (2008) بدراسة سلوك التآكل لمترابكات النحاس - كرافيت المستخدم في السيارات وقطارات السكك الحديدية عالية السرعة إذ قاموا بكبس المترابكب بضغط كبس 300 ميكاباسكال وتليده بدرجة حرارة 900 درجة مئوية لمدة ثلاث ساعات ثم تبريده الى درجة حرارة الغرفة تم كبسه مره أخرى وبضغط كبس 300 ميكاباسكال، بعدها تم اجراء اختبار البلى وبدون تزييت فوجدوا أن معدل البلى ازداد مع زيادة الضغط وسرعة الدوران [6].

قام الباحث (Dewidar) وآخرون في عام (2010) بدراسة تأثير تغير كلا من نسبة الكرافيت و مقدار ضغط الكبس و درجة حرارة التليده على مقاومة البلى ومقاومة الانضغاط والصلادة لمترابكات النحاس - كرافيت المحضرة بواسطة تقنية ميتالورجيا المساحيق إذ تم استخدام نسب الكرافيت (2.5، 5، 7.5، 10 wt %) مع استخدام ثلاث ضغوط كبس و ثلاث درجات حرارة للتليده (150، 250، 350) ميكاباسكال (900، 950، 1000) درجة مئوية على التوالي. وبعد إجراء فحص البلى وجدوا ان مقاومة البلى تزداد بزيادة نسب الكرافيت كما لاحظوا زيادة في مقدار الصلادة ومقاومة الانضغاط بزيادة ضغط الكبس وانخفاضهما مع زيادة نسب الكاربون [7].

درس الباحثان (Yongzhong Zhan و Guoding Zhang) في عام (2004) تأثير تغير نسب الكرافيت على معدل البلى لمترابكب نحاس و كاربيد السليكون و الكرافيت بأخذ نسب حجمية مختلفة (0، 3، 7، 10 % vol) ونسبة ثابتة لكاربيد السليكون 10% وضغط كبس على البارد 150 ميكاباسكال ثم اجراء عملية التليده بدرجة حرارة 820 درجة مئوية و ضغط كبس 180 ميكاباسكال وتبين لهما ان اقل معدل للبلى عند نسبة كرافيت [8] 10%.

يهدف البحث الحالي الى تحضير مادة مترابكة ذات اساس نحاس مقوى بدقائق الكرافيت بنسبة (10%Gr) محضر بتقنية ميتالورجيا المساحيق ودراسة تأثير مدى من ضغط الكبس (600، 700، 800، 900، 1000) ميكاباسكال على مقاومة البلى والصلادة وعلى بعض الخصائص الفيزيائية للمادة المترابكة (الكثافة الحجمية والظاهرية - المسامية الكلية والظاهرية - امتصاصية الماء).

الجانب العملي

إن المساحيق الأساسية المستعملة في تصنيع المادة المترابكة ومواصفاتها الموضحة في الجدول (1) إذ يمثل

أدى التطور التكنولوجي الى ازدياد الحاجة لمواد هندسية جديدة لا يمكن الاستغناء عنها أو استبدالها بغيرها إذ بدأ خلال السنوات الماضية إنتاج المواد المترابكية من المواد المعدنية والسيراميكية لغرض تحسين المقاومة (Strength) والجمساء (Stiffness) ومقاومة البلى (Wear Resistance) والتحمل لدرجات الحرارة العالية (Thermal Resistance)، لغرض استخدامها كبدائل لكثير من السبائك التقليدية إذ تتطلب العديد من التطبيقات الحديثة مجموعة مواد ذات خواص استثنائية لا تتحقق إلا بالمواد المترابكية . ولهذا الغرض فقد استخدمت تقنيات مختلفة للإنتاج منها تقنية ميتالورجيا المساحيق وتقنية التشبييع وطرائق الترسيب الحراري والكيميائي والفيزيائي وغيرها. ويمكن تعريف المواد المترابكية على انها خليط من مادتين أو أكثر تعطي مواصفات أفضل لا تتوفر في أي من المادتين على انفراد إذ يمكن الجمع بين القوة والجمساء وخفة الوزن في ذات المنتج [1,2].

تعد تقنية ميتالورجيا المساحيق إحدى أهم التقنيات المستخدمة لإنتاج المواد المترابكية المعدنية (MMC). ويمكن تعريفها بأنها عملية الحصول على مختلف المواد والمنتجات الجاهزة المصنوعة من مساحيق المعادن عن طريق التشكيل بالكبس والتليده المتتاليين دون المرور بمرحلة صهر المعدن وصبه إذ تمتاز بإمكانية الحصول على بنية مجهرية متجانسة ومواد لها خواص فيزيائية وكيميائية وميكانيكية ذات تكنولوجيا معينة علاوة على إمكانية إعداد منتجات من جميع المعادن تقريباً وكذلك صنع سبائك لا يمكن الحصول عليها بطرق الميتالورجيا العادية مطلقاً [3].

تستخدم تقنية ميتالورجيا المساحيق في إنتاج النحاس وسبائكه بشكل واسع ولها تطبيقات مهمة للخصائص المتميزة التي يتميز بها منها الموصالية الحرارية والكهربائية الممتازة ومقاومته للتآكل ، ويدخل مع العديد من المواد لإنتاج مواد مترابكية لها خصائص مفيدة لعدد من التطبيقات ومن أهم هذه المواد هو الكرافيت إذ يعد كمزيت صلب (Lubricant Solid)، أن سبب استخدام الكرافيت لأنه عبارة عن طبقات متوازية من الكاربون ومترابطة مع بعضها بواسطة قوى فاندرفال وان هذه القوى ضعيفة جدا مما تسمح بانزلاق طبقات الكاربون بسهولة على طول المستويات الأساسية للبلورة، يعمل الكرافيت على تكوين طبقة (غشاء) مزيتة بين سطحين في حالة احتكاك تعمل هذه الطبقة على تقليل معامل الاحتكاك بين السطحين المتلامسين، ولهذا يمكننا الحصول على مترابكات تملك موصالية حرارية وكهربائية جيدة علاوة على مقاومتها للبلى والاحتكاك والتي يمكن استخدامها العديد من التطبيقات المهمة مثل المحامل الميكانيكية الانزلاقية

بعد الانتهاء من عملية المزج والحصول على تجانس تام للمسحوق تأتي بعدها عملية الكبس ففي هذه المرحلة تم تشكيل العينات بإجراء عملية الكبس باتجاه واحد (Pressing Uniaxial) باستخدام قالب الكبس كما موضح بالشكل (3)، إذ يتم وضع المزيج المخلوط داخل قالب الكبس ومن ثم كبست النماذج باستخدام ضغوط مختلفة (600، 700، 800، 900، 1000) ميكاباسكال بواسطة مكبس هيدروليكي ذو سعة كبس 170 كيلونيوتن، للحصول على نماذج من العينات الاسطوانية التي تعكس شكل القالب المستعمل من حيث القطر الذي يساوي 10 ملم وارتفاع العينة 5 ملم كما في الشكل (4)، ويستمر الكبس لمدة 30 ثانية لكل عينة للتخلص من احتمال الإرجاع المرن.



شكل (3) اجزاء قالب الكبس



الشكل (4) عينات المواد المترابطة

الفحوصات الفيزيائية

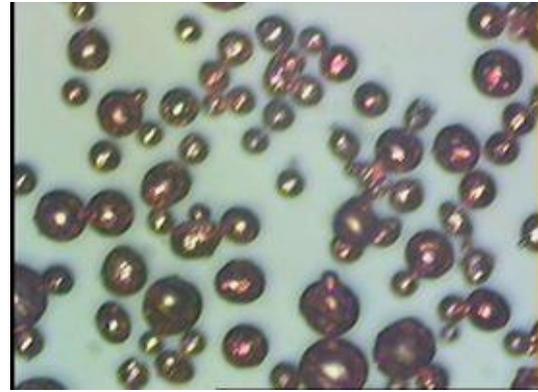
تحضير العينات للفحص المجهرى

أجريت عملية تنعيم النماذج باستخدام ورق تنعيم من كاربيد السليكون (SiC) وبأحجام مختلفة، (600، 1000، 2000، 2500) مايكرومتر وبوجود تيار مائي مستمر ثم صقلت بقماش الصقل ومعجون الماس بعدة مراحل، وبعد كل مرحلة من مراحل التنعيم والصقل يتم غسل النماذج بالماء ثم الكحول علاوة على التجفيف باستعمال جهاز التجفيف. ومن ثم يتم إجراء عملية الفحص المجهرى وأخذ صور للبنية المجهرية باستخدام المجهر الضوئي نوع (OLYMPUS) ياباني المنشأ متصل بكاميرا وحاسوب نوع (P4).

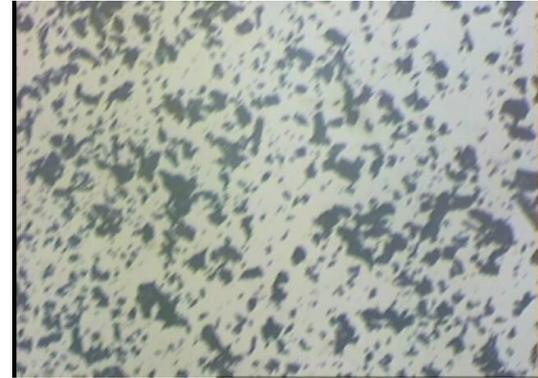
مسحوق النحاس المادة الأساس للمادة المترابطة (Matrix) ويمثل مسحوق الكرافيت مادة التقوية (Reinforcing) والشكلان (1) و(2) يوضحان المساحيق المستخدمة في تصنيع المترابك.

الجدول (1) مواصفات المساحيق المستخدمة

ت	نوع المسحوق	النقاوة (%)	متوسط حجم الحبيبات (µm)	النسب الحجمية (vol%)
1	النحاس (Cu)	99.7	63 ≥	90
2	الكرافيت (Gr)	99.8	63 ≥	10



شكل (1) صورته مجهرية لمسحوق النحاس



شكل (2) صورته مجهرية لمسحوق الكرافيت

تم إجراء عملية الغريلة وذلك لغرض تحديد حجم الحبيبات للمساحيق المستخدمة كما مبين في الجدول (1). ومن ثم تم تجفيف مسحوق الكرافيت بدرجة حرارة 200 درجة مئوية لمدة ساعتين وذلك للتخلص من الرطوبة والمواد الأخرى العالقة، وبعدها تم تهيئة النسب الوزنية كما موضحة في الجدول (1)، باستخدام ميزان حساس ذو دقة 0.0001 غرام. ثم خلطت النماذج بخلاط ميكانيكي ولمدة 30 دقيقة لضمان مزج المساحيق جيداً.

حساب الكثافة الحجمية

تعرف بأنها نسبة كتلة المادة إلى حجمها الكلي والذي يتضمن المادة الفعلية والمسامات المفتوحة والمغلقة وتحسب الكثافة الحجمية باستعمال العلاقة الآتية [10,9]:

$$B.D = \frac{Wd}{Ws - Wi} \times \rho_w \dots \dots \dots (3)$$

حيث إن :

B.D : الكثافة الحجمية (g/cm³)

Ws : الوزن المشبع (g)

حساب المسامية الظاهرية

تمثل نسبة المسامات المفتوحة الى الحجم الكلي للجسم. ويمكن حساب المسامية الظاهرية من العلاقة الآتية [12,10,9]:

$$A.P = \frac{Ws - Wd}{Ws - Wi} \times 100 \% \dots \dots \dots (4)$$

حيث ان :

A.P : المسامية الظاهرية (%)

حساب المسامية الحقيقية

تمثل حجم المسامات المغلقة والمفتوحة الى الحجم الكلي للجسم. ويمكن حساب المسامية الحقيقية (الكلية) من العلاقة الآتية [12,10,9]:

$$T.P = \frac{T.D - B.D}{T.D} \times 100 \% \dots \dots \dots (5)$$

T.P : المسامية الحقيقية (%)

حساب قابلية امتصاصية الماء

يمكن تعريف امتصاصية الماء بأنها نسبة حجم المسامات المفتوحة إلى كتلة النموذج , ويمكن حساب نسبة امتصاص الماء باستخدام العلاقة الآتية [9]:

$$W.A = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100 \% \dots \dots \dots (6)$$

الفحوصات الميكانيكية**اختبار الصلادة**

لغرض قياس صلادة النماذج المصنعة تم اعتماد طريقة الارتداد باستخدام جهاز الصلادة المبرمج سويدي المنشأ نوع (Proceq Equotip 2). ولقياس صلادة أي نموذج تم أخذ خمس قراءات في مناطق مختلفة بحيث تشمل كامل السطح الذي تم تهيئته لهذا الغرض. وتظهر قراءة معدل قيم الصلادة بشكل مباشر على شاشة الجهاز. يمتلك الجهاز إمكانية تحويل قيم الصلادة من طريقة الى أخرى بشكل مباشر. وقد تم برمجة الجهاز ليعطي رقم صلادة برينيل التي تم اعتمادها في هذا البحث.

حساب الكثافة الحجمية والظاهرية والمسامية الحقيقية والظاهرية وامتصاصية الماء

لقد تم حساب كل من الكثافة الحجمية والكثافة الظاهرية وكذلك المسامية الحقيقية والمسامية الظاهرية علاوة على امتصاصية الماء بإتباع قاعدة أرخميدس وفق المعيار العالمي [10,9] (TM C373-88) باستعمال الميزان الكهربائي الحساس وبالخطوات الآتية:-

- جُففت النماذج لمدة ساعة باستخدام فرن كهربائي عند درجة حرارة 150 درجة مئوية, وتُركت لتبرد داخل الفرن , ويوزن النموذج بعد إخراجها من الفرن يسمى هذا الوزن بالوزن الجاف (Wd).

- تُغلى النماذج في الماء لمدة خمس ساعات بحيث يبقى الماء يغطي النماذج طيلة فترة الغليان ومن ثم تغمر في إناء مملوء بالماء المقطر لمدة 24 ساعة بعدها تخرج من الماء ويتم تنظيفها من قطرات الماء العالقة على سطحه بواسطة قطعة قماش مع ملاحظة عدم الضغط على النماذج بالقماش كي لا يتم سحب الماء الموجود في المسامات الخارجية, بعد ذلك يتم وزن النموذج وهذا الوزن يمثل الوزن المشبع (Ws).

- ومن ثم تم وزن النموذج وهو معلق بوساطة ميزان تعليق مغمور بالماء المقطر, إذ بعد تصفير الميزان يتم وضع النموذج المشبع بالماء على الشبكة ليتم وزنه وهو معلق في الماء, وهذا الوزن هو الوزن المعلق (Wi) وبعد ذلك تم إجراء الحسابات الآتية :

حساب الكثافة النظرية

تعريف الكثافة الحقيقية بأنها النسبة بين الكتلة الى الحجم الحقيقي للمادة الفعلية من دون مسامات أو فراغات يمكن حساب كثافة الجسم النظرية للمترابك من خلال المعادلة الآتية [11, 9]:

$$T.D = \sum (\rho_i \cdot X_i) \dots \dots \dots (1)$$

إذ أن :

T.D : الكثافة النظرية (g/cm³)

ρ_i : الكثافة النظرية للعناصر المكونة للجسم الواحد (g/cm³)

X_i : نسبة كل عنصر في الجسم

حساب الكثافة الظاهرية

تمثل النسبة بين الكتلة والحجم الظاهري الذي يتضمن المادة الفعلية والمسامات المغلقة فقط . وتحسب الكثافة الظاهرية باستعمال العلاقة الآتية [10,9]:

$$A.D = \frac{Wd}{Wd - Wi} \times \rho_w \dots \dots \dots (2)$$

حيث إن :

A.D : الكثافة الظاهرية (g/cm³)

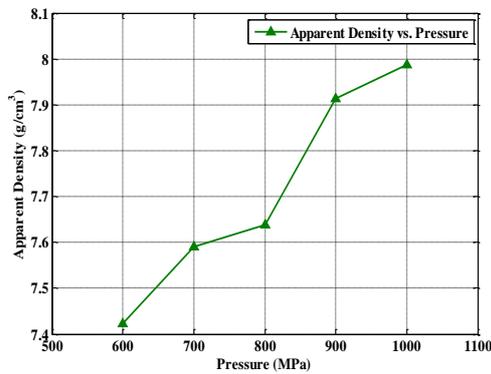
Wd : الوزن الجاف (g)

Wi : الوزن المعلق (g)

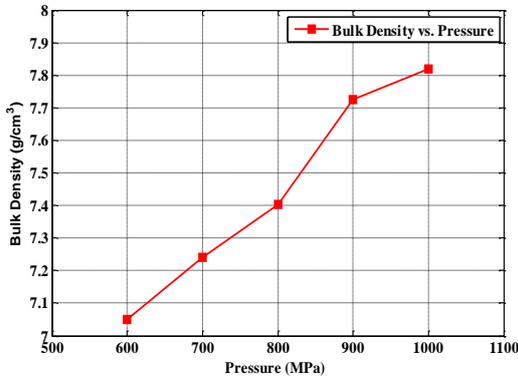
ρ_w : كثافة الماء (g/cm³)

النتائج والمناقشة

يتبين من الشكلين (7) و(8) زيادة واضحة في قيم الكثافة الظاهرية والكثافة الحجمية مع زيادة ضغط الكبس ويعزى سبب تلك الزيادة الى ان المساحيق سواء للمادة الأساس أو المادة المضافة أثناء عملية الكبس يحدث لها إعادة ترتيب لجسيماتها نتيجة الضغط المسلط عليها مما يساعد على زيادة عدد نقاط التلامس بينها وبالتالي زيادة عدد الجسور (Bridges) بين حبيبات المواد المكونة للمترابكات كما ان زيادة الضغط يؤدي إلى تشظي أو تشوه الحبيبات ان زيادة نقاط التلامس يسبب زيادة في الانتشار للحالة الصلبة بين الجسيمات المتجاورة والتي تعمل على زيادة كفاءة عملية التليد لاحقاً وبالتالي زيادة في قيم كلا من الكثافة النظرية والحجمية [7,14].



شكل (7) العلاقة بين ضغط الكبس والكثافة الظاهرية



شكل (8) العلاقة بين ضغط الكبس والكثافة الحجمية

يلاحظ في الشكلين (9) و(10) أن العلاقة عكسية بين نسبة المسامية وضغط الكبس ويمكن أن يعود سبب ذلك الانخفاض إلى أن زيادة الضغط المسلط أثناء عملية الكبس على حبيبات المواد المكونة للمترابكات تؤدي إلى تقارب المسافات بينها نتيجة الآلية التي تمر بها الحبيبات من الترتيب ثم التشظي لجسيمات، ومن الواضح أن هذا الانخفاض يتناسب مع الزيادة في قيم الكثافة الظاهرية والكثافة الحجمية انفة الذكر [14].

اختبار البلى

تم إجراء اختبار البلى وقياس قوة الاحتكاك باستخدام جهاز (Pin – on – Disc) نوع (Wear – 201 – Friction Monitor ED) ذو منشأ هندي والمبين في الشكل (6).



الشكل (6) جهاز قياس معدل البلى

أجريت الاختبارات حسب الخطوات الآتية:-

- 1- وزن العينة قبل الاختبار .
- 2- استخدام قرص من الصلب الكربوني ذي صلادة (62 HRC).
- 3- تنعيم القرص بورق تنعيم 1000 مايكرون وتنظيفه قبل اختبار كل عينة .
- 4- تثبيت العينة في المكان المحدد لها وبصورة مستوية.
- 5- تسليط حمل مقداره (20) نيوتن .
- 6- تشغيل الجهاز لمدة (30 min.) لكل عينة.
- 7- وزن العينة بعد الاختبار لتحديد الفقدان في الوزن ومن ثم حساب معدل البلى بإتباع الطريقة الوزنية (Weight Method) وكما يأتي:

$$\Delta W = W_1 - W_2 \dots \dots \dots (7)$$

إذ إن:

W_1 : وزن العينة قبل الاختبار (gm)

W_2 : وزن العينة بعد الاختبار (gm)

ΔW : الفرق في الوزن (gm)

وقد تم حساب معدل البلى وكما يلي [13]:

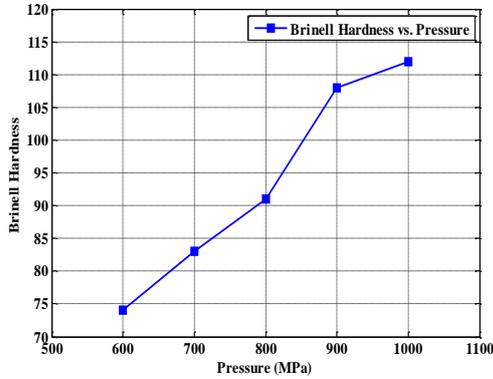
$$\text{Wear rate} = \frac{\Delta W \left(\frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} \right)}{D_s} \dots \dots \dots (8)$$

حيث أن

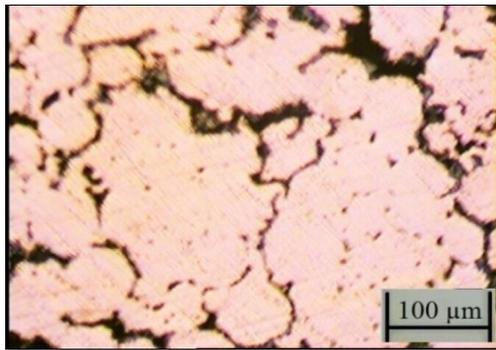
D_s : مسافة الانزلاق الكلية ويتم حسابها :

$$D_s = \pi D N t \dots \dots \dots (9)$$

سبب هذه الزيادة الى الزيادة الواضحة في مقدار الكثافة وانخفاض المسامية . كما يعمل الانتشار في الحالة الصلبة وتقارب الحبيبات مع بعضها البعض على زيادة صلادة المادة المترابكة وتوضح الصور المجهرية كما في الشكل (13) هذا التقارب بين الحبيبات وانخفاض المسامية [7] .



شكل (12) العلاقة بين ضغط الكبس والصلادة



الشكل (13) البنية المجهرية لمتراكب النحاس - 10% كرافيت

بين الشكل (13) انخفاض معدل البلي مع زيادة ضغط الكبس ويمكن أن يعزى سبب هذا الانخفاض الى الارتفاع الواضح في صلادة المتراكب مع زيادة مقدار ضغط الكبس والمبينة في الشكل (12). إذ إن زيادة الصلادة تعمل على تقليل معدل البلي وفق المعادلة (10) والتي تبين إن العلاقة عكسية بين الصلادة ومعدل البلي [15,16]:

$$W = K \frac{NS}{CH} \dots \dots \dots (10)$$

حيث أن :

W : معدل البلي

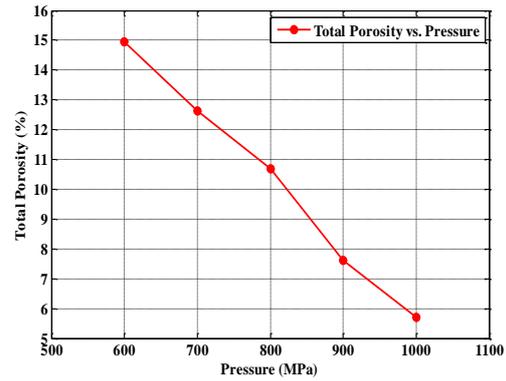
K : ثابت البلي

N : الحمل العمودي المسلط

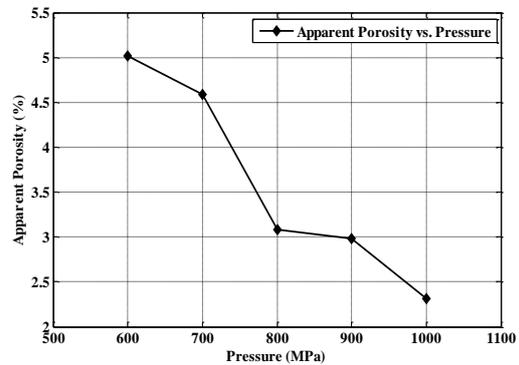
S : مسافة الانزلاق

H : صلادة العينة

C : عامل هندسي يعتمد على البنية المجهرية

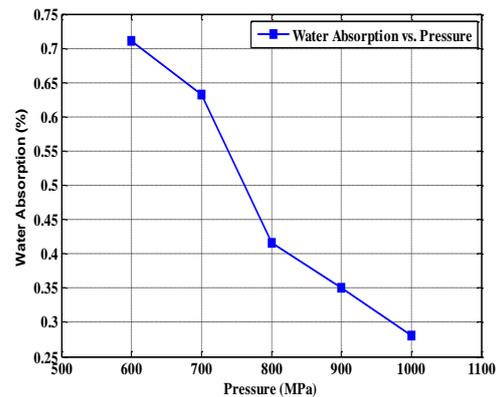


شكل (9) العلاقة بين ضغط الكبس والمسامية الكلية



شكل (10) العلاقة بين ضغط الكبس والمسامية الظاهرية

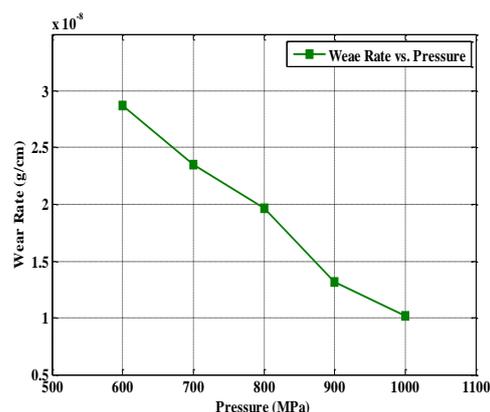
تتخف نسبة امتصاص الماء للمترابك المنتج مع زيادة ضغط الكبس كما موضح بالشكل (11) وهذا أمر طبيعي نظراً لانخفاض نسبة المسامية الظاهرية (المسامات المفتوحة) الشكل (10) والتي تعمل على خفض أو رفع نسبة امتصاصية الماء للمركب تبعاً لنسبتها في المترابك.



شكل (11) العلاقة بين ضغط الكبس وامتصاصية الماء

هناك علاقة طردية بين الصلادة ومقدار ضغط الكبس إذ يبين الشكل (12) ارتفاع صلادة المادة المترابكة من النحاس - كرافيت مع زيادة مقدار ضغط الكبس ويعود

- 6- Ma XC, He DH, He CS, Chen ZF, Hu. Sliding wear behavior of copper-graphite composite material for use in maglev transportation system. *Wear* Vol.265; 2008: 1087–1092.
- 7- Dewidar M, Abdel-Jaber GT, Bakrey M and Badry H. Effect of processing parameters and amount of additives on the mechanical properties and wear Resistance of copper-based composite. *International Journal of Mechanical & Mechatronics IJMME-IJENS*, 10(03); 2010; 25-40.
- 8- Yongzhong Zhan, Guoding Zhang. Friction and wear behavior of copper Matrix composites reinforced with SiC and graphite particles. *Journal of Tribology Letters*.17(1); 2004: 91-98.
- 9- ASTM C373–88. Standard test method for water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired white ware products. Reapproved 2006.
- 10- Berger MB. The importance and testing of density/porosity/permeability/pore size for refractories. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Refractories 2010 Conference* .
- 11- Dutta G and Bose D. Effect of sintering temperature on density, porosity and hardness of a powder metallurgy component. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2(8); 2012.
- 12- Lowell S and Shields JE. Powder surface area and porosity. Second Edition, Printed in Great Britain by J. W. Arrow smith Ltd., Bristol 1984.
- 13- Francois C. *Materials handbook. A Concise Desktop Reference*, 2nd Edition, Springer; 2008: 1019–1034.
- 14- Moazami M, Akhlaghi F. Effect of nanosized SiC particles addition to CP Al and Al–Mg powders on their compaction behavior. *Power Technology*. No.245; 2013: P126.
- 15- Moustafa SF, El-Badry SA., Sanad AM, Kieback B. Friction and wear of copper-graphite composites made with Cu-coated and uncoated graphite powders. *Journal of Wear*. Vol.253; 2002: 699–710.
- 16- Huijun Yang, Ruiying Luo, Suyi Han, Midan Li. Effect of the ratio of graphite/pitch coke on the mechanical and tribological properties of copper-carbon composites. *Journal of Wear*. Vol. 268; 2010: 1337–1341.



شكل (14) العلاقة بين ضغط الكبس ومعدل البلى

الاستنتاجات

- 1- زيادة مقدار ضغط الكبس يؤدي الى زيادة الكثافة الظاهرية والحجمية .
- 2- انخفاض المسامية الظاهرية والحقيقية مع زيادة مقدار ضغط الكبس يؤدي الى انخفاض نسبة امتصاصية الماء في المادة المترابطة .
- 3- زيادة ضغط الكبس يؤدي الى زيادة الصلادة للمادة المترابطة .
- 4- انخفاض معدل البلى مع زيادة مقدار ضغط الكبس.

المصادر

- 1- Mahdi FM, Razooqi RN, Irhayim SS. 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*, 7(12); 2013: 245-255,
- 2- Rajkumar K and Aravindan S. Microwave sintering of copper-graphite composites. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.209; 2009: 5601– 5605,
- 3- Gokce A., Findik F, Kurt AO. Microstructural examination and properties of premixed Al–Cu–Mg powder metallurgy alloy. *Journal of Material Characterization*, 62(4); 2011: 730–735.
- 4- Wenlin Ma, Jinjun Lu. Effect of sliding speed on surface modification and tribological behavior of copper-graphite composite. *Journal of Tribol. Lett.* 41(07); 2011: 363 –370.
- 5- Qin Hong, Meiwu Li, Jianzhong Wei, Fei Xue, and Mingfang Sun New carbon-copper composite material applied in rail-type launching system. *IEEE Journal of Transactions on Magnetics*. 43(1); 2007: 137-140.