مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد العشرون - المجلد الخامس - علوم الفيزياء - كانون الأول 2022 م
doi.org/10.52866/esj.2021.05.20.09

دراسة بعض الخصائص التركيبية والفيزيائية لنظام ذو اساس من النحاس بطريقة تكنولوجيا المساحيق

ابراهيم خلف سلمان
قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق
Email: Ibrahim.k.salman@tu.edu.iq

الخلاصة:

تم استخدام كاربيد البورون لأغراض تحسين الخصائص الميكانيكية والتركيبية لمعدن النحاس، حيث ان الطريقة المتبعة هي تكنولوجيا المساحيق، تم خلط المساحيق بالنسب الحجمية ولتراكيز تدعيم مختلفة من كاربيد البورون هي ٪(0,2,4,6,8) وتم كبس تلك المخاليط بقالب ذو قطر (10mm) وذلك لإنتاج عينات بارتفاع (1cm)، العينات الناتجة من الكبس تم اجراء عملية التلبيد لها بدرجة حرارة (900°C) ولساعتين فقط، بعد ذلك تم دراسة بعض الخصائص التركيبية و الميكانيكية للسبيكة المحضرة تضمنت (المجهر الالكتروني الماسح، الصلادة، المسامية، مقاومة الانضغاط، البلى). النتائج المستحصلة كانت افضلها بعد التلبيد الحراري وعند نسبة خلط مقدارها 8%B_4C حيث كانت قيمة صلادة فيكرز المايكروية 202Hv، بينما المسامية وصلت الى اقل حد بمقدار ٪10، ومقاومة الانضغاط اعلى قيمة لها هي 78MPa، اما مقدار البلى الانزلاقي وصل الى 1.91×10^{-6} g/cm . اما نتائج المجهر الالكتروني الماسح فقد اعطت افضل سطح متجانس ومتشابك بشكل سبيكة واحدة هو عند ٪8 من نسبة التدعيم، بين خلالها مدى التجانس الذي بدوره اعطى نتائج ميكانيكية مشجعة للسبيكة الناتجة.

كلمات مفتاحية: كاربيد البورون، تكنولوجيا المساحيق، المجهر الالكتروني الماسح، التلبيد الحراري.

Study of some structural and physical properties of a copper-based system by powder Technology

Ibrahim Kh. Salman
Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, Tikrit University, Tikrit, Iraq

Abstract:

Boron carbide was used for the purposes of improving the mechanical and structural properties of copper metal, as the method used is powder technology, the powders were mixed in volume ratios and for different reinforcement concentrations of boron carbide which are (0,2,4,6,8%) and these mixtures were pressed with a mold with diameter (10 mm) in order to produce samples with a height of (1cm). The samples resulting from pressing were subjected to a sintering process at a temperature of (900°C) for only two hours. After that, some structural and mechanical properties of the prepared alloy were studied, including (scanning electron microscope, hardness, porosity, compressive strength, wear resistance). The obtained results were the best after thermal sintering and at a mixing ratio of 8% B_4C, where the value of the micro-Vickers hardness was 202Hv, while the porosity reached a minimum of 10%, and the compressive strength the highest value was 78MPa, while the sliding wear amount reached 1.91×10^{-6} g/cm. As for the results of the scanning electron microscope, it gave the best homogeneous and interlocking surface in the form of one alloy, which is at 8% of the reinforcement percentage, through which the extent of homogeneity was shown, which in turn gave encouraging mechanical results for the resulting alloy.

Keywords: boron carbide, powder technology, scanning electron microscope, thermal sintering.

المقدمة:

تقنية تكنلوجيا المساحيق هي اعداد مساحيق معدنية أو سيراميكية أو بوليميرية، تم كبس هذه المساحيق للحصول على الاشكال المطلوبة اذ يتم معاملتها هذه النماذج حرارياً بعملية التلبيد (Sintering) لغرض تحسين خصائصها والحصول على منتوج ذو كتلة متماسكة صلبة (Rigid Mass) ويتم استعمال مكائن للكبس وقوالب مصممة من اجل الحصول على نماذج مكبوسة بمستويات ضغط معينة، أما عملية التلبيد تتم في درجات حرارية اقل من درجة حرارة انصهار المعدن الاساس [1]. تمتلك المواد المتراكبة خصائص مميزة تجعلها مؤهلة لتصبح مادة اساسية في كثير من الصناعات المتقدمة والحديثة والتقنيات المعقدة حيث ازداد اهتمام العالم بالمواد المتراكبة لتلبية المتطلبات الصناعية التي يشهدها العالم حاليا في مجالات عديدة وكثيرة منها صناعة السيارات والمركبات والطائرات وفي مجالات السيطرة الحرارية التي تتمثل بصناعة الحراريات [3,2]. نتيجة للتقدم الصناعي الهائل فقد قام الباحثون بتصنيع مواد تكون ذات مواصفات متميزة كمقاومة الصدمة ومقاومة التآكل وذات التكلفة الواطئة و تدعى هذا المواد « بالمواد المتراكبة» المواد التي تتكون من خليط من مواد تشترك فيما بينها لإعطاء الخواص مطلوبة أحدهما تسمى بالمادة الأساس (Matrix Material) أو الطور المستمر (Phase Continuous) (والآخر يسمى بمادة التدعيم (Reinforcement Material) أو الطور الموزع (Distributed Phase) ، وتكون مادة الأساس أما معدنية أو سيراميكية أو بوليميرية، أما التدعيم فتكون أما دقائق أو الياف أو صفائح أو شعيرات [4]. في منتصف القرن التاسع عشر احتل النحاس مركز الصدارة بما يتميز به من توصيلية كهربائية عالية اضافة الى امكانية تشكيله بشكل شرائط (Strips) واسلاك (Wires)، يعتبر النحاس افضل معدن في صنع المعدات الكهربائية ونقل الطاقة الكهربائية ويمتلك النحاس قابلية الاتحاد مع العناصر الاخرى التي ساعدت على تكوين سبائك كثيرة منها السبائك النحاس – النيكل إن منتوجات المواد المتراكبة التي يكون أساسها النحاس والمنتجة بتقنية تكنلوجيا المساحيق [5]. يعتبر النحاس من المعادن الغير الحديدية التي تنتشر بشكل واسع في الصناعات، حيث يصنف النحاس الى صنفين احدهما النحاس في حالة النقية اذ يستعمل الماركات (M_1,M_0) وفق (Russian Gost) في الصناعة الكهربائية كموصل جيد للتيار ويقلل نسبة الشوائب الى حد كبير عند توصيل النحاس للكهرباء أ بينما الصنف الاخر من النحاس تستخدم العلامات التجارية (M_4,M_3,M_2) وفق (Russian Gost) التي تتضمن مجموعة من العناصر لإنتاج السبائك الصناعية وهذه العناصر تشمل (Pb, Sn, S, O, Bi, Sb, As, Fe, Ni) اذ يؤثر على خواص النحاس تأثيراً مختلفاً، وبالأخص البزموث والرصاص يؤثران تأثيراً سلبياً على خصائص النحاس لعدم ذوبانهما في النحاس لذلك ينتج مركب يقع على حدود الحبيبات، مما يضعف مقاومة النحاس لدرجات الحرارة العالية ويزيد من هشاشته على الساخن [6]. النحاس في حالته النقية تكون لامعا وبلون أحمر، أما بعض سبائكة فتكون ذات لون مائل الى الاصفرار، ورمزه الكيميائي كعنصر هو Cu ، وعدد الذرات 29 ، والوزن الذري له 63.54، وكثافته 8.96 gm/cm^3 ودرجة إنصهار النحاس هي 1083م° وله تطبيقات عديدة نتيجة لتوصيلته الكهربائية العالية ولمقاومته للتآكل إضافة لكونه سهل التشكيل بالطرائق الميكانيكية كالسحب والدرفلة [9–7] . يهدف البحث الحالى الى دراسة بعض الخصائص

التركيبية والفيزيائية نتيجة اضافة كاربيد البورون الى معدن النحاس قبل وبعد عملية التلبيد الحراري ومعرفة مدى تحسن خصائص معدن النحاس نتيجة الاضافات المختلفة من مادة التدعيم.

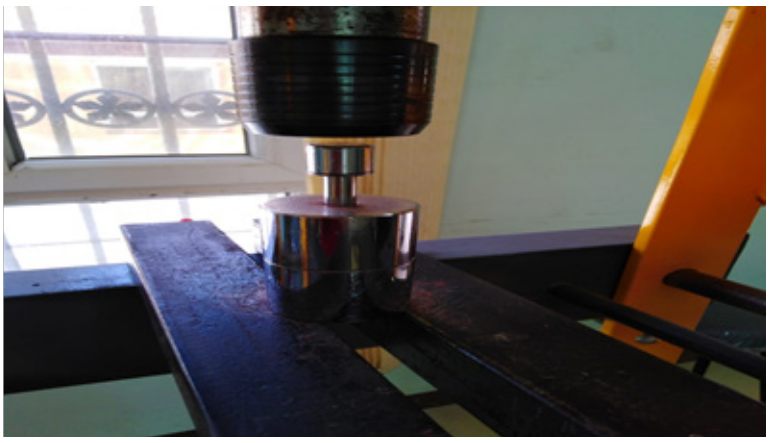
الجانب العملي:

1. المواد الاولية:

تم استخدام مسحوق معدن النحاس ذو الحجم الحبيبي ≥44 mμ المنتج من شركة (CDH) وبنقاوة (99.5٪) في الهند، وكذلك استخدم مادة التدعيم من كاربيد البورون ذو الحجم الحبيبي 90μm والمنتج من شركة (Metco110) وبنقاوة (99.6٪).

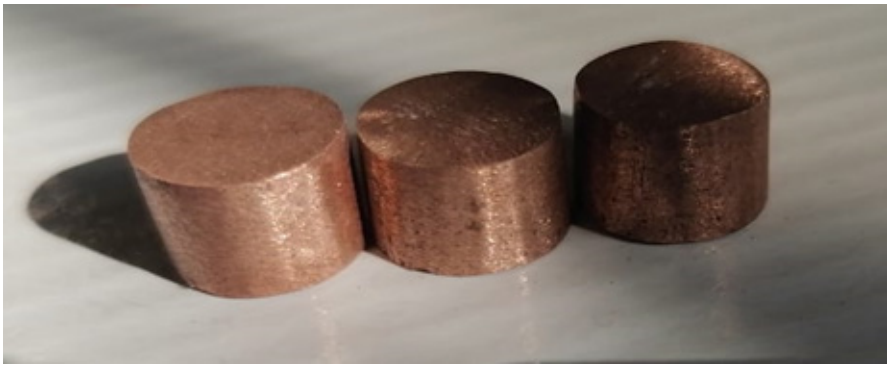
2. طريقة العمل:

تم تجفيف مسحوق النحاس وكاربيد البورون بدرجة حرارة (100°C) لمدة نصف ساعة وذلك لتخلص من الرطوبة. بعدها تم تهيئة أوزان خلطة حسب النسب الحجمية لكل مكون وقد تم اعتماد النسب الحجمية بسبب الاختلاف في الكثافة النحاس وكاربيد البورون. تم الوزن باستخدام ميزان حساس نوع (Sarto-rius) ياباني المنشأ ذو دقة (0.0001) غرام، اخذت كمية بمقدار (3)غرام من خليط مكون من (90٪ النحاس و(10٪) من كاربيد البورون باستخدام ميزان حساس، ووضعت في الحاوية الفولاذية خلال ماكنة خلط والتي صممت وصنعت محليا خصيصا لطحن ومزج المساحيق، ثم طحنت لمدة ساعتين باستخدام كرات فولاذية قطرها (10) ملم ونسبتها (10:1) الى وزن . بعد انتهاء من عملية الطحن والمزج والحصول على مسحوق متجانس، تم تشكيل العينات من خلال تقنية الكبس باتجاه واحد (Uniaxial) في قالب فولاذي صلد كما في الشكل (1) .اما المكبس المستخدم لكبس العينات هو مكبس هيدروليكي من نوع (HONMAK-SAN) ذو منشأ تركي، وسعة كبسه تصل الى (20 ton) كما موضح بالشكل (2). تم الوضع المزيج المخلوط داخل قالب الكبس بعناية وحذر شديدين في المكبس لمنع اي حركة لأجزاء القالب. وبعد ذلك تم تسليط الضغط بمقدار (80MPa) لمدة (60 sec)، للحصول على نماذج من عينات اسطوانية قطرها (10mm) وارتفاعها (5 mm)، الشكل (3) يمثل العينة الناتجة من عملية الكبس. ثم تم اجراء عملية التلبيد الحراري للنماذج المحضرة عند درجة حرارة (900°C) لزمن ساعتين فقط بوساطة فرن كهربائي نوع (Muffle) موديل (MF-12) كوري المنشأ.



شكل(1) القالب المستخدم للكبس.

شكل(2) المكبس الهيدروليكي المستخدم.



شكل(3) العينات الناتجة بعد اجراء عملية الكبس.

الفحوص المستخدمة:

1 – اختبار الصلادة :

تم اجراء اختبار الصلادة المايكروية نوع فيكرزفي جهاز الصلادة نوع (METKON)، فرنسي المنشأ والذي يتكون من اداة الغرس والتي هي عبارة عن رأس مجهري مدبب بشكل هرم ماسي مربع القاعدة تتقاطع مستوياته عند القمة بزاوية 136° حيث يتم تثبيت العينة تحت هذه الاداة لذلك. تم تقطيع العينات بطول 1cm وبعرض 1cm وبسمك 1cm حيث سلطت حمل بمقدار 50N وبزمن 20sec . يتم حساب رقم فيكرز للصلادة عن طريق قياس اطوال القطرين (d_2,d_1) ومعدل القيمة لهما (D) ومن ثم تطبيق المعادلة (1)[10] :

$$HV = \frac{2P\sin\frac{136^\circ}{2}}{d_{av}} = HV = 1.854\ \frac{P}{d_{av}} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث أن : H_V : صلادة فيكرز ,P : الحمل المسلط (N) , d_{av}: متوسط قطر الأثر.

وقد تم قياس الصلادة في عدة مناطق مختلفة من العينة، حيث أخذت الصلادة على الأطراف وفي المركز وجمعها للحصول على قيمة تقريبية لمعدل الصلادة.

2. اختبار مقاومة الانضغاط

Compressive Strength Test

تم فحص المكبوسات على جهاز الاختبارات (SHI-MADZU - UH 600 KNI) . بعد أن تم تحضير المكبوسات وتنعيمها بورق تنعيم بتدرج من 400 إلى 2000 مايكروميتر وتثبيتها بين فكي الجهاز، ومن ثم تسليط حمل إلى حدِّ الفشل للمكبوسات من خلال ملاحظة منحني (الاجهاد – الانفعال) الذي يتم رسمه من قبل الجهاز ومن خلال الرسم تم استخراج قيم اجهاد الخضوع الانضغاطي Compressive Yield Stress .

3. إختبار البلى Wear Test

تمّ إستخدام جهاز أمسلر (Amsler) لقياس معدل البلى لعينات طلاء المادة المركبة. يتكون جهاز فحص البلى من محرك كهربائي يدور بسرعة دورانية (190 rad/min) مرتبطة بمجموعة تروس مع محور تثبيت عينة الطلاء. وتمّ الإعتمّاد على مبدأ قرص على قرص (Disk on Disk) لقياس مقدار البلى. كما تمّ الإعتمّاد على الطريقة الوزنية لحساب مقدار الفقد في مادة الطلاء نتيجة البلى الانزلاقي (Sliding Wear). يتمّ وزن العينة قبل التشغيل وبعده بميزان حساس ذي حساسية (± 0.001 g)، ذي كفة واحدة نوع (MetII H311). توضع العينة في المكان المخصص لها في جهاز أمسلر وبتمّاس مباشر مع قرص ثابت ذو صلادة عالية ، وتحت تأثير الحمل (100 N) أستمّر الأختبار لمدة (30min) ، ومن خلال تطبيق المعادلة الآتية يمكن حساب معدل البلى [11] .

$$\text{Wear Rate} = \frac{M_1 - M_2}{D} \quad \ldots\ldots (2)$$

حيث ان:

M_1 : كتلة العينة قبل الفحص ، M_2 : كتلة العينة بعد الفحص ، D: المسافة المقطوعة خلال الفحص

حيث ان:

$$D = 2r^{-}\pi n^{-} \quad \ldots\ldots (3)$$

حيث ان : r^{-} : نصف قطر العينة (10mm) .

n^{-} : عدد الدورات (تحسب من عدد الدورات في جهاز الفحص).

4- المسامية الظاهرية Porosity

تم في هذا الفحص حساب المسامية بطريقة ارخميدس حيث تم قياس وزن الطلاء وهو (W_1) بعد ذلك تم غمر النموذج المطلي في الماء المقطر لزمن (24) ساعة وتم بعد ذلك قياس الوزن بعد الغمر (W_2) ثم تم بعد ذلك تعليق النموذج المطلي داخل الماء المقطر وقياس الوزن الثالث (W_3) وبعد ذلك تم تطبيق القانون في المعادلة (4) لحساب المسامية الظاهرية [12] .

$$\text{Porosity} = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3}\right) \times 100\% \quad \ldots\ldots (4)$$

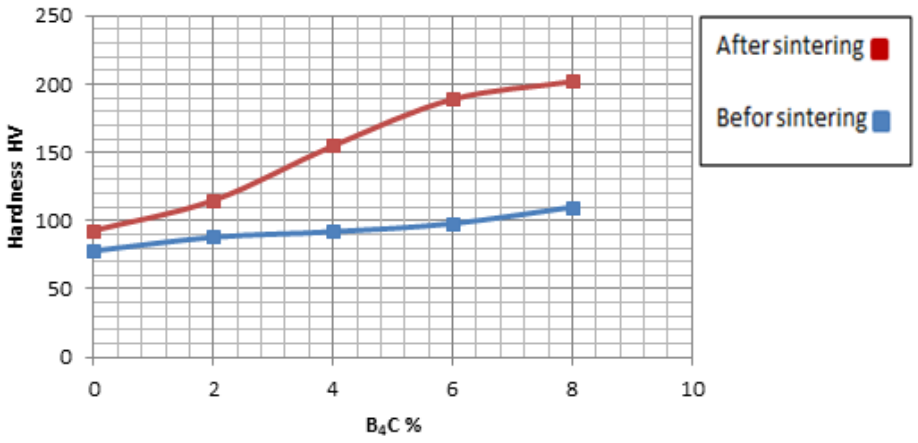
5- المجهر الالكتروني الماسح Scanning Electron Microscope

تم دراسة طوبوغرافية السطح للعينات الناتجة بعد التلبيد وذلك لمعرفة السطح الخارجي للعينات الناتجة وكيفية تماسكها حيث استخدم جهاز المجهر الالكتروني الماسح لهذا الغرض، لما يمتلك من مميزات كبيرة تعطي وصف مميز للبنية السطحية الخارجية وبتكبير يصل الى آلاف المرات من المجاهر الضوئية، نوع المجهر المستخدم هو(TESCAN) بموديل (MIRA3) فرنسي المنشأ.

النتائج والمناقشات:

1. تأثير اضافة مواد التدعيم على الصلادة:

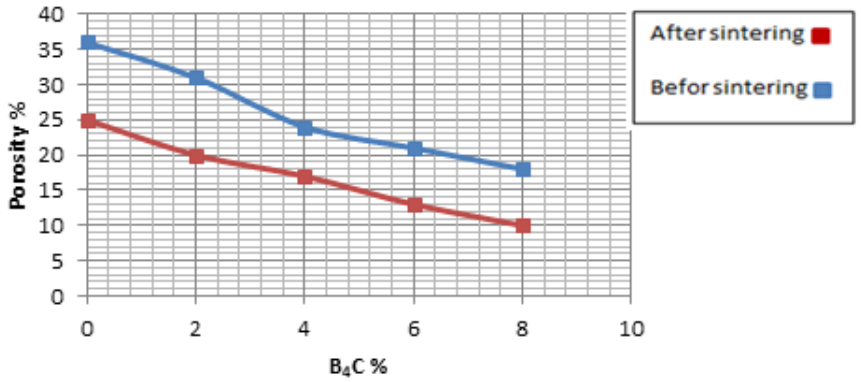
يوضح الشكل (4) علاقة محتوى مادة التدعيم المضافة على قيم صلادة فيكرز التي تم الحصول عليها قبل وبعد عملية التلبيد ولمختلف النسب المضافة من مادة التدعيم. إن قيمة صلادة فيكرز بدأت تزداد عند تغير نسب إضافة مادة التدعيم حيث تم الحصول على افضل قيمة لنسبة التدعيم عند الخلطة (8٪) وبمقدار (110Hv) قبل التلبيد، بينما بعد التلبيد وصلت القيمة الى (202Hv)، إذ يمكن ملاحظة أن إضافة محتوى مادة التدعيم تؤدي إلى زيادة نسب قيم صلادة فيكرز، إذ إن عملية التلبيد ساهمت في زيادة نتائج صلادة فيكرز مع محتوى مادة التدعيم زيادة واضحة لقيم صلادة فيكرز والسبب أن زيادة محتوى مادة بسبب تكون وظهور أطوار جديد في الطلاء الناتج بسبب عملية تجانس وخلط جزيئات مواد الطلاء وبتالي كثرة وزيادة الاسطح البينية المتكونة بفعل إضافه مادة التدعيم B_4C. والامر الثاني الذي جعل زيادة في صلادة فيكرز هو المعاملة الحرارية ويعود ذلك إلى زيادة التجانس والترابط لطبقات الطلاء لأن الحرارة تؤدي إلى تقليص المسامات وتقليلها مما يؤدي إلى زيادة تجانس بين أجزاء الطلاء وتقل بذلك المسامية وبتالي زيادة قيم الصلادة [13].



شكل (4) العلاقة بين مادة التدعيم وصلادة فيكرز.

2. تأثير اضافة مواد التدعيم على المسامية:

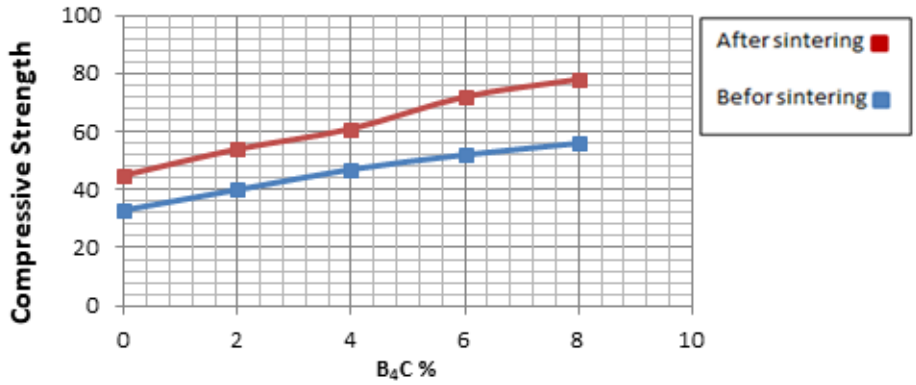
الشكل (5) يبين العلاقة العكسية بين التغيير بالنسب الحجمية لجسيمات كاربيد البورون والمسامية الظاهرية قبل وبعد التلبيد، ويلاحظ من خلال الشكل أن زيادة النسب الحجمية المضافة قد أدت إلى انخفاض المسامية إذ انخفضت المسامية من (36٪) الى (18٪) لنسبة التدعيم من (0 – 8)٪ قبل التلبيد، وتنخفض تدريجياً بعد التلبيد من (25٪) الى(10٪) لنسبة التدعيم من (0 – 8)٪. فيلاحظ أن النسبة المئوية للمسامية الحقيقية قد قلّت بعد إجراء عملية التلبيد، ويعزى هذا النقصان الواضح في نسبة المسام الحقيقية إلى تحسين الالتصاق بين المعدن الأساس وجسيمات التقوية خلال عملية التلبيد علاوة على زيادة قيم الصلادة الواضحة بعد التلبيد عن قيمها قبل التلبيد كما ذكرنا سابقاً، كذلك تكون اجهاد هايدروستاتيكي يعمل على غلق المسامات خلال التشويه اللدن بين النحاس كاربيد البورون، إذ إن لعملية التلبيد دوراً كبيراً في انكماش حجم المسامات في المتراكبات وتقليله من خلال زيادة الاندماج نتيجة حصول عملية الانتشار في الحالة الصلبة[14].



شكل(5) العلاقة بين مادة التدعيم و المسامية .

3 .تأثير اضافة مواد التدعيم على مقاومة الانضغاط:

يبين الشكل (6) العلاقة بين التغيير في النسب الحجمية لجسيمات كاربيد البورون واجهاد الخضوع الانضغاطي قبل وبعد عملية التلبيد، ويلاحظ من الشكل أن زيادة النسب الحجمية المضافة قد أدت الى زيادة مقاومة الخضوع الانضغاطي، إذ زادت مقاومة الخضوع الانضغاطي قبل التلبيد من (33 – 56) N/mm^2 عند محتوى كاربيد البورون من (0٪) إلى (8٪). كما زادت مقاومة الخضوع الانضغاطي بعد التلبيد من (45 – 78) N/mm^2 عند محتوى كاربيد البورون من (0 –8)٪. إن زيادة اجهاد الخضوع الانضغاطي بزيادة محتوى جسيمات التقوية قبل التلبيد وبعده وكذلك زيادة قيم اجهاد الخضوع الانضغاطي بعد التلبيد عن قيمه قبله والمبينة بالشكل (6) تعزى إلى المقاومة العالية لجسيمات التقوية والتي أدت إلى زيادة صلادة المتراكبات بزيادة محتوى كاربيد البورون، علاوة على مقاومة التشوهات الموقعية بفعالية عالية ومن ثم تكوين عينات متماسكة ذات مقاومة انضغاط عالية. كما إن لدرجة حرارة التلبيد العالية ولزمن ساعتين دوراً مهماً في زيادة قوة الترابط بين جسيمات مكونات المتراكبات من خلال الانتشار والتوزيع الجيدة وكذلك زيادة الكثافة والنقصان في نسب المسامية بعد التلبيد مما يؤدي إلى دعم كتلة المتراكب وتسليحها [15].



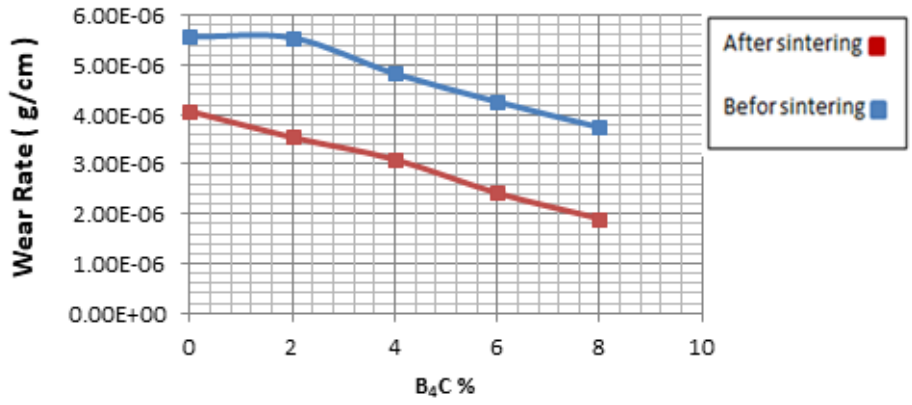
شكل(6) العلاقة بين مادة التدعيم ومقاومة الانضغاط.

4. تأثير اضافة مواد التدعيم على معدل البلى:

يبين الشكل (7) العلاقة بين التغير بالنسب الحجمية لجسيمات كاربيد البورون ومعدل البلى قبل إجراء عملية التلبيد، ويلاحظ أن زيادة النسب الحجمية المضافة قد أدت إلى انخفاض معدل البلى، إذ قـــلَّ معدل البلى من g/cm (5.57*10^{-6}) عند نسبة (0٪) الى g/cm (3.75*10^{-6}) عند نسبة (8٪)، وفي الشكل نفسهُ وجد ان معدل البلى بعد إجراء عملية التلبيد عند درجة حرارة 900°C ولزمن ساعتين، يلاحظ من الشكل أن زيادة النسب الحجمية المضافة قد أدت إلى انخفاض معدل البلى إذ قلَّ معدل البلى من g/cm (4.07* 10^{-6}) عند نسبة (0٪) الى g/cm (1.91*10^{-6}) عند نسبة (8٪). إن انخفاض معدل البلى عند زيادة محتوى جسيمات التقوية يعزى إلى أن المتراكبات تكون أكثر صلادة عند اضافة جسيمات كاربيد البورون، بحيث يكون الفقدان بالوزن قليل نتيجة تقوية الأساس أو الأرضية بالجسيمات الكاربيدية التي تعرقل تقدم الانخلاعات، لذلك سوف تتولد اجهادات تقاومها الجسيمات الصلدة ومن ثم توليد كثافة انخلاعية ويكون للفرق في معامل التمدد الحراري دور كبير في هذه العملية التي ينتج عنها زيادة الصلادة بزيادة محتوى جسيمات التقوية، وعلاوة على ذلك فإن معدل البلى يقل عند اضافة جسيمات (B_4C) التي تسبب زيادة الصلادة. إذ إن معدل البلى يتناسب تناسباً عكسياً مع الصلادة على وفق العلاقة الآتية[16] :

$$V = K * \frac{Wx}{H} \quad \text{..... (5)}$$

إذ إن : V = حجم البلى، K = معامل (ثابت) البلى، W = الحمل العمودي، X = مسافة الانزلاق، H = صلادة المادة.

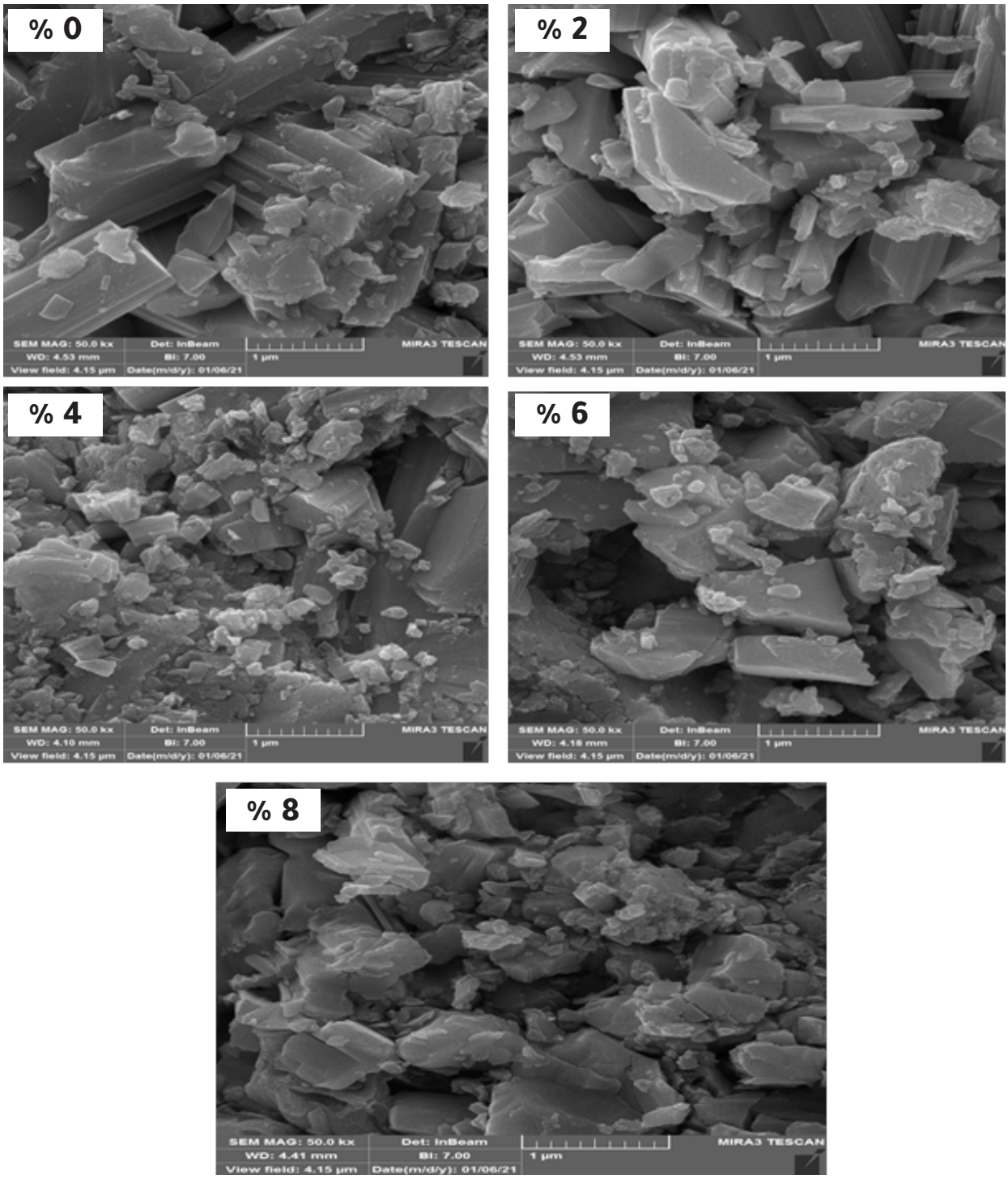


شكل (7) العلاقة مادة التدعيم ومعدل البلى.

5. نتائج المجهر الالكتروني الماسح:

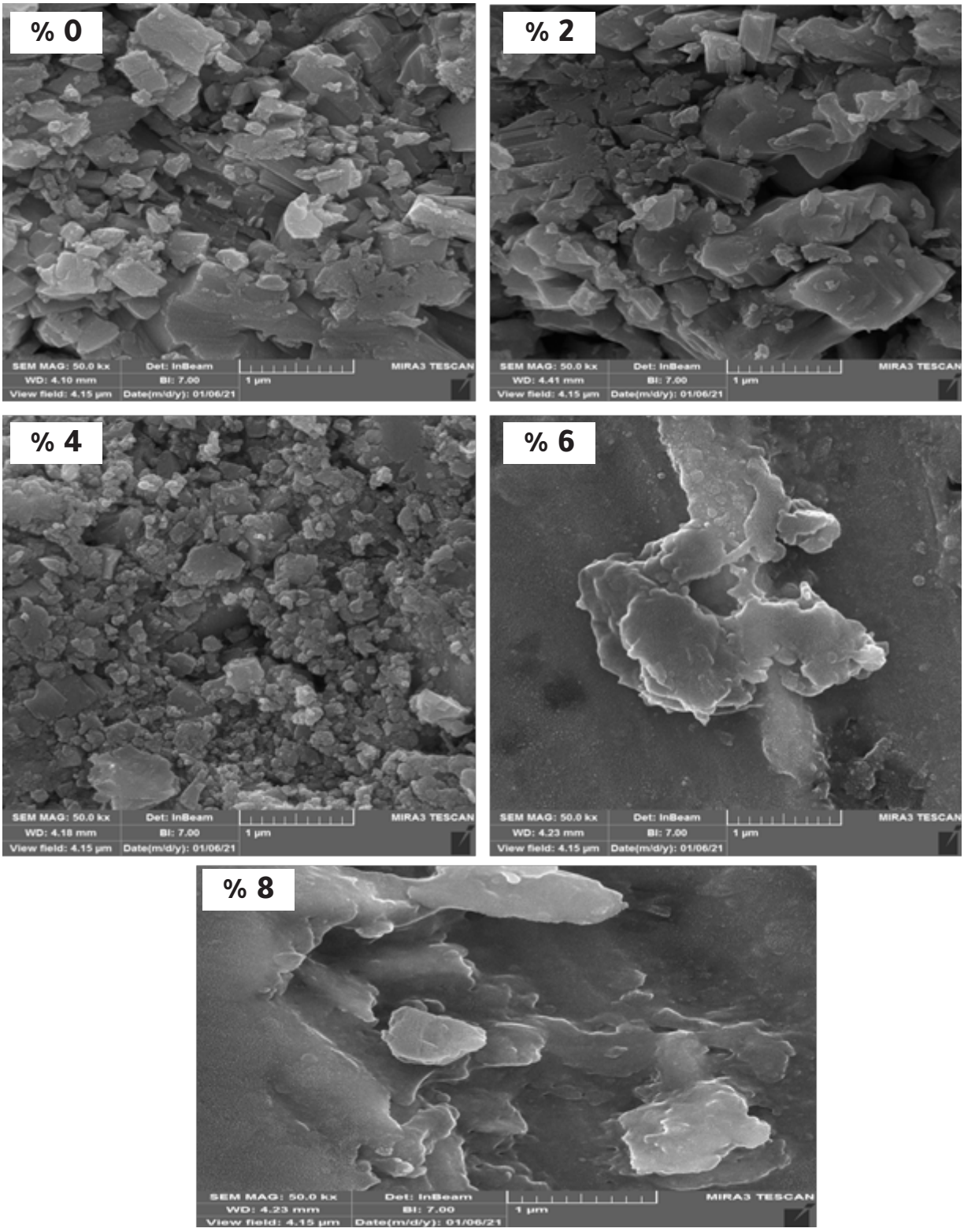
تم دراسة طوبوغرافية السطح للعينات التي تم كبسها بطريقة المساحيق حيث يبين الشكل (8) المجهر الالكتروني الماسح بعمق 1µm وتكبير (50KX) وقبل اجراء عملية التلبيد، اما الشكل (9) يبين المجهر الالكتروني الماسح بعمق 1µm وتكبير (50KX) وبعد التلبيد الحراري عند 900°C لزمن ساعتين، اذ تبين الصورة (0٪) نجاح عملية الكبس ولكن هنالك عشوائية بتوزيع ذرات خلال سطح العينة مع وجود تشققات واضحة المعالم لكن بعد اجراء عملية التلبيد

الحراري نجد هنالك تحسن واضح للعينة وتجانس مقبول، اما الصورة (2٪) نلاحظ بشكل واضح وجود مادة التدعيم منتشرة خلال النحاس مع عشوائية للسطح ووجود المسامات خلال السطح التي تؤثر بشكل سلبي على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للعينات، اما بعد اجراء عملية التلبيد الحراري يتحسن السطح والخصائص التركيبية للنماذج المحضرة. اما الصورة (4٪) نلاحظ الحصول على سطح واضح ومتناسق وهنالك تشابك بلوري مميز بين كل من مادة الاساس ومادة التدعيم وبعد اجراء عملية التلبيد الحراري نلاحظ حصول توزيع للمتراكبات الثلاثة بجميع اجزاء السطح وهذا يتناسق مع النتائج التي تم الحصول عليها في الصلادة والمسامية، اما الصور(6٪) نلاحظ وضوح النمو البلوري والتناسق بين ذرات المواد المكبوسة اما الصورة (8٪) نجد تجانس سبة تام بين كل من النحاس وكاربيد البورون، اما عند اجراء عملية التلبيد الحراري نلاحظ اندماج المادتين الاساس والتدعيم مع بعضهما البعض ويصبحان قطة واحدة مندمجة بفعل الحرارة العالية مما يساعد على تحسن الخصائص التركيبية والميكانيكية للنماذج المحضرة اذ ان لطوبوغرافية السطح اثر كبير على معرفة تركيب الطلاء الخارجي وكيفية نمو الحبيبات البلورية للعناصر، حيث لحجم وشكل الحبيبات اثر كبير على تناسق واندماج الذرات [7,8] .



شكل (8)

صور المجهر الالكتروني الماسح لمادة التدعيم قبل إجراء المعاملة الحرارية



شكل (9)

صور المجهر الالكتروني الماسح لمادة التدعيم بعد اجراء المعاملة الحرارية

الاستنتاجات:

ان الاستنتاج الواضح والمهم هو التمكن من اجراء عملية الكبس على البارد لكل من النحاس وكاربيد البورون بشكل مندمج والحصول على سبيكة ذات خصائص فيزيائية مشجعة، حيثُ تم الحصول على افضل نتائج هي عند خلطة من نوع ($92\%Cu\text{-}8\%B_4C$) وبعد تلبيد حراري ($900^{\circ}C$) ولزمن ساعتين، كانت الصلادة (202Hv)، وتم الحصول على اقل مسامية بمقدار (10٪)، واعلى قوة انضغاط هي (78MPa)، بينما اقل بلى هو ($1.91\times10^{-6}g/cm$)،. نتائج المجهر الالكتروني الماسح اعطت تجانس وتشابك ميكانيكي جيد تقريباً عند نفس النسبة اعلاه 8٪ وخصوصاً بعد اجراء عملية التلبيد الحراري.

المصادر:

[1] Yuan, S., Shen, F., Chua, C. K., & Zhou, K. (2019). Polymeric composites for powder-based additive manufacturing: Materials and applications. Progress in Polymer Science, 91, 141-168.

[2] Liu, G., Zhang, X., Chen, X., He, Y., Cheng, L., Huo, M., ... & Lu, J. (2021). Additive manufacturing of structural materials. Materials Science and Engineering: R: Reports, 145, 100596.

[3] Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). Additive manufacturing technologies (Vol. 17). Cham, Switzerland: Springer.

[4] Gong, X., Anderson, T., & Chou, K. (2012, June). Review on powder-based electron beam additive manufacturing technology. In International Symposium on Flexible Automation (Vol. 45110, pp. 507-515). American Society of Mechanical Engineers.

[5] Edebali, S., & Pehlivan, E. (2016). Evaluation of chelate and cation exchange resins to remove copper ions. Powder technology, 301, 520-525.

[6] Rajkovic, V., Bozic, D., Stasic, J., Wang, H., & Jovanovic, M. T. (2014). Processing, characterization and properties of copper-based composites strengthened by low amount of alumina par-

additions on the microstructure and wear resistance of high chromium white irons produced by laser directed energy deposition. Wear, 510, 204519.

[12] Mohammed, M. M., Elsayed, E. M., El-Kady, O. A., A. Alsaleh, N., Elsheikh, A. H., Essa, F. A., ... & Djuansjah, J. (2022). Electrochemical Behavior of Cu-MWCNT Nanocomposites Manufactured by Powder Technology. Coatings, 12(3), 409.

[13] Çelik, Y. H., & Seçilmiş, K. (2017). Investigation of wear behaviours of Al matrix composites reinforced with different B4C rate produced by powder metallurgy method. Advanced Powder Technology, 28(9), 2218-2224.

[14] Ito, M., Horiguchi, G., Hariu, T., Ito, A., Kamiya, H., & Okada, Y. (2020). Controlling fly ash adhesion at high temperatures via porosity effect. Powder Technology, 374, 492-495.

[15] Ahmed, W. K., & Al-Douri, Y. (2020). Three-dimensional printing of ceramic powder technology. Metal Oxide Powder Technologies, 351-383.

[16] Sahoo, P., & Davim, J. P. (2013). Tribology of ceramics and ceramic matrix composites. In Tribology for Scientists and Engineers (pp. 211-231). Springer, New York, NY.

ticles. Powder Technology, 268, 392-400.

[7] Ghareeb, S. M., Allah, S. M. A., & Darweesh, S. Y. (2021, May). The Effect of Adding SiC on Some of the Mechanical Properties of the Cu-Al2O3 System Using Powder Metallurgy. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1879, No. 3, p. 032122). IOP Publishing.

[8] Ghareeb, S. M., Allah, S. M. A., & Darweesh, S. Y. (2021, September). Compressive Strength, Wear, and Structure Characteristics as a Result of Silicon Carbide Addition on a Copper Base. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1999, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

[9] Karim, A. S., Majeed, Z. N., & Darweesh, S. Y. (2021). The Effect of Changing the Volumetric Ratios of Zirconia on Some Physical Properties of (Cu-SiC) System by Powder Method. journal of the college of basic education, 27(112), 1-11.

[10] Shao-Jun, T. A. N. G., Wei-Ming, G. U. O., Shi-Kuan, S. U. N., & Hua-Tay, L. I. N. (2023). Design strategy of phase and microstructure of Si 3 N 4 ceramics with simultaneously high hardness and toughness. Journal of Advanced Ceramics, 12(1), 122-131.

[11] Zhu, C., Fordyce, I., Sun, S. D., Annasamy, M., Fabijanic, D., Short, K., ... & Easton, M. (2022). Effect of Ti and TiC