



## تأثير المعاملات الحرارية على خواص مترابك ذو أساس من الألمنيوم المدعم بالالومينا وكاربيد السليكون والمحضر بتقانة ميتالورجيا المساحيق

هاشم شكر حمود<sup>3</sup>

رائد نجيب رزوقي<sup>1</sup>

<sup>1</sup> قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

[raidmousis@yahoo.com](mailto:raidmousis@yahoo.com)

<sup>2</sup> قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

[Nageb\\_Aldelemy@yahoo.com](mailto:Nageb_Aldelemy@yahoo.com)

<sup>3</sup> قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

[hashimshukor@yahoo.com](mailto:hashimshukor@yahoo.com)

(Received 09 March 2016, Accepted 22 March 2016, Available online 31 December 2017)

### الخلاصة

باعتقاد تقانة ميتالورجيا المساحيق واستخدام مسحوق الألمنيوم كمادة أساس بنقاوة 99.7% وحجم جسيمي ( $\leq 53 \mu\text{m}$ ) مدعماً بالالومينا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) بنقاوة 99.7% وحجم جسيمي ( $\leq 53 \mu\text{m}$ ) وكاربيد السليكون (SiC) بنقاوة 99.7% حجم جسيمي ( $\leq 70 \mu\text{m}$ ) لتصنيع المترابك (Al - 10wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 20wt%SiC) وبمدى من ضغوط الكبس (500، 600، 700، 800، 900) ميكاباسكال أحادي الاتجاه، وتم التلبيد بدرجة حرارة 550 درجة مئوية وبزمن ساعة واحدة. تم معالجة المترابك حرارياً بطريقتين هما التسخين الازوثيرمي السريع والتسخين التقليدي عند درجة حرارة 400 درجة مئوية وزمن 15 دقيقة ثم التبريد بالهواء. يهدف البحث إلى دراسة تأثير تغير مقدار ضغط الكبس والمعاملات الحرارية على تحسين خواص المترابك المنتج، إذ وجد أن الخواص الفيزيائية (كثافة، والتوصيلية الحرارية) تزداد بزيادة الضغط المسلط وتزداد بشكل واضح بعد المعاملة الحرارية التقليدية كما نجد انخفاض واضح في قيم المسامية والتي رافقها زيادة في الخواص الميكانيكية (الصلادة، مقاومة الانضغاط).

الكلمات الدالة: تقانة ميتالورجيا المساحيق، ضغط الكبس، المعاملات الحرارية؛ Al-10wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -20wt%SiC.

## The Effect of Heat Treatment on the Composite Properties Based on Aluminum and Reinforcement Alumina and Silicon Carbide Prepared By Powder Metallurgy Technique

Raed Najeeb Razooqi

Najeeb Salman Abtan

Hashim ShukorHamood<sup>3</sup>

Mechanical Engineering Department, Tikrit University, Iraq

### Abstract

Adoption of powder metallurgy technique used aluminum as the metal matrix with 99.7% purity and  $\leq 53 \mu\text{m}$  particle size reinforced with alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 99.7% purity with  $53 \mu\text{m}$  in size and Silicon Carbide (SiC) 99.7% purity with  $\leq 70 \mu\text{m}$  in size to prepare the (Al - 10wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 20wt%SiC) composite, these composites were cold pressed through uniaxial pressing at different pressure of (500,600,700,800,900)MPa and sintered at  $550^\circ\text{C}$  for one hour. The composite products were treated thermally using both rapid isothermal heating and traditional heating at temperature  $400^\circ\text{C}$  for 15min and then cooled in steady air. The research aims to study the effect of pressing pressure, heat treatments on the properties of the samples since it was found that the physical properties (density, porosity and thermal conductivity) increases with increasing pressing pressure and increase significantly after heat treatment (rapid isothermal heating and traditional heating) was accompanied by an increase in the mechanical properties (hardness, compressive strength).

**Keywords:** Powder metallurgy technique, Pressing pressure, Heat treatment; Al -10 wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 20wt%SiC.

التجانس والتوزيع المنتظم بين المواد المكونة للمترابك والذي لها الأثر الكبير على البنية المجهرية ويوجد نوعان من الخلط المستعمل في تقانة ميتالورجيا المساحيق الأول الخلط أما الثاني فهو الخلط والطحن [8]. تم خلط مكونات المترابك لمدة ساعة واحدة بواسطة خلاط ميكانيكي تم تصنيعه محليا الشكل (1).



الشكل (1) جهاز الخلط

وضع الخليط داخل قالب معدني بقطر 10 ملم وطول 80 ملم صُمم وصُنعت أجزاءه من قبل الباحثين كما مبين بالشكل (2).



الشكل (2) قالب الكبس

### عملية الكبس *Pressing Process*

تأتي عملية كبس المترابك كخطوة ثانية في التصنيع إذ يتم تسليط ضغوط عالية على خليط المترابك ليعطي شكله النهائي، ولتصنيع المترابك قيد البحث سلط مدى من ضغط الكبس (500، 600، 700، 800، 900) ميكاباسكال وباتجاه واحد، تم الاستمرار بالضغط لكل حالة لمدة دقيقة واحدة لتفادي الإرجاع المرن باستخدام مكبس كهربائي هايدروليكي نوع ( Hoytom ) صيني المنشأ أقصى حمل له (200KN).

### التلييد *Sintering*

تلعب عملية التلييد دوراً مهماً ورئيسياً في تماسك جسيمات المواد المكونة للمترابك إذ تحدث بعض المتغيرات داخله أثناء عملية التلييد تتضمن اختزال المسامية ثم حدوث زيادة في قيمة الكثافة نتيجة للنقصان الحاصل بالمساحة السطحية وتكوين بنية بلورية

### المقدمة

تعد تقانة ميتالورجيا المساحيق من التقانات الحديثة والتي يمكن من خلالها الوصول إلى الخواص الدقيقة المطلوبة في ظل التطور الصناعي الهائل كونها تجمع بين الخواص العالية والواطئة والجمع بين المواد التي لا يمكن أن تنتج في السباكة فمن خلال تدعيم المواد ذات الخواص الواطئة بأخرى تمتلك خواص عالية تحصل على الخواص المطلوبة والتي ستكون وسيطة بين المواد المدعمة ومواد التدعيم [2،1].

اختصرت المترابكات ذات الأساس المعدني وخصوصاً ذات الأساس من الألمنيوم المسافات في تطور المواد الهندسية إذ أثبتت أن خواص المترابكات أفضل بكثير من خواص سبائك الألمنيوم التقليدية في كثير من التطبيقات الهندسية منها هياكل الطائرات على سبيل المثال بسبب خفة وزنها وقوتها العالية إذ يمكن تقوية الألمنيوم بمواد ذات مواصفات عالية من الناحية التقوية مثل الصلادة ومقاومة التآكل والتوصيلية الحرارية الجيدة وبنفس الوقت تكون اقتصادياً (رخيصة الثمن) ومن هذه المواد جسيمات أو شعيرات كاربيد السليكون أو الألومينا وذلك لما تعطيه هذه المواد للمنتج من صلادة ومقاومة انضغاط عاليتين ناهيك عن الخواص الفيزيائية من توصيلية حرارية عالية والتي تتراوح بين (300-490W/m.K) بالنسبة لكاربيد السليكون أو نسبة مسامية واطئة نسبياً [3، 4، 5، 6].

تعرض المواد المنتجة أو المشغلة ميكانيكياً إلى إجهادات داخلية متبقية (residual stress) داخل البنية البلورية قد تكون سبباً في فشلها أثناء الاستعمال ولتفادي مثل هكذا عيوب تجرى عليها المعاملات الحرارية إذ يمكن من خلال المعاملة الحرارية تحسين الخواص سواء كانت ميكانيكية أو فيزيائية، وتختلف المعاملات الحرارية بعضها عن بعض بطرائق التسخين مثل (( التقليدية (داخل الفرن)، التسخين الأيزوثيرمي السريع، الليزر، المايكرويف)) وتختلف أيضاً بمعدل التبريد مثل (التبريد بالهواء، الماء البارد أو الحار، الزيت) [7].

### الجانب العملي *Experimental Work*

#### تصنيع النماذج *Fabrication of Samples*

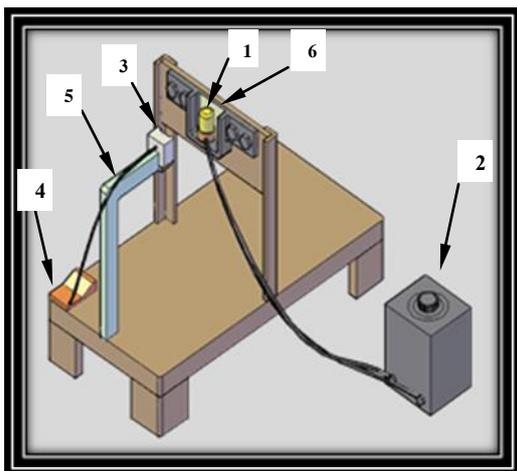
##### المواد المستعملة *Used Material*

تكون المترابك قيد البحث من مادتين هما المادة الأساس ومواد التقوية. المادة الأساس (Matrix Material)، تم اختيار مسحوق الألمنيوم بنقاوة 99.7% وحجم جسيم (53µm) ≤ وذو منشأ انكليزي. أما بالنسبة لمواد التقوية (Reinforcing Materials) استخدمت مادتان من السيراميك للتدعيم هما الالومينا بنسبة إضافة 10% وبنقاوة 99.7% وحجم جسيم (53µm) ≤ وذو منشأ اسباني بينما كان كاربيد السليكون (SiC) بنسبة 20wt% وبنقاوة 99.7% وحجم جسيم (70 µm) ≤ وذو منشأ ألماني.

مرت عملية تصنيع نماذج المترابك (Al - 10wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20wt% SiC) بعدة مراحل وهي:-

##### عملية الخلط *Mixing Process*

تعد عملية الخلط ذات أهمية كبيرة في تصنيع المترابكات وتكمن أهميتها من خلالها الحصول على



الشكل (4) مخطط جهاز التسخين الايزوثيرمي السريع (1) مصباح، (2) منظم فولتية ، (3) موقع تثبيت العينة، (4) مقياس درجة الحرارة الرقمي، (5) مزدوج حراري، (6) مرآة مقعرة.

### الخصائص الفيزيائية Physical Properties

#### الكثافة الحجمية Bulk Density

أن نسبة كتلة المادة إلى حجمها الكلي (المادة الفعلية والمسامات المفتوحة والمغلقة) يُعرف بالكثافة الحجمية، تم قياس أبعاد النماذج بواسطة قدمة قياس رقمية وبالتالي إيجاد الحجم ووزن النماذج بميزان كهربائي ذو دقة عالية (0.0001g) ياباني المنشأ، حسب الكثافة الحجمية بالعلاقة الآتية [12] :-

$$\rho = M / v \quad (1)$$

أذ أن :

M : كتلة النموذج (غرام) .

v : حجم النموذج ( سنتمتر مكعب) .

تم حساب الكثافة النظرية من العلاقة الآتية [12] :-

$$\rho_{th} = \sum \rho_i \times x_i \quad (2)$$

إذ أن :-

$\rho_i$  : كثافات المواد الداخلة في تكون المترابك (غم/سم<sup>3</sup>).

$X_i$  : النسبة الوزنية للمادة الواحدة (%).

#### المسامية الحقيقية True Porosity

تم اعتماد العلاقة (3) في تقدير المسامية الحقيقية للنماذج والتي تعتمد على قياس الكثافة الحجمية من العلاقة (1) والكثافة النظرية من العلاقة (2) [13] :-

$$P\% = (1 - (\rho_{ex} / \rho_{th})) \times 100 \quad (3)$$

اذ أن :-

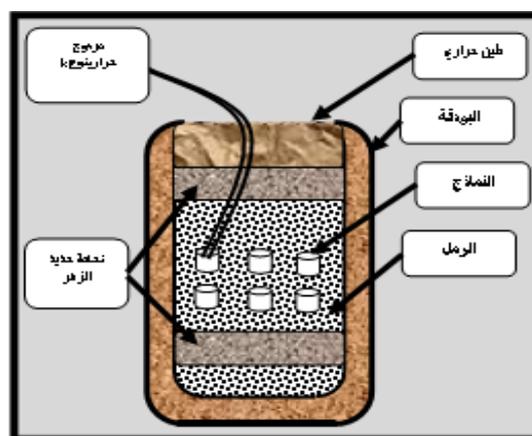
$\rho_{ex}$  : الكثافة العملية (بعد التليد) (غم/سم<sup>3</sup>).

$\rho_{th}$  : الكثافة النظرية (غم/سم<sup>3</sup>).

#### التوصيلية الحرارية Thermal Conductivity

يُعبّر عن كمية الحرارة المنتقلة من منطقة الحرارة المرتفعة إلى منطقة الحرارة المنخفضة بالتوصيلية

نهائية [9]. أُجريت عملية التليد للمترابك عند درجة حرارة ثابتة 500 درجة مئوية ولمدة ساعة واحدة ولتفادي الأكسدة أثناء العملية داخل الفرن، تم استخدام بواشق سيراميكية (فنجان قهوة) إذ وُضعت طبقة من نحاعة حديد الزهر ومن ثم طبقة من الرمل المعالج (غسل الرمل بشكل جيد ثم تعريضه لدرجة حرارة للتخلص من الرطوبة والشوائب) وبعد ذلك رُصفت النماذج، وبعد توصيلها بالمزدوج الحراري (لضمان وصول النماذج الى الدرجة الحرارية المطلوبة خلال عملية التليد) تم تغطية النماذج بالرمل بشكل كامل ومن ثم إضافة طبقة أخرى من نحاعة حديد الزهر تلتها طبقة من الطين الحراري لتقفل بها البودقة وكما مبين بالشكل (3) وتُركت البودقة بمحتوياتها لتجف عند درجة حرارة الغرفة ولمدة 24 ساعة قبل وضعها في الفرن.

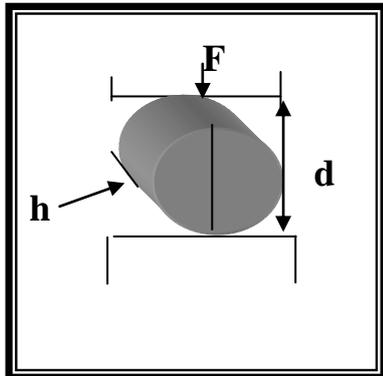


الشكل (3) مخطط للبودقة أثناء عملية التليد

#### المعاملات الحرارية Heat Treatments

تحسن المعاملة الحرارية خواص المترابك من خلال التغييرات التي تحدث للبنية المجهرية وتكوين الأطوار بين المواد المكونة للمترابك ولذا تم معالجته حرارياً بدرجة حرارة 400 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة وتبريده بالهواء باستخدام طريقتي تسخين هما الطريقة التقليدية (داخل الفرن) باستخدام فرن كهربائي نوع (Nabertherm) الماني المنشأ سنة 1999 والتسخين الايزوثيرمي السريع بواسطة مصدر للضوء (Source of Incoherent Light) ذو طول موجي بمدى (0.4-4μm) باستخدام مصباح التنكستن مفرد نوع ( Narva ) ذو قدرة 660 واط والذي تصل درجة حرارته إلى 700 درجة مئوية خلال عدة ثوانٍ، والشكل (4) يبين مخطط لأجزاء الجهاز المصنوع محلياً المستخدم في التسخين الايزوثيرمي السريع [11,10].

d: قطر العينة (ملم).  
h: ارتفاع العينة (ملم).  
F: أقصى حمل مسلط (نيوتن).



الشكل (5) طريقة وضع عينة اختبار مقاومة الانضغاط

## النتائج والمناقشة Results and Discussion

### تأثير المعاملات الحرارية على الكثافة

#### The Effect of Heat Treatments on the Density

يبين الشكل (6) بشكل عام ارتفاع كثافة المترابك مع زيادة مقدار ضغط الكبس سواء بعد التليد او بعد اجراء المعاملات الحرارية بنوعها الايزوثرمية السريعة والتقليدية ويعود السبب في ذلك إلى مرور المساحيق (المادة الأساس أو مادة التقوية) بمرحلتين مهمتين أثناء عملية الكبس تكمن الأولى في إعادة ترتيب الجسيمات أما الثانية فتتمثل في التشوه اللدن مما يساعد على زيادة عدد الجسور (Bridges) بين جسيمات المواد المكونة للمترابك نتيجة الضغط المسلط عليها والذي يؤدي إلى تشظيها أو تشوهها إذ أن زيادة هذه الجسور الرابطة تؤدي الى زيادة كفاءة عملية التليد لاحقاً وهذا يتفق مع ما توصل إليه [17] (Akhlaghi) للمترابكات المتكونة من جسيمات (CP-Al-Mg). وتنتقل الذرات الموجودة في أركان التركيب البلوري من التركيز العالي الى التركيز الواطئ خلال الجسور المتكونة مسبقاً وبذلك تتحسن عملية الانتشار بين حبيبات مواد المترابكات وهذا يتفق مع ما جاء به خشان و صالح [18] للمترابك (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-PSZ). ونتيجة لعملية الانتشار والتفاعل الكيميائي بين مادة أو مواد التقوية والمادة الأساس تتكون أطوار ذات كثافات أعلى من الكثافة النظرية للمترابكات وهي (AL<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Si ، C11.5ALO<sub>5</sub> ، C16.9ALO<sub>5</sub>) وهذا ما أكدته فحص حيود الأشعة السينية الشكل (8) باستخدام جهاز الفحص نوع (XRD-6000 Shimadzu) ياباني المنشأ. كما يبين الشكل (6) ارتفاع قيم الكثافة بعد إجراء عمليتي التسخين التقليدي والتسخين الايزوثرمي السريع عن قيمها بعد إجراء التليد وعلى سبيل المثال عند ضغط 700 ميكاباسكال ازدادت قيم الكثافة بعد إجراء عمليتي التسخين التقليدي والتسخين الايزوثرمي السريع بنسب 4.3% و 3.7% على التوالي عن قيمها بعد إجراء عملية التليد ويمكن أن تُعزى الزيادة في قيم الكثافة إلى عملية التسخين التي زادت من فاعلية التفاعل الكيميائي بنسب مختلفة تبعاً

الحرارية ، تختلف طرائق انتقال الحرارة حسب نوع المادة (صلبة، سائلة، غازية) إذ تنتقل الحرارة خلال المادة الصلبة بالتوصيل مثل الفلزات (Heat Conduction)، تم حساب التوصيلية الحرارية للمركب بمعادلة فوريير [15,14]:

$$q = -k A (dT/L) \dots\dots\dots(4)$$

$$k = (q*L) / (A* dT) \dots\dots\dots(5)$$

إذ أن :-

q : كمية الحرارة المنتقلة (W).

K : الموصلية الحرارية (W/m .°K).

A : المساحة العرضية للعينة (متر مربع).

dT : فرق بدرجات الحرارة على طرفي العينة (°K).

L : سمك العينة (متر).

تم قياس الموصلية الحرارية باستخدام جهاز التوصيلية الحرارية (Heat Conduction Unit) ذي منشأ انكليزي.

## الخواص الميكانيكية Mechanical Properties

### الصلادة Hardness

تم قياس صلادة المترابك باستخدام طريقة برينل بوساطة جهاز (Equotip-2) المبرمج ، سويدي المنشأ والمبين خصائصه في الجدول رقم (1)، وبأخذ معدل خمس قراءات مقياسة في مواقع مختلفة على سطح النموذج.

#### الجدول (1) خصائص جهاز الصلادة (Equotip-2)

NO	Title	Values
1	Maximum Hardness	940 HV
2	Impact Energy	11 Nm
3	Mass of Impact Body	5.5 g
4	Diameter Test Tip	3 mm
5	Diameter Impact Device	20 mm
6	Length Impact Device	150 mm
7	Accuracy	+ 4L (+ 0.5%) or when converting to HB , HV or HRC + 3% to + 15% or when converting to shore hardness + 1.5% to 4.5%

### مقاومة الانضغاط القطرية

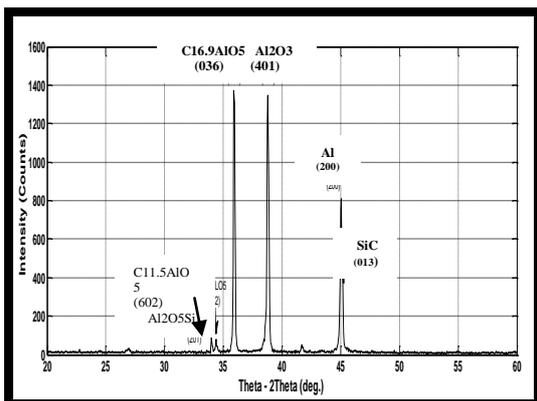
#### Diametrical Compressive Strength

يكون اختبار مقاومة الانضغاط بتسليط الحمل بشكل قطري والشكل (5) يبين طريقة وضع العينة في بحثنا هذا أثناء تسليط الحمل والذي يُعتمد عندما يكون ارتفاع العينة اقل من قطرها إذ كانت العينة بقطر 10 ملم وارتفاع 7 ملم، استخدم المكبس الكهربائي الهيدروليكي (Hoytom) صيني المنشأ لقياس مقاومة الانضغاط القطرية للنماذج المصنعة. ويمكن إيجاد قيمة مقاومة الانضغاط من المعادلة الآتية [16].

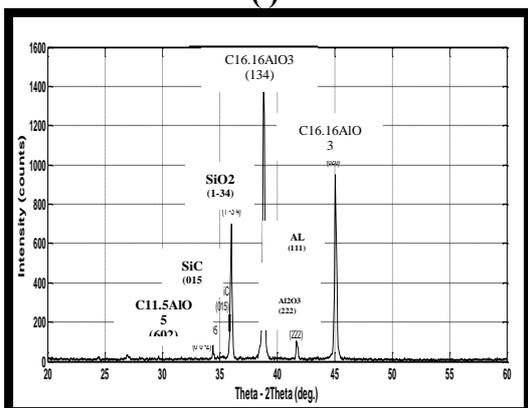
$$\sigma = 2 * F / \pi h d \dots\dots\dots(6)$$

إذ أن :-

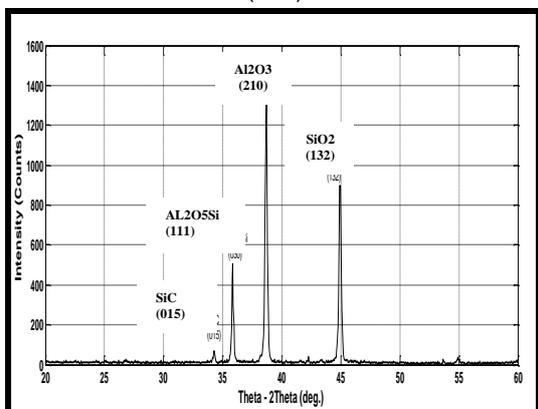
σ : مقاومة الانضغاط القطرية (ميكاباسكال).



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل (8) حيود الأشعة السينية المترابك  
(Al - 10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20%SiC)

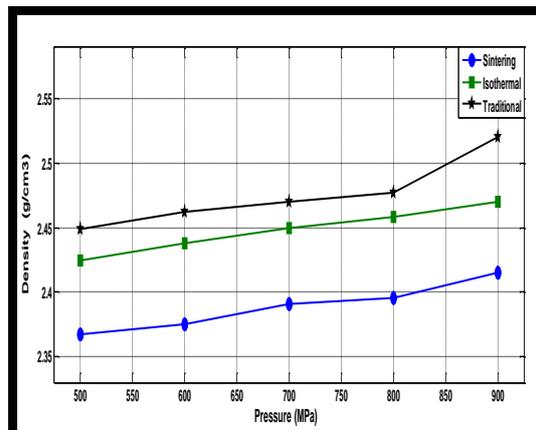
- أ - بعد إجراء عملية التلبيد  
ب- بعد إجراء المعاملة الحرارية الايزوثرمية السريعة  
ج- بعد إجراء المعاملة الحرارية التقليدية

تأثير المعاملات الحرارية على الموصلية الحرارية

### The Effect of Heat Treatment on the Thermal Conductivity

يظهر الشكل (9) ارتفاع قيم الموصلية الحرارية مع زيادة الضغط المسلط على المترابك أثناء عملية التصنيع كما يظهر ارتفاع قيم الموصلية الحرارية بعد إجراء المعاملة الحرارية التقليدية بالمقارنة مع المعاملة

لنوع المعاملة الحرارية من خلال الجسور المتكونة نتيجة الضغط المسلط وزيادة شدة تركيز الأطوار المتكونة.

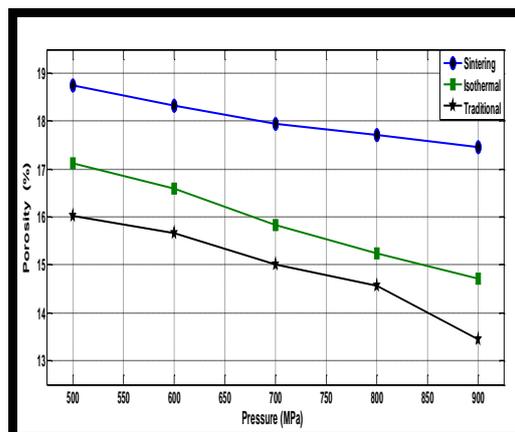


الشكل (6) تأثير التلبيد والمعاملات الحرارية على الكثافة بتغيير مقدار ضغط الكبس للمترابك (Al - 10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20%Si)

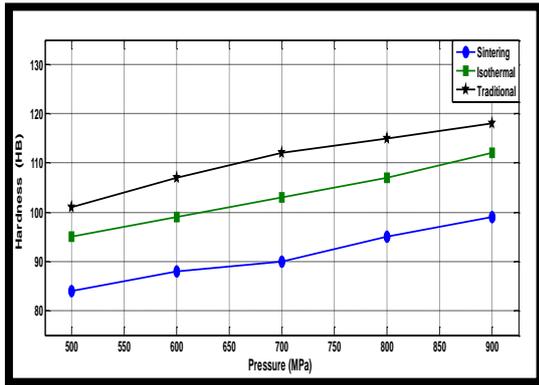
تأثير المعاملات الحرارية على المسامية

### The Effect of Heat Treatment on the Porosity

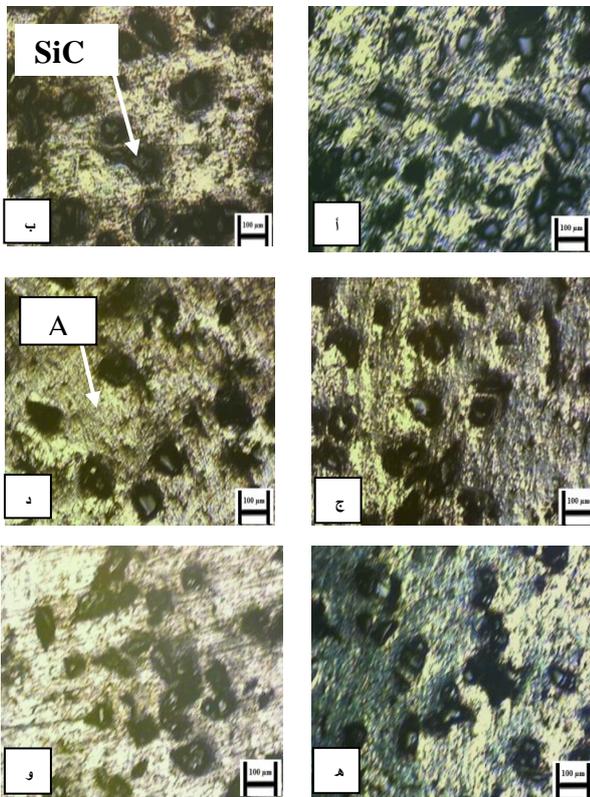
بعد إجراء المعاملات الحرارية المختلفة على المترابك تكون العلاقة عكسية بين المسامية وضغط الكبس المسلط أثناء التصنيع الشكل (7) إذ نجد انخفاض المسامية بزيادة الضغط المسلط فمثلاً عند ضغط 700 ميكاباسكال انخفضت نسب المسامية بعد إجراء التسخين التقليدي والتسخين الايزوثرمي السريع إلى 15.37% و 15.5% على التوالي بينما كانت قيمها بعد إجراء التلبيد 18.59% و عند نفس الضغط، ويمكن إن يكون سبب هذا التحسن في انخفاض المسامية إلى ارتفاع قيم الكثافة الشكل (6) كما يمكن أن يعود السبب إلى زيادة تراكيز الأطوار وإنتاج أخرى الشكل (8) والتي ساهمت نسبياً في ملأ مسامات المترابك.



الشكل (7) تأثير التلبيد والمعاملات الحرارية على المسامية بتغيير مقدار ضغط الكبس للمترابك (Al - 10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20%Si)



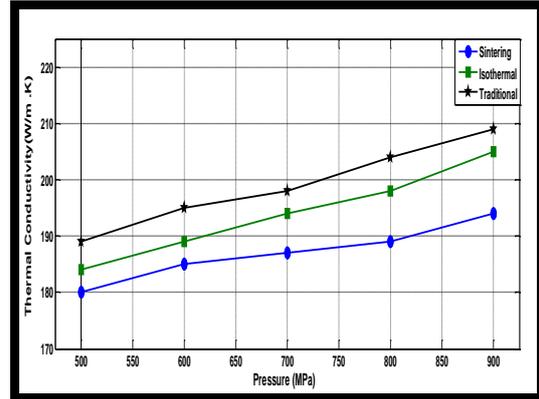
الشكل (10) تأثير التلييد والمعاملات الحرارية على الصلادة بتغيير مقدار ضغط الكبس للمترابك (Al - 10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20%SiC)



الشكل (11) صور البنية المجهرية للمترابك (Al-10wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 20wt%SiC)

أ - بنية المترابك المصنع عند ضغط 500 ميكاسباسكال بعد إجراء عملية التلييد.  
 ب- بنية المترابك المصنع عند ضغط 900 ميكاسباسكال بعد إجراء عملية التلييد.  
 ج- بنية المترابك المصنع عند ضغط 500 ميكاسباسكال بعد إجراء التسخين الايزوثيرمي السريع.  
 د- بنية المترابك المصنع عند ضغط 900 ميكاسباسكال بعد إجراء التسخين الايزوثيرمي السريع.  
 هـ - بنية المترابك المصنع عند ضغط 500 ميكاسباسكال بعد إجراء التسخين التقليدي.  
 و- بنية المترابك المصنع عند ضغط 900 ميكاسباسكال بعد إجراء التسخين التقليدي.

الحرارية الايزوثيرمية السريعة والتلييد على التوالي، وتُعزى هذه الزيادة إلى عدة أسباب منها نسبة كاربيد السيلكون العالية الذي بدوره يتميز بموصلية حرارية عالية علاوة على ازدياد نقاط التماس بين حبيبات المترابك أثناء زيادة ضغط الكبس مما يسهل من انتقال الحرارة كما أن انخفاض المسامية التي وضحتها الشكل (7) له دوراً مهماً في زيادة الموصلية الحرارية إذ تُعد المسامية معياراً لعملية العزل كما أن المعاملات الحرارية قد افرزت طوراً جديداً (SiO<sub>2</sub>) كما في الشكل (8) والذي بطبيعته يمتلك موصلية حرارية جيدة حسب ما جاء من قبل (Peter&Barry) [19].



الشكل (9) تأثير التلييد والمعاملات الحرارية على الموصلية الحرارية بتغيير مقدار ضغط الكبس للمترابك (Al - 10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20%SiC)

### تأثير المعاملات الحرارية على الصلادة

#### The Effect of Heat Treatment on the Hardness

يلاحظ من الشكل (10) زيادة واضحة في قيم الصلادة مع زيادة ضغط الكبس بعد اجراء المعاملات الحرارية (التسخين الايزوثيرمي السريع والتسخين لتقليدي) ويمكن أن تعزى تلك الزيادة إلى التوزيع المتجانس لكاربيد السيلكون الشكل (11) لما يمتلكه (SiC) من صلادة علاوة على ظهور (SiO<sub>2</sub>) كطور جديد ذو صلادة تصل إلى 7.5 حسب مقياس [19](Mohs).

### تأثير المعاملات الحرارية على مقاومة الانضغاط

#### The Effect of Heat Treatment on the Compressive Strength

بعد اجراء المعاملات الحرارية على المترابك نجد ارتفاع بقيم مقاومة الانضغاط مقارنة بقيمها بعد التلييد وكما موضح بالشكل (12) ويمكن ان يعزى سبب هذه الزيادة في قيم مقاومة الانضغاط الى الانخفاض في نسبة المسامية الشكل (7) إذ تعد المسامية نقطة ضعف في المترابك كما ارتفاع شدة الاطوار المتكونة من جراء عملية التلييد بعد المعاملات الحرارية والتي بدورها تملك مقاومة انضغاط عالية ساعدت كثيراً في زيادة مقاومة الانضغاط للمترابك عموماً.

Poolthong. Sintered Fe-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe-SiC composites. Journal of Metals, Materials and Minerals. 2008;18(1):57-61.

3- Prabhu B, Suryanarayana C, An L, Vaidyantha R. Synthesis and characterization of high volume fraction Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite powders by high energy milling. Material Science and Engineering. 2006;A425:192.

4- وحيد، محمد سعيد و مجيد، سدير موفق. الخواص الميكانيكية لمتراكب نو أساس من الألمنيوم. مجلة الهندسة والتكنولوجيا. 2009;27(15):517.

5- Michael Shur, Sergey Romyantsev, Michael Levinshen. SiC materials and devices. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2006;1.

6- Gherad Pensl, Florin Ciobnu, Thomas Frank, Michael Kriger, Sergey Resganov, Frank Schmid, Michael Weidner. SiC material properties. International Journal of High Speed Electronics and Systems. 2005;15(4):705-745.

7- George ET. Steel heat treatment hand book. Taylor and Francis Group, LLC, 2<sup>nd</sup>, 2006.

8- Razavi SS, Rad RY, E. Salahi IM, Razavi M. Production of Al-20wt.%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite powder using high energy milling. Powder Technology. 2009;192:346.

9- David Whittaker. Introduction to powder metallurgy - the process and its products. European Powder Metallurgy Association (EPMA); 2008, [www.epma.com](http://www.epma.com).

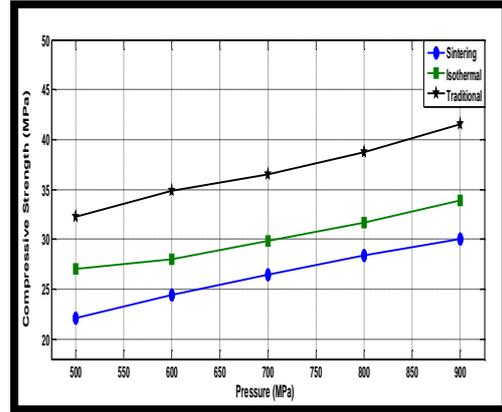
10- Jayakrishnan R, Kumar S, Pandeyt R. Rapid thermal annealing of multiple dip-coated CdS films. Bhopal University, India; 1993.

11- Vriezina C. Thermal runaway in microwave heated isothermal slabs cylinders and spheres. J. Appl. Phys. 1998;83(1).

12- Hassan, Mohammed Najji. Preparation of glass and glass-ceramic composition as electrical insulators. Master Thesis, Babylon University. College of Engineering, Iraq; 2009.

13- Goutam Dutta, Dipankar Bose. Effect of sintering temperature on density, porosity and hardness of a powder metallurgy component. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012;2(8).

14- Hamza, Mohammed Sellab. Studying the effect of volume fraction of glass fibers on the thermal conductivity of the polymer composite materials. Al-



شكل (12) تأثير التلييد والمعاملات الحرارية على مقاومة الانضغاط بتغير مقدار ضغط الكبس للمترابك (Al - 10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 20%SiC)

### الاستنتاجات Conclusions

- 1- تتكون الأطوار ( C16.9AlO<sub>5</sub> ، Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Si ) بفعل التفاعل الكيميائي الذي حدث بين مكونات المترابكات أثناء عملية التلييد.
- 2- زادت المعاملات الحرارية من فاعلية التفاعل بين مكونات المترابكات إذ أفرزت طور هو (SiO<sub>2</sub>).
- 3- ازدادت قيم الكثافة بنسبة 6% بعد المعاملات الحرارية عن قيمها بعد التلييد.
- 4- انخفاض المسامية بنسبة 14% عند ضغط كبس 900 ميكاسبكال وبعد اجراء المعاملات الحرارية.
- 5- ارتفاع قيم الصلادة بنسبة 12% عند ضغط كبس 900 ميكاسبكال وبعد اجراء المعاملات الحرارية التقليدية.
- 6- أن زيادة مقدار ضغط الكبس انعكس بشكل ايجابي على خصائص المترابك قيد البحث سواء قبل أو بعد إجراء المعاملات الحرارية ( الايزوثرمية السريعة أو التقليدية ).
- 7- تبين ان المعاملة الحرارية التقليدية تحسن بشكل واضح في قيم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية على حد سواء.
- 8- تبين ان المعاملة الحرارية التقليدية هي الافضل من حيث التحسن في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية غير ان التسخين الايزوثرمي والذي اعطى نتائج جيدة هو الافضل من حيث السرعة وتوفير الطاقة.

### المصادر References

- 1- Paul Whittaker. Powder metallurgy review Inovar Communications Ltd. 2012;1(1).
- 2- Thanyaporn Yodkaew, Monnapas Morakotjinda, Nattaya Tosangthum, Rungthip Krataitong, Pisan Siriphol, Bhanu Vetynugul, Sainate Chakthin, Nuchthana

- 17- Moazami, Mohammad, Akhlaghi, Farshad. Effect of nanosized SiC particles addition to CP Al and Al-Mg powders on their compaction behavior. Power Technology. 2013;245:126.  
17- خشان، جنان ستار و صالح، هيثم رزوقي. استخدام النظام السيراميكي  $Al_2O_3 - MgO-PSZ$  في تصنيع عدد القطع. مجلة الهندسة والتكنولوجيا. 2009;27(7):250.
- 18-Peter J. Barry NT. Hand book of chemistry and physic. ASM Handbook; 2006.
- Khwarizmi Engineering Journal. 2008;4(3):85.
- 15- Hamza, Mohammed Sellab. Study the effect of carbon fiber volume fraction and their orientations on the thermal conductivity of the polymer composite materials. Al-Khwarizmi Engineering Journal. 2008;4(1):80.
- 16- هادي، احمد نعمة. تحضير مواد بوليميرية مركبة لأغراض مقاومة البلى الاحتكاكي. رسالة ماجستير، جامعة بابل، كلية الهندسة، العراق، 2009.