

## تأثير إضافة مسحوق كاربيد السيليكون على خواص مكبوسات النيكل-النحاس المنتجة بطريقة تكنولوجيا المساحيق

عقيل علي ناظم\*، و مهدي مطر حنون\*

تاريخ التقديم: 29 /6/2010

تاريخ القبول: 7/4/2011

### الخلاصة

يهدف هذا البحث تحضير سبائك نيكل-نحاس (Ni-Cu) بطريقة تكنولوجيا المساحيق Powder Technology وذلك للطلب المتزايد على انتاج وتصنيع مثل هذه السبائك ودخولها في مجالات صناعية وتكنولوجية متعددة، في هذا البحث تم أخذ مسحوقي النيكل والنحاس واجريت عملية التصنيف الحجمي وبعدها تمت عملية الخلط والمزج للمسحوقين بنسبة (Ni - 30% Cu) وعندها تم اضافة مسحوق كاربيد السيليكون بنسب (0-3-4-5%) بالتوالي وبعدها اجريت عملية الخلط والمزج لضمان تجانس مسحوق كاربيد السيليكون مع الخليط وبعدها تم اجراء عملية الكبس على البارد عند (7ton) ويقوالب ذات ابعاد مختلفة وتم إجراء عملية التليد للعينات عند (950°C) ولمدة ساعة واحدة وباستخدام غاز الأركون كغاز حامل وبعد عملية التبريد تم تحضير العينات لأغراض فحص البنية المجهرية وفحص الكثافة والمسامية والصلادة وفحص الأشعة السينية.

### Effect of Silicon carbide addition on properties of compacted Ni- caproduced by powder technology

#### Abstract

This research aimed to product Cu-Al alloys by powder metallurgy method because of it is commercial and technological important. Copper and aluminum powders were tacking then there powders mixed and blended together and classified to four parts, Silicon carbide powder added to three parts and the last remain as its then these powders mixed and then compacted in isostatic cold pressure at 7ton, then this compact samples were sintered in furnace under argon gas at 830°C for one hour, latest these samples grinded and polished to microstructure, density, porosity, microhardness and X-ray diffraction tests.

**Keywords:** Ni-Cu alloys, composite materials matrix Ni, powder metallurgy, electrical alloys.

#### المقدمة

بسبب التقدم الكبير الذي تحرزه سبائك النيكل-النحاس في المجال التكنولوجي وخاصة في مجال الدوائر الكهربائية [1]، لكن نظراً لعدم قدرة النيكل للتألف مع بعض المعادن بسبب الذوبانية القليلة والتباين الكبير في درجات حرارة الأنصهار وطلباً لزيادة الخواص الميكانيكية والفيزيائية تم اللجوء الى تكنولوجيا المساحيق لانتاج مكبوسات سبائك النيكل (نيكل-نحاس) ذات التطبيقات العديدة ولكن كما هو معروف من كون الخواص

الميكانيكية للمكبوسات المعدنية ضعيفة مقارنة مع المسبوكات المصبوبة (المنتجة بطريقة السباكة) لذلك تم التوجه الى سبل تطوير هذه المكبوسات ومن أهم هذه الطرق هي إضافة المتضمنات (Employed) [2, 3] الى الخليط المعدني ومن هذه المتضمنات مسحوق كاربيد السيليكون (SiC) Powder الذي يضاف الى خليط مسحوقي النيكل والنحاس للحصول على مواصفات افضل للمكبوسات وبعد إتمام عملية الخلط والمزج تجرى عملية الكبس بواسطة

وبعدها اجريت عملية التنعيم والصفل والأظهار للعينات لأجراء فحوص [البنية المجهرية، الصلادة المايكروية، الكثافة والمسامية].

غاز الأركون يبين خطوات عملية التلييد. وسخن الفرن لغاية (250°C) وعند هذه الدرجة تم ضخ غاز الأركون وبعدها تم رفع درجة حرارة الفرن الى (600°C) وثبتت درجة الحرارة لمدة (30min) وبعدها تم التلييد عند درجة حرارة (950°C) لمدة (60min) وهي درجة حرارة تلييد النحاس والتي تمثل المعادلة:

$$Ts = (Tm + 273) (0.9 - 0.7) \dots \dots \dots (K^\circ)$$

حيث أن: Ts = درجة حرارة التلييد.

Tm = درجة حرارة

الأنصهار.

ترك عند هذه الدرجة لمدة (1hr) للتأكد من وصول درجة حرارة الفرن الى الدرجة المطلوبة والى المكبوسات بالتساوي بعد ذلك تم تبريد العينات بإبقائها داخل الفرن الى درجة حرارة (250°C) وعندها تم اغلاق تدفق غاز الأركون وعند الوصول الى درجة حرارة الغرفة تم إخراج العينات من الفرن.

#### • الفحوصات Testes of Samples

##### 1- فحص الكثافة الخضراء

##### للمكبوسات والكثافة بعد التلييد:

بعد إجراء عملية الكبس تم دراسة الكثافة الخضراء للعينات المكبوسة (بعد اجراء عملية الكبس) وكذلك دراسة الكثافة الظاهرية للمكبوسات بعد إجراء عملية التلييد حسب نظرية ارخميدس وكما في المعادلة الآتية:

##### فحص البنية المجهرية والمسامية:

تم اجراء عملية تحضير العينات باجراء عملية التنعيم باستخدام جهاز التنعيم ذو القرص الدوار وباستخدام ورق تنعيم بدرجات ( 120, 220, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 2000 mish)، ومن ثم تم اجراء عملية الصفل باستخدام قماش صفل خاص واستخدمت حبيبات كربيد السيليكون كمادة صفل وبحجم حبيبي (0.3µm)، وبعدها تم الأظهار بغمر العينات بمحلول نايتل (2% Nitric Acid+ 98% Ethanol) لمدة (30sec) وتم غسل العينات

مكبس هيدروليكي وبعدها تتم عملية التلييد في فرن كهربائي وباستخدام غاز الأركون كغاز حامل والذي يعمل على منع الأكسدة أثناء عملية التلييد والتي أجريت على مرحلتين

#### الجزء العملي Experimental

##### • تحضير المساحيق Powders Preparation

تم أخذ مسحوق النيكل Nickel بدرجة نقاوه (99.98) وبحجم حبيبي (25µm+) مع مسحوق النحاس Copper بدرجة نقاوه (99.98) وبحجم حبيبي (25µm+) وبنسبة إضافة (Ni-30%Cu) وتم استخدام مسحوق كربيد السيليكون وبحجم حبيبي (35µm+) وتم الأضافة بنسب مختلفة وكما موضحة بالجدول (1) وتم استخدام جهاز المناخل الهزاز لمعرفة الحجم الحبيبي للمساحيق، وتم وزن المساحيق بميزان رقمي (4digit) بنسبة خطأ (0.0001)، وبعدها تم إجراء عملية المزج بواسطة الخالط الكهربائي الدوار Electric Rolling Mixers محلي الصنع وبسرعة دوران (700-1000 r.p.m) وباستخدام كرات الألومنيوم بحجوم مختلفة ولمدة (25min) المبين بالشكل (1). وبعدها تمت عملية الخلط اليدوي لمدة (15min) وذلك لضمان التجانس النوعي والحجمي لخليط المساحيق.

##### • كبس المساحيق Compact Powders

تمت عملية الكبس بمكبس هيدروليكي ذو سعة كبس (15ton) وباستخدام بقوالب إسطوانية مصنوعة من الفولاذ باقطار (1.5- 4-2 Cm) وتم الكبس باستخدام طريقة الكبس على الباراد باتجاه واحد للكبس وبقوة ضغط مقدارها (7ton) لمدة (5min) لضمان تماسك المكبوس.

##### • تلييد المكبوسات Sintering of Compacts

تم إجراء عملية التلييد وذلك بوضع المكبوسات داخل حاوية كما موضح بالشكل (2) لها فتحتان علوية لخروج غاز الأوكسجين (Oxygen) وسفلية لضخ غاز الأركون (Argon) بمعدل (5ml/min) غاز حامل لمنع حدوث التأكسد الذي يقلل من تماسك حبيبات المسحوق عند عملية التلييد ووضعت الحاوية داخل فرن كهربائي وهذا الفرن مربوط الى قارئ رقمي والى منظم

السيليكون تكون أعلى نسبياً من تلك الخالية من حبيبات مسحوق كاربيد السيليكون وذلك نتيجة وجود مسحوق النحاس والذي يعتبر أكثر المساحيق المستخدمة لدونة، وأثناء عملية الكبس ولوجود مساحات سطحية كبيرة بين المساحيق سيحدث تشوه لدن لحبيبات النحاس (خصوصاً مع حبيبات مسحوق كاربيد السيليكون) وبالتالي سيحدث الترابط بين الحبيبات. [4] فقد لوحظ من الشكل (5) نقصان الكثافة الظاهرية بعد التليد مقارنة بالكثافة الرطبة للمكبوسات بشكل عام بعد الكبس وذلك بسبب التمدد الحاصل بالمسامات أثناء عملية التليد (بسبب الفرق بالتمدد الحراري) والذي يؤدي الى توسع المسامات الغازية الموجودة داخل المكبوس. وكنتيجة لهذه التغيرات سوف تزداد حجم المسامات داخل المكبوسات (ويؤدي هذا الى توسع معظم المكبوسات) ويلاحظ تمركزها قريباً من المنطقة البعيدة عن المكبس، [5] وبعد عملية التليد وذلك يرجع الى أنتشار الحبيبات وتتحول أغلب الفجوات الغازية (المسامية) من الفجوات المغلقة الى المفتوحة نتيجة التوسع الناتج بسبب الحرارة والذي يؤدي الى اندماج الفجوات المغلقة مع بعضها وتكوين الفجوات المفتوحة وتتحول الفجوات الى أشكال شبه كروية ولا يوجد فرق واضح بين العينات الحاوية على حبيبات كاربيد السيليكون والتي لا تحوي عليها. [6]

## 2- نتائج فحص البنية

### المجهرية والمسامية:

الأشكال (9 and 7,6) يظهر لنا صور العينات أن الفجوات وعند التسخين الى درجة حرارة (600°C) ولمدة (15min) تتحول الى الشكل شبه كروي وتبدأ بالتوسع الى حد معين ثم تبدأ بالاعاقة من قبل حبيبات المساحيق التي بدورها تبدأ بالتوسع والأنتشار والترابط في مابينها وتقطع الطريق أمام توسع وتتمد الفجوات أكثر، [5] أما عند درجة حرارة التليد (950°C) والتي تستمر لمدة (1hr) سوف يستمر أنتشار وترابط الحبيبات وكذلك

بالكحول وجففت بواسطة مجفف العينات، وعندها تم تصوير العينات بواسطة مجهر ضوئي نوع (Olympus) ذو قوة تكبير تصل الى (2500X) ومتصل الى كاميرا رقمية دقيقة مربوطة الى حاسبة تقوم باظهار الصور وخزن الصور المأخوذة للعينات. أما قياس نسبة المسامية وقياس حجم المسامات فقد تم باستخدام برنامج S-Image والمبين شكل (4)، ومبدأ عمل البرنامج يتلخص بأخذ صور العينات من المجهر الضوئي وادخالها الى البرنامج الذي سيقوم بتحليلها وتحويلها الى صور ثنائية اللون (أبيض وأسود) وبعدها يقوم بقياس حجم الحبيبة أو المسامة (الفجوة) ويقوم أيضاً بقياس الكسر الحجمي (نسبة) للحبيبات والمسامات الموجودة في صورة العينة وذلك نسبة الى مساحة الصورة.

## 2- فحص صلادة فيكرز

### الميكروية وفحص حيود الأشعة السينية:

تم فحص صلادة فيكرز للعينات باستخدام جهاز فحص صلادة فيكرز الميكروية المبين بالشكل (10) حيث سلط حمل مقداره (4.5N) ولمدة (20sec)، وكذلك تم اجراء فحص حيود الأشعة السينية بجهاز نوع (Shimadzu) والوجود بوزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة بحوث المواد.

## 3- فحص مقاومة الأنضغاط:

تم اجراء فحص مقاومة الأنضغاط وذلك بأخذ اربع عينات لكل سبيكة وبابعاد (20mm×40mm) وسلط على العينات ضغط متغير لفترة متغيرة وعندها تم أخذ القراءات ودراسة مقاومة الأنضغاط عن طريق دراسة مقدار التغير بالارتفاع.

### النتائج والمناقشة:

## 1- فحص الكثافة الخضراء

### للمكبوسات والكثافة الظاهرية

#### للعينات بعد التليد:

من الشكل (5) يتبين أن الكثافة الخضراء للعينات الحاوية على كاربيد

حبيبات كاربيد السيليكون بشكل واضح في المكبوسات.

#### 4- نتائج فحص الأنضغاط:

يتبين من الشكل (17) أن مقاومة الأنضغاط تزداد بزيادة نسبة إضافة كاربيد السيليكون وذلك نتيجة زيادة تماسك العينات نتيجة تكون الطور (Cu<sub>7</sub>-5SiC).

#### الاستنتاجات: Conclusions

- 1- زيادة نسبة كاربيد السيليكون تؤدي الى زيادة الكثافة الخضراء والكثافة الظاهرية للمكبوسات.
- 2- زيادة نسبة كاربيد السيليكون تؤدي الى تقليل حجم ونسبة المسامات في تركيب المكبوسات.
- 3- زيادة نسبة كاربيد السيليكون تؤدي الى زيادة صلادة فيكرز المايكروية للمكبوسات.
- 4- زيادة نسبة كاربيد السيليكون تؤدي الى زيادة مقاومة الأنضغاط عن طريق مقاومة التغير بالشكل الناتج عن الأنضغاط.

#### المصادر: References

- [1] A. Bahrami, H.R. Madaah Hussein, P. Abacji, S. Miraghaei, Structural and soft electric properties of Ni-Cu alloy 85 Si 10 Ni Powders prepared by mechanical alloying, Materials Letters 60 (2006) 1068-1070. 5
- [2] F. Cus, U. Zuperl, V. Gecevska, High speed milling of light metals, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 24/1 (2007) 357-364.
- [3] A. Gonzales, J. Bonastre, L. Escoda, J.J. Su
- [4] E. Jartych, D. Oleszak, J.
- [5] L. Lü, M.O. Lai, S. Zhang, Modeling of the mechanical alloying process, Journal of

سوف تبدأ مرحلة شبيهة بأعادة التبلور للحبيبات، [6, 7, 8] وهذه الدرجة تكون أكبر في المكبوسات عن السبائك المسبوكة. ويتبين من نتائج فحص البنية المجهرية تكون الطور (Ni<sub>4</sub>Cu<sub>7</sub>) [8, 9, 10] بين النيكل والنحاس، وكذلك يلاحظ الطور (Cu<sub>5</sub>-2SiC) [5, 11] الذي يتكون على الحدود البلورية لحبيبات كاربيد السيليكون والتي تتكون من التفاعل بين حبيبات كاربيد السيليكون وحبيبات النحاس وهذه الحبيبات تعمل على ملء الفجوات البينية بين الحبيبات وبالتالي تقلل من نسبة المسامية. [12, 13] أما نسبة المسامية وحجم المسامات بالأشكال (10) (11) التي تبين متوسط حجم ونسبة المسامات المأخوذة من نتائج برنامج S-Image والتي توضح نقصان في كل من حجم ونسبة المسامات بزيادة نسبة كاربيد السيليكون ويعود ذلك الى تكون الطور الثانوي (Cu<sub>5</sub>-2SiC) (Intermetallic Phase) المتكون على الحدود الحبيبية لحبيبات كاربيد السيليكون والذي يقلل من توسع المسامات وكذلك يقلل من تكونها أثناء الكبس وذلك بسبب ملء حبيبات كاربيد السيليكون الفراغات والفجوات المتكونة بين حبيبات المكبوس. [7, 11, 14]

#### 3- نتائج فحص صلادة فيكرز المايكروية وفحص حيود الأشعة السينية:

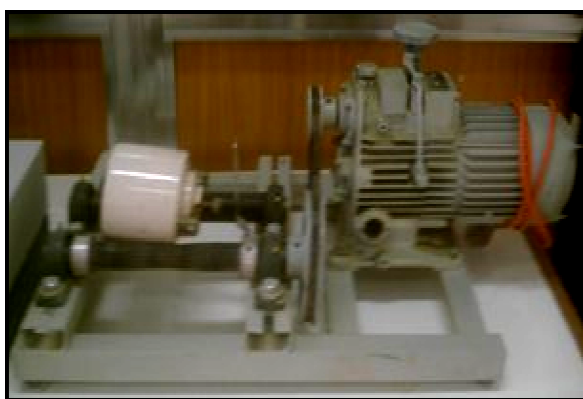
ونائج فحص صلادة فيكرز المايكروية موضحة بالشكل (12) ويتبين من خلالها أن الصلادة تزداد بزيادة نسبة إضافة كاربيد السيليكون وهذا يرجع الى ترسب كاربيد السيليكون في طور (Ni<sub>3</sub>Cu<sub>2</sub>) وتكون الطور الثانوي (Cu<sub>5</sub>-2SiC) (Intermetallic Phase) بين النحاس وحبيبات كاربيد السيليكون والذي يعمل كمصد للأخلاعات ويعمل على تقوية البنية التركيبية للمكبوسات مقارنة مع العينات التي لاتحوي مسحوق كاربيد السيليكون. [15, 16]

ومن خلال فحص الأشعة السينية الموضحة بالأشكال (13,14,15 and 16) يتبين ظهور الطور (Ni<sub>3</sub>Cu<sub>2</sub>) وظهور الطور الثانوي (Cu<sub>7</sub>-5SiC) بنسب قليلة وهو الطور المتكون بين النحاس وسطح حبيبات كاربيد السيليكون وكذلك ظهور

- alloying process, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 29/2 (2008) 131-138.
- [12] M. Rosso, D. Ugues, M. Actis Grande, The challenge of PM tool steels for the innovation, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 18 (2006) 175-178.
- [13] B. Shen, C. Chang, A. Inoue, Formation, ductile deformation behavior and soft-magnetic properties of (Fe, Co, Ni)-B-Si-Nb bulk glassy alloys, Intermetallics 15 (2007) 9-16.
- [14] J.H. Soko, Mechanical properties of Ni-Cu alloys, Journal of Achievements in Materials, 2008.
- [15] J.J. Sui, High Temperature alloy fabricated by powder metallurgy, Journal of Alloys and Compounds 411 (2006) 56-62.
- [16] J. Szajnar, T. Wr Inoculation of aluminum with titanium and boron addition, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 23/1 (2007) 51-54.
- Materials Processing Technology 52 (1995) 539-546.
- [6] W. Lu, L. Yang, B. Yan, W. Huang, B. Lu, Nan crystalline Fe 84 Nb 7 B Alloys prepared by mechanical alloying and ultrahigh-pressure consolidation, Journal of Alloys and Compounds 413 (2006) 85-89.
- [7] J.Q. Marcatoma, V.A.P. Rodriguez, E.M. Baggio-Saitovitch, mechanical properties and crystallization of the Cu 75 Si 15 B 10 Amorphous alloy prepared by mechanical alloying, Hyperfine Interactions 146/147 (2003) 97-102.
- [8] R. Nowosielski, W. Pilarczyk, The influence of HEBM on the structure of Fe-0.8%C alloys, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 21/1 (2007) 33-36.
- [9] R. Nowosielski, Soft magnetic polymer-metal composites consisting of nanostructure Fe-basic powders, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 24/1 (2007) 68-77.
- [10] R. Nowosielski, W. Pilarczyk, Structure and properties of Fe6.67%C alloy obtained by mechanical alloying, Journal of Materials Processing Technology 162-163 (2005) 373-378.
- [11] W. Pilarczyk, R. Nowosielski, M. Nowak, M. Kciuk, The structural changes of Al-Ti-Fe alloy during mechanical

جدول (1): يبين التركيب الكيماوي للمساحيق المخلوطة.

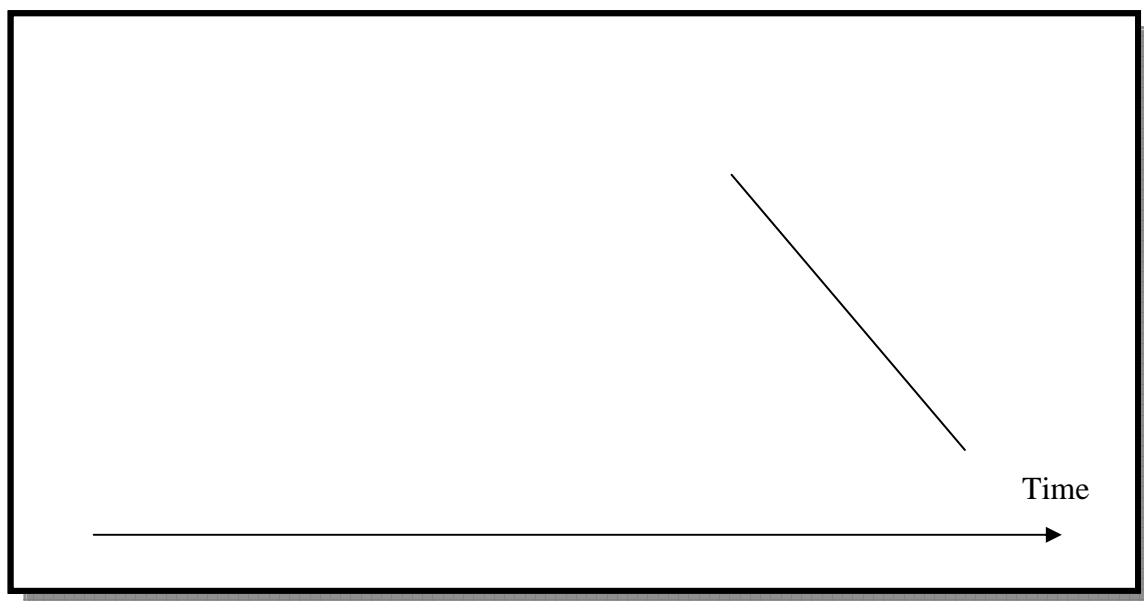
Alloy No.	Ni%	Cu%	SiC%
Alloy 1	70	30	.....
Alloy 2	68.6	29.4	2
Alloy 3	67.9	29.1	3
Alloy 4	67.2	28.8	4



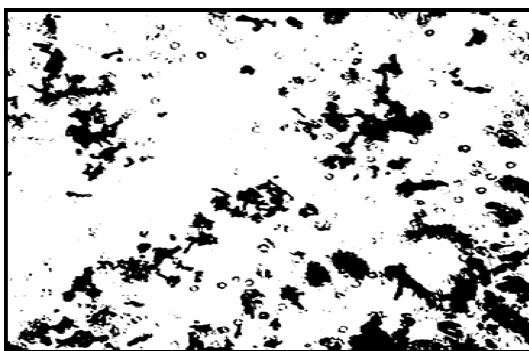
شكل (1): يبين الخالط الكهربائي الدوار الذي أجريت به عملية الخلط الميكانيكي.



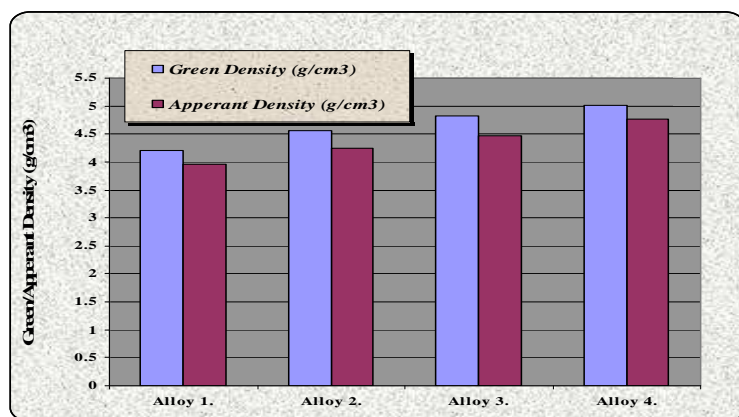
شكل (2): يبين الحاوية التي وضعت العينات اثناء عملية التلبيد والتي يضخ خلالها غاز الأركون.



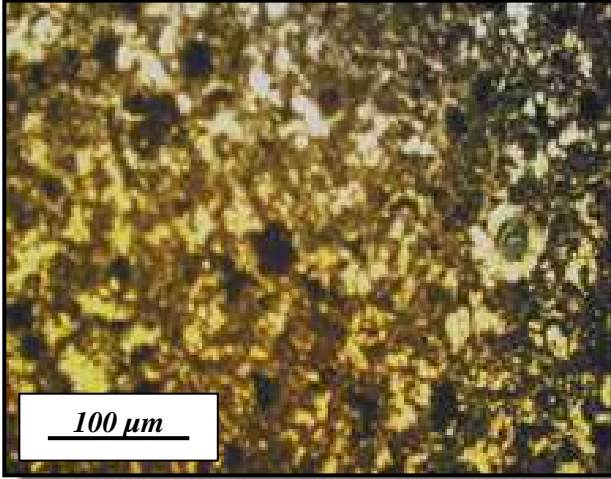
شكل (3): يبين مراحل عملية التلييد.



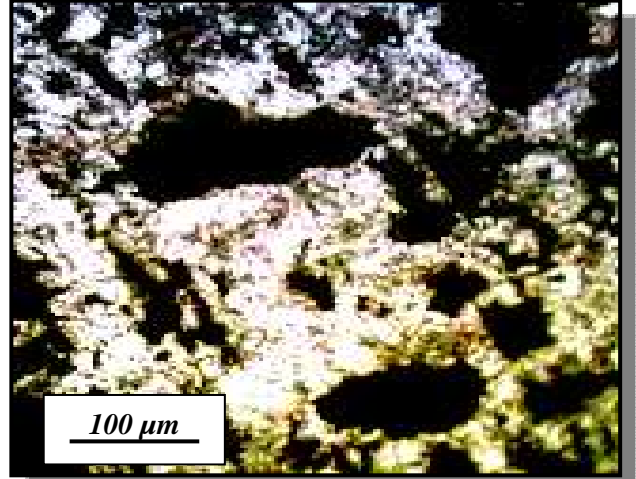
شكل (4): يبين كيفية تحليل الصورة الى ثنائية اللون ببرنامج S-Image.



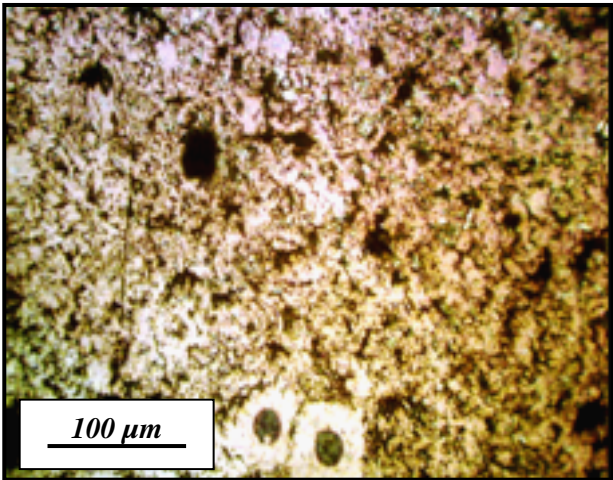
شكل (5): يبين الكثافة الخضراء والظاهرية للعينات قبل وبعد التلييد.



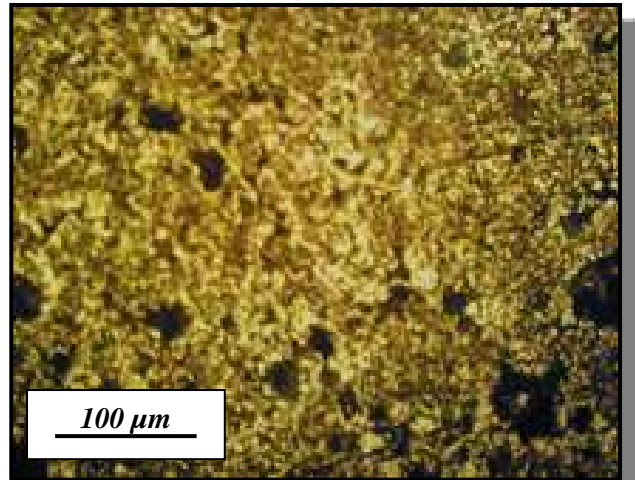
شكل (7): يبين البنية المجهرية لعينه رقم (2)



شكل (6): يبين البنية المجهرية لعينه رقم (1)

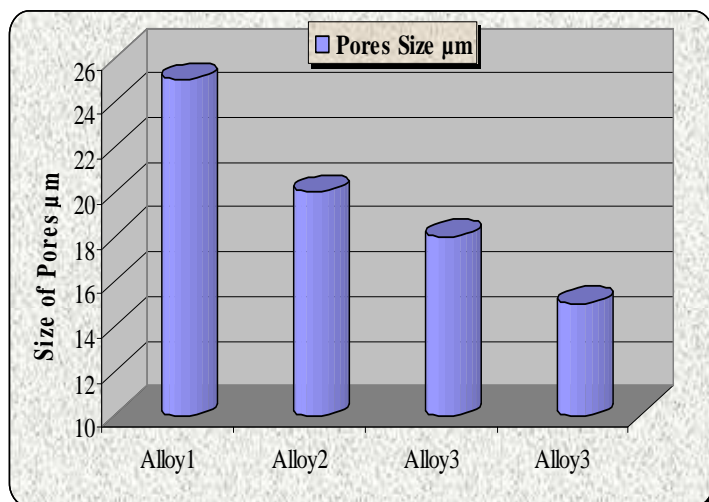
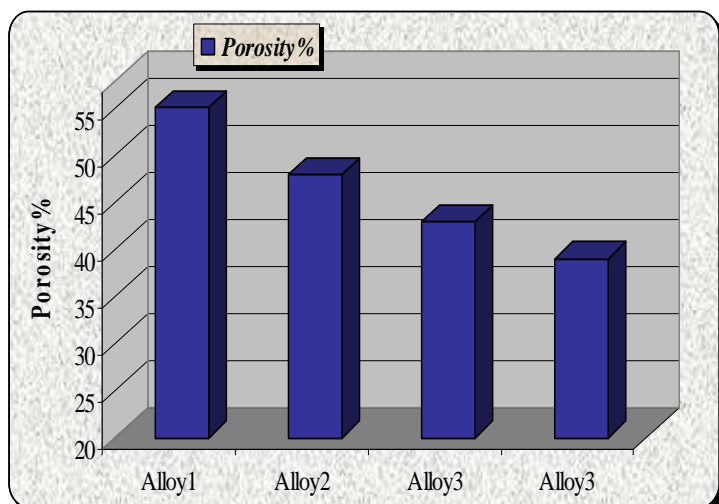


شكل (9): يبين البنية المجهرية لعينة رقم (4)

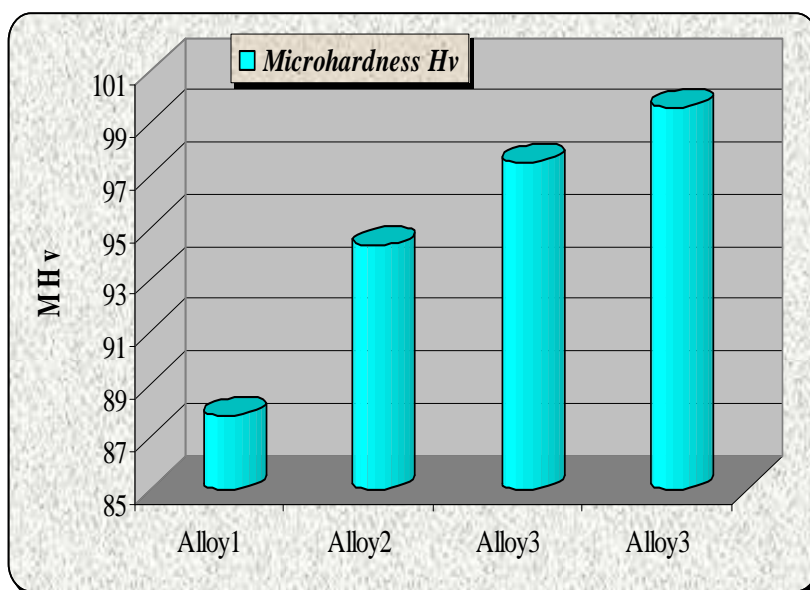


شكل (8): يبين البنية المجهرية لعينة رقم (3)

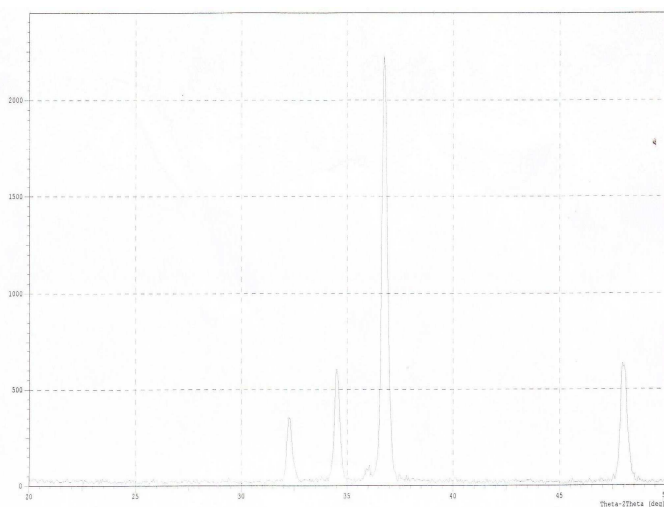




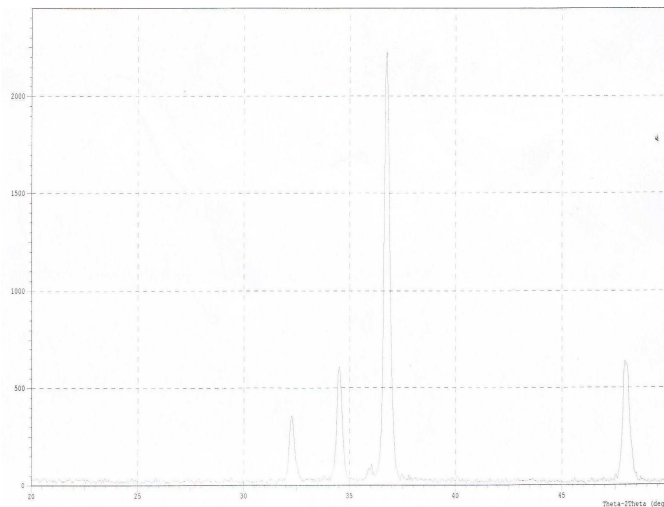
شكل (10): يبين متوسط حجم المسامات للمكبوسات لأربعة. شكل (11): يبين نسبة المسامية في كل مكبوسة.



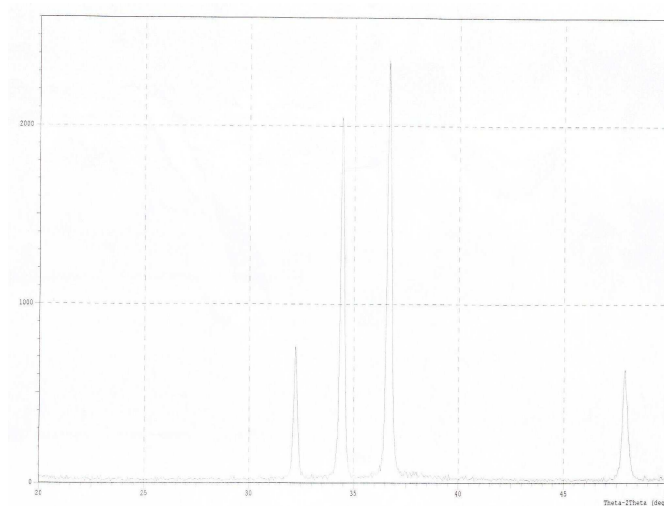
شكل (12): يبين صلادة فيكرز المايكروية للمكبوسات.



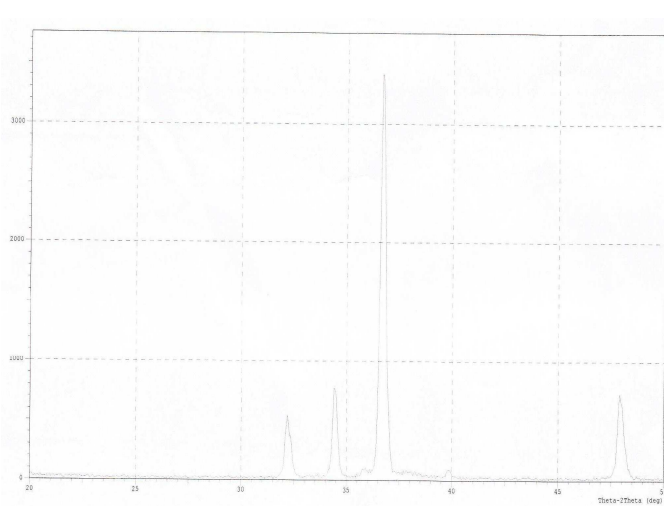
الشكل (14): فحص حيود الأشعة السينية للعينة  
(2).



الشكل (13): فحص حيود الأشعة السينية للعينة  
(1).



الشكل (16): فحص حيود الأشعة السينية  
للعينة (4).



الشكل (15): فحص حيود الأشعة السينية  
للعينة (3).



شكل (17): نقصان مقدار الأنضغاط مع زيادة نسبة الاضافة.