مجلة الهندسة والتنمية المجلد الحادي عشر/العدد الثاني- أيلول ٢٠٠٧
ISSN 1813-7822

تقوية سبيكة (الالمنيوم-سليكون) باضافة مواد سيراميكية

أ.م.د. علي حسين عتيوي
قسم هندسة المواد
الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق

المهندس حمزة مصطفى كمال
باحث
الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق

الخلاصة

يتناول البحث دراسة تأثير إضافة نوعين من المواد السيراميكية على الخواص الميكانيكية لسبيكة (Al - 7% Si) وهي كاربيد السليكون وبحجم دقائق بين ($25\mu m > P.S \geq 0.1\mu m$) وكاربيد البورون وبحجم دقائق يتراوح بين ($20\mu m \geq 0.1\mu m$) (P.S.<) وإضافتها إلى السبيكة وبنسب وزنية (1%, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2). وتم استخدام طريقة السباكة بالمزج في تصنيع المادة المتراكبة وباستخدام تقنية الدوامة والتي تعمل على سحب الدقائق إلى داخل المنصهر المعدني وتوزيعها خلاله بشكل متجانس. وتم بعد ذلك إجراء المعاملة المحلولية للعينات عند درجة حرارة (520°C) والتعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170°C) ولأزمان مختلفة. حيث لوحظ أن قيم الصلادة للسبيكة الأساس تزداد مع زمن التعتيق لتصل إلى أعلى قيمة لها عند زمن (8hr).

وبعدها تم إجراء الفحوصات الميكانيكية للسبيكة الأساس والمادة المتراكبة والمتمثلة بفحص الشد والصلادة والبلى عند قيم الصلادة العظمى للمعاملة الحرارية. حيث وجد ان قيم الصلادة تزداد مع زيادة النسب المضافة ، وان الزيادة الحاصلة في قيم الصلادة للسبيكة المقواة بكاربيد البورون اكبر من المقواة بكاربيد السليكون.

أما نتائج فحص الشد فقد بينت ان مقاومة الشد والخضوع للمادة المتراكبة أعلى مما هو عليه في السبيكة الأساس وتزداد هذه القيم مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة والى حد (0.6%) ثم تسلك سلوكاً مغايراً لكنها تبقى محافظة على قيم أعلى مما هو عليه في السبيكة الأساس. في حين تنخفض قيم المطيلية مقارنة مع السبيكة الأساس ويزداد انخفاضها مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة.

وان الزيادة الحاصلة في قيم مقاومة الشد ومقاومة الخضوع للسبيكة المقواة بكاربيد البورون اكبر من المقواة بكاربيد السليكون. في حين أن قيم المطيلية للسبيكة المقواة بكاربيد السليكون اكبر من المقواة بكاربيد البورون. كما أدى إضافة كاربيد السليكون وكاربيد البورون إلى تقليل معدل البلى للسبيكة الأساس ومع تغير الحمل المسلط ، وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة. وان النقصان الحاصل في قيم معدل البلى للسبيكة المقواة بكاربيد البورون اكبر من المقواة بكاربيد السليكون. أثبتت نتائج فحص الأشعة السينية ظهور الطور الثانوي ($AlFeSi$) في كل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة بينما أدت المعاملة الحرارية إلى ظهور الأطوار (Mg_2Al) و (Mg_2Si) في كل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة التي أدت إلى تحسن واضح في الخواص الميكانيكية ، فضلاً عن ظهور الدقائق السيراميكية في بنية المادة المتراكبة.

ISSN 1813-7822

Abstract

This study is concerned with the effect of adding two kinds of ceramic materials on the mechanical properties of (Al -7% Si) alloy, which are silicon carbide of particle size (25μm > P.S ≥ 0.1μm) and boron carbide of particle size (20μm > P.S ≥ 0.1μm) and adding them to the alloy with weight ratios (0.2,0.4,0.6,0.8,1 %). Stirring casting method has been used to make composite material by using vortex technique which is used to pull the particles to inside the melted metals and distributed them homogenously. After that solution treatment was done to the samples at (520ºC) and artificial ageing at (170ºC) in different times. It has been noticed that the values of hardness are increased with aging time of the base alloy and reached its highest value after (8hr).

Mechanical tests were done to the original alloy and the composite material at the maximum hardness value and represented by tensile, hardness, and wear tests. It was found that the hardness value is increased with increment of the amount of added particles; also the increment in the hardness of the alloy which is reinforced with boron carbide is more than that reinforced with silicon carbide.

Regarding the tensile test, results shown that the strength and yield resistance of the composite material are more than that in the base alloy and these values are increased with increasing of the added particles and they reached maximum values at (0.6%). Then they are decreased but these values remain at higher values than that in the original alloy. However the ductility is decreased as compared with the base alloy and this decrement was more obvious with the increasing amount of the added particles.

The increment of strength and yield resistance of the alloy reinforced by boron carbide was higher than that reinforced with silicon carbide, while the ductility of the alloy reinforced by silicon carbide was higher than that happened by addition of boron carbide. Also silicon carbide and boron carbide addition to the base alloy is decreased the wear rate, and the decrement would be more with the increased amount of adding particles. In addition the wear resistance of the alloy reinforced with boron carbide was larger than that reinforced with silicon carbide. X-rays testing proved that secondary phase (AlFeSi) appeared in both base alloy and the composite material. While heat treatment led to the appearance of phases (Mg_2Al) and (Mg_2Si) in base alloy. This was led to obvious improvement in the mechanical properties in addition to appearance ceramic particles in the microstructure of the composite material.

ISSN 1813-7822

١. المقدمـــــــة

تعد سبائك (الألمنيوم - سليكون) المصبوبة سواء المحتوية او غير المحتوية على نسب من عناصر أخرى كالمغنيسيوم من أكثر السبائك المستخدمة في التطبيقات الصناعية نظراً لأهميتها الهندسية ولخواصها الميكانيكية المقبولة ومقاومتها الجيدة للتآكل وامتلاكها معامل تمدد حراري منخفض وقابلية لحام جيدة ومقاومة بلى مقبولة وسيولتها العالية عند الانصهار مما يجعلها ذات قابلية سباكه ممتازة. حيث تشكل هذه السبائك (85-90%) من الإنتاج الكلي للأجزاء المسبوكة حيث تنتج بكميات كبيرة سواء بالسباكة الرملية أو السباكة بالقوالب الدائمية أو السباكة بالضغط [1].

تعتبر تقنية إضافة المواد السيراميكية إلى السبائك الخفيفة مرغوبة اقتصاديا لما تضفي على المادة من تحسن واضح في الأداء الميكانيكي عند درجات الحرارة الاعتيادية والعالية مثل الصلادة والمقاومة ومقاومة البلى [2,3]. وتعد كاربيدات وأكاسيد المعادن من أكثر أنواع المواد السيراميكية استخداماً في هذا المجال. أن المواد السيراميكية المستخدمة في هذا البحث هي كاربيد السليكون وكاربيد البورون.

يعد تحديد طرق التصنيع من أهم متطلبات نجاح المواد المتراكبة ذات الأساس المعدني والمقواة بالمواد السيراميكية لعدم ملائمة طرق السباكة التقليدية. حيث تم استخدام تقنية السباكة بالمزج الميكانيكي والتي تعتمد على مبدأ التحريك الميكانيكي للمنصهر وتكوين دوامة داخله والتي تعمل على تشتيت الدقائق بصورة متجانسة تقريباً داخل المنصهران كمية مادة التقوية المحتفظ بها من قبل المنصهر ونوعية التشتيت تعتمد على عدة عوامل مثل درجة حرارة المنصهر ومادة التقوية وسرعة الخلط [4,5].

يتطلب تطور وتقدم استخدامات المواد المتراكبة وبالأخص ذات الأرضية المعدنية والمقواة بالمواد السيراميكية وبأشكالها المختلفة (دقائق، شعيرات، ألياف) الإلمام بطرق تصنيع هذه المواد ومتغيراتها. ومعالجة مشكلة غياب التبللية بين طور التقوية والوسط والتي تؤدي إلى انعزال الدقائق. ودراسة تأثير إضافة هذه المواد على الخواص المختلفة للمواد الهندسية نظراً لأهمية هذه المواد التي أخذت تدخل في مختلف الصناعات المدنية والعسكرية وفي شتى مجالات التكنولوجيا [2].

ففي عام 1982 درس الباحثان Banerji & Rohatgi [6] تأثير التسخين المسبق للدقائق السيراميكية في درجة حرارة تتراوح بين (500-700˚C) ومن ثم إضافتها وهي ساخنة إلى منصهر الألمنيوم. وقد تبين أن التسخين المسبق يؤدي إلى زيادة نسبة الدقائق السيراميكية المحتفظ بها من قبل المنصهر وبالتالي أمكانية تشتيتها.

وقام الباحثان Guden & Hall [7] عام 1998 بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس معدني من سبيكة (Al-Cu-Mg) مقواة بدقائق من كاربيد السليكون بحجم حبيبي (20µm) وبنسبة (15%) ومحضرة بطريقة السباكة. وقد توصلوا إلى أن دقائق كاربيد السليكون تتجمع على الحدود البلورية للحبيبات إضافة إلى وجود مسامية في المادة وعدم حدوث الكسر للعينة حتى عند معدل انفعال عالي اكبر من (20%).

قام الباحث Perez & Yawny [8] عام 2000 بدراسة خاصية متانة الكسر لنوعين من المواد المتراكبة المعدنية، الأولى سبيكة (Al-Si-Mg) مقواة بنسبة (15%) من مادة الألومينا، والثانية سبيكة (Al-Si) مقواة بنسبة (15%) من كاربيد السليكون وأجريت عملية تلدين للمادتين عند درجة حرارة (340˚C) ولمدة (24hr) وتم أجراء اختبار متانة الكسر، وتوصلوا إلى أن أجراء المعاملة الحرارية تحسن من قيمة متانة الكسر وكذلك الإجهاد المطلوب لنمو تقدم الشق يكون ذو قيمة عالية وليس هناك تأثير لدرجة حرارة على قيم متانة الكسر.

في عام 2001 قامت الباحثة أيمان [9] بدراسة خواص المواد المتراكبة ذات الأرضية المعدنية والمنتجة بطريقة السباكة بالتحريك ومقارنتها مع خواص المواد المتراكبة المنتجة بطريقة التجمد السريع وذلك بأخذ سبيكة ذات أساس من (Al-4.5%Mg) مقواة بدقائق من كاربيد السليكون بحجم (0.53µm) وبنسب مختلفة وقد توصلت إلى الاستنتاجات التالية:

١. من نتائج فحص البنية المجهرية وفحص حيود الأشعة السينية إن هناك إمكانية للحصول على استعادة عالية لكاربيد السليكون في الأرضية وذات ربط جيد مع الأطوار الوسطية للألمنيوم والمغنيسيوم.
٢. أن صلادة المواد المتراكبة المنتجة بطريقة التجمد السريع أكبر من قيم الصلادة للمادة المتراكبة المنتجة بطريقة السباكة بالتحريك.

وفي عام 2003 قامت الباحثة ندى [10] بدراسة تأثير إجراء عملية التشكيل والمعاملة الحرارية على الخواص الميكانيكية لسبيكة (Al-Cu-Mg) والمقواة بكاربيد السليكون والمحضرة بطريقة السباكة حيث أظهرت نتائج فحص الصلادة أن قيم الصلادة تزداد مع زيادة الدقائق المضافة. أما نتائج فحص الصدمة فقد لوحظ أن مقاومة الصدمة تنخفض مع زيادة نسبة الدقائق المضافة. أما اختبار الشد فقد وجدت أن مقاومة الشد للسبيكة الأساس أعلى من المواد المتراكبة ولكن خواص المرونة أفضل.

٢. الهـــدف من البحـــث

١. دراسة تصنيع مواد متراكبة بطريقة السباكة بالمزج وذلك بإضافة نوعين مختلفة من المواد السيراميكية وهي كاربيد السليكون وكاربيد البورون إلى سبيكة (Al -7%Si) وبنسب مختلفة (1%, 0.8, 0.6 , 0.4, 0.2).

٢. دراسة تأثير اضافة المواد السيراميكية المذكورة في اعلاه على الخواص الميكانيكية للسبيكة الاساس والمتمثلة بخواص الشد والبلى والصلادة.
٣. دراسة أطوار التقوية الناتجة بعد المعاملة الحرارية (الاصلاد بالترسيب) للسبيكة الأساس والمادة المتراكبة عن طريق فحص حيود الأشعة السينية.

٣. الجانـــب العملـــي

تقسم المواد المستخدمة في هذه الدراسة إلى المادة الأساس ومواد التقوية حيث إن مادة الأساس المستخدمة في هذا البحث هي سبيكة (Al -7% Si) لما تتميز به من خواص وتطبيقات على نطاق واسع. وتم استخدام نوعين من المواد السيراميكية وإضافتها إليها بنسب مختلفة ودراسة تأثيرها على الخواص المذكورة نظرا لما تتميز به هذه الدقائق من خواص ميكانيكية عالية. وقد تم إجراء عملية تجفيف للمساحيق قبل الاستخدام لإزالة الرطوبة الموجودة على سطحها عند درجة حرارة (500˚C) لتحسين قابلية الترطيب عند إضافتها للسبيكة الأساس وهما:
أ- كاربيد البورون (B_4C): حيث تم استخدام مسحوق ناعم من كاربيد البورون المختبري وبحجم دقائق يتراوح بين ($20\mu m > Particle\ Size \geq 0.1\mu m$).
ب- كاربيد السليكون (α-SiC): حيث تم استخدام مسحوق ناعم من كاربيد السليكون المختبري وبحجم دقائق يتراوح بين ($25\mu m > Particle\ Size \geq 0.1\mu m$).

تم تحضير السبيكة الأساس (Al -7%Si) وذلك بصهر سبيكة (Al -12%Si) وبكتلة معلومة داخل بودقة من كاربيد السليكون وباستعمال فرن كهربائي ذو فوهة عليا. حيث اجريت عملية الصهر عند درجة حرارة (750˚C) لضمان إتمام عملية الصهر، وبعد التأكد من حدوث الصهر التام يتم إضافة الألمنيوم النقي (99.99%) إلى السبيكة لغرض تقليل نسبة السليكون إلى النسبة المطلوبة مع التحريك المستمر للمنصهر. ثم إضافة المغنيسيوم إلى داخل المنصهر بعد أن تم تهيئته بشكل حبيبات صغيرة وبنقاوة عالية جداً وتغليفه برقائق من الألمنيوم بشكل يمنع اتصالها مع الهواء تفادياً لحدوث عملية الأكسدة وتغمر داخل المنصهر مع تثبيت الفرن للحفاظ على سيولة المنصهر لحين اكتمال ذوبانية المغنيسيوم مع المنصهر، ثم تتم مجانسة المنصهر بواسطة قضيب من الكرافيت، مع التحريك المستمر للمنصهر لحين التجانس. ثم إضافة كلوريد الألمنيوم ($AlCl_4$) بشكل مسحوق إلى المنصهر حيث يعمل على طرد الغازات وإزالة الخبث نتيجة لتفاعله مع المنصهر وتكوين طبقة الخبث التي تعلو سطح المنصهر والتي تزال من السطح، بعدها تتم عملية صب منصهر السبيكة في قالب اسطواني الشكل من الفولاذ بقطر (15mm) وارتفاع (130mm) مع ملاحظة التسخين المسبق للقالب إلى درجة حرارة (250˚C) لمنع حدوث التبريد المفاجئ للمنصهر. وبعد تجمد المنصهر بشكل تام تخرج الصبة من القالب للحصول على السبيكة الأساس ، وأجريت عملية التحليل الكيميائي للسبيكة الأساس وكانت النتيجة وكما مبين في الجدول (١).

جدول (١) يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة الأساس بعد الصب

العنصر	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb	Al
النسبة المئوية (%)	7.2	0.41	0.15	0.05	0.45	0.025	0.009	0.01	0.004	0.02	0.008	0.023	Rem.

وتم تحضير المادة المتراكبة بطريقة السباكة بالمزج (Stirring Casting) وباستعمال تقنية الدوامة (Technique Vortex) وعليه تم تقطيع السبيكة الأساس إلى قطع صغيرة لغرض تحديد الوزن المطلوب منها استنادا إلى الكسر الوزني لمادة التقوية لكل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون وللنسب المطلوبة (1%, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2). ثم تم وضع القطع الموزونة داخل البودقة وادخلت إلى الفرن الكهربائي الذي تم تثبيته عند درجة حرارة (750˚C) لضمان انصهار السبيكة بشكل كامل. ولتجانس توزيع دقائق المواد السيراميكية المضافة داخل المنصهر استعمل لهذا الغرض خلاط كهربائي مصنوع من الفولاذ ومزود بمروحية من مادة مقاومة للصدأ ، ثم انزل الخلاط الكهربائي إلى داخل البودقة الموجودة داخل الفرن المثبت عند الدرجة الحرارية للحفاظ على سيولة المنصهر، وتم تدوير المنصهر بسرعة (900 r.p.m) للحصول على دوامة داخله، وبعد ذلك تم إضافة الدقائق السيراميكية التي تم تغليفها برقائق من الألمنيوم والمسخنة مسبقاً إلى درجة حرارة (500˚C) لإزالة الرطوبة وتحسين تشتيت الدقائق داخل المنصهر. ونتيجة لفعل الدوامة يتم سحب مسحوق الدقائق السيراميكية إلى داخل المنصهر المعدني وتوزيعه خلاله وبعدها يتم تحريك المنصهر لمدة تتراوح بين (1-5min) لحين تجانس المنصهر الذي يكون بشكل عالق. بعدها تم عملية الصب في قالب من الفولاذ الذي تم تسخينه مسبقاً إلى درجة حرارة (250˚C) لمنع حدوث التبريد المفاجئ للمنصهر. ثم يترك ليتجمد للحصول على المادة المتراكبة، وتعاد العملية لعدة

مرات وحسب النسب المطلوب إضافتها إلى السبيكة الأساس لكل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون. والجدولين (٢) و (٣) يوضحان نتائج الاشعة السينية لكاربيد السليكون وكاربيد البورون والمبينة في الملحق (A,B).

جدول (٢) نتائج فحص حيود الأشعة السينية لمسحوق كاربيد البورون (B_4C)

2θ	dm(A)°	ds(A)°	Phase	I/I_o
19.5	4.527	4.490	B_4C	30
21.9	4.047	4.020	B_4C	40
23.4	3.788	3.790	B_4C	70
26.0	3.419	3.419	B_4C	90
31.7	2.813	2.813	B_4C	30
34.7	2.575	2.575	B_4C	80
37.6	2.386	2.385	B_4C	100
38.9	2.311	2.300	B_4C	10
44.3	2.040	2.020	B_4C	10
50.3	1.809	1.820	B_4C	10
53.2	1.716	1.714	B_4C	30
56.3	1.630	1.637	B_4C	10
58.7	1.570	1.505	B_4C	20

جدول (٣) نتائج فحص حيود الأشعة السينية لمسحوق كاربيد السليكون (SiC)

2θ	dm(A)°	ds(A)°	Phase	I/I_o
34.0	2.628	2.670	α- SiC	60
35.5	2.519	2.520	α- SiC	100
38.0	2.359	2.360	α- SiC	80
41.4	2.177	2.180	α- SiC	50
45.2	2.000	2.010	α- SiC	30
54.7	1.675	1.660	α- SiC	10
59.9	1.541	1.540	α- SiC	80

بعدها تم إجراء عملية الاصلاد بالترسيب للسبيكة الأساس والمادة المتراكبة و كما يلي:

أ- المعاملة المحلولية: تم إجراء هذه المعاملة بدرجة حرارة (520°C) لكل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة ولمدة (1hr).

ب- الإخماد: بعد انتهاء زمن المعاملة المحلولية تم التبريد بالماء إلى درجة حرارة الغرفة.

ج- التعتيق الاصطناعي: اجريت هذه العملية للسبيكة الأساس والمادة المتراكبة بدرجة حرارة (170°C) وبأزمان مختلفة هي (2-12 hr) ثم التبريد بواسطة الهواء.

تم إجراء فحص الشد للعينات القياسية بعد عملية التشغيل باستخدام جهاز الشد وبسعة (2.5 ton) وبسرعة (1mm/min) ثم إيجاد قيم مقاومة الشد ومقاومة الخضوع و المطيلية لكل من المادة الأساس و المادة المتراكبة.

وتم إجراء اختبار البلى باستخدام جهاز البلى الالتصاقي نوع (Pin-On Disk) وبتسليط الحمل بصورة عمودية على العينة وبأحمال (2, 5, 7, 10N) لمادة الأساس والمادة المتراكبة لفترة زمنية مقدارها (30) دقيقة. وتم وزن العينة قبل وبعد إجراء الاختبار وحساب الفرق في الوزن (W1-W2)، ومن ثم حساب معدل البلى.

تم إجراء فحص الصلادة الدقيقة بطريقة فيكرز حيث تم تسليط حمل مقداره (1Kg) لمدة (5 Sec) على سطح العينة. ومن ثم تم إجراء فحص حيود الأشعة السينية لغرض معرفة الأطوار الناتجة في السبيكة الأساس والمادة المتراكبة، وقد تم أتباع قانون براك لحساب المسافة بين المستويات الذرية وتحديد الأطوار المتكونة.

ISSN 1813-7822

٤. النتائـــج والمناقشـــة

من خلال ملاحظة الشكل (١) والذي يوضح تأثير زمن التعتيق في قيم الصلادة للسبيكة الأساس يلاحظ إن صلادة السبيكة الأساس تزداد مع زيادة مدة التعتيق لتصل إلى أعلى قيمة لها عند مدة تعتيق مقدارها (8hr) ويعود سبب ذلك إلى ترسيب دقائق صغيرة من الطور (Mg_2Si) بعدة مراحل حيث تتكون مناطق (Gp.Zone) في المراحل الأولى من التعتيق وهي تزيد من قيمة الصلادة ، ثم يتكون الطور (β`) وهو المركب غير المستقر (Mg_2Al) والذي يرتبط بالطور الأساس والذي يزيد أكثر من قيمة الصلادة، ثم يتكون الطور(β) وهو الطور المستقر (Mg_2Si) الصلد والذي يكسب السبيكة خواص مقاومة عالية وصلادة عالية [11]. وهذا ما اكدته نتائج فحص حيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس قبل وبعد المعاملة الحرارية والمبينة في الملحق (C,D) حيث يوضح الجدولان (٤)و (٥) نتائج فحص الاشعة السينية للسبيكة الاساس قبل وبعد المعاملة الحرارية. حيث تعمل هذه الدقائق إلى إعاقة حركة الانخلاعات مما يؤدي إلى تصليد السبيكة وزيادة مقاومتها. وباستمرار زيادة التعتيق إلى أكثر من (8hr) يلاحظ انخفاض قيم الصلادة ويعود سبب هذا الانخفاض إلى تجمع الدقائق المترسبة وتكون جسيمات اكبر حجماً فضلاً عن فقدان انفعالات التطابق بين الطور (Mg_2Si) والطور الأساس. بالإضافة إلى تكوين أطوار وسطية ناتجة عن العمليات الانتشارية لعناصر السبك قبل وبعد المعاملة الحرارية حيث لاحظنا من خلال حيود الاشعة السينية ظهور الطور الثانوي (AlFeSi). إن ظهور هذا الطور يؤدي إلى سحب السيليكون وتأخير ترسيب الطور (Mg_2Si) وبالتالي تكوين عوائق اقل لحركة الانخلاعات مما يؤدي إلى انخفاض قيم الصلادة.

شكل (١) يوضح تأثير زمن التعتيق الاصطناعي على قيم الصلادة للسبيكة الأساس

جدول (٤) نتائج فحص حيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس بعد الصب

2θ	dm(A)°	ds(A)°	Phase	I/I_o
28.1	3.165	3.138	Si	100
38.1	2.358	2.338	Al	100
44.2	2.046	2.024	Al	47
46.7	1.940	1.920	AlFeSi	60
55.5	1.652	1.638	Si	35
64.5	1.441	1.431	AlFeSi	35
77.9	1.224	1.221	Al	24
82.3	1.169	1.169	Al	7

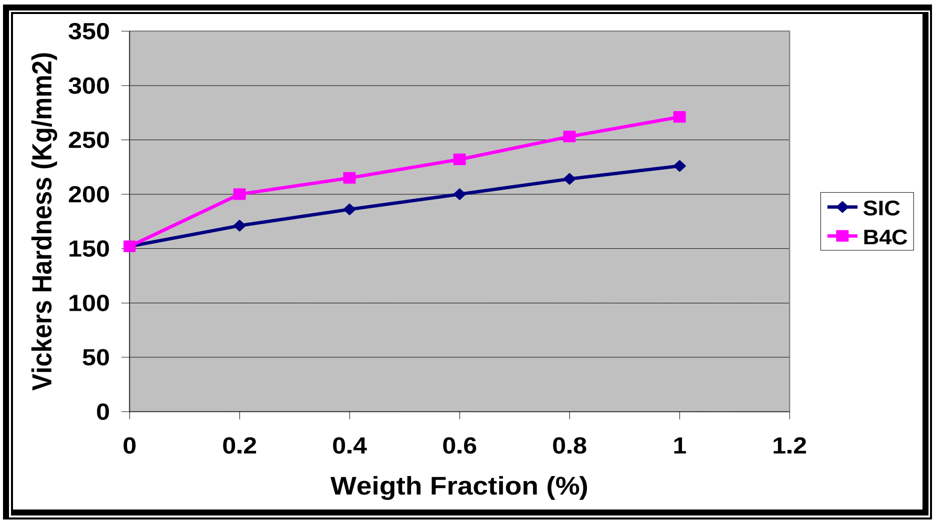
جدول (٥) نتائج فحص حيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس بعد المعاملة المحلولية والتعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170°C) مدة (8hr)

2θ	dm(A)°	ds(A)°	Phase	I/I_o

ISSN 1813-7822

28.2	3.701	3.700	Mg_2Si	40
35.2	2.514	2.510	Mg_2Al	100
38.0	2.361	2.338	Al	100
44.2	2.044	2.024	Al	47
46.9	1.934	1.929	AlFeSi	15
55.6	1.649	1.599	Mg_2Si	20
64.6	1.439	1.429	AlFeSi	35
69.9	1.320	1.320	Mg_2Si	60
77.9	1.223	1.224	Mg_2Al	70
82.2	1.170	1.169	Al	7
88.2	1.106	1.108	Si	17

الشكل (٢) يبين تأثير النسب الوزنية للدقائق المضافة في قيم الصلادة للسبيكة الأساس بعد الصب ولمجموعتين من السبائك، المجموعة الأولى (A) بكاربيد البورون وبحجم حبيبي بين ($20\mu m > P.S \geq 0.1\mu m$) والمجموعة الثانية (B) بكاربيد السليكون وبحجم حبيبي بين ($25\mu m > P.S \geq 0.1\mu m$) وبنسب وزنيه (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1%). حيث يلاحظ إن قيم الصلادة للسبيكة الأساس تزداد مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة ولكلا المجموعتين لتصل إلى أعلى قيمة لها عند النسبة (1%) مع ملاحظة إن الزيادة الحاصلة في قيم الصلادة للمجموعة الأولى (A) اكبر مقارنة مع المجموعة الثانية (B) ويعود سبب ذلك إلى الصلادة العالية لدقائق كاربيد البورون مقارنة مع كاربيد السليكون.



شكل (٢) يوضح تأثير النسب الوزنية للدقائق المضافة للسبيكة الأساس على قيم الصلادة

إن سبب الزيادة الحاصلة في قيم صلادة السبيكة الأساس يعود إلى طبيعة هذه الدقائق حيث تعمل الدقائق التي يزيد حجمها عن ($1\mu m$) كعوائق لتشوه السبيكة الأساس وذلك بسبب صلادتها العالية، كما وتعمل الدقائق والتي يقل حجمها عن ($1\mu m$) والمشتتة داخل السبيكة على إعاقة حركة الانخلاعات المتكونة وبالتالي سوف يساهم كلا النوعين في زيادة قيمة الصلادة بالإضافة إلى اختلاف الحجم الحبيبي للدقائق المضافة سوف تؤدي إلى تغيير بعض العوامل ومن ضمنها المسافة بين الدقائق (D_p) تبعاً للعلاقة الآتية [12]:

$$D_p = 2d^2/3V_p\ (1-V_p) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

حيث إن :
(d) حجم الدقائق (μm)
(V_p) الكسر الحجمي للدقائق
(D_p) المسافة بين الدقائق

إن وجود هذه الدقائق السيراميكية في هكذا شروط سوف تعمل على إعاقة حركة الانخلاعة بنسبة اكبر عند النسب الوزنية العالية من الدقائق المضافة ، ولكي تمر الانخلاعة خلال هذه الدقائق المشتتة فأن الإجهاد يجب أن يكون كافياً للحني وبالتالي فأن ذلك سوف يتطلب زيادة الحمل المسلط وهذا يعني زيادة قيم الصلادة.

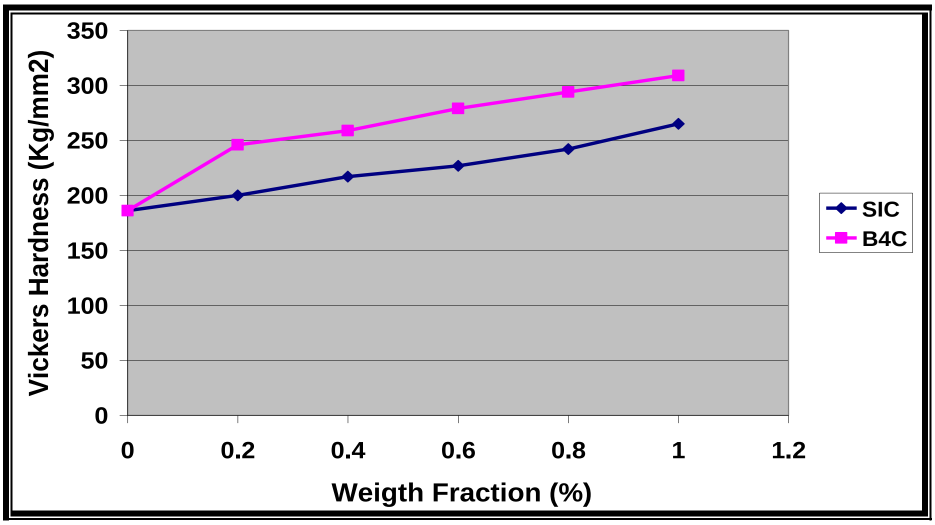
بعد إجراء عملية التعتيق الاصطناعي للسبيكة الأساس المقواة ولكلا المجموعتين وجد إن إضافة دقائق كل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون إلى السبيكة الأساس لايؤثر في مراحل التعتيق حيث إن قيم الصلادة تزداد مع زيادة مدة التعتيق لتصل إلى أعلى قيمة لها عند مدة تعتيق مقدارها (8hr). وان صلادة السبيكة المقواة تزداد عن ما هو عليه في السبيكة الأساس وان معدل الزيادة يزداد مع زيادة الكسر الوزني للدقائق المضافة والسبب في ذلك يعود إلى اشتراك أكثر من آلية في حدوث التقوية والمتمثلة أولا بالاصلاد بالتشتيت الناتج من إضافة الدقائق السيراميكية والموزعة داخل أرضية السبيكة الأساس حيث تعمل كعوائق لتشوه السبيكة وإعاقة حركة الانخلاعات وثانياً الاصلاد بالترسيب المتمثلة بظهور الطور المستقر (Mg_2Si) ذو الصلادة العالية والذي يعمل هي الأخر على إعاقة حركة الانخلاعات مما يؤدي إلى زيادة قيم الصلادة للمادة المتراكبة بالإضافة إلى تأثير الحجم الحبيبي للدقائق المضافة التي اقل من ($1\mu m$) حيث نلاحظ إن قيم الصلادة تزداد مع نقصان الحجم الحبيبي ويمكن تفسير ذلك على أساس العلاقة التالية [12].

ISSN 1813-7822

$$Ti = 3G_m.b`.V_p / 2d^2 (1-V_p) \quad .... (2)$$

حيث إن:
(Ti) الإجهاد المطلوب لمرور الانخلاعة
(b`) متجه بيرجر ، (V_p) الكسر الحجمي
(G_m) معامل القص للمادة الأساس
(d) حجم الدقائق (µm).

ويمكن ملاحظة العلاقة العكسية بين الإجهاد المطلوب لمرور الانخلاعة خلال الدقائق ومربع الحجم الحبيبي لهذه الدقائق، وهذا يعني إن أي نقصان في قيمة الحجم الحبيبي سيكون مصحوباً بزيادة ملحوظة في قيمة الإجهاد المطلوب لمرور الانخلاعة وبالتالي زيادة في قيمة الصلادة والمقاومة. والشكل (٣) يبين تغير قيم الصلادة العظمى بعد عملية التعتيق عند درجة حرارة (170°C) ولمدة (8hr) مع الكسر الوزني للدقائق المضافة لكاربيد البورون وكاربيد السليكون حيث يلاحظ أن قيم الصلادة العظمى تزداد مع زيادة نسبة الدقائق المضافة مع ملاحظة أن الزيادة الحاصلة في قيم الصلادة للمجموعة الأولى اكبر مقارنة مع المجموعة الثانية ويعود سبب ذلك إلى الصلادة العالية لدقائق كاربيد البورون مقارنة مع كاربيد السليكون.

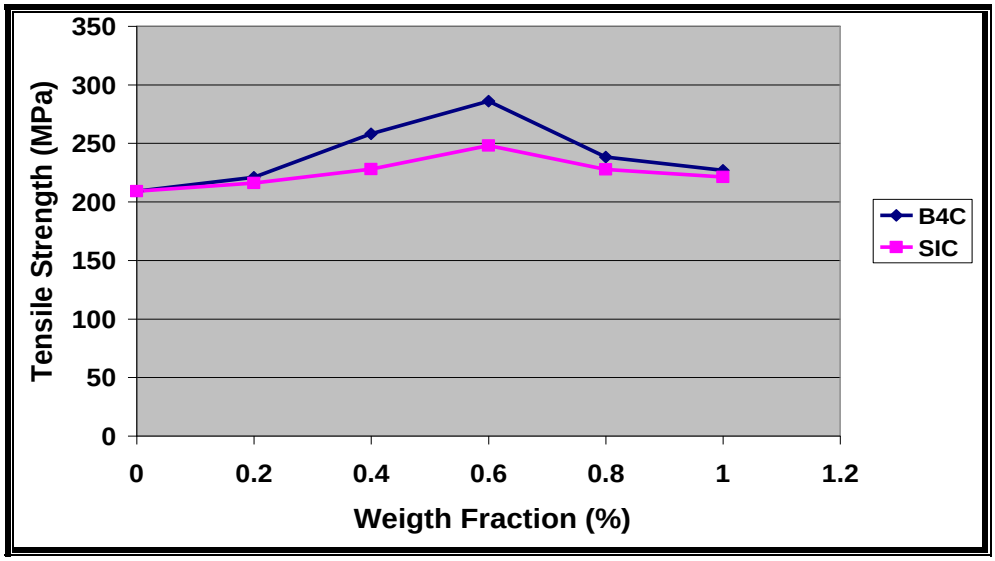


شكل (٣) يوضح العلاقة بين قيم الصلادة العظمى والنسب الوزنية للدقائق المضافة بعد التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170°C) لمدة (8hr)

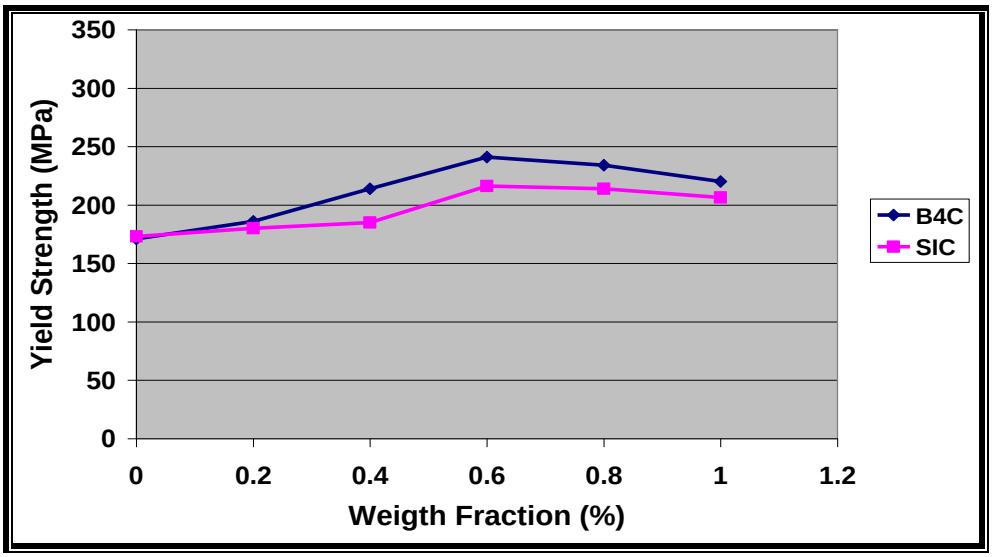
من خلال فحص الشد للسبيكة الأساس والمادة المتراكبة وبعد المعاملة الحرارية المذكورة في اعلاه تم حساب مقاومة الشد القصوى وإجهاد الخضوع والمطيلية لكل من السبيكة الأساس والمجموعة الأولى (A) مدعمة بدقائق من كاربيد البورون والمجموعة الثانية (B) مدعمة بدقائق من كاربيد السليكون.

الأشكال (٦،٥،٤) تبين تغير قيم مقاومة الشد القصوى وإجهاد الخضوع والمطيلية على التوالي للسبيكة الأساس والسبيكة المقواة مع النسب المضافة ولكلا المجموعتين. حيث نلاحظ من الشكلين (٥،٤) زيادة مقاومة الشد القصوى وإجهاد الخضوع مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة لتصل إلى أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (0.6%) ولكلا المجموعتين وبعد ذلك تسلك المادة سلوكاً مغايراً حيث تنخفض هذه القيم مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة ولكن تبقى محافظة على قيم أعلى مما هو عليه في السبيكة الأساس. إن السبب في الزيادة الحاصلة في هذه القيم للسبيكة المقواة يعود إلى طبيعة هذه الدقائق الصلدة والموزعة في السبيكة الأساس وبأحجام حبيبية مختلفة والتي تعمل على زيادة مقاومة السبيكة وكما بينا آنفاً في سبب زيادة الصلادة بالإضافة إلى ترسيب دقائق الطور (Mg_2Si) الصلد الذي يكسب السبيكة خواص مقاومة جيدة.

ISSN 1813-7822

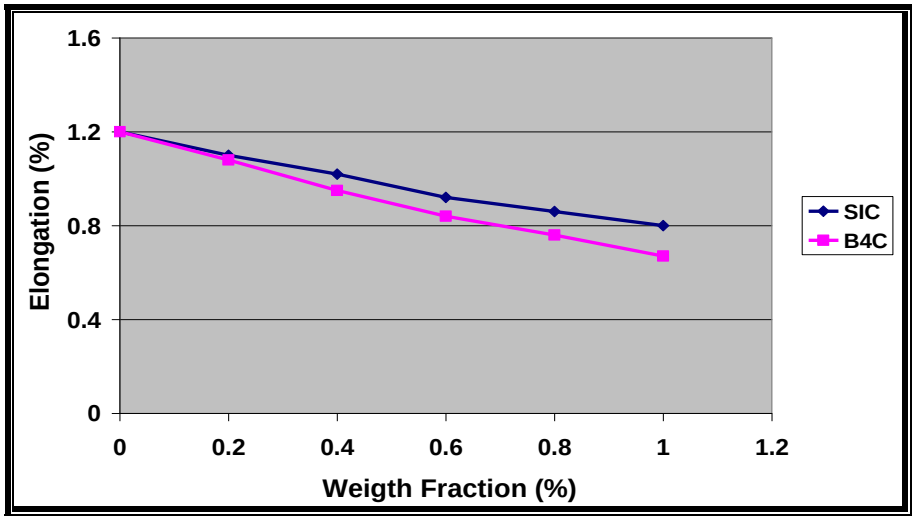


شكل (٤) يوضح العلاقة بين قيم الشد القصوى والنسب الوزنية للدقائق المضافة بعد التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170˚C) لمدة (8hr)



شكل (٥) يوضح العلاقة بين قيم إجهاد الخضوع والنسب الوزنية للدقائق المضافة بعد التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170˚C) لمدة (8hr)

ISSN 1813-7822



شكل (٦) يوضح تغير قيم المطيلية مع النسب الوزنية للدقائق المضافة بعد التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170˚C) لمدة (8hr)

كما إن مقاومة الخضوع للسبائك المقواة تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للمسافة بين الدقائق وعليه سوف يؤدي ذلك إلى زيادة مقاومة الخضوع للسبيكة مع زيادة نسبة الدقائق المضافة والى حد (0.6%) وكما موضح من خلال العلاقة الآتية[11]:

$$\sigma y \quad \alpha \frac{1}{\sqrt{Dp}} \qquad \text{.....} \qquad (3)$$

حيث إن:
(σy) إجهاد الخضوع للمادة
(Dp) المسافة بين الدقائق

أما السلوك المغاير للمادة المتراكبة بعد هذه النسبة فأنه يعود إلى عيوب السباكة والمسامية التي يحصل لها بعد الزيادة عند النسب العالية من الدقائق المضافة بسبب زيادة لزوجة المنصهر بالإضافة إلى حصول تفاعل بين الألمنيوم وعناصر السبك داخل السبيكة الاساس وتكوين أطوار وسطية ومنها (AlFeSi) الهش حيث تتجمع هذه الأطوار على الحدود البلورية مما يؤدي إلى ضعف الحدود البلورية وانخفاض مقاومة الشد والخضوع والمطيلية للمادة المتراكبة.

يلاحظ من الشكل (٦) أن السبيكة الأساس أبدت نقصاناً في قيم المطيلية عند إضافة هذه الدقائق، وان النقصان في قيم المطيلية يزداد مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة. حيث إن المطيلية تسلك سلوكاً معاكساً للخواص المتمثلة بمقاومة الشد والصلادة. إن سبب ذلك يعزى إلى طبيعة الدقائق السيراميكية الهشة والتي تعمل على تقليل المسافة بين الدقائق والتي تؤدي إلى تقليل المطيلية بالإضافة إلى وجود الأطوار الوسطية ومنها الطور (AlFeSi) الهش والتي تترسب على الحدود البلورية مما يؤدي إلى ضعفها وتقليل المطيلية. والجدولين (٦،٧) يوضحان نتائج فحص حيود الاشعة السينية للمادة المتراكبة المقواة بكل من كاربيد السليكون والبورون والمبينة في الملحق (E,F).

الشكلين (٧) و(٨) يوضحان العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط على كل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة الحاوية على كل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون وللنسب المختلفة بعد المعاملة المحلولية والتعتيق عند (170˚C) ولمدة (8hr) ايظاً. ويلاحظ من خلال الشكلين إن معدل البلى للسبيكة الأساس يزداد مع زيادة الحمل المسلط ويمكن تقسيم سلوك البلى لهذه السبيكة إلى ثلاثة أقسام وهي البلى الطري (Mild Wear) ويحدث ما بين قيم الأحمال (2-5 N) حيث يكون حطام البلى المتكون عبارة عن جسيمات ناعمة إذ يتكون غشاء اوكسيدي واقي يؤدي إلى انخفاض مساحة التلامس بين العينة والقرص مما يؤدي إلى معدل بلى قليل. والبلى الانتقالي (Transition Wear) ويحدث في منطقة الأحمال ما بين (5-7 N). والبلى الشديد (Sever Wear) الذي يحدث عندما تزداد قيم الأحمال المسلطة بين (7-10 N) حيث تكون جسيمات حطام البلى كبيرة ومعدنية إذ تتكسر طبقة الاوكسيد المتكونة فيؤدي ذلك إلى اتصال بمساحة كبيرة بين نتوءات السطحين ، ثم تتكسر تلك النتوءات وتنفصل عن السطح.

ISSN 1813-7822

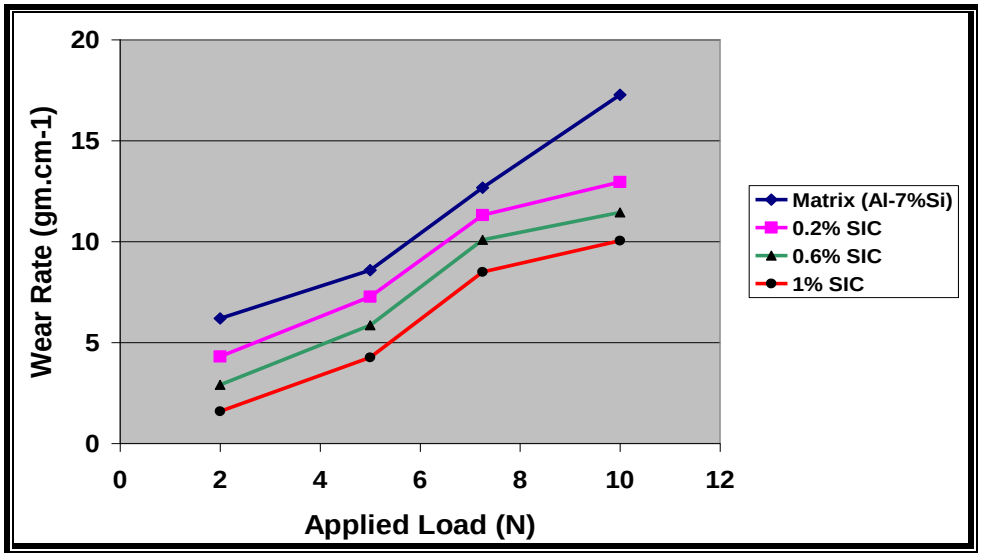
جدول (٦) نتائج فحص حيود الأشعة السينية للمادة المتراكبة المقواة بكاربيد البورون بعد التعتيق الاصطناعي
عند درجة حرارة (170˚C) مدة (8hr)

2θ	Dm(A)˚	ds(A)˚	Phase	I/I_o
18.1	4.510	4.490	B_4C	30
20.2	4.030	4.020	B_4C	40
28.0	3.701	3.700	Mg_2Si	40
34.7	2.514	2.510	Mg_2Al	100
37.9	2.367	2.338	Al	100
44.2	2.045	2.024	Al	47
46.7	1.939	1.929	AlFeSi	15
55.6	1.650	1.599	Mg_2Si	20
64.6	1.439	1.429	AlFeSi	35
69.1	1.357	1.320	Mg_2Si	60
77.9	1.223	1.224	Mg_2Al	70
82.2	1.170	1.169	Al	7

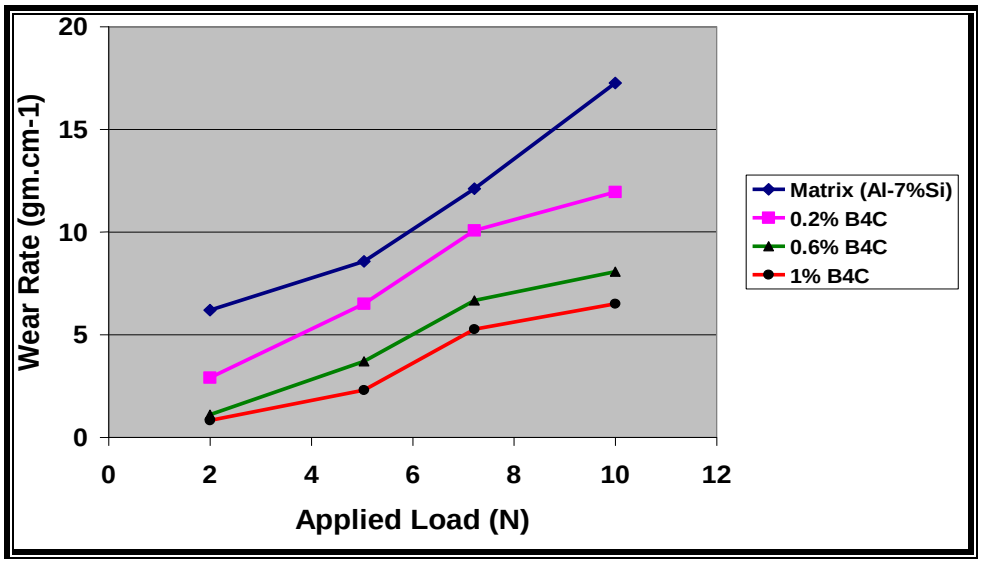
جدول (٧) نتائج فحص حيود الأشعة السينية للمادة المتراكبة المقواة بكاربيد السليكون بعد التعتيق الاصطناعي
عند درجة حرارة (170˚C) مدة (8hr)

2θ	Dm(A)˚	ds(A)˚	Phase	I/I_o
25.6	3.590	3.700	Mg_2Si	40
28.1	3.169	3.138	Si	100
35.1	2.517	2.510	Mg_2Al	100
37.9	2.369	2.338	Al	100
41.6	2.170	2.180	SiC	50
44.1	2.047	2.024	Al	47
46.6	1.937	1.929	AlFeSi	15
54.7	1.670	1.660	SiC	10
55.6	1.648	1.599	Mg_2Si	20
64.6	1.439	1.429	AlFeSi	35
77.9	1.223	1.224	Mg_2Al	70
82.3	1.169	1.169	Al	7

ISSN 1813-7822



شكل (٧) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط للسبيكة الأساس وتأثير إضافة نسب من كاربيد السليكون إليها
بعد التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة(170˚C) لمدة (8hr)



شكل (٨) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط للسبيكة الأساس وتأثير إضافة نسب من كاربيد البورون إليها
بعد التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة(170˚C) لمدة (8hr)

إن إضافة كاربيد السليكون للسبيكة الأساس يؤدي إلى نقصان معدل البلى وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق ، ويعود سبب ذلك إلى صلادة الدقائق المضافة نتيجة إلى ارتباط مقاومة البلى مع الصلادة السطحية وأصبحت منطقة البلى الانتقالي أكثر وضوحاً بعد إضافة هذه الدقائق والتي انحصرت بالمدى من الحمل المسلط الواقع بين (5-7 N) ومن جهة أخرى لم يتأثر حمل الانتقال كثيراً بنسبة دقائق كاربيد السليكون المضافة حيث يوضح الشكل حدوث انتقال حاد من بلى الأكسدة إلى البلى المعدني ، بينما انخفض معدل البلى للمادة المتراكبة عند الأحمال المسلطة المحصورة بين (7-10 N) وأصبح هذا الانخفاض اكبر بزيادة نسبة الدقائق المضافة إلى السبيكة الأساس.

أما تأثير إضافة كاربيد البورون للسبيكة الأساس على معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط فيلاحظ أن إضافة هذه الدقائق إلى السبيكة يؤدي إلى نقصان معدل البلى وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق بسبب الصلادة العالية جداً لهذه الدقائق بالإضافة إلى امتلاكها خواص بلى عالية جداً. حيث إن إضافة هذه الدقائق أثرت بشكل كبير على حمل الانتقال من البلى الاوكسيدي إلى البلى المعدني الذي انخفض بشكل كبير والذي أصبح اقل حده مقارنة مع السبيكة

ISSN 1813-7822

الأساس ومع المادة المتراكبة المقواة بكاربيد السليكون بالإضافة إلى انخفاض معدل البلى للمادة المتراكبة عند الأحمال العالية ما بين (N 10-7).

ويستمر الانخفاض بصورة كبيرة بزيادة نسبة الدقائق المضافة وذلك لطبيعة هذه الدقائق وقدرتها على تحمل الأحمال العالية حيث تتصرف كأنها عناصر حاملة للثقل والإجهاد (Load Bearing Element) داخل السبيكة الأساس وتؤدي إلى عدم تلامس مباشر بين سطح العينة والقرص.

٥. الاســـــتنتاجات

ان اهم الاستنتاجات المستنبطة من خلال البحث هي:

١. إن زمن التعتيق اللازم للوصول إلى الصلادة العظمى للسبيكة الأساس بعد المعاملة الحرارية المحلولية عند درجة حرارة (520˚C) والتعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170˚C) هو (8hr). بينما لا يؤثر إضافة دقائق كل من كاربيد السليكون وكاربيد البورون إلى السبيكة الأساس على زمن التعتيق حيث إن قيم الصلادة تزداد مع زيادة مدة التعتيق لتصل إلى أعلى قيمة لها عند نفس المدة.

٢. أثبتت نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية ظهور الطور الثانوي (AlFeSi) في كل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة بينما أدت المعاملة الحرارية (الاصلاد بالترسيب) إلى ظهور الأطوار (Mg_2Al) و (Mg_2Si) في البنية المجهرية للسبيكة الأساس والتي أدت إلى تحسن واضح في الخواص الميكانيكية.

٣. أدت إضافة كل من كاربيد البورون وكاربيد السليكون إلى زيادة قيم الصلادة للسبيكة الأساس وان قيم الصلادة تزداد مع زيادة النسب المضافة. وان الزيادة الحاصلة في قيم الصلادة للمادة المتراكبة المقواة بكاربيد البورون اكبر من المادة المتراكبة المقواة بكاربيد السليكون.

٤. إن قيم مقاومة الشد القصوى وإجهاد الخضوع للمادة المتراكبة أعلى مما هو عليه في السبيكة الأساس وتزداد هذه القيم مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة والى حد (0.6%) ثم تسلك المادة المتراكبة سلوكاً مغايراً لكنها تبقى محافظة على قيم أعلى مما هو عليه في السبيكة الأساس في حين تنخفض قيم المطيلية للمادة المتراكبة مقارنة مع السبيكة الأساس ويزداد انخفاضها مع زيادة النسب الوزنية للدقائق المضافة للسبيكة الأساس. وان الزيادة الحاصلة في قيم مقاومة الشد ومقاومة الخضوع للمادة المتراكبة المقواة بكاربيد البورون اكبر من المادة المتراكبة المقواة بكاربيد السليكون. في حين أن قيم المطيلية للمادة المتراكبة المقواة بكاربيد السليكون اكبر من المادة المتراكبة المقواة بكاربيد البورون.

٥. أدت إضافة كاربيد السليكون وكاربيد البورون إلى تقليل معدل البلى للسبيكة الأساس ومع تغير الحمل المسلط ، وان النقصان يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق. وان النقصان الحاصل في قيم معدل البلى للمادة المتراكبة المقواة بكاربيد البورون اكبر من المادة المتراكبة المقواة بكاربيد السليكون.

٦. المصـــــادر

1. K., King, ***"Aluminum and it's Alloys"***, Ellis Harwood Ltd. London, 1987.

2. M., Grayson, ***"Encyclopedia of Composite Material and Components"***, Willey Inter Science, 1993.

3. W., Bolten, ***"Engineering Material Technology"***, Third Edition, 1998.

4. P. G., Mickel, ***"Fundamentals of Modern Manufacturing"***, New Jersey, 1996.

5. D. J., Lioyd, H., Lagace, A., McLeod, and P. L., Morries, ***"Micro Structural Aspect of Aluminum-Silicon Carbide Particle Composite Produced by Casting Method"***, Material Science and Engineering, 1989.

6. P. K., Rohatgi, and A., Banerji, ***"Cast Aluminum Alloy Containing Dispersion of TiO_2 and ZrO_2 Particle"***, Journal of Material, 1982.

ISSN 1813-7822

7. M., Guden, and I. W., Hall, ***"Study of Mechanical Properties of (AlCuMg) Alloy Reinforced by Silicon Carbide Produced by Casting Method"***, Materials Science Engineering, A242, 1998.

8. J. E., Perez, and A. A., Yawny, ***"Fracture Toughness in Metal Matrix Composite"***, Journal of Material Science, 2000.

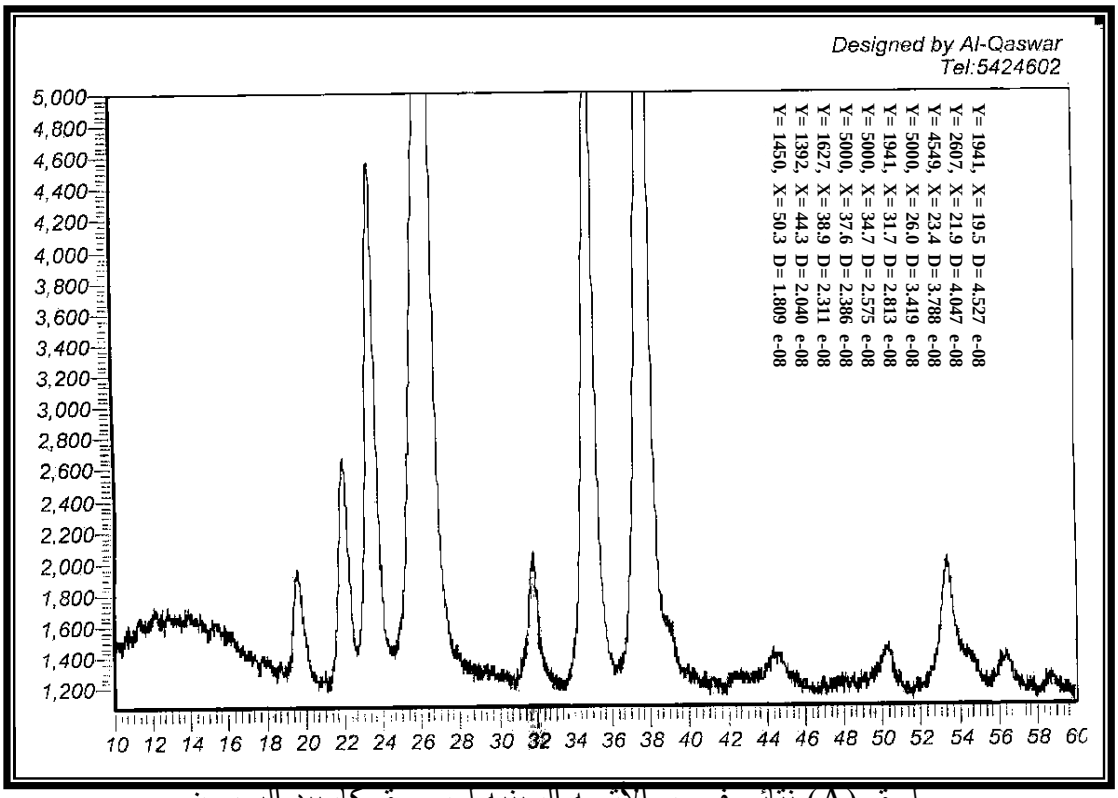
9. السلطاني، إيمان عدنان، ***"دراسة خواص المواد المتراكبة من (Al-Cu) المحضرة بطريقة التجمد السريع"***، رسالـة ماجستيـر، قسم هندسـة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجيا،٢٠٠١.

10. ندى طاهر، ***"تأثير إضافة دقائق كاربيد السليكون على متانة الكسر لسبيكة (Al-Mg)"***، رسالة ماجستير، قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجيا، ٢٠٠٣.

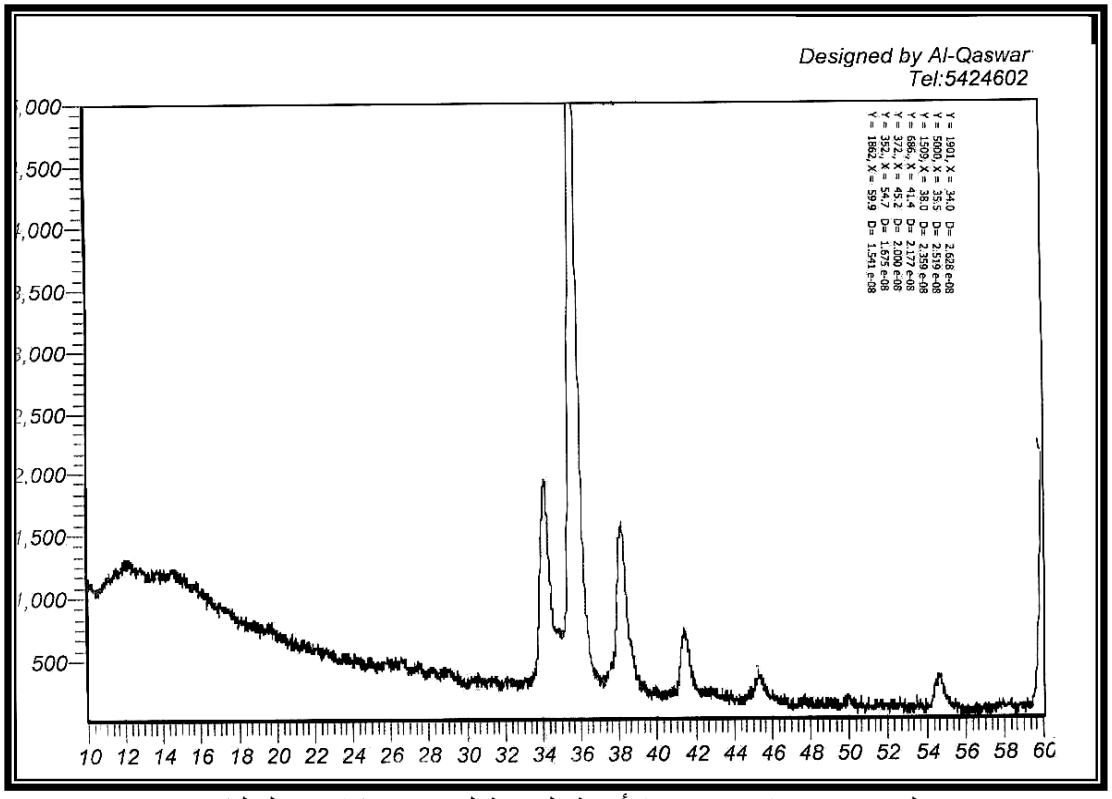
11. F., Ernst, ***"Precipitation Hardening of (Al-Si-Mg) Alloys"***, Material Laboratory, 2004.

12. D. A., Thornton, and V., Colangclo, ***"Fundamental of Material"***, First Edition, 1985.

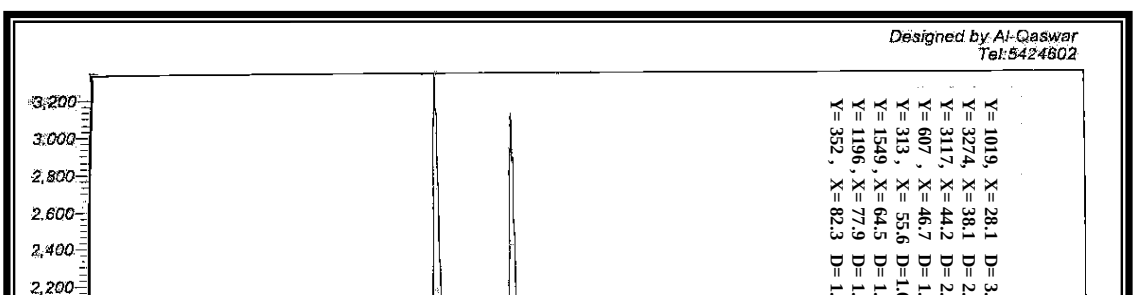
ISSN 1813-7822



ملحق (A) نتائج فحص الأشعه السينيه لمسحوق كاربيد البورون

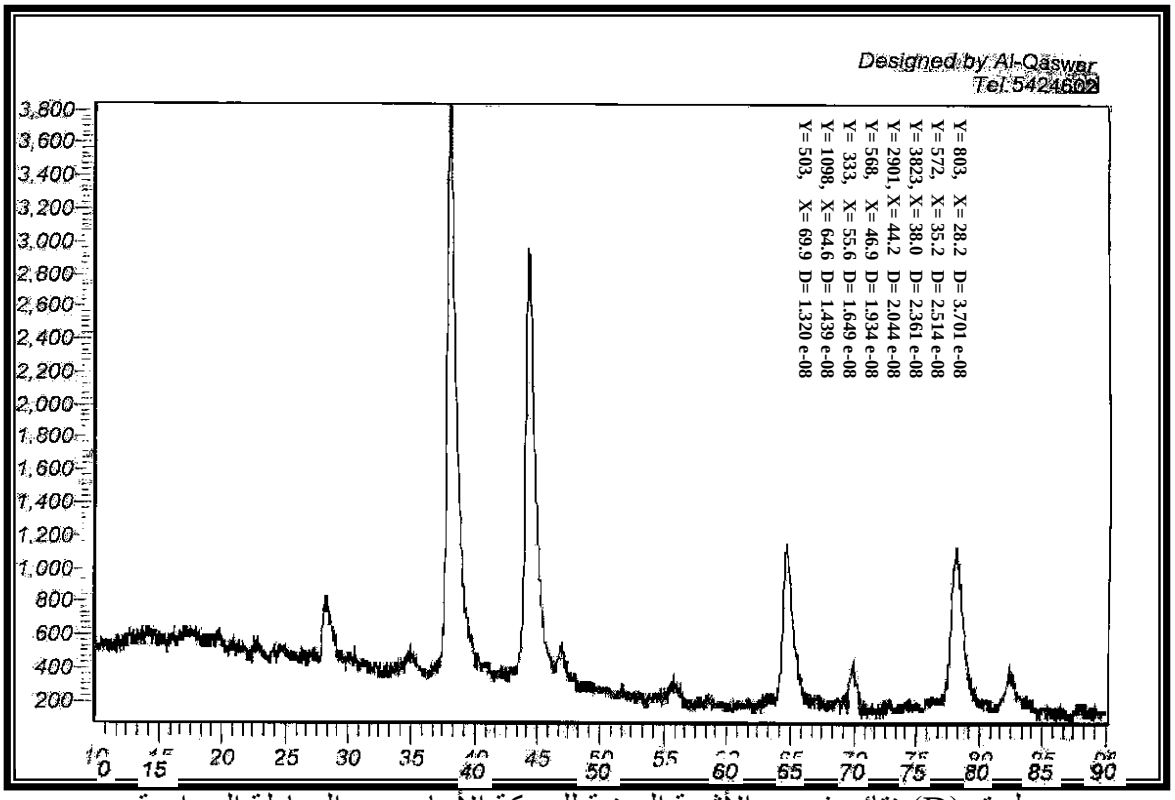


ملحق (B) نتائج فحص الأسعة السينية لمسحوق كاربيد السليكون



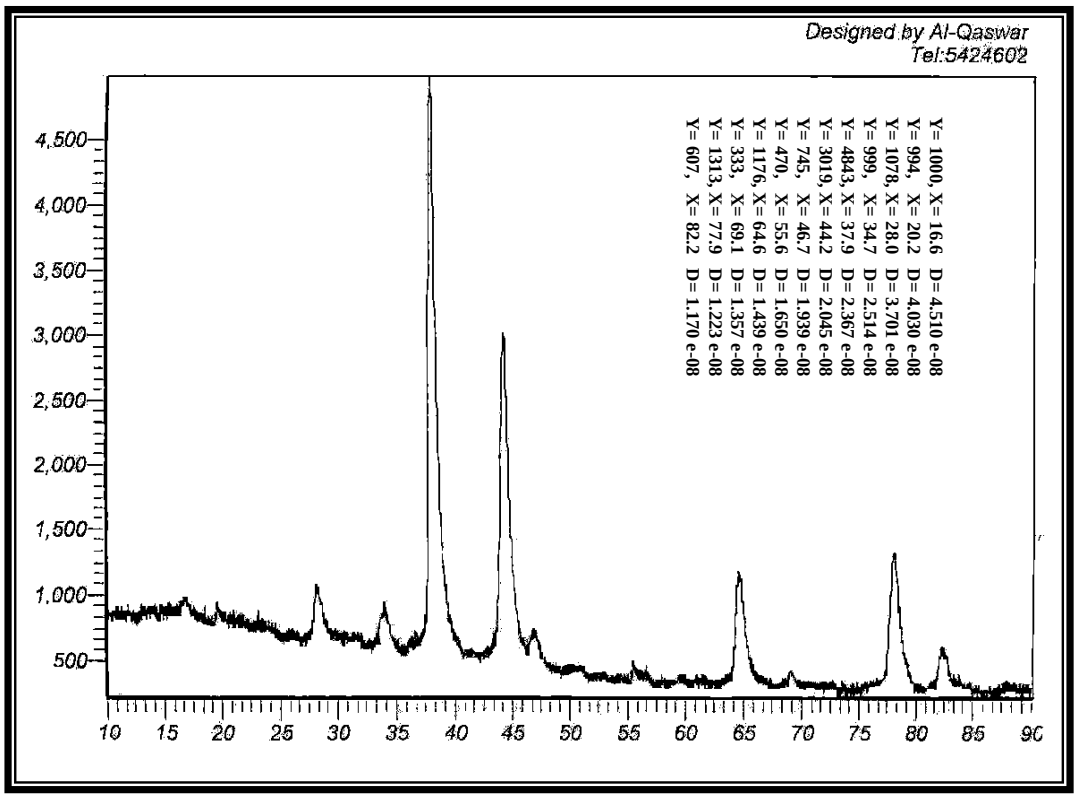
ISSN 1813-7822

ملحق (C) نتائج فحص الأشعة السينية للسبيكة الأساس بعد الصب

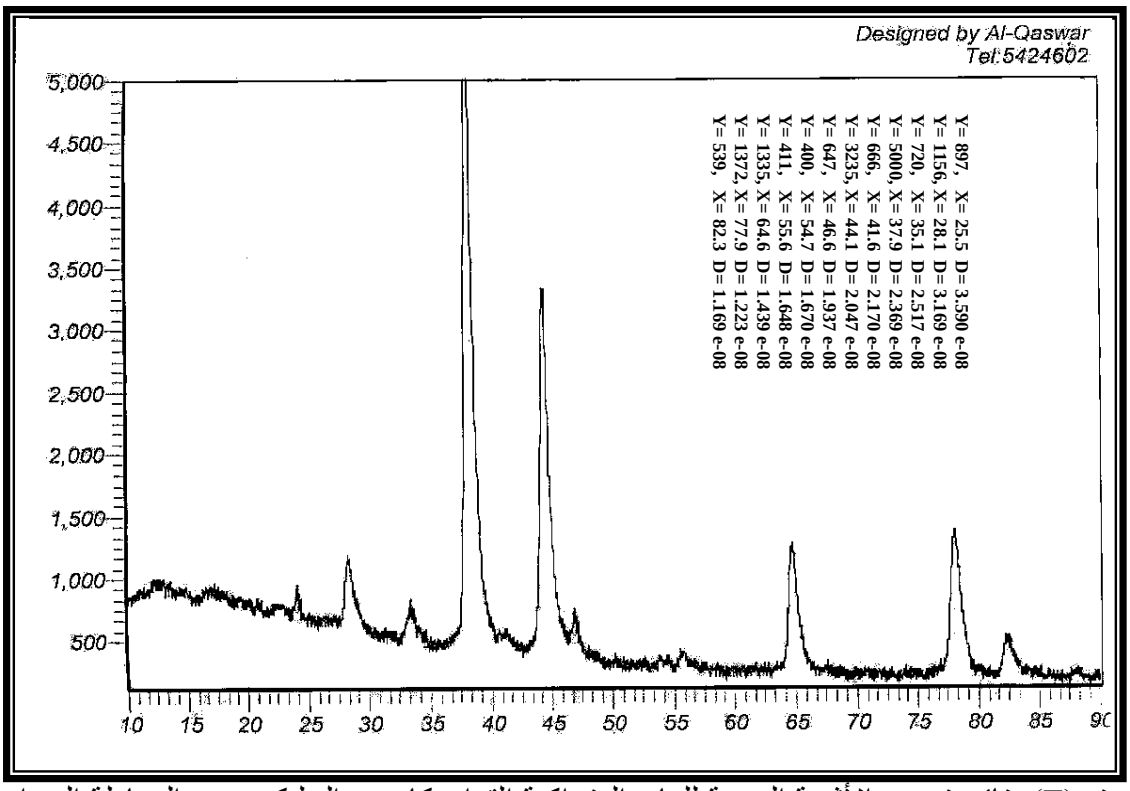


ملحق (D) نتائج فحص الأشعة السينية للسبيكة الأساس بعد المعاملة الحرارية

ISSN 1813-7822



ملحق (E) نتائج فحص الأشعة السينية للمادة المتراكبة المقواة بكار بيد البور ون بعد المعاملة الحرارية



ملحق (F) نتائج فحص الأشعة السينية للمادة المتراكبة القواة بكار بيد السليكون بعد المعاملة الحرارية