دراسة التركيب المجهري وبعض الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة ذات اساس السيراميكي

سالم عزيز كاكو/مدرس مساعد /المعهد الفني اربيل

الخلاصة

يهدف البحث الحالي إلى دراسة التركيب المجهري وبعض الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة ذات الاساس السيراميكي. تم استخدام مسحوق الألومينا كمادة سيراميكية حيث تم كبسها تحت ضغوط كبس مختلفة (٥٨ MPa ، ١١٧ MPa و١٧٦ MPa) في قالب معدني، ثم اجريت عليه عملية التلبيد عند (1200°C) ولمدة ساعتين وبعد حساب نسبة المسامية للنماذج السيراميكية الملبدة تم تسخينها الى(700°C) و من ثم غمرها بمنصهر المنيوم النقى ومنصهرسبيكة المنيوم-٢.٢٦% مغنيسيوم وبعد ذلك تم التسخين داخل الفرن إلى درجة حرارة (1000°C) ولمدة نصف ساعة، ومن ثم تم تبريد المنصهر إلى درجة حرارة (650°C).اظهرت نتائج الفحوصات المجهرية والفحص بحيود الاشعة السينية وجود مناطق مختلفة الصلادة وذات تراكيب والاطوار مختلفة هى المحلول الصلب وطور سبنل ، كما لوحظ من النتائج أن قوة الربط ما بين الاساس الالومينا السيراميكي و المنيوم النقى اومنصهرالمنيوم-٢.٢٦% مغنيسيوم المترسب يعتمد على نوع المنصهر المعدني ونسبة المغنسيوم فيه.

Study of Microstructure and Some Mechanical Properties of Ceramic Matrix Composite Material

Salim Aziz Kako / Assist. Lecturer /Erbil Technical Institute

Abstract

The aim of this research is to study microstructure and some mechanical properties of ceramic matrix composite material. Powder of Al_2O_3 was used as ceramic material after had been pressed by different pressures (58 Mpa, 117 Mpa and 176 Mpa) in metallic mold. The

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com

sintering process has been preformed at 1200°C for two hours. After that, the porosity percentage has been measured and the samples were heated to 700°C and then immersed in the molten pure aluminum and (Al-2.26% Mg), and heated to about 1000°C for half an hour. Then, the samples were cooled to 650°C. Microscopic tests and x-ray diffraction analysis has revealed zones with different hardness and with different structures. Moreover, the results showed that the adhesion between the ceramic matrix and the deposited metal depends on the molten metal type and the percentage of magnesium content of aluminum.

Keywords: Composites, Ceramic-metal bonding, Infiltration

المقدمة

أستلم في 2005/12/5 قبل في 2006/9/3

تعرف المواد المتراكبة (Composite material) بانها المواد التي تتكون من مادتين (طورين) او اكثر والتي يمكن التمييز بينهما بالمجهر الضوئي أو المجهر الإلكتروني الماسح. تمتلك المواد المتراكبة خواص ميكانيكية جيدة منها الجساءة (Stiffness)، المقاومة ، خفة الوزن ،الاداء الجيد في الدرجات الحرارة العالية، مقاومة التاكل ،الصلادة العالية و الموصلية(Conductivity) [١] [٢] وتعتمد هذه الخواص على كل من مادة الأساس (Matrix) وعلى نوعية مادة التقوية(Reinforcement) وتوزيعها وكذلك تعتمد ايضا على طبيعة السطح البيني (Interface) ما بين الأطوار [٣] .

ويمكن تصنيف المواد المتراكبة اعتماداً على نوعية مادة الاساس الى : [4]

- مواد متراكبة ذات أساس بوليميري. Polymer Matrix Composites
- **مواد متراكبة ذات أساس معدني.** Metal Matrix Composites
- مواد متراكبة ذات أساس سيراميكي. Ceramic Matrix Composites

إن أهم استخدامات المواد المتراكبة في الوقت الحاضر يتركز في المواد الهيكلية Structural materials وفي التطبيقات الإلكترونية [5] والمغناطيسية والبصرية [6]. كما ظهرت الحاجة إلى استخدامها في تطبيقات السيطرة الحرارية Thermal control devices **ملئ الملوك**

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الإلكترونية Electronic packaging [7].ان الايفاء بمتطلبات هذه التطبيقات يتطلب استخدام مواد يتوفر فيها خواص فيزياوية و ميكانيكية ذات علاقات مباشرة مثل الموصلية الحرارية العالية ومعامل التمدد الحراري بالاضافة إلى المتانة العالية. فقد استخدمت تقنيات مختلفة لانتاج مواد متراكبة منها الربط الانتشاري في الحالة الصلبة Solid state diffusion أو الطرق بالراتنجات Resin bonding [8]. إن إنتاج مادة متراكبة باستخدام الربط الانتشاري في الحالة الصلبة لمواد سيراميكية ومعدنية مثل الذهب والبلاتين يعطي خواص ميكانيكية جيدة ولكن هذه الطريقة محدودة الاستخدام لتكوينها سطوح ربط رقيقة السمك، كما أنها تحتاج إلى إجراء عمليات الصقل والتنعيم للسطوح قبل الربط [9] إضافة إلى الكلفة العالية للإنتاج لذلك تركزت البحوث في الوقت الحاضر على ايجاد طرق أخرى لإنتاج هذه المواد المتراكبة منها التشبيع Infiltration والتغطيس بالحالة السائلة[١٠] .

طرائق العمل و المواد المستخدمة: Materials Used and Procedure Methods

١ ـ مسحوق أوكسيد الألمنيوم (الألومينا)

استخدم مسحوق الألومينا Al_2O_3 نوع α عالي النقاوة(٩٩.٩٧%) والمجهز من قبل شركة ALM-41-SUMITO-CHEMICH-COMPANY-UK ، تم قياس الحجوم الحبيبية للألومينا والتوزيع الحجمي لها باستخدام جهاز Granometer من نوع Analyzer Laser 22-6 ، ويتلخص مبدأ عمل الجهاز بتعريض النموذج الذي يكون على شكل عالق أو جاف لشعاع الليزر ذي القوة الواطئة جداً ، يولد الشعاع حيوداً بزوايا مختلفة بالاعتماد على حجم الدقائق ، إذ أن الدقائق التي تمتلك نفس الحجم تتشتت عند الزاوية نفسها وتعطي شدة الشعاع المشتت معلومات عن كمية هذه الدقائق. تسجل زاوية وشدة الضوء لأشعة الليزر باستخدام متحسس خاص مرتبط بجهاز حاسوب يعمل على قياس متوسط حجم الدقائق وتوزيعها الحجمي والتراكمي،والتي اظهرت ان حجوم الحبيبات بحدود (١-١١) مايكرون. الشكل رقم (١) يوضح نتائج فحص حيود الأشعة السينية لمسحوق الألومينا المستخدم.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

www.manaraa.com

للشكل (٢) مخطط حيود الأشعة السينية لسبيكة ألمنيوم - ٢.٢٦% مغنسيوم

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٢ ـ المنصهرات المعدنية :

تم استخدام منصهرين معدنين بتراكيب مختلفة هي الألمنيوم النقي وسبيكة الألمنيوم الحاوية على 2.26% مغنسيوم والتي تم تحضيرها باضافة قطع من(Al-Mg) تحتوي على(١١.٤٥%) الى منصهر الالمنيوم النقي التجاري و اجريت عمليات التخفيف لنسب Mg في السبيكة للحصول على النسبة المطلوبة ثم اجري التحليل الكيمياوي للسبيكة التي تم تحضيرها و استخدامها في البحث. وتوضح الجداول (١) و(٢) نتائج التحليل الكيمياوي لهما أما نتائج فحص حيود الأشعة السينية فيوضحها الشكل (٢).

الجدول (١) التحليل الكيمياوي للألمنيوم النقي

Cu %	Fe %	Mn %	Si %	Mg %	Al %
0.3062	0.467	0.028	0.1153	0.1063	98.9772

الجدول (٢) التحليل الكيمياوي لسبيكة ألمنيوم - 2.26% مغنسيوم

Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %
0.257	0.215	0.04	0.0042	2.26	0.0025
Ti %	**Cr %**	**Pb %**	**Ni %**	**Na %**	**Al %**
0.0041	0.3025	0.0004	0.00095	0.00095	96.919

تحضير النماذج السيراميكية :

تم استخدام الكبس لغرض إنتاج النماذج السيراميكية التي تمثل الأساس للمواد المتراكبة المراد إنتاجها واستخدمت في عملية الكبس ضغوط كبس مختلفة هي(58MPa ، 117MPa و 176MPa) . تم الكبس باستخدام قالب مصنوع من الصلب السبائكي بقطر (1.4mm) وباستخدام مكبس هيدروليكي أحادي التأثير ، تم إبقاء الضغط لمدة (٦٠ ثانية) للحصول على الأجسام السيراميكية. بعد إخراج النماذج من قوالب الكبس أجريت عملية التلبيد الأولي على الأجسام السيراميكية باستخدام فرن كهربائي نوع Carbolite عند درجة حرارة($1200^{o}C$) وتم التسخين بمعدل ($6^{o}C/min$) لضمان عدم تكوين الشقوق والفجوات Voids أو حدوث الانفصال على شكل طبقات Delamination وقد وضعت النماذج على قواعد من الألومينا النقية. وتم إبقاء النماذج عند درجة حرارة التلبيد لمدة ساعتين، بعد ذلك تم التبريد إلى درجة حرارة الغرفة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

حساب المسامية الظاهرية:Apparent porosity

تعرف المسامية الظاهرية Apparent porosity بأنها نسبة المسامات المفتوحة للحجم الكلي [١١]. تم استخدام مبدأ أرخميدس في احتساب المسامية الظاهرية للنماذج أو الأجسام السيراميكية التي تم تشكيلها باستخدام ضغط كبس مختلف (58MPa ، 117 MPa و 176 MPa) والتي أجريت عليها عمليات التلبيد وتم حساب المسامية باستخدام المواصفات القياسية [12] باتباع الخطوات التالية:

١. تم وزن النماذج باستخدام ميزان نوع Metler ذي دقة 0,0001gm بعد أن تم تجفيفها عند $120^{o}C$ لمدة خمس ساعات باستخدام فرن من نوع Heraeus وسجل وزن النماذج وهي بحالة جافة (D).

٢. غمرت النماذج في ماء مغلي لمدة ٥ ساعات وتركت في الماء لمدة ٢٤ ساعة وسجل وزن النماذج وهي موضوعة في شبكة مغمورة في الماء ومعلقة فيه وسجل الوزن (I).

٣. أخرجت النماذج الملبدة من الماء ومسحت بقطعة من قماش ووزنت مرة أخرى وهي جافة السطح وسجل الوزن (S) وتم حساب المسامية باستخدام المعادلة التالية :

$$Apparent \quad Porosity\% = \frac{S - D}{S - I} \times 100\%$$

حيث أن :

D : وزن النموذج وهو بحالة جافة في الهواء(غرام)

S : وزن النموذج وهو مشبع وجاف السطح (غرام)

I: وزن النموذج وهو مغمور في الماء ومعلق فيه (غرام)

عملية التغطيس بمنصهرات المعادن Infiltration

استخدمت في هذا البحث طريقة الغمر أو التغطيس بالحالة المنصهرة وذلك بترسيب طبقة من المعدن على سطوح النماذج من الألومينا الملبدة ، إذ تم تغطيس أو غمر النماذج السيراميكية في احدى المنصهرين المعدنين هي الألمنيوم النقي وسبيكة ألمنيوم-٢.٢٦% مغنسيوم. أجريت عملية الغمر في بوادق مصنوعة من الألومينا بعد أن تم وضع النماذج السيراميكية في داخل سلة مصنوعة من الحديد تم تثبيتها على إحدى البوادق وتم التسخين إلى درجة حرارة ($700^{o}C$) أما المنيوم النقي و سبيكة المنيوم-٢.٢٦%مغنسيوم فقد تم

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

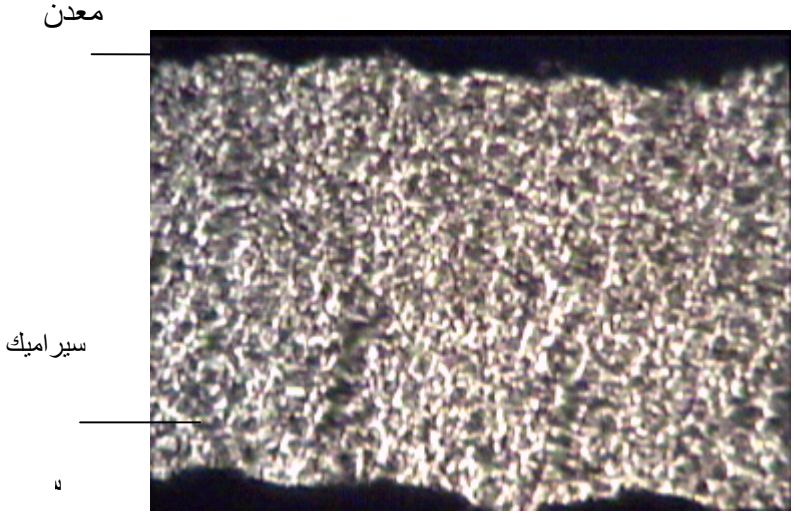
صـهرهما فـي بـودقتين فـي فـرن كهربـائي نـوع Cabolite عنـد درجـة حـرارة بحـدود (700°C). بعد إخـراج البـوادق مـن الفـرن تـم صـب المنصـهر علـى النمـاذج السـيراميكية الموضـوعة فـي داخـل السـلة الحديديـة وغمرهـا بمنصـهر معـدن المنيـوم النقـى و معـدن سبيكةالمنيوم-٢.٢٦% مغنسيوم ثم تم إعادتها مرة أخرى إلى الفرن وتم رفع درجة حرارة الفرن إلى (1000°C) و ذلك لتقليل زاوية التبلل بالتالي تزداد تبليلة المنصهر مع نموذج السيراميكي [13]، وتم إبقاء النموذج في داخل المنصهر عند هذه الدرجة الحرارية ولمدة نصف ساعة ثم إجراء عملية التبريد إلى درجة حرارة (650°C) بعدها يتم سحب النماذج من المنصهر المعدني.

الفحوصات المجهرية:

لغرض إجراء الفحص(المجهري ، الالكترونى الماسح والفحص باستخدام حيود الاشعة السينية) وإجراء فحص الصلادة بطريقة فيكرز. تم تحضير نماذج من المواد المتراكبة للفحص وذلك باجراءعملية التنعيم الرطب باستخدام الماء كسائل تبريد وباستخدام ورق تنعيم من نوع كربيد السليكون وبالدرجات التالية (٢٢٠،500،٦٠٠و١٠٠٠)على التوالي. تم استخدام حامض(١٠% HF)في عملية إظهار التراكيب المجهرية.بعد ذلك تم اجراء الفحوصات باستخدام المجهرالالكترونى الماسح نوع Streo Scan-220 في المعهد المتخصص.

النتائج والمناقشة Results and Discussion

اظهرت نتائج الفحوصات المجهرية للنماذج السيراميكية وجود طبقة معدنية بسمك جيد مترسب على سطح النموذج السيراميكي كما يلاحظ في الشكل(٣)

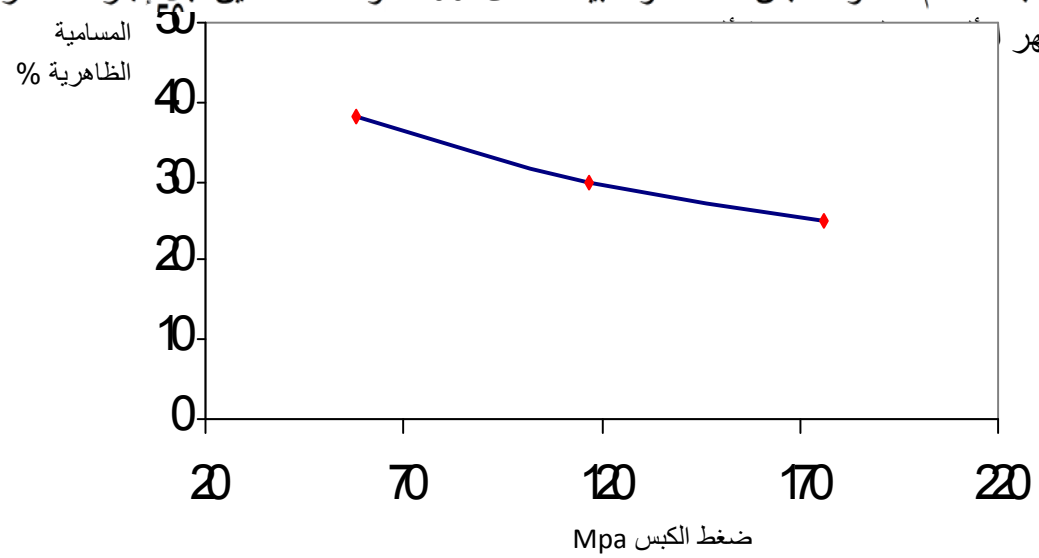


المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

100 X

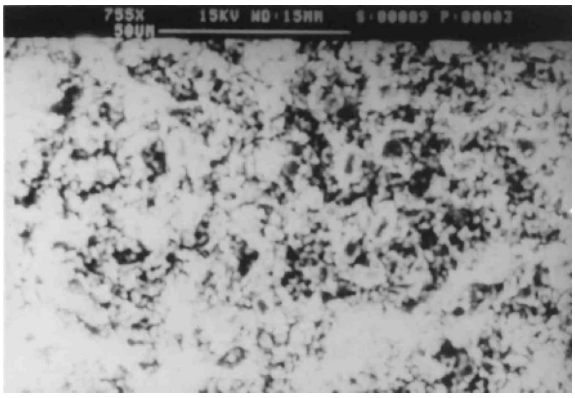
الشكل (٣)التركيب المجهري للالومينا الملبد والمغمور بالالمنيوم

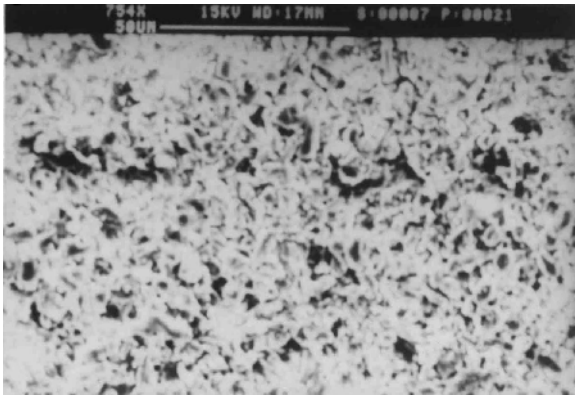
الشكل (٤) يوضح العلاقة بين ضغط الكبس المستخدم و نسبة المسامية للأجسام السيراميكية بعد عملية التلبيد. يلاحظ من الشكل إن نسبة المسامية للجسم السيراميكي تقل مع زيادة الضغط المسلط وقد تراوحت نسبة المسامية عند استخدام ضغط كبس MPa (58 , 117) والتلبيد إلى درجة حرارة $1200^{o}C$ ما بين (38 , 30)% على التوالي أما عند استخدام ضغط كبس MPa(176) فكانت نسبة المسامية 25%. إن نسبة المسامية هذه عبارة عن تأثير كل من ضغط الكبس والتلبيد. يؤدي التلبيد كذلك إلى تقليل الفراغات ما بين الدقائق وبالتالي تقليل نسبة المسامية[14] ويوضح الشكل (٥) صور المجهر الإلكتروني الماسح للنماذج السيراميكية التي تم كبسها باستخدام ضغوط كبس مختلفة والتلبيد عند $1200^{o}C$ ولمدة ساعتين قبل إجراء الغمر بمنصهر



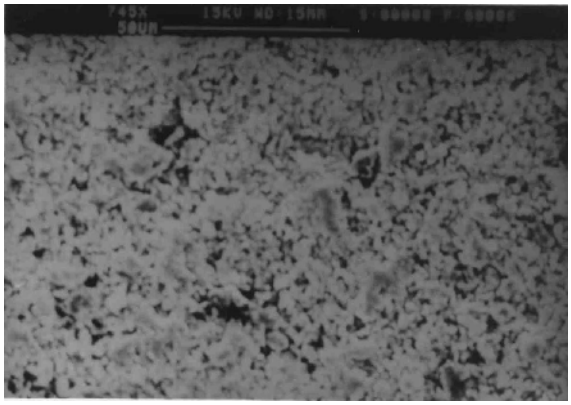
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل (٤) العلاقة بين ضغط الكبس والمسامية الظاهرية لنماذج الالومينا الملبدة في $1200^{o}C$ لمدة ساعتين





المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



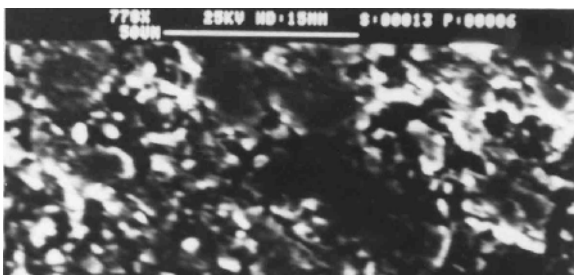
للشكل (٥) مسامية النماذج السيراميكية بعد عملية التلبيد عند $1200^{o}C$ **من الاعلى الى الاسفل**

أ . **ضغط الكبس** 58MPa - المسامية 38%

ب. **ضغط الكبس** 117Mpa - المسامية ٣٠%

ج. **ضغط الكبس** 176MPa - المسامية ٢٥%

كما لوحظ من خلال الفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح إن نسبة المسامية العالية في الجسم السيراميكي (أو ضغط الكبس القليل) أنها تؤدي إلى تغلغل المنصهر المعدني إلى داخل الجسم السيراميكي مما يؤدي إلى تغلغل شبه كامل للمعدن في داخل المسامات وحدوث التشبيع بدون وجود ضغط نتيجة تأثير الخاصية الشعرية [15] [16]. أما عند تقليل نسبة المسامية (زيادة ضغط الكيس) فإن نسبة التغلغل تقل وكما تقل النسبة الحجمية للمعدن المتواجد مقارنة بالنسبة الحجمية لدقائق الألومينا في هذه الطبقة ، كما يلاحظ في الشكل (٦) .



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

معدن

سيراميك

الشكل (٦) اختلاف نسبة تغلغل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

سيراميك

الشكل (٦) أختلاف نسبةالمعدن المنصهر في الالومينا

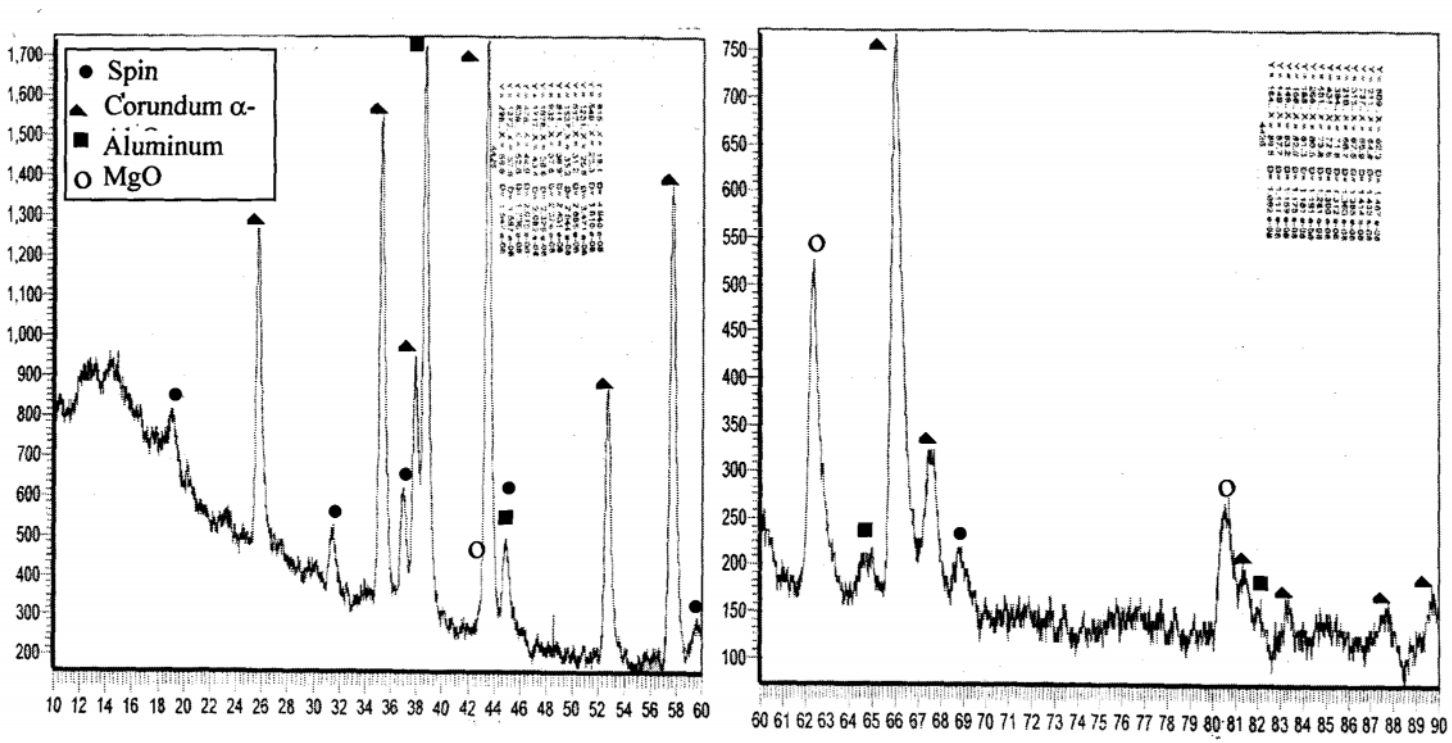
من الاعلى الى الاسفل (أ) المسامية ٣٨%(ب) المسامية ٣٠%(ج) المسامية ٢٥%

و اظهرت نتائج الفحص للنماذج المغمورة بمنصهر سبيكةالالمنيوم - مغنسيوم ظهور ثلاثة اطوارمتميزة وهي التي تمثل الاساس السيراميكي و طور الالمنيوم وطورسبنل Spinel الذي يتكون من تفاعل المغنسيوم و الالمنيوم كما يوضحها الشكل (٧).

عند فحص الصلادة المجهرية للمادة المتراكبة المنتجة في البحث لوحظ تواجد ثلاث مناطق مختلفة الصلادة الفيكرية كما موضح في الشكل (٨) الذي يمثل العلاقة بين سمك الطبقات (البعد من السطح الخارجي للمواد المتراكبة) وقيم الصلادة. إن صلادة الطبقة المعدنية المترسبة على السطح السيراميكي تبقى ثابتة، أما عند الوصول إلى منطقة تغلغل المنصهر المعدني في المسامات المفتوحة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المنارة للاستشارات

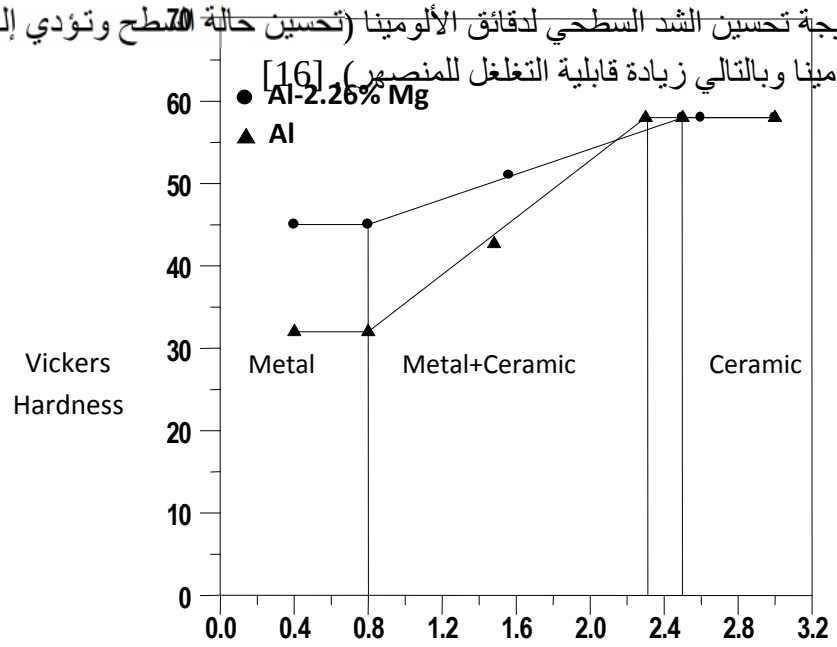


الشكل (7) مخطط حيود الأشعة السينية لمادة متراكبة عند تغطيس الأجسام السيراميكية في منصهر سبيكة ألمنيوم – 2.26% مغنسيوم

www.manaraa.com

للجسم السيراميكي فيلاحظ زيادة الصلادة تدريجيا إلى أن تصل إلى صلادة الأساس للمادة المركبة. أما سبب زيادة صلادة طبقة المادة المتراكبة الناتجة من تغلغل المعدن المنصهر في مسامات الجسم السيراميكي فيرجع إلى أن الطبقة متكونة من ثلاثة أطوار هي طور المحلول الصلب Solid Solution للسبيكة والطور سبنل الناتج من تفاعل المنصهر المعدني مع دقائق الألومينا السيراميكية وكذلك طور الألومينا. إن تواجد هذه الأطوار المختلفة الصلادة وبنسب مختلفة يؤدي إلى تغير قيم الصلادة فعند زيادة نسبة الألومينا وخاصة عند الطرف القريب من الجسم السيراميكي تزداد صلادة هذه المنطقة بسبب امتلاك الألومينا صلادة عالية إضافة إلى صلادة الطور الفقري الذي يتواجد بنسب مختلفة.

أما عند الطرف القريب من المعدن فأن نسبة طور المحلول الصلب (الطور المعدني) تكون عالية بسبب التغلغل الكلي للمعدن في المسامات السطحية للجسم السيراميكي لذلك فأن صلادة الطبقة تكون قليلة ولكنها أعلى من صلادة معدن السبيكة المستخدم ويمكن اعتبار الطرف القريب من هذه المنطقة التي هي عبارة عن مادة متراكبة ذات أساس معدني مقواة بدقائق الألومينا السيراميكية أما المنطقة القريبة من الجسم السيراميكي فيمكن اعتبارها مادة متراكبة ذات أساس سيراميكي محشوة بالمعدن لأن نسبة الألومينا تكون أعلى من نسبة المعدن بسبب التغلغل الجزئي للمعدن في هذه المنطقة الناتج من تأثير القوى الشعرية عند عدم وجود ضغط والذي يظهر تأثيره وجود المغنيسيوم في السبيكة إذ تؤ لمغنيسيوم في السبيكة إلى زيادة سمك طبقة التغلغل نتيجة تحسين الشد السطحي لدقائق الألومينا (تحسين حالة السطح وتؤدي إلى زيادة تبلل دقائق الألومينا وبالتالي زيادة قابلية التغلغل للمنصهر) [16].



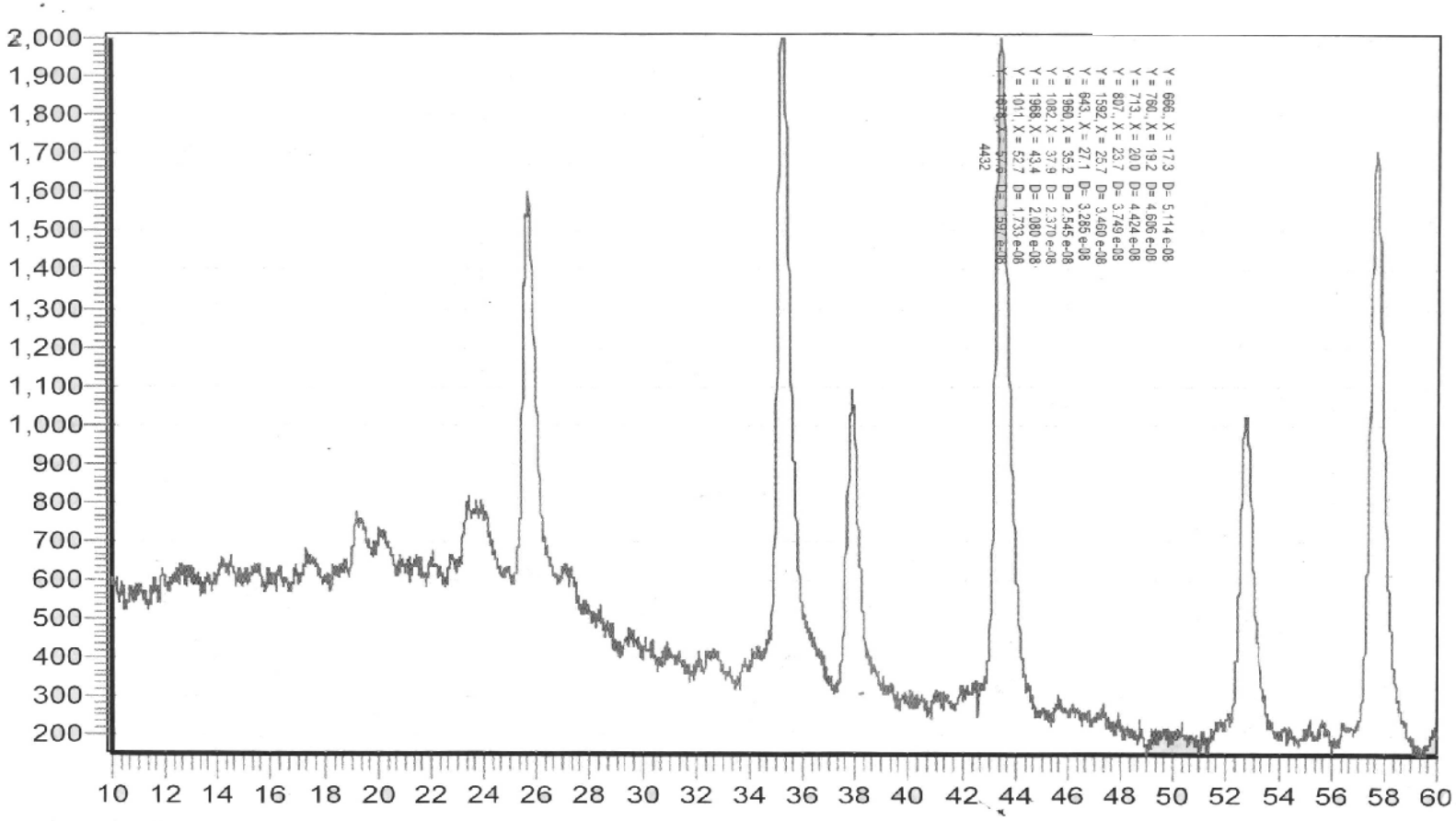
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Distance(mm)

الشكل (٨) العلاقة بين سمك الطبقات والصلادة

اما عند قياس متانة الربط عند درجة حرارة الغرفة للمادة المتراكبة الناتجة من عملية التغطيس باجراء اختبار الالتصاقية لوحظ ان قيم متانة الربط للمادة المتراكبة من الالومينا و المنيوم النقي تتراوح مابين(١٩-٢١) Mpa اماقيم متانة الربط للمادة المتراكبة من الالومينا و سبيكة المنيوم 2.26% مغنسيوم تتراوح ما بين (٢٢-٢٥) Mpa و ذلك بسبب تحسين قابلية اللتبلل عند وجود عنصر المغنسيوم و تكوين الأطوار السبائكية $MgOAl_2O_3$ الناتجة من تفاعل الألومينا مع المغنسيوم والتي تؤدي إلى زيادة الربط ما بين السيراميك والمعدن[16].

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



www.manaraa.com

الشكل (١) مخطط حيود الأشعة السينية لمسحوق الألومينا

الاستنتاجات

١.تكوين ثلاث مناطق مختلفة الصلادة وذات تراكيب والاطوار مختلفة هى المحلول الصلب وطور سبنل عند غمر النموذج السيراميكي بمنصهر المعادن.

٢.تزداد تبليلية النموذج السيراميكي بمنصهرالالمنيوم عند وجود عنصر المغنسيوم.

٣.تزداد الترابط بين النموذج السيراميكي والالمنيوم عند تكوين طور سبنل.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Refrences

[1] Askeland R.D. and Phule P.R. , "The Science and Engineering of Material" , 4th edition, PP.721,USA, 2003.

[2] Meyers M. A. an Chawla K.K. , "Mechanical Behavior of Materials" Hall, 1999.

[3] Bolten W., "Engineering Materials Technology", 3rd Edition, Reed Education & Professional Publishing Ltd., 1998.

[4] Smallman R. E. and Bishop R. J., "Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering", Reed Education Publishing Ltd., 1999.

[5] Thoreton D. A. and Colangclo V., "Fundamental of Engineering Material", 1st Edition A Wiley-Interscience Publication, 1985.

[6] Shen Y. L., "Thermal Expansion of Metal – Ceramic Composites: A 3- Dimensional Analysis", Materials Science and Engineering , Vol. A 252,PP. 269 – 275, 1998.

[7] Lwis M.H., "Ceramic to Be Joined 10 Years From Now",Designing Interfaces Elsevier Applied Science,1989.

[8] Cawley J. D., "Joining of Ceramic – Matrix composites", Ceramic Bulletin, Vo1. 68, No.9, PP.1619-1622 ,1989.

[9] Dalgleish B. J. etal., "The Strength of Fracture of Al_2O_3 Bond With Al Aalloys", Acta. Metal., Vo1.37, No.7, PP.1923 – 1931, 1989.

[10] Rohatgi P.K. etal., "Pressure Infiltration Technique for Synthesis of Aluminum-Fly Ash Particulate Composite", Materials Science and Engineering ,Vol. A 244,(1998)22-30.

[11] Ryan W. and Radford C., "White Wares: Production, Testing and Quality Control", Pergamon Press, PP.224-232, 1987.

[12] ASTM Standard No.:C373, 1987

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com

[13] Laurent V. etal., “Wettability of Monocrystalline Alumina by Al Between Its Melting Point and 1000^{o}C” , Acta. Metall., Vo1.36, No.7, PP.1797-1803, 1988.

[14] Shaw N. J., "Densification and Coarsining During Solid State Sintering of Ceramics", P.M.I. Vol.21, No.3,PP.6-20, 1989

[15] OH S.Y. etal., “Wetting of Ceramic Particulate With Liquid Al Alloys Part I ” Mettallurgical Transactions , Vo1.20A, PP.533-541, March 1989.

[16] OH S.Y etal., “Wetting Ceramic Particulate With Al Liquid Alloys Part I Experimental Techniques”, Metallurgical Transactions , Vo1.20A, PP.527-532, March 1989.

تم اجراء البحث في المعهد الفني - اربيل

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com