

استخدام طريقة الغمر أو (التغطية) لإنتاج مواد متراكبة

أ.م.د. نوال عزت عبد اللطيف* أ.م.د. اسراء عبد القادر*

م.م. سالم عزيز كاكو**

تاريخ التسلم: ٢٥/٥/٢٠٠٥

تاريخ القبول: ٢٧/٤/٢٠٠٦

الخلاصة

يهدف البحث الى إنتاج مواد متراكبة ذات أساس من سيراميك محاط بطبقة معدنية من الالمنيوم اوسبائكها باستخدام طريقة التغطية (Fused deposition method) وهي تقنية تجمع ما بين تكنولوجيا المساحيق وتقنية السباكة . تم استخدام مسحوق الالومينا بعد أن تم كبسه في قوالب معدنية تحت ضغوط كبس مختلفة (176,117,58 MPa) ثم أجراء عملية التلييد (Sintering) عند درجة حرارة (1100°C) ولمدة ساعتين. وبعد حساب نسبة المسامية للنماذج السيراميكية الملبدة تم غمرها بالمنصهرات المعدنية التي تم تسخينها الى درجة حرارة (700 °C) وبعد عملية الغمر تم التسخين داخل الفرن الى درجة حرارة (1000 °C) ولمدة نصف ساعة. بعدها تم تبريد المنصهر الى حرارة (650 °C). أجري الفحص المجهرى باستخدام المجهر الضوئي والمجهر الالكتروني المساح وكذلك الفحص باستخدام حيود الأشعة السينية لمعرفة تراكيب المواد المتراكبة الناتجة إضافة الى الربط الناتج ما بين طبقة المعدن المترسب والجسم السيراميكي إضافة الى تحديد الاطوار المتكونة في المادة المتراكبة. اظهرت نتائج الفحص إمكانية نجاح عملية التغطية بمنصهر سبيكة (الالمنيوم - مغنيسيوم) في الحصول على مواد متراكبة من السيراميك والمعدن وبشكل طبقات ، كما لوحظ أن قوة الربط ما بين الجسم السيراميكي والمعدن المترسب يعتمد على نسبة المغنيسيوم في المنصهر المعدني ، ويعتمد كذلك على تكوين الأطوار الفقرية $MgOAl_2O_3$ الناتجة من تفاعل الالومينا مع المغنيسيوم والتي تؤدي الى زيادة الربط ما بين السيراميك والمعدن.

الكلمات المرشدة: المواد المركبة، طريقة التشبيع، ميتالورجيا المساحيق.

Production Composite Materials by Fused Deposition Method

Abstract

The aim of this research is to produce composite materials with ceramic base covered by a layer of (Al) and its alloys by means of fused deposition technique. This technique represents new method and combines the powder technology with the casting technique. Al_2O_3 powder was used after having been pressed by different pressure (58,117 and 176 MPa) in metal molds. The sintering process has been preformed at 1100 °C for two hours. After that, the porosity percentage has been measured and the samples were immersed in the molten metals heated to 700°C. Ultirnatly, these samples were heated to about 1000 °C by a furnace for half an hour. Then, the samples were cooled to 650 °C and examined by an optical microscope and the scanning electron microscope. Moreover, the x-ray diffraction for these sample has been employed to define the structure of the resulting composite as well as to define the resulting bond between the deposited metal layer and the ceramic matrix in addition to characterize the existing phases within the composite material.

* قسم هندسة الانتاج والمعادن / الجامعة التكنولوجية

** قسم الهندسة الميكانيكية / جامعة صلاح الدين

The testing results revealed that the immersing (dipping) process can be successfully done in the molten metals of Al-Mg alloy to obtain composite materials of ceramic base with metal layers. Moreover, the results showed that the bond between the ceramic substrate and the deposited metal depends on the percentage of Mg contained in the molten alloy. Furthermore this bond depends upon the formation of spinel phases ($MgOAl_2O_3$) resulting from the reaction between the Al_2O_3 with Mg which leads to increase the bond between the ceramic and the metal layer.

ثم الكيس المتوازن بضغط 170Mpa ثم إجراء التليد الأولي للنماذج عند $1700^{\circ}C$ لمدة ساعتين بوجود جو من غاز النروجين بعدها أجريت عملية التشبييع بالالمنيوم النقي عند درجة حرارة $1240^{\circ}C$ و $1260^{\circ}C$ في فرن فراغي لفترات زمنية مختلفة (30,40,50) دقيقة وأظهرت النتائج بان عمق التشبييع هو دالة خطية مع الزمن ويزداد معدل التشبييع بزيادة حجم المسامات في المادة السيراميكية (13).

كما قام عدد من الباحثين بتطوير مادة متراكبة ذات اساس سيراميكي CMCs باستخدام تقنية التشبييع التفاعلي للأجزاء السيراميكية من AlN, SiC, Si_3N_4 تحتوي على المسامات إذ تم تحضير الجسم السيراميكي ثم أجريت عملية التشبييع بغمر النماذج في حمام يحتوي على منصهر سبيكة الالمنيوم عند درجة حرارة $(850-950)^{\circ}C$ (14).

وقد قام باحثون آخر (15) بتصنيع مادة متراكبة من Mullite/Al بطريقة الترسيب بالحالة المنصهرة Fused deposition إذ تم تصنيع هياكل من المولايث $3Al_2O_3.2SiO_2$ تحتوي على مسامات مترابطة باستخدام طريقة الشمع المفقود ومن ثم غمرها في منصهر الالمنيوم عند $750^{\circ}C$ لغرض حدوث عملية التشبييع وملء الشبكة المسامية للمولايث.

يهدف البحث الحالي الى انتاج مواد متراكبة من اساس سيراميكي، تترسب على سطحه طبقات معدنية لغرض تسهيل عملية الربط ولحام المواد السيراميكية مع بعضها أو مع المواد المعدنية مع وجود مناطق أخرى ناتجة من تغلغل المنصهر المعدني

المقدمة

بدأ الاهتمام في السنوات الماضية بإنتاج مواد متراكبة من مواد معدنية ومواد سيراميكية لغرض تحسين المقاومة strength والجماءة stiffness ومقاومة البلى wear resistance والتحمل لدرجات الحرارة العالية (1,2) لغرض استخدامها كبدايل لكثير من السبائك التقليدية. ولهذا الغرض فقد استخدمت تقنيات مختلفة للإنتاج منها تكنولوجيا المساحيق (3,4) وتقنية التشبييع (5) وطرائق الترسيب الحراري والكيميائي والفيزيائي (6) وغيرها. ومع تطور التكنولوجيا والحاجة الى مواد سيراميكية تستخدم في تطبيقات هندسية مختلفة ابتداء من أدوات القطع وانتهاء بمحركات الاحتراق الداخلي للمركبات الفضائية (7) ازداد التركيز على تحسين خواص هذه المواد وتطويرها وذلك بإنتاج مواد متراكبة ذات اساس من السيراميك مترابطة مع مواد معدنية Ceramic-Matrix Composite (8,9).

أن أهم استخدامات هذه المواد التراكبة في الوقت الحاضر يتركز في الهياكل Structure Materials وفي التطبيقات الالكترونية (10,11) والمغناطيسية والبصرية كما ظهرت الحاجة الى استخدامها في تطبيقات السيطرة الحرارية Thermal Management مثل اللوحات الالكترونية Electronic Packaging (12).

استخدمت تقنية التشبييع Infiltration لدراسة إمكانية تصنيع مواد متراكبة من الالمنيوم - نتريد الالمنيوم AlN . إذ تم خلط مسحوق نتريد الالمنيوم ذي حجم حبيبية $2.5\mu m$ و $3.7\mu m$ ثم أجريت عملية التشكيل في قالب فولاذية بضغط 69Mpa

من العيوب لأجراء العمليات اللاحقة . لقد تم حساب المسامية للنماذج الملبدة باستخدام مبدأ أرخميدس وباستخدام المواصفات القياسية^(١٦) وكم يلي:-

١- وزن النماذج باستخدام ميزان كهربائي رقمي نوع Metler وبدقة 0.0001gm بعد ان تم تجفيفها عند 120°C لمدة خمس ساعات باستخدام فرن كهربائي نوع Heraeus وسجل وزن النموذج وهو بحالة جافة D.

٢- غمرت النماذج في ماء مغلي لمدة خمس ساعات وتركزت في الماء لمدة 24 ساعة وسجل وزن النماذج وهي موضوعة في شبكة مغمورة في الماء ومعلقة فيه وسجل الوزن.

٣- أخرجت النماذج الملبدة ومسحت بقطعة قماش ووزنت مرة أخرى وهي جافة السطح وسجل الوزن S وتم حساب المسامية باستخدام المعادلة التالية:-

$$\text{Apparent porosity} = S - D \div S - 1 * 100\%$$

حيث ان :-

D:- وزن النموذج وهو بحالة جافة (gm)
S:- وزن النموذج وهو مشبع وجاف السطح (gm)

I :- وزن النموذج وهو مغمور في الماء ومعلق فيه (gm).

تم بعد ذلك تغطيس النماذج او غمرها في منصره مكون من ثلاث مواد معدنية هي الالمنيوم النقي ، سبيكة المنيوم - 2.26% مغنيسيوم وسبيكة المنيوم - 5.9% مغنيسيوم حيث اجريت عملية الغمر في بواق مصنوعة من الالومينا بعد ان تم وضع الاجسام السيراميكية الحاوية على نسب مختلفة من السامية في داخل سلة معدنية من الصلب الكربوني تم تثبيتها على إحدى البواق وتم التسخين الى درجة حرارة 700°C اما المعادن أو السبائك فقد تم صهرها في بودقة ثانية في فرن كهربائي نوع Carbolite عند درجة حرارة بحدود 700°C . بعد ذلك تم اخراج البواق من الفرن ثم صب المنصهرات على الاجسام السيراميكية الموضوعة في داخل السلة

داخل مسامات الجسم السيراميكي عن طريق غمر أجسام سيراميكية مهيئة مسبقا في المنصهرات المعدنية.

الجزء العملي

لقد تم استخدام مسحوق الالومينا Al_2O_3 عالي النقاوة والمجهز من قبل شركة ALM-41-SUMITO-CHMICH-COMPANY-UK أذ يتراوح حجمها الحبيبي بين $(1-11) \mu m$. كما تم قياس الحجم الحبيبي للالومينا والتوزيع الحجمي لها باستخدام جهاز Granometer من نوع Laser Analyzer 22-61 ويوضح الجدول (1) نتائج فحص حيود الاشعة السينية للمسحوق.

كما تم استخدام ثلاثة منصهرات معدنية بتراكيب مختلفة تم تحضيرها هي الالمنيوم وسبيكة الالمنيوم الحاوية على 2.26% مغنيسيوم وسبيكة الالمنيوم الحاوية على 5.9% مغنيسيوم . وتوضح الجداول (2,3,4) التحليل الكيمياوي للمواد المستخدمة

تم اجراء التشكيل على مسحوق الالومينا بعملية الكبس وباستخدام ضغوط كبس مختلفة هي 58-117-176 Mpa لإنتاج الاجسام السيراميكية حيث تم الكبس باستخدام قالب مصنوع من الصلب السبائكي بقطر 10.4mm وباستخدام مكبس هيدروليكي احادي التأثير مع ابقاء الضغط لمدة 60 sec بعد ذلك أجريت عملية التلييد Sintering على النماذج المكبوسة باستخدام الفرن الكهربائي نوع Carbolite

عند درجة حرارة 1100°C وبمعدل تسخين $6^\circ C/min$ لضمان عدم تكوين الشقوق والفجوات Voids أو حدوث الانفصال

على شكل طبقات Delamination وضعت النماذج على قواعد من الالومينا النقية . وتم ابقاء النماذج لفترة زمنية مقدارها ساعتين ثم التبريد بعد ذلك الى درجة حرارة الغرفة . بعد ذلك أجري الفحص العياني على النماذج الملبدة باستخدام عدسة مكبرة يدوية صغيرة للتعرف على التغيرات والشقوق والفجوات على السطح الخارجي للنماذج وتم اختيار النماذج الخالية

ومدى تأثيرها على خواص المواد المترابكة المنتجة.

النتائج والمناقشة

لوحظ من التجارب الأولية التي أجريت على الاجسام السيراميكية التي تم غمرها بمنصهر المعادن بعد التسخين الى درجات حرارية مختلفة وفترات زمنية مختلفة ما يلي :-

عند تسخين النماذج السيراميكية في المنصهر المعدني الى درجة حرارة 1000°C لفترات زمنية (1,0.5) ساعة ثم اخراج النماذج من المنصهر عند هذه الدرجة لم يتم الحصول على طبقة معدنية بسمك كافي على سطح النماذج السيراميكية كما لوحظ تقشر وانفصال لهذه الطبقة الرقيقة جدا وعدم ارتباطها بالسطح اضافة الى حدوث شقوق كبيرة في الاجسام السيراميكية بسبب الاجهادات الحرارية Thermal Stress وكما موضح في الشكل (1) . وعند تسخين النماذج السيراميكية في المنصهر الى درجة حرارة 1000°C والابقاء عند هذه الدرجة لفترات زمنية مختلفة (1,0.5) ساعة ثم التبريد الى درجة حرارة 650°C ، لوحظ الحصول على طبقة معدنية بسمك جيد مترسب على سطح الجسم السيراميكي وعند زيادة زمن الابقاء في المنصهر لوحظ حدوث تشبيع شبه كامل بمنصهر المعادن وكما يلاحظ في الشكل (2) .

ولذلك فقد تم اختيار زمن الابقاء الملائم والذي استخدم لجميع التجارب هو (0.5) ساعة ولمعرفة تأثير سرعة سحب النماذج السيراميكية من المنصهر وتأثيرها على المواد المترابكة الناتجة فقد أجريت عملية الغمر والتسخين ثم التبريد الى درجة 650°C وبعد ذلك تم سحب النماذج من المنصهر بمعدل 0.6cm/sec واخراجها مباشرة من المنصهر ، في هذه الحالة لوحظ عدم الحصول على السمك الكافي للطبقة المعدنية المترسبة على السطح وهذا غير مرغوب فيه اذ ان هذه الطبقة الرقيقة قد تنصهر وتزول عند الاستخدام

المعدنية وغمرها بمنصهر المعادن ثم تم اعادتها مرة اخرى الى الفرن ورفع درجة حرارة الفرن الى 1000°C مع ابقاء النماذج داخل المنصهرات عند هذه الدرجة الحرارية .ولغرض تثبيت الظروف المستخدمة في البحث تم اجراء عملية الغمر على الاجسام السيراميكية التي تم كبسها عند ضغوط كبس مختلفة وتم تلييدها عند درجة حرارة 1100°C وكما يلي :-

١ - اجراء عملية الغمر والتسخين الى درجة حرارة 1000°C وابقاء النماذج في المنصهر المعدني عند هذه الدرجة لآزمان مختلفة هي نصف ساعة وساعة كاملة.

٢ - اجراء عملية الغمر والتسخين الى درجة حرارة 1000°C ثم تبريد المنصهر الى درجة حرارة 650°C وبعد التأكد من درجة حرارة المنصهر باستخدام مزدوج حراري ثم اخراج النماذج من المنصهر عند هذه الدرجة وبمحاولتين هي :-

أ - التبريد الى درجة حرارة 650°C ثم اخراج النماذج من المنصهر بمعدل 0.6cm/sec .

ب - التبريد الى درجة حرارة 650°C ثم اخراج النماذج من المنصهر بمعدل 0.3cm/sec .

لغرض اجراء الفحص المجهرى للنماذج المنتجة تم اجراء عملية التتعيم باستخدام ورق تتعيم من نوع كريبيد السليكون وبالدرجات التالية (220,500,1000) على التوالي .كما أجريت بعد ذلك عملية الاضهار باستخدام حامض HF لاضهار التراكيب المجهرية للمواد المترابكة والسطح البيني .كما استخدم المجهر الالكتروني الماسح نوع Cambridge Instruments Steroscan360 لتوضيح كيفية الترابط الحاصل بين الجسم السيراميكي والمعدن ا

تم اجراء الفحص باستخدام جهاز حيود الاشعة السينية XRD نوع Philips لغرض معرفة نوع الاطوار المتواجدة نتيجة التفاعل ما بين المنصهر المعدني والالومينا

يمكن الحصول على طبقة رقيقة من معدن الالمنيوم مترسبة على سطح الجسم السيراميكي ولكن لوحظ ايضا عدم وجود ترابط كافي مابين طبقة المعدن والسطح وكما ملاحظ من الشكل (7) وعند الفحص بحيود الاشعة السينية لم تظهر أطوار معدن الالومينا التي تمثل الجسم السيراميكي ان عدم وجود أطوار ناتجة من تفاعل الالمنيوم مع الالومينا يقلل من قوى الربط مابين طبقة المعدن والجسم السيراميكي وبالتالي الى سهولة انفصال الطبقات عن بعضها البعض ، وقد يعزى السبب كذلك الى وجود الاجهات الداخلية نتيجة اختلاف معاملات التمدد مابين الالومينا والالمنيوم⁽¹⁷⁾. أما عند غمر النماذج السيراميكية في منصهر سبيكة الالمنيوم - مغنيسيوم الحاوية على نسب مختلفة من المغنيسيوم فان صور المجهر الالكتروني الماسح أظهرت تواجد مناطق مختلفة بشكل طبقات متميزة هي طبقة المعدن المترسب على سطح النموذج السيراميكي وطبقة أخرى عبارة عن خليط من السيراميك والمعدن يمكن اعتبارها طبقة من مادة متراكبة دقائقية متكونة من دقائق الالومينا ومغمورة بالمعدن الذي يملأ المسامات المتواجدة في هيكل النموذج السيراميكي أما الطبقة الثالثة فهي مادة الاساس السيراميكية والشكل (8) يوضح هذه الطبقات كما لوحظ زيادة نسبة المغنيسيوم في منصهر السبيكة المستخدمة في الغمر (عند ثبوت نسبة المسامية) يؤدي كذلك الى زيادة سمك طبقة المادة المتراكبة الناتجة من تغلغل المعدن بين مسافات النموذج السيراميكي وكما موضح في الشكل (9). أن تواجد المغنيسيوم في المنصهر المعدني يؤدي الى تغيير خواص السطح لدقائق الالومينا عن طريق تغيير الشد السطحي وتقليل زاوية الترطيب مابين الدقائق السيراميكية والمعدن وبالتالي زيادة الربط بين المعدن والسيراميك^(18,19). كما يزيد من قوى الربط بينها وبين المعدن. كما ان زيادة سمك هذه الطبقة يؤدي الى تقليل الاجهادات الداخلية الناتجة نتيجة اختلاف معاملات التمدد بين الاطوار

أما عند اخراج النماذج ببطء من المنصهر وبمعدل سحب 0.3 cm/sec فقد لوحظ انه بالامكان الحصول على طبقة معدنية مترسبة على سطح الجسم السيراميكي وبسمك أكثر من 0.5mm وكما موضح في الشكل (3)، كما لوحظ ظهور مناطق أخرى مابين طبقة المعدن المترسب وبين الجسم السيراميكي تدعى Spinel ناتجة من التفاعل بين سبيكة الالمنيوم والالومينا إضافة الى حدوث تغلغل جزئي للمعدن في المناطق القريبة من سطح الجسم السيراميكي وكما يظهر في الشكل (4).

من النتائج السابقة تم تثبيت ظروف عملية الغمر بالحالة السائلة لانتاج المادة المتراكبة وكمايلي :-

- تسخين النماذج السيراميكية في منصهر المعادن الى درجة 1000°C ثم ابقاها عند هذه الدرجة لمدة 0.5 ساعة .

- اجراء عملية التبريد للمنصهر المعدني الى درجة 650°C ثم سحب النماذج من المنصهر بمعدل 0.3cm/sec .

تأثير ضغط الكبس ونسبة المسامية

لوحظ من خلال الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح أن نسبة المسامية العالية في الجسم السيراميكي (أو ضغط الكبس القليل) تؤدي الى حدوث تهشم أو تكسر للسطح السيراميكي عند غمره بالمنصهر المعدني كما انها تزيد من احتمالية دخول المنصهر المعدني الى داخل الجسم السيراميكي نتيجة تأثير القوة الشعرية أما عند تقليل نسبة المسامية (زيادة ضغط الكبس) فان نسبة التغلغل تقل ويقل سمك الطبقة المتراكبة الناتجة من تغلغل المعدن مابين السيراميك وكما يلاحظ في الشكل (5) وكما تقل النسبة الحجمية للمعدن المتواجد مقارنة بالنسبة الحجمية لدقائق الالومينا في هذه الطبقة وكما يلاحظ من الشكل (6).

تأثير نوع المنصهر المعدني

لوحظ من نتائج الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح للنماذج السيراميكية التي تم غمرها بمنصهر معدن الالمنيوم فقط انه

والمترسب بين مسامات الجسم السيراميكي والطبقة الثالثة هي مادة الأساس السيراميكية.

٤- لوحظ عند الفحص بجيود الأشعة السينية ظهور ثلاثة أطوار متميزة هي الألومينا التي تمثل مادة الأساس السيراميكية وطور الألمنيوم وكذلك الطور الفقري $MgOAl_2O_3$ مما يدل على حدوث تفاعل بين الألومينا والمغنيسيوم وبالتالي تساعد على زيادة قوة الترابط ما بين المعدن والسيراميك.

المصادر

- 1-Kutz M. " Mechanical Engineering Handbook", John Wiley and Sons ,Inc.pp.131-132,1998.
- 2-Chaklader A. and Linger K.R., "Ceramic metal composites using metalcoated alumina powder", Composites, pp.239-243, October 1998.
- 3-Harrigan C.W., "Commercial processing of metal matrix composites", Mat. Scie and Eng. A244, pp.75, 1998.
- 4-Rocher J., Quenisset J.M. and Naslain R., " Wetting improvement of carbon on silicon carbide by Al alloys based on a K_2ZrF_6 surface treatment :application to composite material casting". J. of Mat .Scie ., Vol.24, pp 2697, 1989.
- 5- JE, J.H., and Leej., "A study on deposition rate of pyrolytic carbon in tumbling bed "J. of Mat. Scie., Vol.20., pp.647., 1985.
- 6-Buluhan S.T ., "Ceramic Whisker and particulate Composites Properties, Reliability and Application ". Ceramic Bulletin ., Vol.68., No.2., pp.387., 1989.
- 7-Lwis M.H., "Ceramic to be joined 10 years from now "Desingning interfaces, Elsevier Applied science, pp., 271., 1988.

المتكونة وبالتالي التقليل من احتمالية انفصال الطبقة المعدنية عن الأساس السيراميكي . أن صور المجهر الإلكتروني الماسح أظهرت كذلك تواجد أطوار تحيط بدقائق الألومينا المغمورة بالمنصهر المعدني وكما يظهر في الشكل (10) واكدته نتائج حيود الأشعة السينية وكما موضح في الجدول (5) و (6). أن هذه النتائج تؤكد حدوث تفاعل ما بين الألومينا والمنصهر المعدني الحاوي على المغنيسيوم وتكوين الطور الفقري $MgAl_2O_3, MgOAl_2O_3$ الذي يتكون على السطح البيني ما بين دقائق الألومينا السيراميكية والطور المعدني وبذلك تزداد قوى الربط بينهما وأن احتمالية تكوين الطور الفقري وزيادة نسبة توجده تزداد مع زيادة نسبة المغنيسيوم في السبيكة بسبب زيادة قابلية الترطيب للألومينا بالمنصهر وبالتالي زيادة كمية المعدن المتلامس مع دقائق الألومينا ومن ثم زيادة التفاعل وتكوين الأطوار الفقري.

أن تكوين هذه الأطوار على السطوح البينية يزيد من احتمالية نجاح الطريقة المستخدمة في البحث للحصول على مواد مترابكة ما بين المعدن والسيراميك بشكل طبقات مترابطة وذات خواص جيدة.

الاستنتاجات

- ١- أن زيادة مسامية الجسم السيراميكي تؤدي إلى تقليل الترابط بين الجسم السيراميكي والمعدن المترسب على سطحه .
- ٢- عدم حصول ترابط بين السطح السيراميكي وبين الطبقة المعدنية عند غمر الجسم السيراميكي بمنصهر الألمنيوم النقي.
- ٣- ظهور مناطق بشكل طبقات عند غمر الجسم السيراميكي بمنصهر سبيكة الألمنيوم - مغنيسيوم الحاوية على نسب مختلفة من المغنيسيوم وهذه الطبقات هي الطبقة الأولى المعدن المترسب على سطح الجسم السيراميكي ، والطبقة الثانية هي خليط من السيراميك والمعدن المتغلغل

8-Ruhle M.and Mader W., "Structure and Chemistry of metal-Ceramic", Desining interfaces ,Elsevier Applied science ,pp.,145.,1989.

9-Requena J.,Moreno R.,and Moya J.S., "Alumina and Alumina Zirconia Multilayer Composites Obtained by Slip Casting" .,J.,Am.,Ceram.Soc.,Vol.72., No.,8.,pp1511.,1989.

10-Shen Y.L., "Termal expansion of metal-ceramic composites:a3 dimensional analysis", Mate.,scie And Eng., Vol.,A252., pp .,269 .,1998.

11-Toy C.and Scott W.D., " Ceramic-Metalo Composite produced by Meltinfiltration", J.A.Ceramic.,Soc.,V ol.73No.,1.,pp.,97.,1990.

12-Kevorkijan M.V., "proceeding of the American Society for Composites". ,Technomic publishing Co.Inc.,pp.,972., 1997.

13BandyopadhyayA.,:Functional-ly Designed 3 -3 Mollite aluminumcomposites" .,Advance-d Engineering materials , .,no.3 pp.,199.,1999.

14-Ryan W.and Radford C., "White Wares :production. ,testing and Quality control ",pergamon press .,pp.,224., 1987.

14-Ryan W .and Radford C., "White Wares:Production .,Testing and QualityControl "Pergamon press ,pp .,224.,1987.

15- ASTM :C373, 1987.

16-Martin G., "Encyclopedia of composite materials and components" John Wiley and Sons .,pp.,588.,1983.

جدول (1) يوضح نتائج حيود الأشعة السينية لمسحوق الألومينا المستخدم

2θ degree	dm n m	ds n m	Phase	Plane Hkl
25.7	0.3463	0.348	Corundum α -Al ₂ O ₃	[012]
35.2	0.2547	0.255	Corundum α -Al ₂ O ₃	[104]
37.9	0.2371	0.238	Corundum α -Al ₂ O ₃	[110]
43.4	0.2083	0.209	Corundum α -Al ₂ O ₃	[113]
52.7	0.1735	0.174	Corundum α -Al ₂ O ₃	[024]
57.6	0.1598	0.16	Corundum α -Al ₂ O ₃	[116]

جدول (2) يبين التحليل الكميائي للألمنيوم

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

جدول (3) يبين التحليل الكميائي لسبيكة الألمنيوم - 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

جدول (4) يبين التحليل الكيميائي لسبيكة ألومنيوم - 5.9% مغنسيوم

Cu %	Fe %	Mn %	Zn %	Mg %	Si %	Al %
0.1324	0.2419	0.1132	0.3355	5.920	0.8934	Rem

الجدول (5). يوضح نتائج حيود الاشعة السينية لمادة متراكبة عند تسليط ضغط كبس

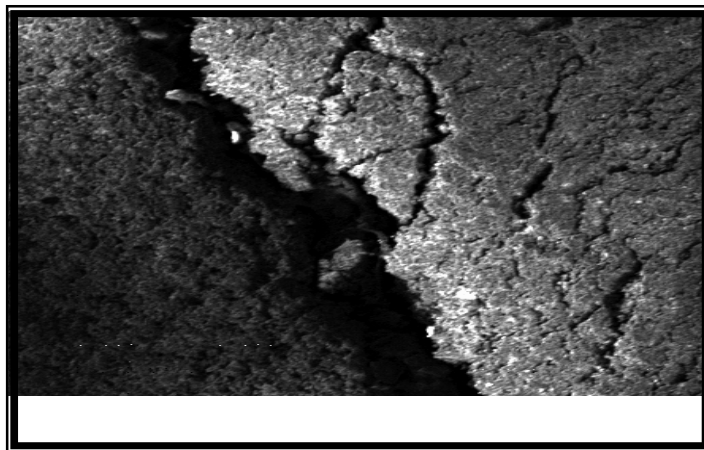
17Mpa وعند الغمر والتغطيس في سبيكة الالمنيوم-2.26% مغنسيوم

20 degree	dm Measure d nm	ds Standard nm	Phase	Plane Hkl
19.1	0.4642	0.466	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[111]
31.2	0.2864	0.2858	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	
36.9	0.2433	0.2437	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[311]
44.9	0.2017	0.202	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[420]
59.6	0.1549	0.155	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[511]
68.7	0.1365	0.1366	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[531]
38.6	0.233	0.234	Al	[111]
44.9	0.2017	0.202	Al	[200]
64.9	0.1435	0.1431	Al	[220]
82	0.1174	0.1169	Al	[222]
25.6	0.3476	0.348	Corundum α-AL ₂ O ₃	[012]
35.2	0.2547	0.255	Corundum α-AL ₂ O ₃	[104]
37.8	0.2377	0.238	Corundum α-AL ₂ O ₃	[110]
43.4	0.2083	0.209	Corundum α-AL ₂ O ₃	[113]
52.6	0.1738	0.174	Corundum α-AL ₂ O ₃	[030]
57.6	0.1598	0.16	Corundum α-AL ₂ O ₃	[030]
65.9	0.1416	0.14	Corundum α-AL ₂ O ₃	[124]
67.5	0.1386	0.137	Corundum α-AL ₂ O ₃	[030]
81.3	0.1181	0.1169	Corundum α-AL ₂ O ₃	[222]
83.2	0.116	0.116	Corundum α-AL ₂ O ₃	[306]
43	0.2101	0.2106	MgO	*
62.3	0.1489	0.1489	MgO	*
80.5	0.1192	0.12	MgO	[569]

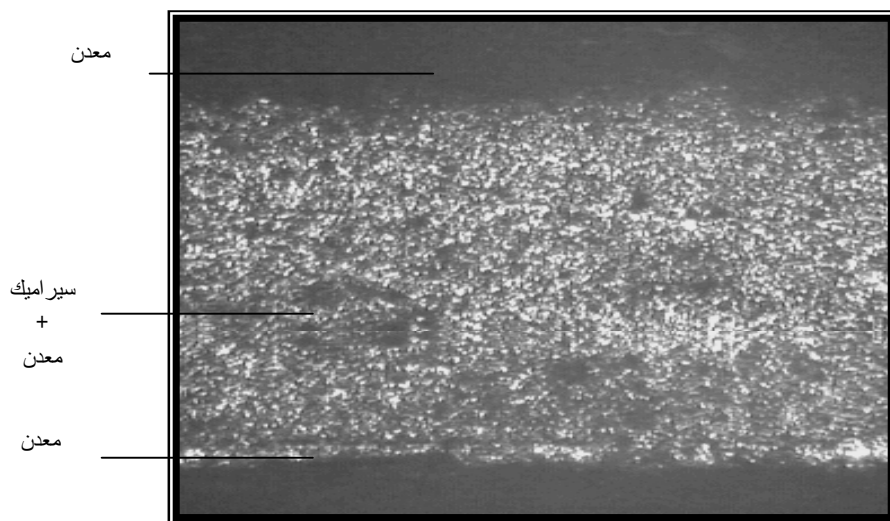
الجدول (6) . يوضح نتائج حيود الأشعة السينية لمادة متراكبة عند تسليط ضغط كبس 17Mpa

وعند الغمر والتغطيس في سبيكة الألمنيوم -5.9% مغنيسيوم

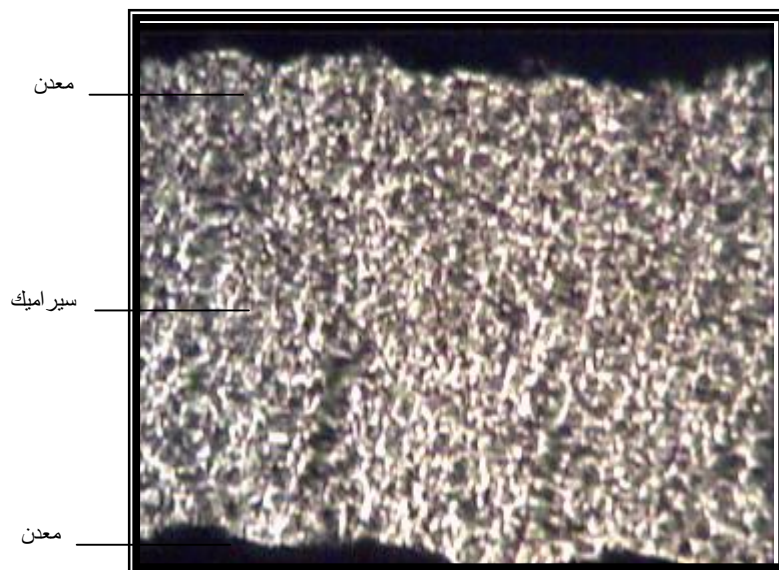
20 degree	dm Measured nm	ds Standard nm	Phase	Plane Hkl
19	0.4666	0.466	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[111]
31.3	0.2855	0.2858	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[220]
36.9	0.2433	0.244	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[311]
44.8	0.2021	0.202	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[400]
55.7	0.1648	0.165	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[422]
56	0.1640	0.165	Spinel(MgAL ₂ O ₄)	[422]
59.5	0.1552	0.1554	Al	[511]
59.7	0.1547	0.1555	Al	[511]
38.4	0.2342	0.234	Al	[111]
44.8	0.2021	0.202	Al	[200]
65.5	0.1423	0.1431	Corundum	[220]
78	0.1223	0.1221	Corundum	[311]
82.9	0.1163	0.166	Corundum	[222]
25.7	0.3463	0.348	Corundum	[012]
35.2	0.2547	0.255	Corundum	[104]
43.5	0.2078	0.209	Corundum	[113]
52.6	0.1738	0.174	Corundum	[030]
52.9	0.1729	0.174	Corundum	[030]
57.6	0.1598	0.16	Corundum	[116]
57.8	0.1593	0.16	Corundum	[116]
66.6	0.1403	0.1404	Corundum	[124]
68.5	0.1368	0.137	Corundum	[030]
81	0.1186	0.118	Corundum	[220]



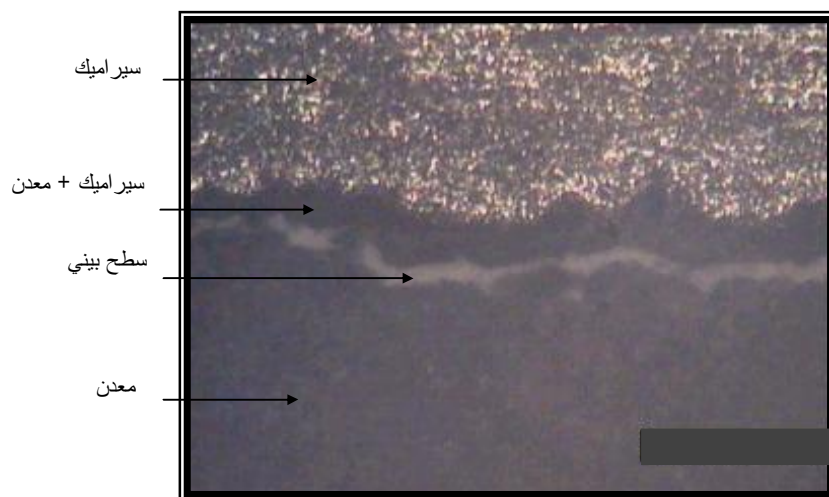
شكل (1). ظهور الشقوق في الجسم السيراميكي. قوة التكبير = 450X



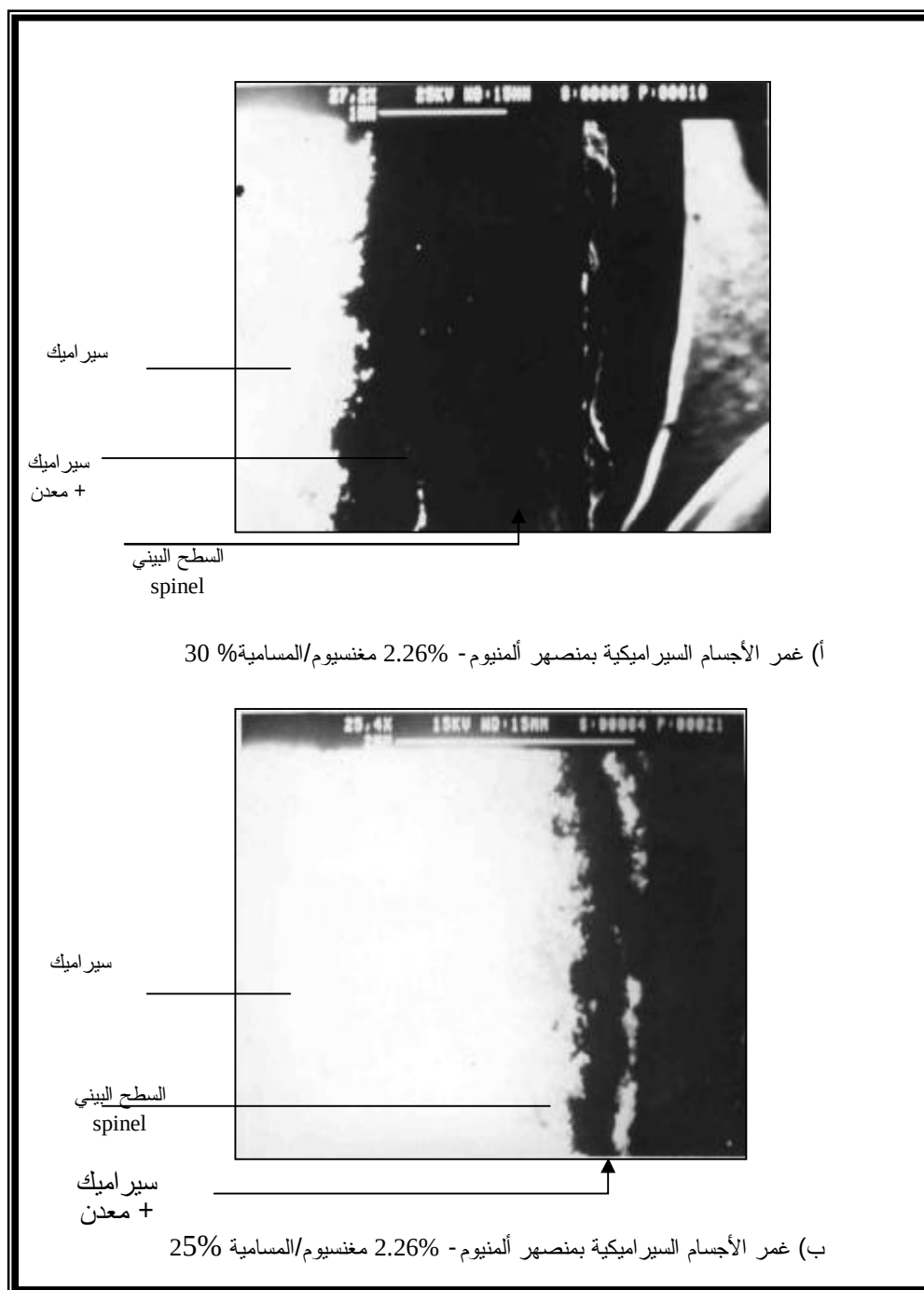
شكل (2) حدوث تشبييع شبه كامل للجسم السيراميكي بالمعدن المنصهر. قوة التكبير = 250X



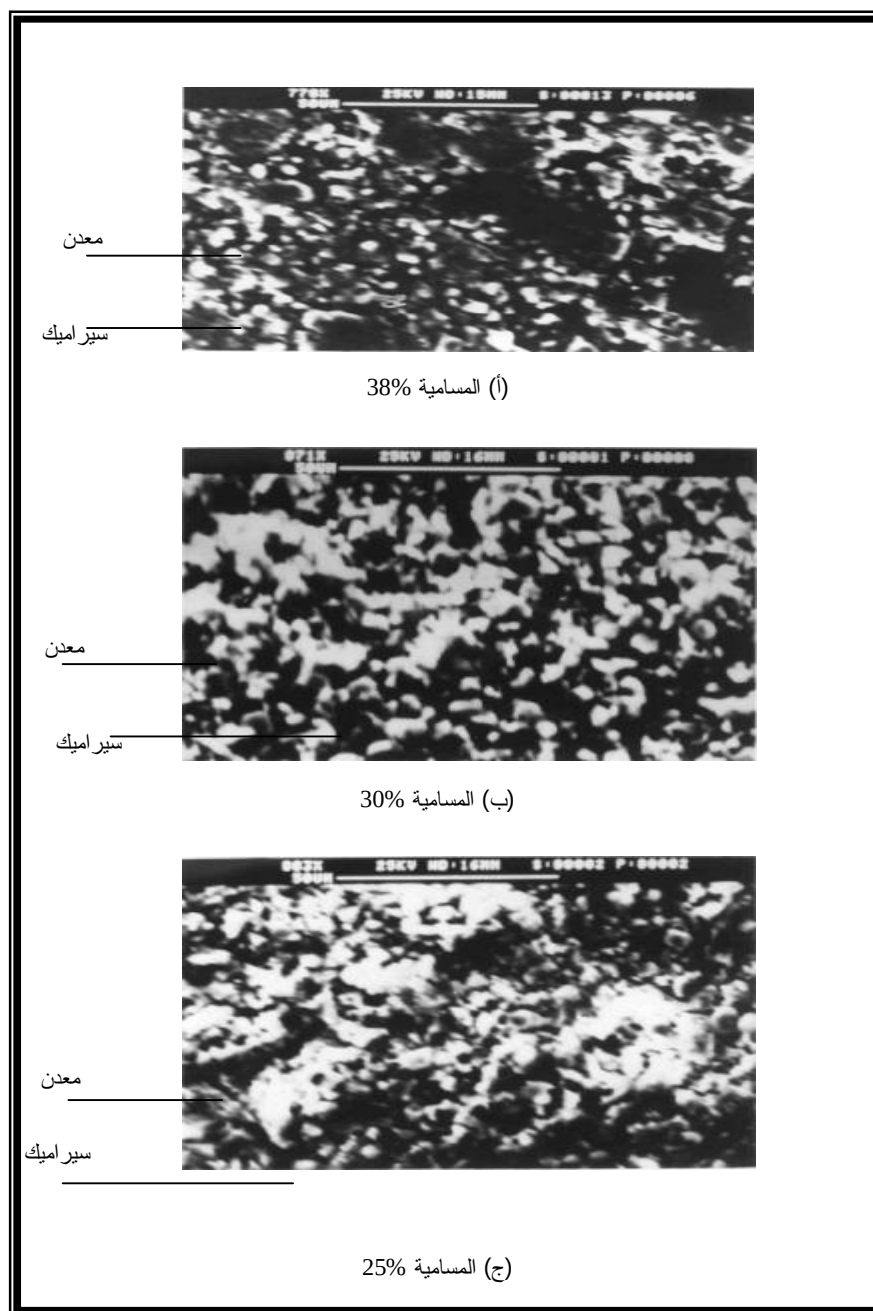
شكل (3). المادة المتراكبة المنتجة . قوة التكبير = 100X



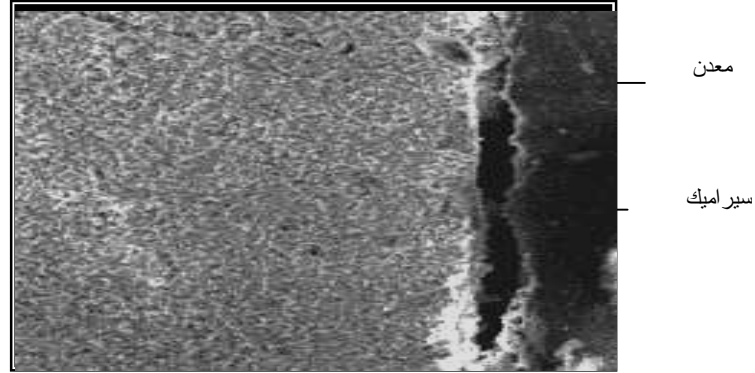
شكل (4) . ظهور مناطق ما بين الجسم السيراميكي والمعدن المترسب. قوة التكبير = 250



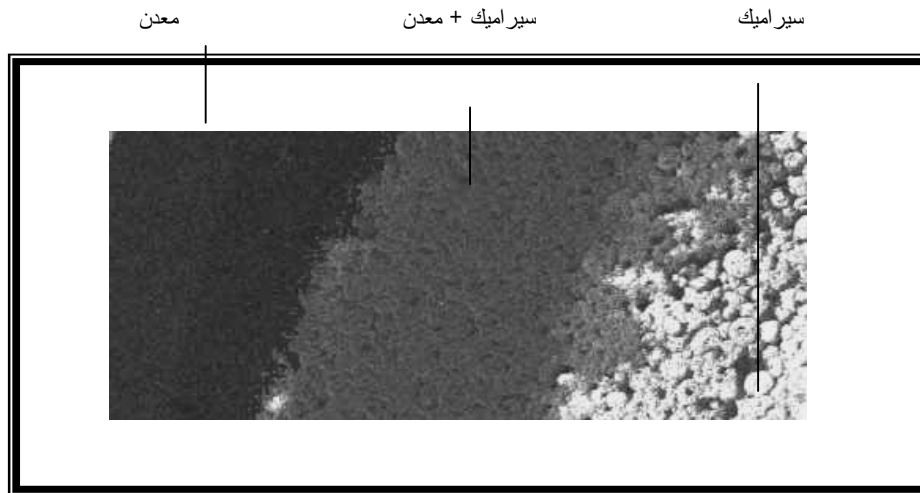
شكل (5). يوضح تأثير نسبة المسامية على سمك الطبقة المترابطة الناتجة من تغلغل المعدن



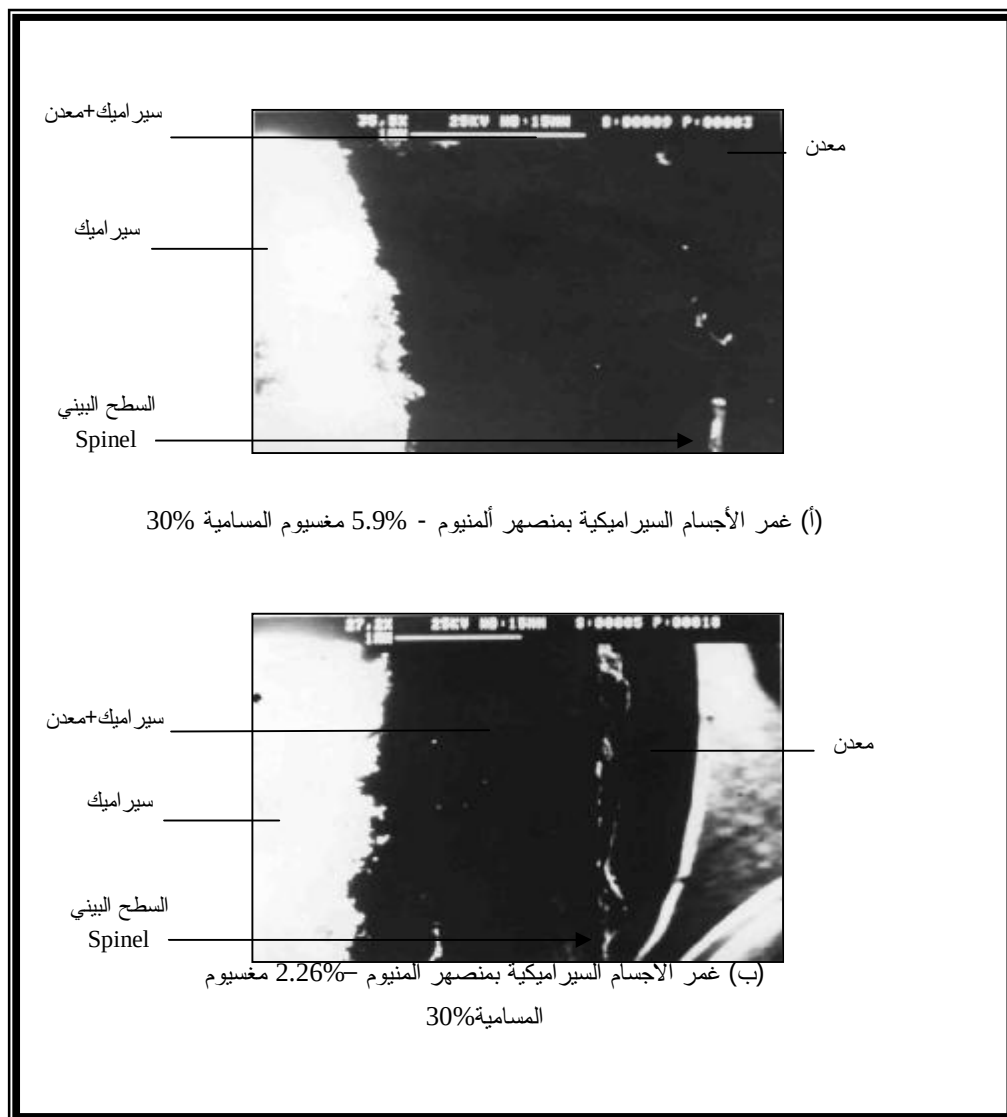
شكل (6). صور المجهر الإلكتروني الماسح توضح اختلاف نسبة تغلغل المعدن
في الجسم السيراميكي



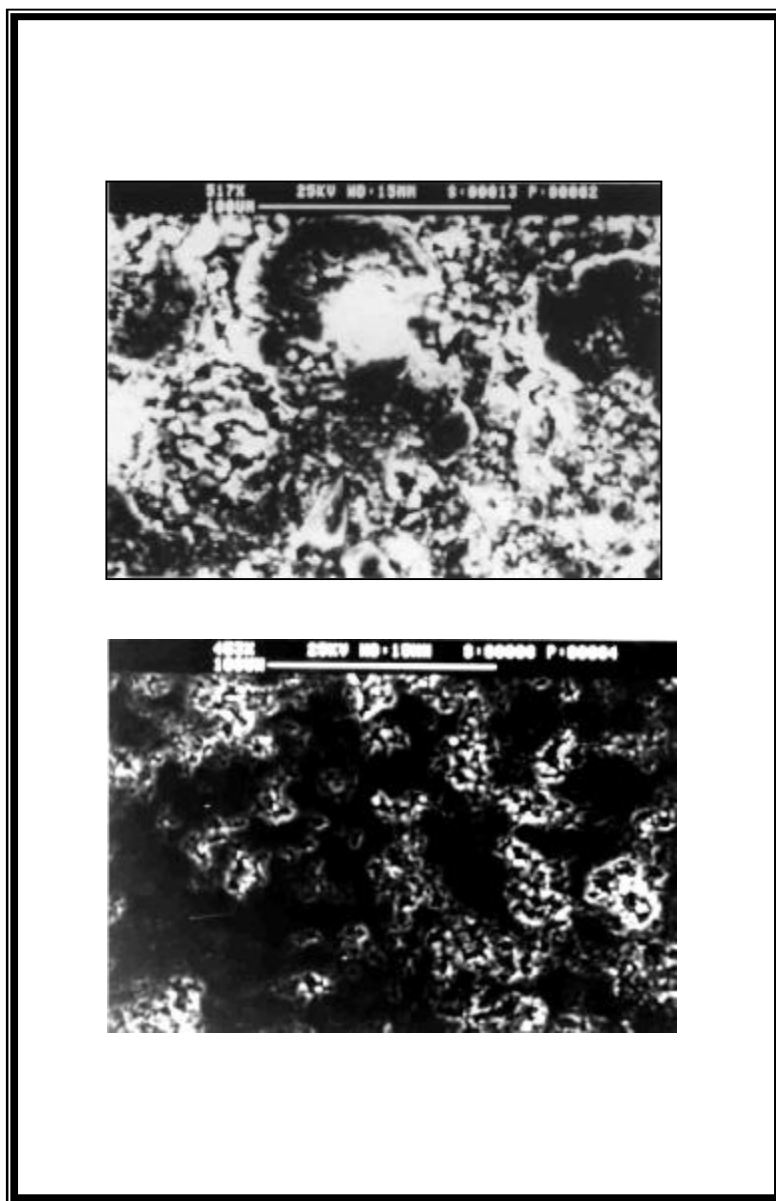
شكل (7). يوضح عدم الترابط ما بين طبقة المعدن و سطح
الجسم السيراميكي. قوة التكبير = 200X



شكل (8) يوضح المناطق المتكونة نتيجة غمر الجسم السيراميكي بمنصهر
سبيكة ألومنيوم - مغنسيوم . قوة التكبير = 450X



شكل (9). يوضح تأثير نوع المنصهر المعدني على سمك الطبقة الناتجة من تغلغل المنصهر المعدني داخل الجسم السيراميكي



شكل (10) يوضح ظهور الأطوار الفقيرية Spinel حول دقائق الألومينا