

The Effect of Heat Treatment on Phase Formation of Ti-Al-C thin films

Ahmed Mohamed Hasan

Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad

Email:ahmed_gaban@yahoo.com

Received on:2/4/2012 & Accepted on7/6/2012

ABSTRACT

A variety of different chemical compositions Titanium-Aluminum-Carbon thin films were achieved by combinatorial magnetron sputtering. The as-deposited ternary diagram can be divided into two regions. The first region consists of titanium carbide structure with substitutional Aluminum atoms at the Carbon rich side of the diagram. The second region consists of the amorphous phase at the rest of the appearing diagram. At 500°C the amorphous phase transforms to titanium carbide structure with substitutional Aluminum atoms and at 600 and 700°C many ternary phases have been shown by X-ray diffraction at different regions while the Carbon rich side sustains the titanium carbide structure with substitutional Aluminum atoms. This work could be considered as a leading study in the way to produce the ternary ceramics at temperatures below the conventional ranges in powder metallurgy as it had been proved earlier by us.

Keywords: Thin Films; TiC_x; Sputtering

تأثير التعامل الحراري على الاطوار الناتجة لفلم رقيق من سبائك التيتانيوم-المنيوم-كربون

الخلاصة

تشكيل من التراكيب الكيميائية المختلفة من الافلام الرقيقة ل التيتانيوم-المنيوم-كربون تم انجازها بواسطة التذرية المغنطرونية. يمكن تقسيم مخطط الاتزان الثلاثي الى منطقتين في درجة حرارة الغرفة الاولى متبلورة من تركيب كاربيد التيتانيوم الحوي على ذرات الالمنيوم التعويضية في نسب الكربون العاليى واخرى غير متبلورة في المناطق المتبقية. عند درجة حرارة 500 درجة مئوية تتبلور جميع المناطق الغير متبلورة لتنتج كاربيد التيتانيوم الحوي على المنيوم. وعند درجة حرارة 600 و 700 درجة مئوية وجد ظهور عدة اطوار ثلاثية أمكن تشخيصها بحيود الاشعة السينية في مناطق مختلفة من المخطط الثلاثي مع استمرار المحافظة على طور الكاربيد الثنائي الحوي على الالمنيوم في المناطق ذات نسبة الكربون العالية. تعد هذه الدراسة رائدة في مجال انتاج افلام رقيقة من السيراميك الثلاثي بدرجات حرارة اقل من درجات الحرارة التقليدية. وهي اثبات اخر لدراساتنا السابقة عن امكانية استخدام التعامل الحراري لانتاج السيراميك الثلاثي بدرجات حرارة اقل من نضيراتها في حال الانتاج بتقنية المساحيق.

المقدمة

في السنوات الاخيرة اصبحت عملية انتاج طلاءات ذات مقاومة كبيرة للبللى الميكانيكي على سبيل المثال تحظى بتقدم ملحوظ في ساحة علوم المواد الهندسية [1]. تعد سبائك الالمنيوم-تيتانيوم-كربون ذات خصوصية في هذا المجال بالنظر لتطبيقاتها العديدة في مجال المواد المتراكبة ذات الاساس المعدني من الالمنيوم اضافة الى كونها من السبائك الشائعة الاستخدام في المجالات الهندسية العديدة [2]. علاوة على ذلك فانه في السنوات الاخيرة بذلت جهود كبيرة لتطوير وتصنيع السبائك الثنائية للتيتانيوم والمواد المتراكبة ذات اساس من التيتانيوم لما لها من خواص حرارية فائقة خصوصا في مجالات الفضاء [3]. تمتاز المواد المتراكبة ذات اساس من الالمنيوم والمقواة بكاربيد التيتانيوم على سبيل المثال بعدة خواص فائقة كخفة الوزن وبمعامل مرونة عالي وصلادة عالية اضافة الى مقاومته الكيماوية للتآكل [4]. اضافة لكل ما تقدم فان سبائك التيتانيوم-المنيوم-كربون ذات ميزات خاصة تجعلها رائدة في مجال هندسة الاغشية الرقيقة نظرا لتطبيقاتها العديدة [5] في المجالات الطبية والصناعية المختلفة كما في صناعة العدد. من بين ما يمكن توقعه خلال عمليات التسيبب للعناصر الثلاثة المكونة للسبيكة الاساس هو بعض النواتج الثنائية كما في $TiAl_3$ او $TiAl$ وحتى كاربيد التيتانيوم TiC اضافة الى اطوار ثلاثية كما في Ti_3AlC_2 [3]. ازادت اهمية الاطوار الناتجة من هذه العناصر الثلاثية بعد اكتشاف الاطوار الثلاثية من Ti_2AlC و Ti_3AlC_2 او ما يدعى بالسيراميكيات الثلاثية من ال MAX phases [5,6,7]. اذ ان لهذه المواد القدرة على اظهار خواص المواد السيراميكية كالصلادة ومعامل المرونة العالي ومقاومة الحرارة والتأكسد والصدمة الحرارية والتآكل من ناحية اضافة الى خواص المواد المعدنية كقابلية التشكيل والطرق والتوصيل الحراري والكهربائي والمتانة من ناحية اخرى [8,9]. يواجه انتاج هذه المواد صعوبة بالغة نظرا للحاجة لدرجات حرارية عالية في حالة الانتاج بتقنية المساحيق لذلك تعتبر تقنية الانتاج بالاغشية الرقيقة هي البديل في كثير من التطبيقات بالنظر لامكانية انتاجها كطلاء واقى على اساس من مواد رخيصة وبدرجة حرارة اقل [10,11]. خلال الدراسات السابقة [10,11,12] أثبتت امكانية انتاج اطوار السيراميك الثلاثي كاغشية رقيقة بدرجات حرارية منخفضة بواسطة التلدين اللاحق للتذرية. يمكن اعتبار تلك الدراسة ممهدة للانتاج بواسطة الطرق الهندسية التي تعتمد السيطرة اكثر على درجة حرارة السطح الاساس والغشاء الرقيق من خلال التعامل الحراري اللاحق دون الحاجة الى ادخال منظومات التسخين اثناء عملية الطلاء والمشاكل المترتبة على ذلك كتبخر مادة الطلاء وعدم السيطرة على تجانس الفلم. كما ان الحاجة لتجانس درجة الحرارة على القطع المطلية يمثل تحدي كبير نظرا لعدم امكانية استخدام مسخنات معقدة داخل منظومة الطلاء كونها ستعمل عمل قناع واقى يمنع وصول مادة الطلاء الى السطح. في هذا البحث تم التطرق الى موضوع ربط الخواص الكيماوية لسبائك من افلام رقيقة من التيتانيوم-المنيوم-كربون لمدى واسع التراكيب مع الاطوار الناتجة ودرجات حرارية منخفضة لا تتجاوز 700 درجة مئوية. يمكن تمثيل هذا البحث بانه بادرة لاثبات امكانية استغلال الطرق التقليدية في التعامل الحراري لانتاج افلام رقيقة معقدة التركيب بواسطة السيطرة على التركيب الكيماوي الاولي ومن ثم استغلال الطاقة الكامنة في الغشاء لانتاج تحول الى التركيب المطلوب بدرجات حرارية منخفضة نسبيا لا تؤثر في خواص المادة الاساس. لم يتم استخدام هذه الالية مسبقا على حد علمنا لغرض انتاج الافلام الرقيقة من السيراميك الثلاثي. تم انتاج اطوار ثلاثية من Ti_2AlC و Ti_3AlC_2 بدرجات منخفضة نسبيا وباعتقادنا ان هذه الدراسة تعد من الدراسات الواعدة التي تقترح التركيز على انتاج الطور الاولي بتركيب كيميائي مقارب للطور الهدف ومن ثم التلدين لاستكمال التحول الى الطور النهائي.

الجزء العملي

في هذا البحث تم استخدام حجرة ضغط عالي صممت لانتاج طلاء بميزات خاصة بالافلام الرقيقة من قبل الباحث في المانيا قسم هندسة المواد جامعة اخن للتكنولوجيا كما في [12]. اذ تم التصميم وفق متطلبات العمل وياشراف كادر متخصص من نفس الجامعة. نفذ العمل وفق متطلبات انتاج اختلاف في التركيب الكيماوي للعينة كدفعة واحدة باستخدام التذرية المغنترونية

الاندماجية Combinatorial magnetron sputtering. استخدمت اقطاب من كل من التيتانيوم والالمنيوم والكربون العالي النقاوة ويميلان عن السطح الواقع في الاسفل مقداره 14 درجة كما موضح في الشكل 1. يمكن التحكم بمدى المسارات لكل قطب (The thermal mean free paths (λ) of Al, Ti and C) وفقا للمعادلة ادناه

$$l = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{k_B T}{P} \frac{1}{p(r_{Ar} + r_{Al,Ti,C})^2}$$

من خلال ذلك يمكن حساب مدى المسار لكل قطب بمعدل 8.5 و 5.1 و 14.4 لكل من الالمنيوم والتيتانيوم والكربون على التوالي. مع درجة حرارة $T = 300K$ ، والضغط من باسكال $P = 0.3$ ، اقطار تساهمية من $r_{Ar} = 121$ و $r_{Ti} = 176$ و $r_C = 76$ بيكومترو وثابت بولتزمان يمكن الجزم بحصول تصادم مع السطح وفق ما هو مخطط بواسطة استعمال طاقة كهربائية محددة عن طريق النمذجة ببرنامج تريب TRIP.

هذا الميلان يعطي الامكانية للتحكم بمدى كبير من التراكيب الكيماوية لنفس المكونات. اقطاب التيتانيوم والالمنيوم والكربون بقطر 39 ملليمتر وسمك 3 ملليمتر وتبعد عن السطح المستقبل للغشاء بحدود 50 ملليمتر. السطح المستقبل عبارة عن رقاقة من اوكسيد الالمنيوم عالي النقاوة بسطح صقيل واحد وبقطر 50.8 ملليمتر. تم وضع رقاقة مثقبة من الصلب فوق السطح المستقبل لغرض حجز الطلاء عن مناطق محددة ولانتاج عدة مساحات دائرية حسب الشكل 2. كل مساحة دائرية تمثل تركيب كيماوي محدد مفصول عن الاخر بالاتجاه من اليمين الى اليسار ومن الاعلى الى الاسفل او العكس وحسب جهة كل قطب (تيتانيوم المنيوم او كربون). بعد اكمال وضع السطح المستقبل للطلاء والاقطاب في اماكنها يتم تفريغ الحجرة من الهواء لغاية ضغط مقداره 10^{-4} باسكال للتخلص من اغلب الشوائب بعد ذلك يضخ غاز الاركون بضغط 0.3 باسكال. تم تسليط طاقة مقدارها 4.2 و 4.2 و 6.7 واط لكل سنتيمتر مربع لكل من قطب التيتانيوم والالمنيوم والكربون على التوالي ليتم انتاج البلازما اللازمة للطلاء وللحصول على مدى التركيب الكيماوي المطلوب والحاوي على التراكيب المراد دراستها. الطلاء او الترسيب تم بدون اي مصدر حراري لتسخين السطح المستقبل للطلاء ولم ترتفع درجة حرارة السطح عن اكثر من 50 درجة مئوية في الغالب. بعد انجاز الطلاء بسمك يقارب 1.5 ميكرون توقف المنظومة ليتم استخراج السطح المستقبل للغشاء الرقيق ويتم فحص كل مساحة دائرية على حدة لتمثل تركيب كيماوي مختلف.

الاجهزة المستخدمة وطريقة الاستخدام

في هذا البحث تم فحص جميع المساحات الدائرية الناتجة والبالغة 145 مساحة كما موضح في الشكل 2. اذ يتم برمجة اجهزة فحص التركيب الكيماوي والفحص باشعة اكس لغرض قياس كل مساحة على حدة اوتوماتيكيا بعد تحديد المحاور لكل نقطة. تم فحص التركيب الكيماوي لكل مساحة دائرية في الوسط بواسطة جهاز EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) ياباني المنشأ المربوط لمجهر الكتروني ماسح. استعملت عينة قياسية لغرض المعايرة من مادة كاربيد التيتانيوم الحاوي على الالمنيوم لغرض المقارنة وللحصول على نتائج دقيقة. البنية البلورية للعينات وبمختلف التراكيب الكيماوية تم فحصها بواسطة اشعة اكس X-ray diffraction بجهاز (Bruker AXS D8 discover general area detection diffraction system) GADDS. هذا الجهاز يعطي امكانية كبيرة لفحص الافلام الرقيقة بزواوية حيود واحدة للمناطق الصغيرة وباختراقية قليلة جدا تاخذ بنظر الاعتبار سمك الغشاء الرقيق جدا وبالامكان تدوير العينة بكافة الاتجاهات للحصول على افضل نتيجة لحيود الاشعة السينية. المعاملات الحرارية (المعادلة) تم اجراءها داخل فرن انبوبي مفرغ تماما من الهواء لغاية ضغط مقداره 10^{-4} ميلليبار. المعاملات الحرارية اجريت في معهد فيزياء المواد في جامعة اخن في المانيا. بعد الطلاء مباشرة تم فحص التركيب الكيماوي والبنية البلورية لجميع المساحات الدائرية الـ 145 كما موضح في الشكل 3.

ثلاثة درجات حرارية تم اختيارها لاجراء التعامل الحراري بواقع 500 و 600 و 700 درجة مئوية بصورة منفصلة متعاقبة يتم خلالها تثبيت درجة الحرارة لمدة ساعة عند كل درجة ومن ثم التبريد باخراج الانبوبة المفرغة الحاوية على العينة من الفرن وتبريدها بالهواء ليتسنى اخراج العينات بعد فترة ساعتين تقريبا حال انخفاض درجة حرارة الانبوبة. بعد اجراء التعامل الحراري لكل مرحلة يتم الفحص بالاشعة السينية بالجهاز المبين في اعلاه من جديد لمعرفة الاطوار الناتجة. نتائج التحليل الكيميائي قد تم اعتمادها مباشرة في رسم مخططات الاتزان الثلاثية بواسطة برنامج ProSim Ternary Diagram و ORIGIN اما الخواص البنيوية لكل تركيب فقد حددت بواسطة برنامج PCW23 Powder cell وباستخدام الكارتات القياسية لكل طور وحسب المواصفة القياسية.

النتائج والمناقشة

اهم الميزات التي توفرها طريقة التذرية المغنترونية الاندماجية Combinatorial magnetron sputtering يمكن الحصول على مدى واسع من التغير في التركيب الكيماوي لعنصرين او اكثر وبعملية طلاء مفردة تشترك بها عدة عناصر ممثلة بالاقطاب المختلفة او قطب واحد يحتوي على عدة عناصر بشكل هندسي معين يضمن تجانس الطبقة الناتجة.بالاضافة الى السرعة والدقة في عرض نتائج التحليل التي توفرها هذه الطريقة والتي جعلتها مميزة عن بقية الطرق التقليدية الخاصة بانتاج خواص جديدة لمواد هندسية. انققة توفر امكانية الحصول على اطوار نادرة لا يمكن الحصول عليها بالطرق التقليدية كون عملية التكوين الطوري بهذه الطريقة يبدأ من طور البخار للمعدن ومن ثم الترسيب اي انه يبدأ من اعلى درجة حرارة يمكن ان يصلها الطور الصلب الى درجة حرارة التجمد على السطح المعدني الذي يمثل مدى درجة حرارة الغرفة. مما يتيح مدى واسع للتحكم بالطور الناتج من عدة عناصر خصوصا ويوفر طاقة هائلة مخزونة داخل الطور الصلب الناتج نظرا لسرعة التبريد الفائقة. هذا يوفر ايضا امكانية تحول طوري سهل بدرجة حرارة قليلة قادرة على اخراج الطاقة المخزونة ثرموداينميكا لغرض التحول من طور عالي الطاقة الى اخر اكثر استقرارا واطي الطاقة. من هذا المنطلق بنيت فكرة هذا البحث لغرض انتاج سبائك ثلاثية فائقة بدرجات حرارية اقل بكثير من الحرارة العالية اللازمة لانتاجها بالطرق التقليدية. لتفاصيل اكثر عن طريقة التذرية المغنترونية الاندماجية Combinatorial magnetron sputtering وما توفره من مميزات يمكن الرجوع الى [13,14]. يوضح الشكل 4 نتائج التراكيب الكيماوية لجميع المساحات المطلوبة ضمن مخطط الاتزان الكامل تيتانيوم-المنيوم-كربون واهم الاطوار الثلاثية في هذا النظام كم جا في [5] والتي تم التركيز عليها في هذا البحث و ايضا موقع التركيب الكيماوي لكربيد التيتانيوم الثنائي. من خلال مخطط شكل 4 ممكن توضيح ان موقع الطور الثلاثي من Ti_2AlC يمثل 50% تيتانيوم و 25% من كل من الالمنيوم والكربون لما مجموعه 4 اقسام ذرية (211). وهكذا وضع موقع كل تركيب مستحصل من البحث حسب موقعه في مخطط الاتزان الثلاثي. الشكل 5 يوضح مخطط الاتزان الثلاثي للتراكيب الكيماوية المنتجة في هذا البحث بدرجة حرارة الغرفة اذ يتضح من خلال المخطط وجود منطقتين اساسيتين للعينات المنتجة بعد الترسيب مباشرة بدون اي تعامل حراري. المنطقتين المميزة في هذا المخطط يمكن تقسيمها الى منطقة الطور غير المتبلور عند نسب الالمنيوم العالية نسبيا في حين يمكن القول ان التركيب المتبلور المكعب من الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم cubic (Ti,Al)C phase يحتل المنطقة الثنائية ما بين التيتانيوم والكربون وعند نسب المنيوم اقل نسبيا. جدير بالذكر ان نتائج التحليل الكيميائي قد تم اعتمادها مباشرة في رسم مخططات الاتزان الثلاثية بواسطة برنامج ProSim Ternary Diagram و ORIGIN اما الخواص البنيوية لكل تركيب فقد حددت بواسطة برنامج PCW23 Powder cell. يعتبر ظهور تركيب الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم كترجمة واضحة لامكانية طرق الطلاء بالترسيب الفيزيائي لانتاج اطوار غير تقليدية. في ابحاث سابقة مختصة بالترسيب الفيزيائي وجد الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم انه احد الاطوار الناتجة من ترسيب العناصر الاساسية المكونة له [5,15,16]. كما وجد من دراسات سابقة

ان ظهور الطور الغير متبلور ايضا نتيجة زيادة نسبة الالمنيوم في الطور المرسب [15,16]. يمكن ان تدلل هذه النتائج بدرجة حرارة الغرفة الى محدودية ذوبان الالمنيوم واتخاذ مواقع تبادلية مع ذرات التيتانيوم في بنية كاربيد التيتانيوم مما ينتج الطور غير المتبلور بزيادة نسبته في الطور الرئيس. بينما ينتج الطور المكعب من الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم في المناطق الاخرى للاستقرارية الترموديناميكية التي يولدها تبادل ذرات التيتانيوم بالالمنيوم. جدير بالذكر ان كاربيد التيتانيوم هو مادة سيراميكية صلبة جدا يحتاج انتاجها بالطرق التقليدية درجات حرارية مرتفعة جدا قد تصل الى اكثر من 2500 درجة مئوية وحسب مخطط الاتزان الحراري الثنائي القياسي C-Ti. هذا يعطي دليل مقارنة واضح على الامكانيات التي توفرها طرق الترسيب الفيزيائية لانتاج هكذا اطوار بدرجات منخفضة. بعد التلدين بدرجة حرارة 500 درجة مئوية يلاحظ تحول الطور الغير متبلور بالكامل الى طور الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم وكما مبين في مخطط الاتزان الثلاثي في الشكل 6. علاوة على ما تقدم فقد اظهر الطور المتبلور من المرحلة الاولى استقرارية عالية نظرا لعدم تحلله الى اي من العناصر المشكلة له او تكون اي طور ثنائي اخر. هذه النتائج في هذه الدرجة تعطي دليلا واضحا على استقرارية طور الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم اذ انه بزيادة درجة حرارة الوسط الى حدود تسمح بالتحول الطوري يتحول الطور الغير متبلور نتيجة الطاقة المخزونة الى طور متبلور في حين تستقر المناطق الاخرى دون تحول نتيجة عدم وجود قوة دافعة كافية لتحفيز تفكك الطور. في درجة حرارة 600 درجة مئوية في الشكل 7 يلاحظ بروز عدة اطوار ثلاثية كخليط مع طور الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم الثنائي وذلك في الجهة الواقعة ما بين الالمنيوم والتيتانيوم. وجد ايضا دليل على تحلل التيتانيوم وبروزه كطور نقي مع مجموعة من الاطوار الاخرى. يمكن اجمال الاطوار الثلاثية الناتجة في هذه المرحلة على طوري Ti_3AlC المكعب وطور السيراميك الثلاثي من Ti_2AlC . ظهر هذان الطوران كمجموعات مع الاطوار الاخرى وليس بصورة منفردة كما يلاحظ. طور (Ti,Al)C بقي محافظا على بنيته دون تغيير في منطقة الكربون العالي نسبيا من مخطط الاتزان الثلاثي. في ابحاث سابقة تم الحصول ايضا على الاطوار الثلاثية السابقة الذكر بواسطة الترسيب الفيزيائي وبدرجات حرارية تصل الى 800 درجة مئوية لدرجة سطح الطلاء لغرض تكوينها [5,7]. اما طور المكعب من Ti_3AlC فقد تم ترسيبه ايضا بدرجة 300 مئوية لسهولة تشكيله [5]. بدرجة حرارة اعلى اي 700 درجة مئوية يمكن ملاحظة انحسار طور الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم وبقائه فقط في المناطق ذات نسبة الكربون العالي نسبيا الشكل 8. كذلك يلاحظ انحسار الطور المكعب من Ti_3AlC وظهور الطور ذو التركيب السداسي من السيراميك الثلاثي Ti_3AlC_2 . في هذا المدى من التلدين ايضا اصبح السيراميك الثلاثي ذو التركيبة السداسية من Ti_2AlC اكثر استقرارا وبكمية اكبر نسبة الى الطور الثنائي المرافق له. ويمكن القول انه تم تحقيق نسبة طور من Ti_2AlC مقدارها اكثر من 95% مع اقتراب التركيب الكيميائي من التركيبة المطلوبة لكل عنصر من العناصر المشكلة له اي 50% تيتانيوم و 25% المنيوم و 25% كربون وحسب شدة كل قمة Peak لزواوية الحيود وكما مبين في الشكل 9. الشكل 10 يوضح مراحل التطور للطور الثلاثي ولمختلف درجات الحرارة حيث يلاحظ اختفاء الطور المكعب من كاربيد الالمنيوم المدعم بذرات الالمنيوم ونشوء الطور الثلاثي بدرجة حرارة ما بين 600 و 700 درجة مئوية. يعد انجاز هذه التركيب من السيراميك الثلاثي بهذى المدى من الحرارة من اهم ما تحقق في هذا البحث اذ تبلغ اقل درجة حرارية لانجازها وفق المصادر ما حدوده 800-900 درجة مئوية بالترسيب الفيزيائي [5,7] و 1050 درجة مئوية هي اقل درجة حرارية مذكورة بالنسبة لطرق الانتاج بالمساحيق [8]. يمكن اعداد هذه الدراسة كبدائية لاستخدام التلدين اللاحق للافلام الرقيقة لانتاج السيراميك الثلاثي كطبقات طلاء لسطوح المعادن وعدم الحاجة الى استخدام درجات حرارة عالية نسبيا قد تؤثر في خواص المادة الاساس.

الاستنتاجات

تشكيلية من التراكيب الكيميائية المختلفة من الافلام الرقيقة ل التيتانيوم-المنيوم-كربون تم انجازها بواسطة التذرية المغنترونية Combinatorial magnetron sputtering. يمكن تقسيم مخطط الاتزان الثلاثي الى منطقتين في درجة حرارة الغرفة الاولى متبلورة من كاربيد التيتانيوم الحاوي على المنيوم في نسب الكربون العالي واخرى غير متبلورة في المناطق المتبقية. بدرجة حرارة 500 درجة مئوية تتبلور جميع المناطق الغير متبلورة لتنتج كاربيد التيتانيوم الحاوي على المنيوم. بدرجة حرارة 600 و 700 درجة مئوية عدة اطوار ثلاثية يمكن تحسسها بحيود الاشعة السينية في مناطق مختلفة من المخطط الثلاثي منها Ti_3AlC_2 علاوة على Ti_2AlC مع محافظة طور الكاربيد الثنائي الحاوي على الالمنيوم في المناطق ذات نسبة الكربون العالية. يمكن اعداد هذه الدراسة كبدائية لاستخدام التلدين اللاحق للافلام الرقيقة لانتاج السيراميك الثلاثي كطبقات طلاء لسطوح المعادن وعدم الحاجة الى استخدام درجات حرارة عالية نسبيا قد تؤثر في خواص المادة الاساس.

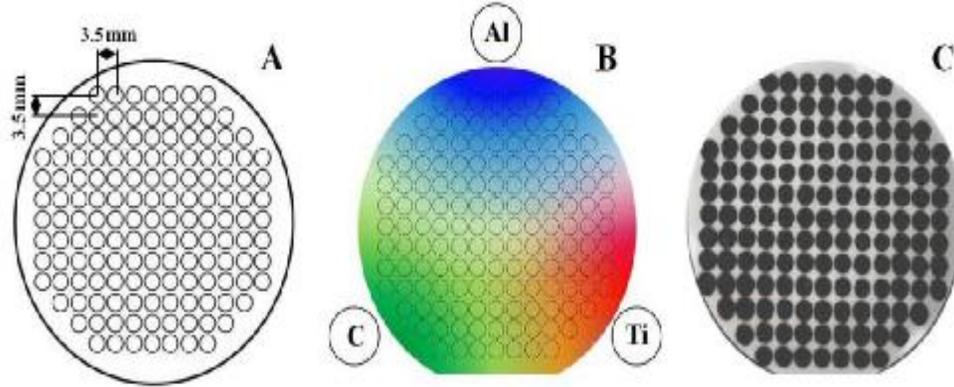
REFERENCES

- [1].Lindquist,M. O.Wilhelmsson, U. Jansson, U.Wiklund, Wear 266, (2009) 379–387.
- [2].Ding, H. X. Liu, L. Yua, G. Zhao, Scripta Materialia 57 (2007) 575–578.
- [3].Riaz,S. H.M. Flower, D.R.F. West, Materials science and technology 16, (2000) 984–992.
- [4].Kandalova ,P. Li , E.G. V.I. Nikitin , A.G. Makarenko, Scripta Materialia 49 (2003) 699–703.
- [5].Wilhelmsson, O. J.-P. Palmquist, E. Lewin, J. Emmerlich, P. Eklund, P.O.A°. Persson, H. Hö gberg, S. Lib, R. Ahuja, O. Eriksson, L. Hultman, U. Jansson, Journal of Crystal Growth 291 (2006) 290–300.
- [6].Hfgberga,H. L. Hultman, J. Emmerlich, T. Joelsson, P. Eklund, J.M. Molina-Aldareguia, J.-P. Palmquist, O. Wilhelmsson, U. Jansson, Surface & Coatings Technology 193 (2005) 6– 10.
- [7].Wilhelmsson, O. J.-P. Palmquist, T. Nyberg, U. Jansson. Applied Physics Letters 85,(2004) 1066–1068.
- [8].Yang,C. S.Z. Jin , B.Y. Liang , S.S. Jia, Journal of the European Ceramic Society 29 (2009) 181–185.
- [9].Zhu, J. J. Gao, J. Yang ,F. Wang , K. Niihar, Materials Science and Engineering A 490 (2008) 62–65.
- [10].Abdulkadhim, A. M. to Baben, T. Takahashi, V. Schnabel, M. Hans, C. Polzer, P. Polcik, J.M. Schneider, Surface & Coatings Technology 206 (2011) 599– 603.
- [11].Abdulkadhim,A. M. to Baben, T. Takahashi, V. Schnabel, M. Hans, N. Thieme, C. Polzer, P. Polcik, J.M. Schneider, Surface & Coatings Technology, Thin Solid Films 520 (2012) 1930–1933.
- [12].Abdulkadhim, Abdulkadhim,A. T. Takahashi, D. Music, F. Munnik, J.M. Schneider, Acta Materialia 59 (2011) 6168–6175.
- [13].Zhao, J.-C. Progress in materials science 51 (2006) 557–631.
- [14].Bonakdarpour,A. K.C. Hewitt, T.D. Hatchard, M.D. Fleischauer, J.R. Dahn, Thin Solid Films 440 (2003) 11–18.
- [15].Zhang,S. X. Lam Bui, Y. Fu, Thin Solid Films 467 (2004) 261– 266.

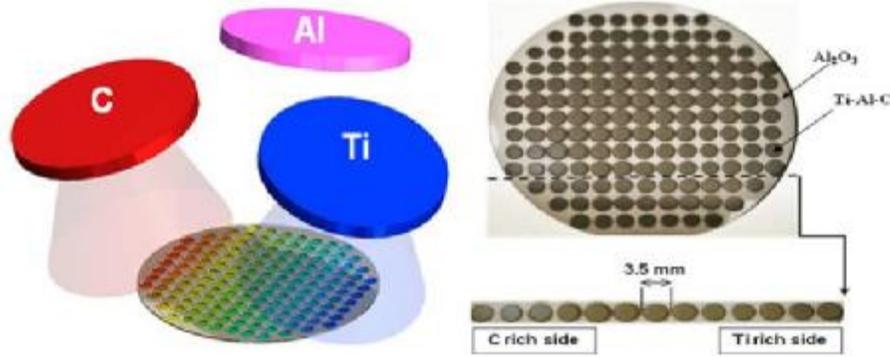
- [16].Soldan, J. J. Musil, P. Zeman, Plasma processes and polymers 4 (2007) s6–s10 .



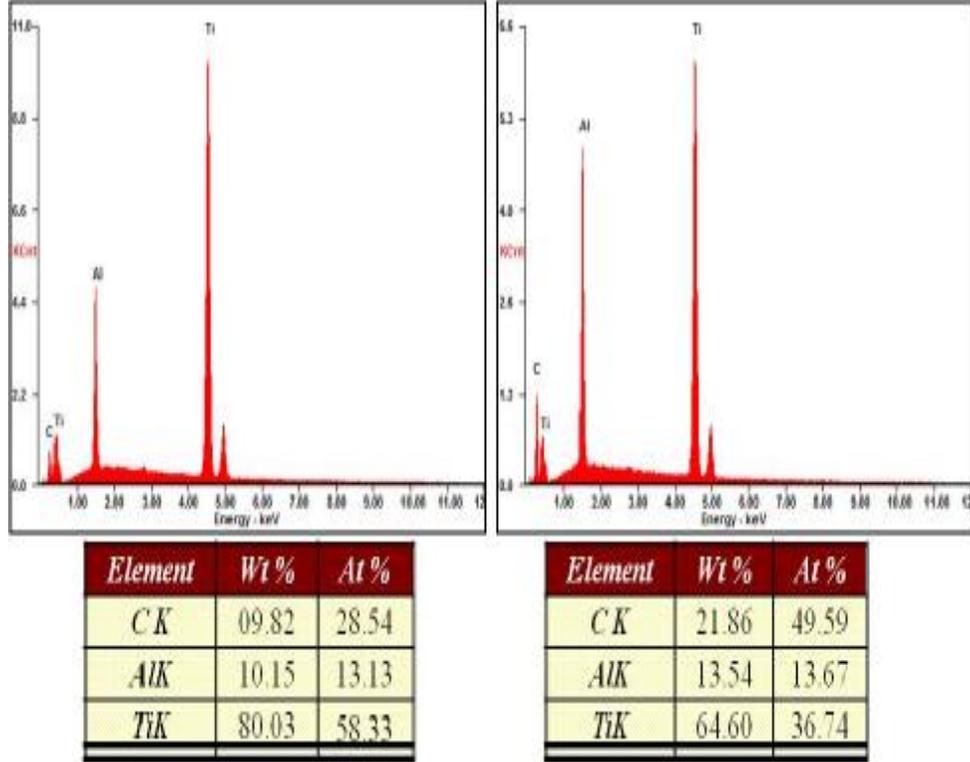
الشكل (1). الترسيب الفيزيائي من ثلاثة اقطاب من التيتانيوم-المنيوم-كربون في داخل حجرة الضغط



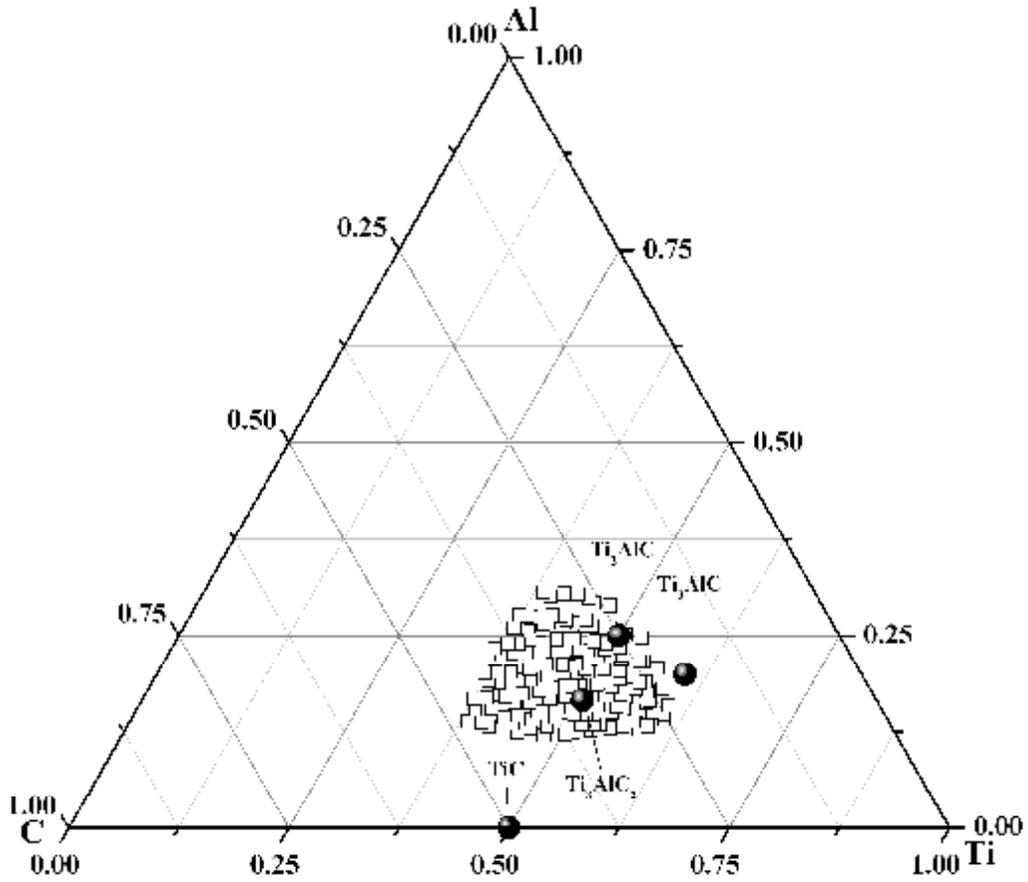
الشكل (2) أ. يوضح في A مخطط لرقيقة الصلب المستخدمة كقناع حجب لانتاج المساحات الدائرية المطلوبة وفي B يوضح مخطط لوضع الاقطاب حول العينة المنتجة حيث ترمز الالوان المختلفة الى تركيز كل عنصر في العينة النهائية وفي C يبين العينة النهائية المستحصلة بعد الطلاء والحوية على 145 مساحة دائرية مختلفة في التركيب الكيماوي.



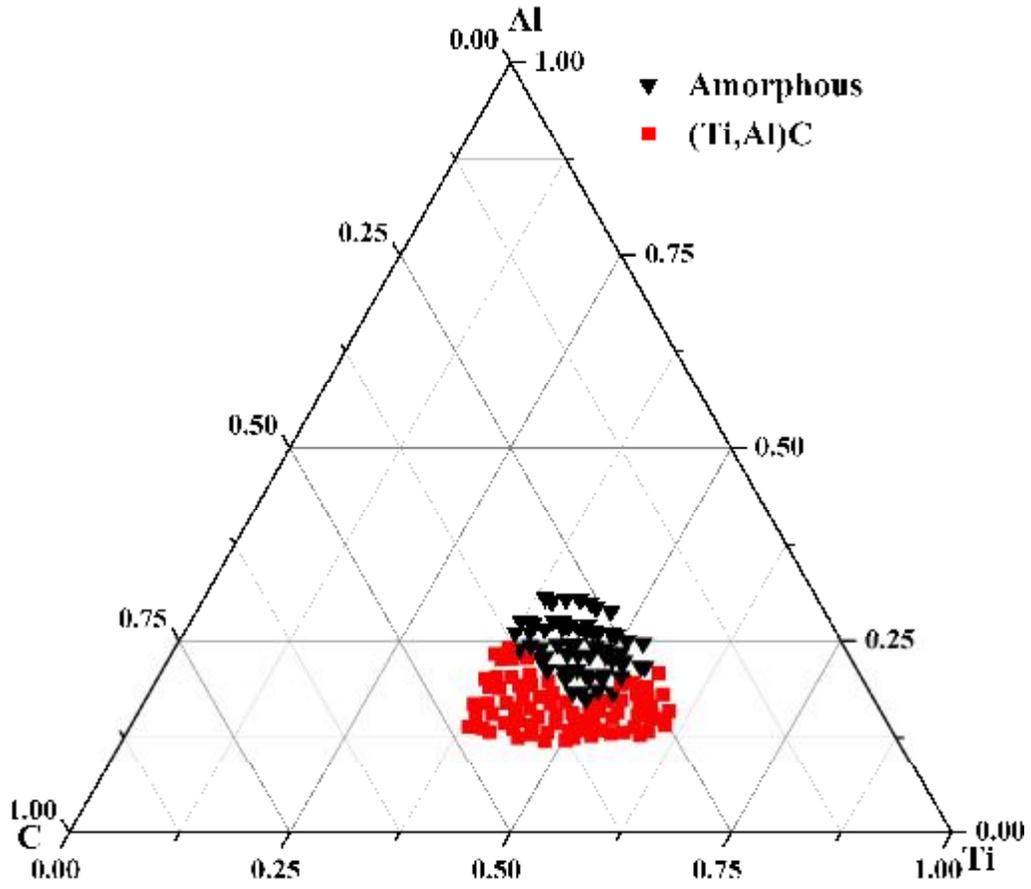
الشكل (2) ب. مخطط يوضح التوزيع الزاوي للاقطاب على العينة الاساس في جهة اليسار اضافة الى كيفية وضع القناع الواقي للمنتج للمساحات الدائرية. اما في جهة اليمين فهي عينة بعد الطلاء ومقطع منها يوضح جهة تركيز التيتانيوم والكربون.



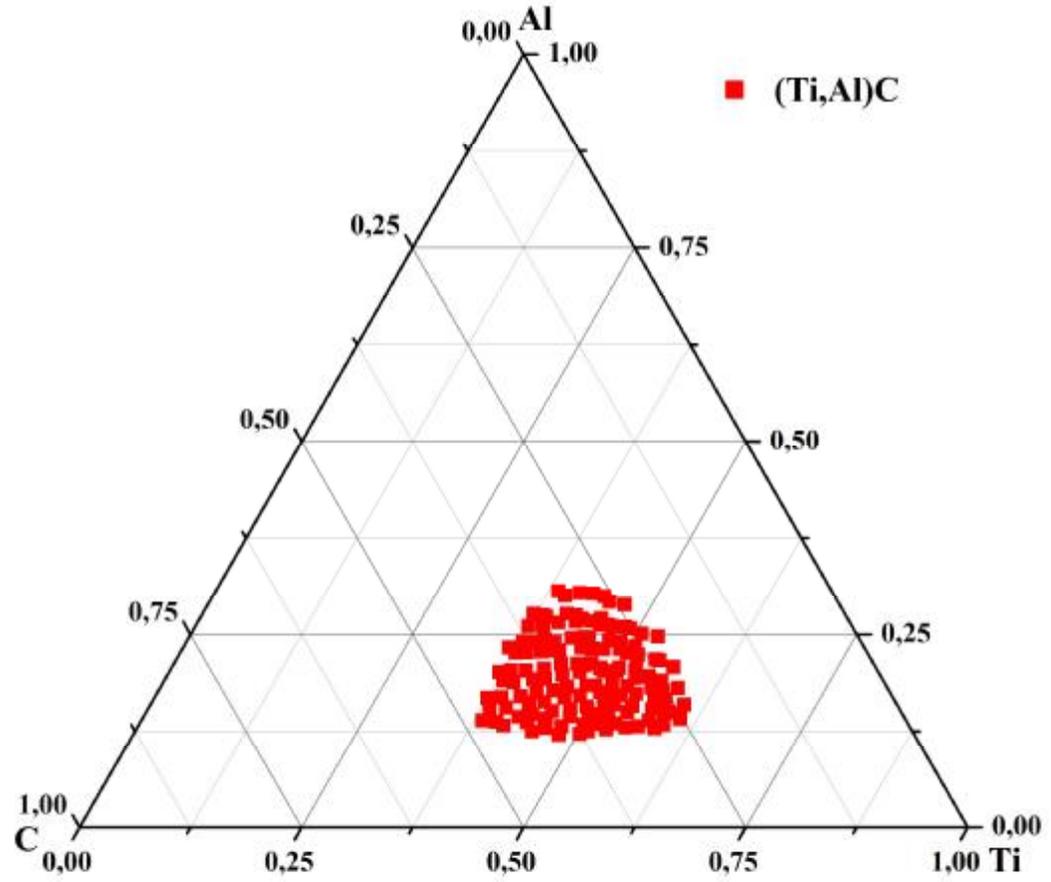
الشكل (3) فحص التركيب الكيماوي لعينتين مختلفتين في التركيب بواسطة جهاز EDX. جديربالنكران مجموع المساحات المفحوصة في هذا البحث تتألف من 145 عينة مختلفة التركيب.



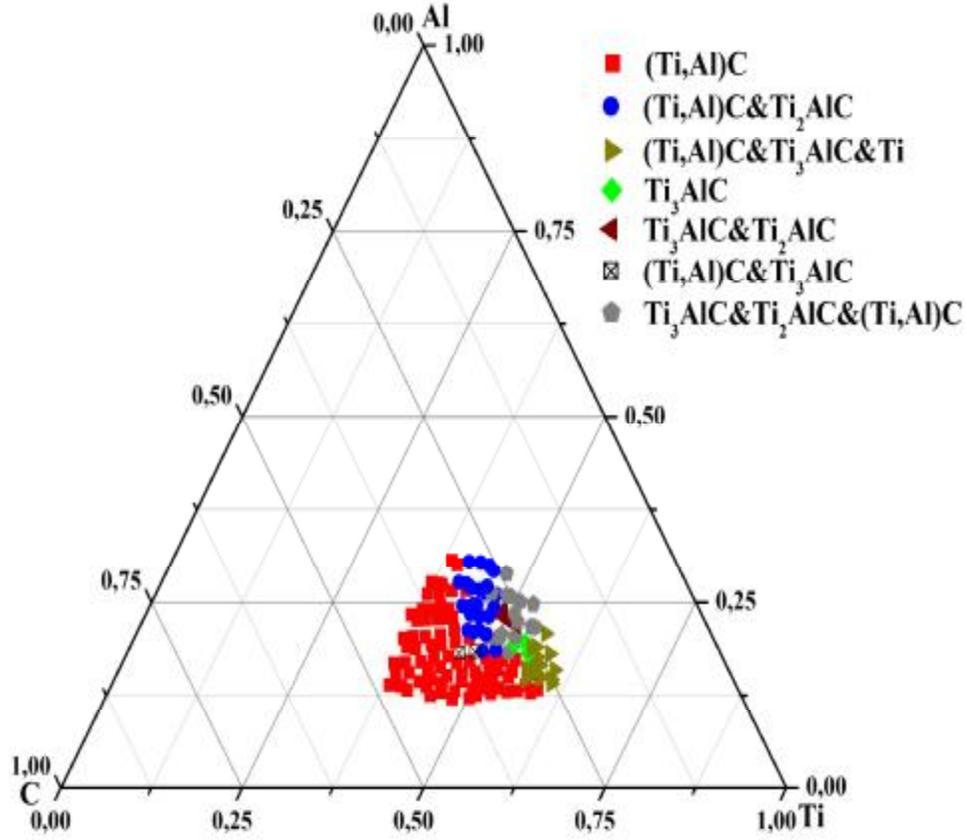
الشكل (4) يوضح مخطط الاتزان للتيتانيوم-المنيوم-كربون مبينا عليه موقع مدى التراكيب الكيميائية المستحصلة من الترسيب وكذلك مواقع الاطوار الثلاثية الممكنة في هذا المخطط اضافة الى موقع الطور الثنائي من كاربيد التيتانيوم.



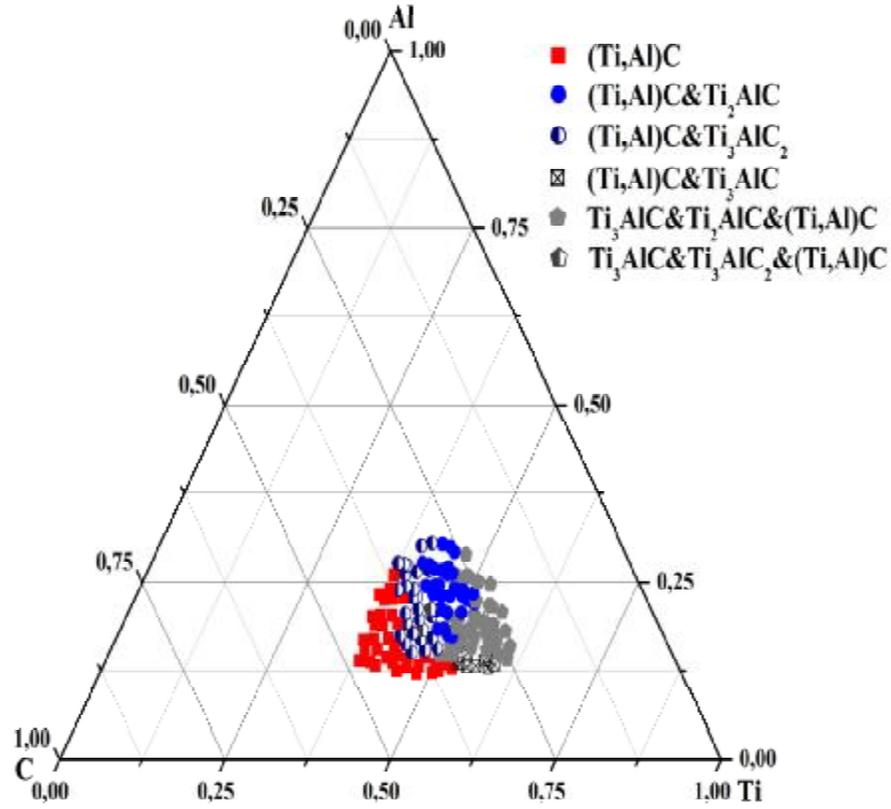
الشكل (5) يوضح مخطط الاتزان للتيتانيوم-المنيوم-كربون ما بعد الطلاء مبينا عليه موقع الطور غير المتبلور
اضافة الى مدى الطور المتبلور من الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم {Cubic (Ti,Al)C phase}.



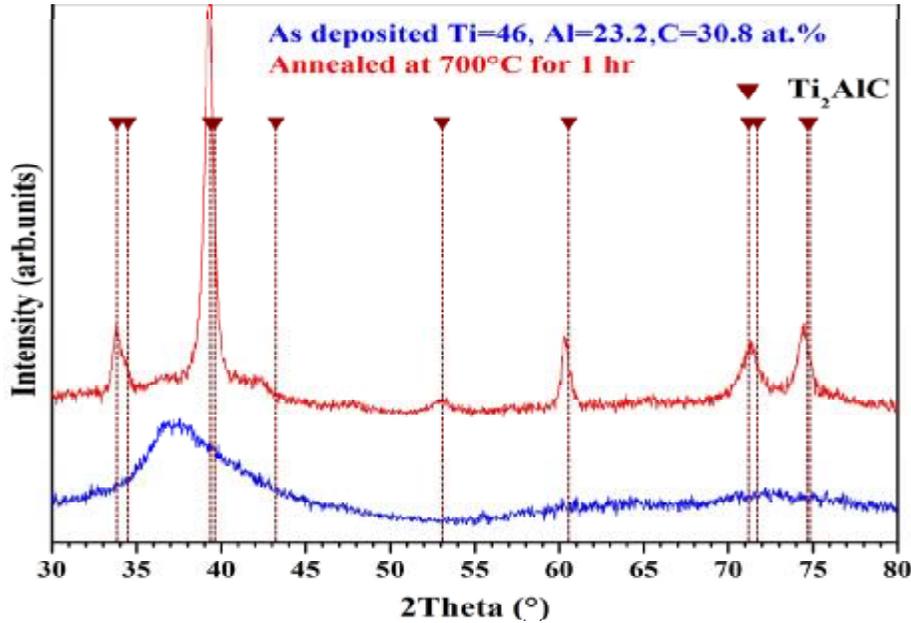
الشكل (6) يوضح مخطط الاتزان للتيتانيوم-المنيوم-كربون بعد التلدين بدرجة 500 درجة مئوية مبينا عليه مدى الطور المتبلور من الالمنيوم المذاب في كاربيد التيتانيوم cubic (Ti,Al)C phase والذي يشمل جميع المناطق.



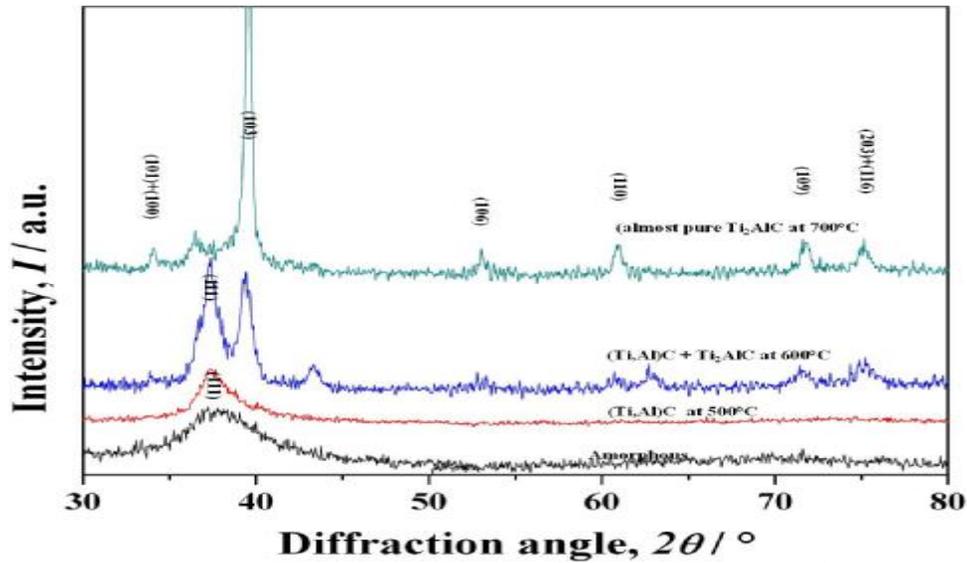
الشكل (7) يوضح مخطط الاتزان للتيتانيوم-المنيوم-كربون بعد التلدين بدرجة 600 درجة مئوية مبينا عليه الاطوار المتبلورة الناتجة في مدى التركيب الكيميائي المدروس.



الشكل (8) يوضح مخطط الاتزان للتيتانيوم-المنيوم-كربون بعد التلدين بدرجة 700 درجة مئوية مبينا عليه
الاطوار المتبلورة الناتجة في مدى التركيب الكيميائي المدروس.



الشكل (9) نموذج من الفحص بالأشعة السينية يوضح التحول الطوري خلال عمليات التلدين للعينة ذات تركيب كيميائي محدد ابتداءً من الطور غير المتبلور وانتهاءً بما مقداره أكثر من 95% من الطور السيراميكي الثلاثي Ti_2AlC ذو البنية السداسية.



الشكل (10) نموذج من الفحص بالأشعة السينية يوضح التحول الطوري خلال عمليات التلدين ابتداءً من الطور غير المتبلور وانتهاءً بما مقداره أكثر من 95% من الطور السيراميكي الثلاثي Ti_2AlC ذو البنية السداسية مروراً بالطور المكعب من $(Ti,Al)C$ عند 500 مئوية ومزيج من $(Ti,Al)C+Ti_2AlC$ عند 600 مئوية.