المواد المركبة المزدوجة باستخدام الليزر المستمر[+]

DUPLEX COMPOSITE MATERIALS PRODUCED BY CONTINUOUS LASER

محمد جاسم كاظم[*]

المستخلص

الحصول على الاكساء للمواد المركبة المزدوجة باستخدام الليزر المستمر ذي القدرة العالية و تم انتاجه لاول مرة من الصلب المقاوم للصدأ الاوستنينايتى والزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا. لقد تم الحصول على طبقات من الصلب المقاوم للصدأ الاوستنايتى ذات بنية دندرايتية او حبيبات بالاعتماد على معدل التبريد من الاوستنيات محاطة بطور الدلتا فرايت مع مناطق من الزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا والمتوزعة بصورة عشوائية فى طبقات الاكساء وبكسر حجمى اقل بكثير من كمية المسحوق السيراميكى فى المزيج. ادى وجود طور الدلتا فرايت الموزع بصورة منتظمة فى الاوستنايت اضافة الى معدل التبريد العالى الى زيادة كبيرة فى الصلادة والتي تتجاوز ضعف صلادة الاوستنايت لوحده وبحدود 400 الى 500 فيكرز. ادى وجود المادة السيراميكية ذات التحول الطوري الخاص الى الحصول على مادة بمواصفات عالية وبطريقة جديدةلانتاج مواد مركبة خاصة.

Abstract

The production of duplex composite materials by high power vcontinuous CO2 laser were produced from mixture of 316L stainless steel and yttria partially stabilized zirconia (YPSZ). It was found that the clad layers are consisted of dendrite structure of austenitice phase surrounding by delta ferrite and distinct regions of yttria partially stabilized zirconia. The YPSZ has been distributed randomly in clad regions with lower volume fraction of the ceramic powder before cladding. The presence of delta ferrite in the austenitte phase as well as the high ccoling rate lead to increase the hardness to the double . of austenite phase alone and in the range of 400 to 500 Hv. The presence of ceramic material with special phase transformation leads to produce new material with high performance and new process to produce special composite materials.

المقدمة

يتطلب التطور للحصول على تكنولوجيا حديثة وطرق تصنيع متقدمة استخدام مواد هندسية ذات خواص عالية. تتعرض أسطح المواد الهندسية بصورة مباشرة او غير مباشرة إلى الكثير من الأوساط العدائية

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٤/١٠/٢٠ تاريخ قبول النشر ٢٠٠٥/٤/١٤

[*] استاذ مساعد/ هندسة الانتاج والمعادن-الجامعة التكنولوجية

مثل التآكل الكيمياوي والبلى والصدمة الحرارية، لهذا تعد حماية الأسطح مهمة جدا للحصول على الخواص الملائمة وباستخدام تقنيات عديدة ومن أهمها الليزر المستمر[1]. يتضمن إلاكساء بالليزر الحصول على طبقة طلاء ذات تركيب كيمياوي مختلف عن السطح المستخدم وبأقل ما يمكن من التخفيف. يؤدي استخدام حزمة الليزر على طبقة طلاء وتكوين أطوار ذات انعزالية قليلة وبمعدلات تبريد عالية [2] مما يحسن في الخواص المطلوبة عند الاستخدام. يعتمد التحسن في الخواص الناتجة ونوعية الأطوار بالدرجة الأساس على نوعية الاكساء بالليزر وبالتحكم بالمتغيرات الأساسية مثل معدل ضخ المسحوق وزمن التجمد وقدرة الليزر المستخدم.

يستخدم الصلب المقاوم للصدأ الاوستينايتي بصورة واسعة للكثير من التطبيقات الهندسية والتي تحتاج إلى مقاومة للتآكل الكيمياوي والأكسدة ولاكساء العديد من الأجزاء [3]. لكن من ناحية أخرى فان الخواص الميكانيكية ليست عالية لاغلب أنواع هذا الصلب. وبالرغم من إمكانية الليزر المستمر العالية لاكساء اسطح الصلب الكربونى بالصلب المقاوم للصدأ وبالأخص النوع 316L فان قابلية التحسن بالخواص الميكانيكية ليست عالية [4].

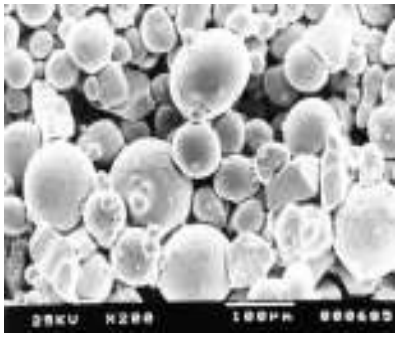
يعد هذا البحث المحاولة الاولى فى تطبيقات الليزر الصناعية للحصول على زيادة واضحة في االخواص الميكانيكية للصلب المقاوم للصدا نوع 316L وتقليل الشقوق من خلال إضافة كمية قليلة من مسحوق المواد السيراميكية المتقدمة نوع الزركونيا المثبتة بالياتريا بسبب الخواص الخاصة التي تمتاز بها.

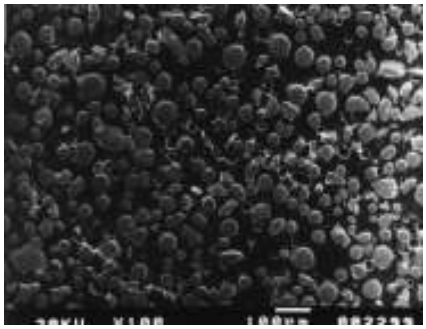
<u>الجزء العملي</u>

المسحوق الذي تم استخدامه للاكساء هو مزيج مركب من الصلب المقاوم للصدأ نوع 316L ذي حبيبات كروية وبمتوسط قطر 100 مايكرون ومسحوق سيراميكي من الزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا (ZrO_2-8.5wt%Y_2O_3) ذي حبيبات عشوائية الشكل وزوايا حادة وبمتوسط قطر 45 مايكرون. إن المزيج أعلاه تم الحصول عليه باستخدام مازج وان النسبة الوزنية للمزيج المستخدم هي90 wt% 316L وسيراميك 10 wt% (شكل 1). إن طبقات الاكساء التي تم دراستها كانت بصورة منفردة على اسطح من الصلب الكاربوني نوع AISI 1030 المشكل على البارد وإن أبعاد عينات الصلب هي بطول 80 ملم وعرض 40 ملم وسمك 5.6 ملم .

الليزر المستخدم من نوع BOC ذو قدرة قصوى (2kW). إن الاكساء بالليزر تم الحصول عليه بواسطة تركيز حزمة الليزر الخارجة وبقطر 20 ملم بواسطة عدسة من نوع KCl ذات بعد بؤري 150 ملم للحصول على القطر المطلوب. إن الطاقة النوعية وزمن التفاعل هو 11-250 J/mm2 و s 0.12-25 على التوالي. لقد تم الاكساء بوجود غاز الاركون وإن أسطح الصلب قد تم زيادة خشونتها بالعصف الرملي وثم تنظيفها بالكحول.

لقد تم استخدام المجهر الضوئي والماسح لدراسة البنية الدقيقة من المقطع العمودي لطبقات الاكساء الناتجة. تضمن تحضير العينات التجليخ باستخدام كاربيد السليكون لغاية 1000 والصقل باستخدام المعجون الماسي (الدايموند) 1 مايكرون والإظهار باستخدام محاليل مختلفة 2% نايتل لدراسة المنطقة المتأثرة بالحرارة لسطح الصلب و 10mlt HNO_3 +30mlt HCl لطبقات الاكساء. كما تم تحديد التركيب الكيمياوي باستخدام مطياف مفرق الأشعة السينية المربوط مع المجهر الإلكتروني الماسح. ودراسة الأطوار الناتجة للمساحيق ولطبقات الاكساء تمت باستخدام حيود الأشعة السينية وباستخدام الطول الموجي للنحاس ($Cuk\alpha$) وبسرعة 1درجة /دقيقة.





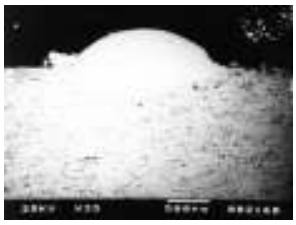
(A) (B)

شكل 1: االتوزيع الحجمى لمزيج الصلب المقاوم للصدا والزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا (a) بدون تجليغ و (b) بعد التجليغ والصقل

النتائج والمناقشة

يوضح (الشكل 2)منطقة الاكساء والسطح المستخدم عند سرع مختلفة.

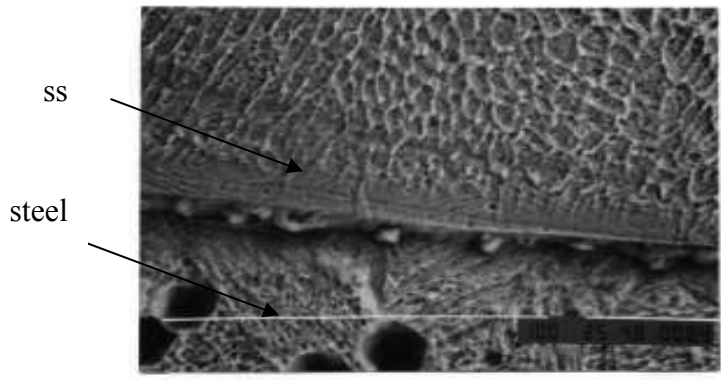
b A



c

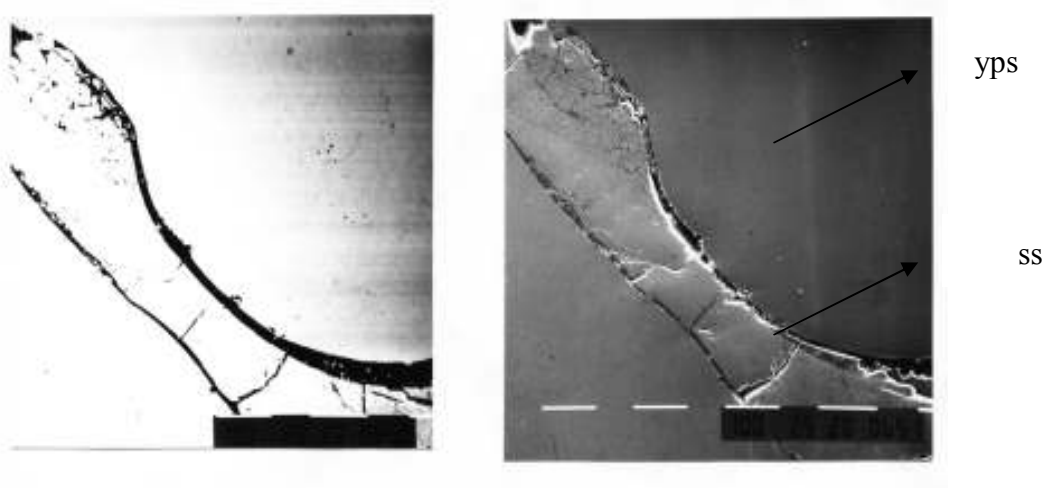
شكل 2: مقطع عمودي لمنطقة الاكساء وسطح الصلب عند سرع مختلفه(a) 1.5 ملم/ثا، (b) 8.5 مام/ثا و (c) 12.5ملم/ثا.

آما الشكل 3 فيوضح مقطع مكبر في طبقة الاكساء والمنطقة المتأثرة بالحرارة من سطح الصلب. إن منطقة الاكساء هي عبارة عن بلورات من الاوستنايت المشابهة تجمد الاوستنايت ان المنطقة المتأثرة بالحرارة نجد بنيتها الدقيقة عبارة عن مارتنزايت ناتج عن عملية التقسية الذاتية المصاحبة لعملية الاكساء. يلاحظ من الشكل السابق الربط الميتالورجي الجيد بين طبقة الاكساء و سطح الصلب في منطقة الحد الفاصل.



شكل 3 :البنية المجهرية للحد الفاصل بين الاكساء وسطح الصلب يوضح التبريد السريع لمنطقة الاكساء.

يوضح الشكل 4 مقطع مكبر في منطقة وجود السيراميك والصلب المقاوم للصدأ.

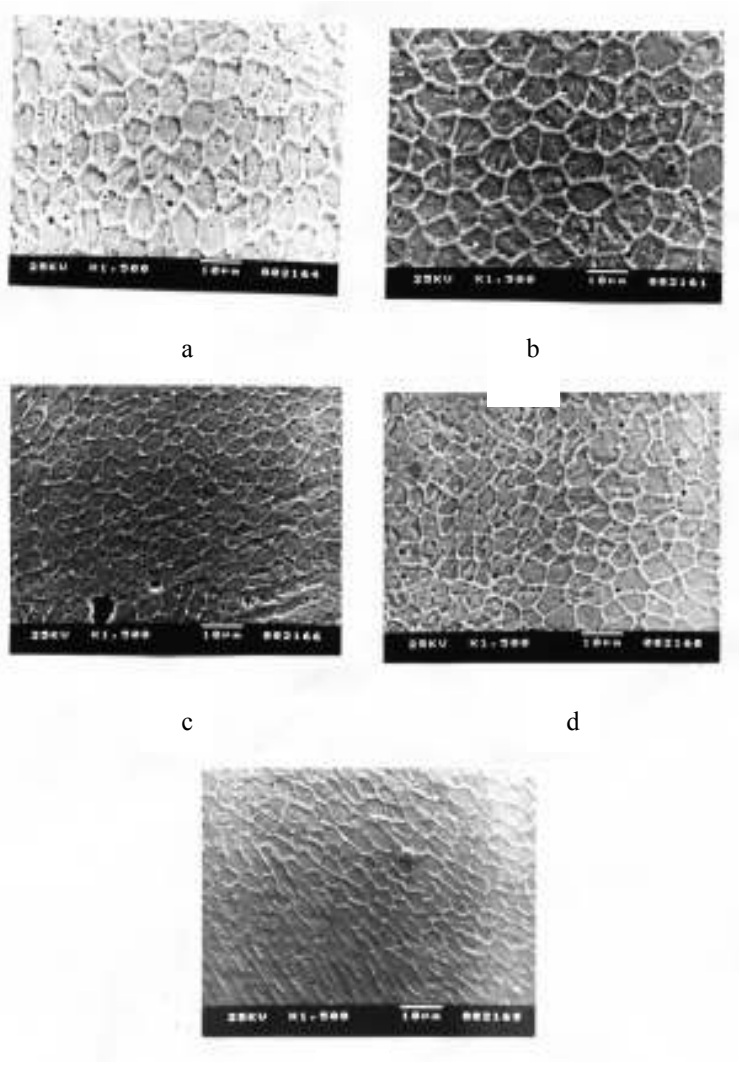


شكل 4 : البنية المجهرية لمنطقة الاكساء توضح الاوستنايت والسيراميك (a) SEI و (b) BSI.

اما ما يخص الشقوق المتكونة فان كلا من الفحص المجهري الضوئي والماسح لم يوضح وجود أي شقوق في منطقة الصلب المقاوم للصدأ. بينما تحتوي الطبقة السيراميكية على بعض الشقوق والتي تعزى إلى الاجهادات الحرارية الناتجة بعد التجمد لطبقة الاكساء بسبب الفرق الكبير بين درجة حرارة الانصهار للاوستنايت واالسيراميك وكذلك الاختلاف الكبير بين معامل التمدد الحراري للسيراميك و الصلب المقاوم للصدأ. و العامل الآخر هو التغيير الحجمي المصاحب للتحول الطوري للسيراميك بين درجة الحرارة العالية ودرجة حرارة الغرفة.

يوضح المقطع المكبر لمنطقة الاكساء اتجاه النمو بعيدا عن سطح الصلب مع وجود طبقة ذات معدل

تبريد عال جدا (Planar region). ان حجم حبيبات الاوستنايت يتغير مع سرعة سطح الصلب، وبزيادة السرعة فان حجم الحبيبات يكون اصغر وهذا يعني ان معدل التبريد لطبقة الاكساء يزداد مع زيادة السرعة (شكل 5).



a b c d e

شكل 5: البنية المجهرية لطبقة الاكساء توضح حبيبات الاوستنايت عند سرع مختلفة (a) 1.5 ملم/ثاو (b) 3.2 ملم/ثا (c) 8.5 ملم/ثا
(d) 12.5 ملم/ ثا و (e) 22.5 مام/ثا.

إن متوسط حجم الحبيبات او اذرع الشجيرات الثانوية الناتجة عند السرع المختلفة والتى تم قياسها استخدمت للحصول على المعادلة التي تم الحصول عليها بين حجم الحبيبات والأذرع مع معدل التبريد وكما موضح فى المعادلة التالية:-

$$\lambda = CT^{-n}$$

حيث :-

λ =متوسط اذرع الشجيرات الثانوية او حجم الحبيبات

C,n = ثابت يعتمد على نوعية المادة

T = معدل التبريد وهو K / s

وباستخدام النتائج التي تم الحصول عليها وبالاستعانة بالموديل الرياضي [3] نجد ان المعادلة التي تربط العلاقة بين معدل التبريد وحجم الحبيبات أو الأذرع الثانوية تكون كالتالي :-

$$\lambda = 66.4T^{0.3}$$

اثبت التحليل الكيمياوي لكل من الصلب المقاوم للصدأ و المنطقة السيراميكية حصول تذاوب اكبر من الحد المسموح به والذي يعزى إلى معدل التبريد العالي المصاحب لعملية الاكساء. لقد وجد إن الصلب المقاوم للصدأ يحتوي على كمية من الزركونيوم لا تتجاوز 0.2% فى المحلول الجامد، بينما تحتوي منطقة السيراميك ولمسافة لا تتجاوز 10 مايكرون كمية كبيرة من الكروم تصل إلى حوالي 1% في المنطقة القريبة من الحد الفاصل بين السيراميك والصلب المقاوم للصدأ. كذلك يحتوي السيراميك على كمية قليلة جدا لكل من النيكل والحديد في المنطقة القريبة من الحد الفاصل (جدول1). و نتائج التحليل الكيمياوي النقطي لكل من السيراميك والصلب المقاوم للصدأ أثبتت حصول عملية الانصهار التام لكل منهما. وان وجود منطقتين منفصلتين يعزى إلى عدم وجود تناوب بين المكونين في الحالة السائلة وان عملية التجمد الناتجة تتم للسيراميك أولا ثم للصلب المقاوم للصدأ.

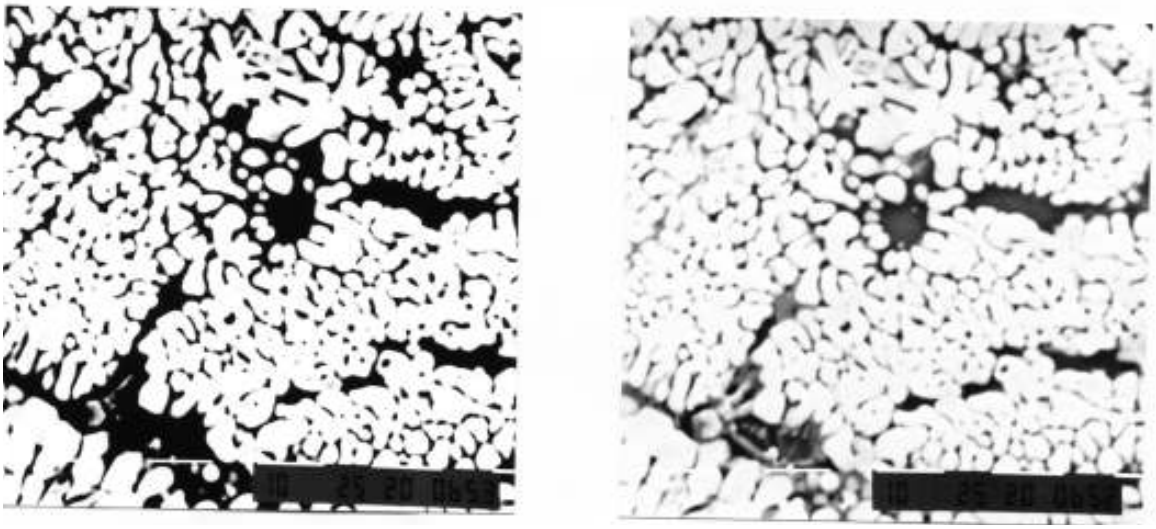
إن تحليل حيود الأشعة السينية لطبقة الاكساء أوضح ان الطور الأساسي الرئيس هو عبارة عن الاوستنايت وكذلك طور δ –ferrite والطور غير المتوازن ذو الاساس المتكون من الزركونيا والحاوي على الياتريا بكمية مقاربة إلى الكمية الموجودة في المسحوق (8.5wt%) وهو الطور t، وليس الطور المتوازن t. إن تكون الطور t، تم الحصول عليه عند معدل التبريد العالي والذي يمنع التحلل الانتشارى للحصول على محاليل جامدة من الطور المكعب (c) والحاوي على كمية من الياتريا مناظرة لمنحنى التوازن والطور t والحاوي على كمية قليلة جدا من الياتريا والمناظرة لمنحنى التوازن.

أوضح الفحص والتحليل الدقيق للبنية المجهرية بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح وجود الأشعة السينية ان البنية المجهرية وتحت كافة المتغيرات المستخدمة لليزر هي عبارة عن مادة هندسية مركبة ذات أرضية من الصلب المقاوم للصدأ المزدوج الكاذب والحاوي على كمية كبيرة من الاوستنايت والمحاط بالفرايت (دلتا فرايت) بين الأذرع الدندرايتية (شكل6) أو على الحدود البلورية لحبيبات الاوستنايت (cell) (شكل5) ودقائق من الزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا (الطور t′) (شكل 7).

جدول ١ : التحليل الكيمياوي للصلب المقاوم والزركونيا المثبتة جزئياً بالياتريا (wt%)

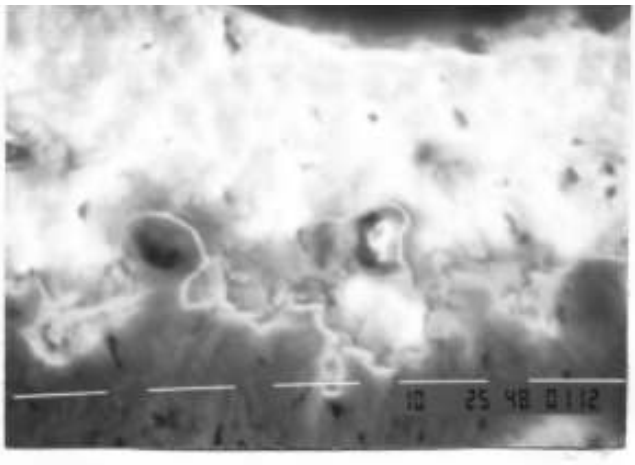
المنطقة	Ni	Cr	Y	*Zr*
5 مايكرون من الصلب االمقاوم	**0.035**	**1**	**7**	**60**
10 مايكرون من الصلب االمقاوم	**0.05**	**0.8**	**6.5**	**60.33**

20 مايكرون من الصلب المقاوم	**0.05**	**1**	**5.4**	**59.3**
40 مايكرون من الصلب االمقاوم	**0.00**	**0.2**	**6.4**	**59.5**
10مايكرون من السيراميك	**9.7**	**16.2**	**0.00**	**0.20**
20مايكرون من السيراميك	**10.2**	**16.2**	**0.00**	**0.15**
25مايكرون من السيراميك	*9.1*	*16.2*	*0.00*	*0.00*



(b) (a)

شكل 6 :البنية المجهرية للاوستنايت توضح الدندرايت عند سرعة 1.1 ملم/ثا (a) SEI و (b) BSI.

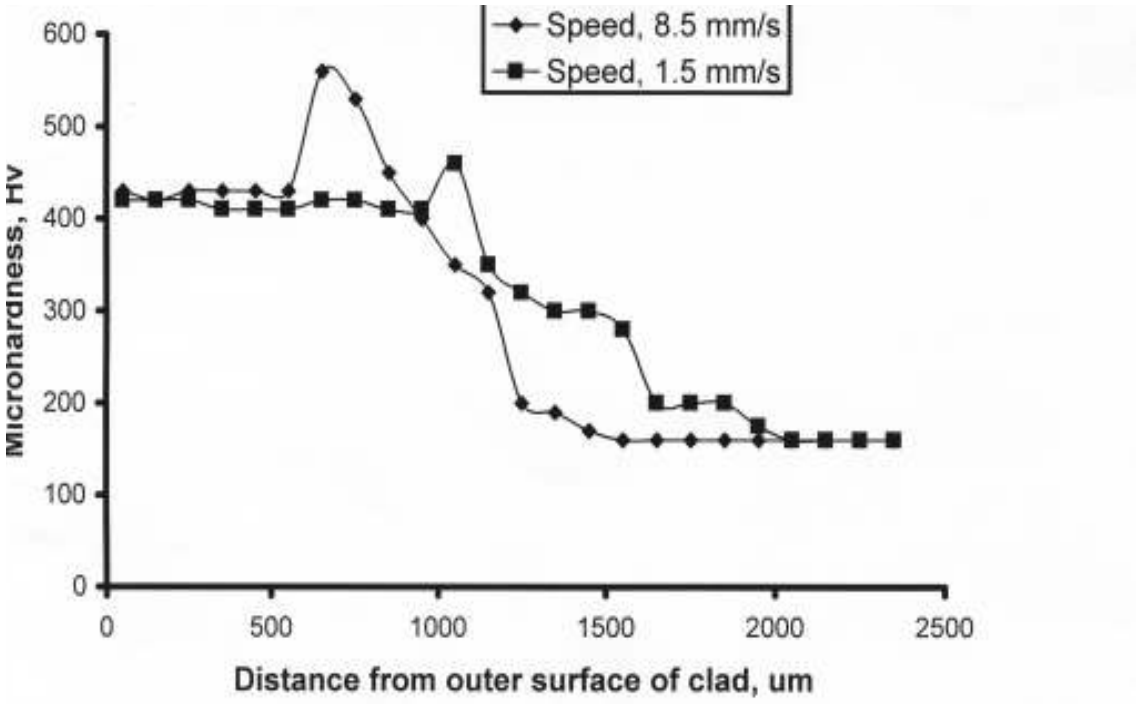


شكل 7 :البنية المجهرية للزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا.

لقد تـــم الحصول من الاطوار اعـــلاه علـــى زيادة كبيرة جدا في الصلادة و بالاخص عند السطح الخارجي (شكل 8). ان القيم القصوى للصلادة تجاوزت المدى 400-500Hv مقارنة مع صلادة الصلب

المقاوم للصدأ الاوستنايتي 316L الناتج من الاكساء بالليزر والذي لا يتجاوز 200Hv. تعزى هذه الزيادة العالية بالصلادة الى تكوين كمية من طور الفرايت (دلتا فرايت) والتي يتوزع على هيئة الياف ناعمة جدا والتى تتصرف كمادة مقواة. ومن جهة اخرى فان كلا من الاوستنايت والفرايت يمتازان بمعامل تمدد مختلف والذي يصاحبه تكوين اجهادات ضغطية. كذلك يؤدي وجود الطور t، في الارضية المعدنية الى الحصول على اجهادات ضغطية وزيادة الصلادة. ويعزى جزء من التحسن في الخواص الى وجود كمية قليلة من الاوكسجين في المحلول الجامد للاوستنايت والناتج من اعادة صهر مسحوق المادة السيراميكية بواسطة الليزر وقبل اتمام عملية التجمد

وكما تم التاكد منه بواسطة التحليل الكمي للاوكسجين والزيادة في الابعاد البلورية للاوستنايت من نتائج حيود الاشعة السينية.



شكل 8::يوضح العلاقة بين الصلادة الدقيقة والمسافة من السطح الخارجي لطبقة الاكساء عند سرع مختلفة

الاستنتاجات

1-ادت المعاملة بالليزر لمزيج من الصلب المقاوم للصدأ الاوستينايتى نوع 316L والزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا الى الحصول على مادة مركبة خاصة وبمواصفات عالية.

2-ادت المعاملة بالليزر الى انصهار تام لكلا المكونات للمزيج وبتذاوب محدود.

3- ادت المعاملة بالليزر الحصول على كسر حجمى كبير للدلتا فرايت فى الصلب المقاوم للصدأ وبالنتيجة التحسين فى الخواص الميكانيكية.

4- الطور السائد للزركونيا المثبتة جزئيا بالياتريا هو الطور غير المتوازن نوع t، والذي يعزى جزء كبير من تحسن الخواص اليه.

المصادر

1- Jasnowski K.S., Justes P.P., Zubiri Amatriain J.F. and Ibanez F., "High Power

Laser and Laser Machining Technology" Eds M.L. Gaillard and A. Quenzer SPIE, Vol.1132, P246,1989.

2- Belforte D. and Levitt M., Industrial Laser Annual Handbook, Penn Well Book, USA, 1986.

3- Weerasingha J. Laser Cladding Of Steels, PhD Thesis, Department of Materials, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, UK, 1984.

4- Tapia L. Laser Cladding Of Stainless Steels, M Phill Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, UK, 1980.