Study The Effect of Rotational Speed and Pouring Temperature on the Distribution of Si in Functionally Graded Material Produced by Centrifugal Casting

Dr.Nawal Ezzat Abdul-Latiff
Production & Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad
Dr.Rabiha Salih Yaseen
Production & Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad
Abdul-jabbar Saad Jomah
Production & Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad
Email:Abd AL Jabbar_Saad

Received on: 14/10/2012 & Accepted on: 4/4/2013

ABSTRACT

The aim of this study was to prepare a functionally graded material using centrifugal casting process and study the effect of process parameters (the rotational speed of casting mold and overheating temperature) on the microstructure of a hypereutectic(Al-23%Si) alloy. The melt was overheated to(800,900) Cº and poured in the centrifugal casting mold preheated to (100) º C ,and rotated at different rotational speed (765,840,1043,1712,1878) r.p.m . The microstructure observation showed that the increasing of overheating temperature will increase the average volume fraction of primary silicon and decreased the grain size of silicon. Increasing mold rotational speed will increase the average volume fraction of primary silicon in the inner layer of cylinder and decreased it in the intermediate and outer layer of cylinder. Increasing mold rotational speed will also decreased the grain size of primary silicon. The results of wear tests showed that the maximum wear resistant was found in the inner layer of cylinder produced using rotational speed (1878) r.p.m and pouring temperature (800) º C, minimum wear resistant was found in the intermediate layer of cylinder.

دراسة تاثير سرعة الدوران ودرجة حرارة الصب على توزيع السليكون لمادة متدرجة وظيفيا" (FGM) منتجة بسباكة الطرد المركزي

الخلاصة

يهدف البحث إلى تحضير مادة متدرجة وظيفيا" (FGM) باستعمال سباكة الطرد المركزي ودراسة تأثير متغيرات العملية (سرعة دوران قالب السباكة ودرجة حرارة الصب) على البنية المجهرية لسبيكة ألمنيوم – سليكون فوق اليوتكتك (Al – 23%Si) . تم تسمين السبيكة إلى درجة حرارة (900, 800) مº ومن ثم صبها في قالب سباكة الطرد المركزي الذي تم تسخينه مسبقا" إلى درجة حرارة (100) مº باستخدام سرع دوران مختلفة لقالب السباكة هي (765 , 840 , 1043 , 1712 , 1878) دورة /

https://doi.org/10.30684/etj.32.2A.20
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

دقيقة ..أوضحت نتائج الفحص ألمجهري إن لدرجة حرارة الصب وسرعة دوران القالب تأثير على كل من الحجم الحبيبي والكسرالحجمي لطور السليكون الاولي (β – Si) , إذ ادت زيادة درجة حرارة الصب إلى زيادة معدل الكسر ألحجمي وتقليل حجم دقائق السليكون الاولي , أما زيادة سرعة دوران القالب فقد أدت إلى زيادة معدل الكسر ألحجمي لطور السليكون الاولي (β – Si) في المنطقة الداخلية للاسطوانة وتقليله في المنطقة الوسطية والخارجية اضافة الى تقليل الحجم الحبيبي لدقائق السليكون الاولي في كل مناطق الاسطوانة.بينت نتائج اختبار البلى ان اقل معدل بلى كان في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة المنتجة عند سرعة دوران (1878) دورة/دقيقة ودرجة حرارة صب (800) م° تليها المنطقة الخارجية أما أعلى معدل بلى فكان في المنطقة الوسطية من سمك الاسطوانة.

الكلمات المرشدة :المواد المتدرجة وظيفياً , سباكة الطرد المركزي , تأثير سرعة دوران قالب السباكة,سبيكة (Al – 23%Si).

المقدمة

إن التحدي المهم في تصميم وتصنيع المواد الهندسية هو ربط أو توليف خواص المواد المتناقضة أو المتعاكسة مثل الصلادة والعساوة (hardness & toughness) في مادة واحدة . إن المواد المتدرجة وظيفيا" (Functionally graded material) يمكن أن توفر الحل لهذه المشكلة وذلك بإنتاج مواد بخواص تمتلك جزءا"مركزياً ذو عساوة (tough core)وجزءاً سطحياً صلداً (hard surface) [1]. ويمكن لهذه المواد أن توفر خواصاً لايمكن الحصول عليها في المواد التقليدية [2].

تعرف المواد المتدرجة وظيفياً (FGM) بأنها نوع جديد من المواد التي يتغير فيها التركيب الكيمياوي أو التركيب ألمجهري أو كلاهما معاً خلال اتجاه معين (specific direction) [3]. كما يمكن تعريف المواد المتدرجة وظيفياً بأنها مواد متراكبة تتدرج فيها أطوار التقوية بشكل خاص و تستخدم في المصانع للأجزاء الالكترونية و المكابح المستخدمة في صناعة السيارات, وفي هذه المتراكبات يتغير الكسر ألحجمي لأطوار التقوية بتدريج معين على طول اتجاه السمك داخل مادة الأساس لتخفيف التوزيع المطلوب للتركيب الكيمياوي . أن الانتقال التدريجي في التركيب الكيمياوي يؤدي إلى خواص ميكانيكية وفيزياوية متدرجة في هذه المواد وبالتالي تقليل الاجهادات الحرارية والاجهادات المتبقية وتقليل تركيز الاجهادات [4].

تتعرض الأجزاء الهندسية إلى ظروف تشغيلية صعبة (أثناء الخدمة) تتغير من موقع إلى أخر مثل درجات حرارة عالية أو تدرج حراري, إن المواد التقليدية (المعادن– السيراميك) لوحدها لاتفي لمتطلبات ظروف التحميل الميكانيكية والحرارية هذه لذا فان المواد المتدرجة وظيفياً تملئ الفراغ أو الفجوة في علم المواد عندما تتطلب الأجزاء خواص مختلفة في مواقع مختلفة [5].

مع زيادة التقدم في البحوث الخاصة بالتنعيم الحبيبي لسبائك (Al-Si) فوق اليوتكتيكية وبالتزامن مع التطبيقات الواسعة لمتراكبات من (Al-Si) المتدرجة وظيفيا في صناعة السيارات وفي الملاحة الفضائية(astronautics) وفي صناعة الأجزاء الالكترونية ,أصبح للمتراكبات المتدرجة وظيفياً ذات أساس ألمنيوم ومقواة بدقائق السليكون الاولي المتكون داخليا (In situ primary Si particles) أهمية كبيرة وبدء الاهتمام يزداد أكثر وأكثر من قبل الباحثين في جميع أنحاء العالم لتحضير متراكبات متدرجة وظيفياً وباستخدام طرق تصنيع مختلفة مثل طريقة الفصل الالكترومغناطيسي (electromagnetic separation) ,الترسيب بالرش (Spray deposition), ترسيب الالكتروفورتيك (electrophoretic deposition) [1,9,8,7, 6] إن أهم مميزات المواد المتراكبة المتدرجة وظيفياً هو التغير المتدرج في الخواص الناتج من التدرج في التركيب أو في أطوار التقوية والتي يمكن أن تتغلب على المشاكل الناتجة من عدم التطابق في التمدد الحراري (mismatches in thermal expansion)[3].

تعد سباكة الطرد المركزي من أسهل وارخص الطرق الفعالة لإنتاج أجزاء هندسية كبيرة الحجم لمواد متراكبة ذات أساس معدني متدرجة وظيفياً . فعند السباكة بالطرد المركزي للمواد المتراكبة يحدث انعزال للدقائق (أطوار التقوية) بسبب قوة الطرد المركزي على السطوح الداخلية أو السطوح الخارجية للمسبوكة وهذا يعتمد على الكثافة النسبية للدقائق والمنصهر ,مما ينتج مواد متراكبة متدرجة وظيفياً ومقواة بالدقائق . وتعتمد نسبة وكمية الانعزال على متغيرات العملية مثل شكل المسبوكة , درجة حرارة الصب , زمن التجمد (معدل التبريد), درجة حرارة القالب اختلاف الكثافات مابين مادة الأساس ودقائق التقوية إضافة إلى سرعة دوران القالب [10]يمكن تقسيم طرق تصنيع المواد المتراكبة المتدرجة وظيفياً إلى نوعين اعتمادا على درجة انصهار دقائق التقوية. إذا كانت درجة انصهار الدقائق أعلى بكثير من درجة حرارة العملية (processing temperature) فان دقائق التقوية تبقى صلبة في أساس سائل وهذه الطريقة تسمى(centrifugal solid – particle method), من جهة أخرى إذا كانت درجة انصهار دقائق التقوية اقل من درجة حرارة العملية (التصنيع) فان قوة الطرد المركزي يمكن إن تسلط أثناء التجمد على كل من دقائق التقوية والأساس وفي هذه الحالة فان التجمد يكون مشابه لإنتاج متراكبات داخلية المنشا (In situ composite) ولذلك فان طريقة التصنيع في هذه الحالة تسمى
(centrifugal in situ method) [11].على أي حال لاتوجد دراسات كثيرة في مجال استخدام سباكة الطرد المركزي ومدى نجاح هذه الطريقة في إنتاج المواد المتدرجة وظيفياً خاصة في المواد المعدنية أو السبائك التي تمتلك ذوبانية عالية واختلاف قليل أو بسيط في كثافات الأطوار المختلفة كما هو الحال في سبائك (Al-Si)[12] . لذايعد البحث الحالي محاولة لإنتاج مواد متراكبة متدرجة وظيفياً في أساس من سبائك (Al-Si) فوق اليوتكتك ومقواة بدقائق من السليكون الاولي الداخلي المنشأ (In situ primary Si particles).

الجانب العملي

السبيكة المستعملة

في هذا البحث تم استعمال سبيكة المنيوم- سليكون فوق الايوتكتك (Al-23%Si) والجدول (1)يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة . اجري الفحص باستعمال جهاز التحليل الطيفي نوع (Thermo ARL 3460, optical Emission spectrometer) .

منظومة سباكة الطرد المركزي

استخدمت منظومة سباكة الطرد المركزي الأفقي والموضحة في الشكل(1) والموجودة في مختبرات قسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية .

عملية صب المعدن المنصهر في قالب سباكة الطرد المركزي

بعد تهيئة منظومة السباكة بشكل كامل تم وضع الوزن المطلوب من المسبوكة (250 g) في بودقة كرافيتية وتم الصهر بواسطة فرن كهربائيي نوع (Townson), وقبل صب المعدن المنصهر تم تشغيل منظومة السباكة ثم صب المعدن بعد إزالة الخبث منه في المصب الخاص بالمنظومة الذي بدوره يدخل إلى تجويف القالب , يترك القالب يدور لمدة (1–2) دقيقة بعد انتهاء عملية الصب بعدها يتم إيقاف دوران القالب وإخراج المنتج النهائي .

استعملت سرع دوران مختلفة للقالب هي (765, 840, 1043, 1712 , 1878) دورة / دقيقة ,كما تم إجراء الصب عند درجات حرارة (900,800) م° والشكل (2) يوضح المسبوكات المنتجة باستعمال سرع دوران ودرجات حرارة صهر مختلفة .

تحضير العينات لغرض الفحص

بعد الانتهاء من عملية إنتاج المسبوكات تم قطع شريحة طولية من االاسطوانة الناتجة لغرض فحص البنية المجهرية , حيث تم تقسيم سمك الشريحة البالغ (10) ملم إلى ثلاث مناطق لغرض الفحص ألمجهري وإجراء الفحوصات وهذه المناطق هي :

- المنطقة الأولى (الداخلية) القريبة من محور الدوران.
- المنطقة الثانية (الوسطية) .
- المنطقة الثالثة (الخارجية) الملاصقة لجدار القالب.

الفحوصات المختبرية

القياسات الكمية Quantitative measurements

تم تصوير البنية المجهرية للمناطق المختلفة من الاسطوانات المحضرة باستعمال مجهر ضوئي مزود بحاسوب نوع (Nikon ECLIPSE ME 600) ومزود بكاميرا رقمية نوع (Nikon DIGITAL DXM 1200 F) كما تم استعمال برنامج حاسوبي (J – Image) لحساب الحجم الحبيبي(GS) والمساحة (A) لحبيبات السليكون (Si) .

تم حساب الحجم الحبيبي لدقائق (Si) الاولي في كل منطقة باستعمال المعادلة التالية.

$$deq = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \qquad \dots (1)$$

إذإن:

deq : معدل القطر أو الطول الحبيبي لدقائق السليكون الأولي (mμ)

A: مساحة دقائق السليكون الأولي ($m\mu^2$)

ولتوصيف اختلاف التركيب ألمجهري تم حساب الكسر ألحجمي (Vf) لحبيبات السليكون الاولي بوساطة التحليل المساحي لكل النماذج باستخدام العلاقة التالية:

$$Vf = \frac{\sum A_i}{A} \qquad \dots (2)$$

إذ إن :

A_i **:** مساحة حبيبات السليكون .

A : المساحة الكلية للصورة .

الفحص ألمجهري باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM)

تم استخدام المجهر الالكتروني الماسح نوع (TESCAN/VEGA) (SEM HV:10.00 KV) , لدراسة البنية المجهرية وفحص سطوح العينات بعد إجراء فحص البلى .

اختبار البلى Wear test

تم إجراء اختبار البلى باستعمال جهاز البلى (Pin-on-disc) ,الذي يتكون من محرك كهربائي ذي سرعة ثابتة (950) دورة / دقيقة وقرص من الفولاذ قطره (200) سم يدور بسرعة (278) دورة / دقيقة , كما يحتوي الجهاز على عتلة اتزان أفقية ذات مقطع مستطيل تحتوي على ترتيبه خاصة تستعمل لتثبيت عينة الفحص وتسليط الحمل وموازنته . تم قطع شريحة معينة من المسبوكة عند سرعة دوران(1878) دورة / دقيقة بدرجة حرارة صب (800) م° هذه الشريحة ذات طول وسمك(10) ملم وارتفاع (10) ملم , بعدها تم تقطيع هذه الشريحة إلى ثلاث شرائح بسمك (3) ملم مستطيلة الشكل ليتسنى لنا دراسة معدل البلى لمناطق الاسطوانة المختلفة (الداخلية و الوسطية و الخارجية) وذلك بسبب تدرج توزيع دقائق(Si)

بفعل قوة الطرد المركزي في سمك الاسطوانة , كما تم دراسة معدل البلى للسبيكة الأساس التي تم صبها في قالب معدني(بدون طرد مركزي) .كما تم تنعيم سطح العينة الملامس للقرص الفولاذي الدوار لضمان تطابق جميع السطح وانتظام معدل البلى.
يتم حساب معدل البلى وفق المعادلة التالية [15] :

$$\text{Volume wear rate } (cm^3/cm) = \Delta W / (2\pi r n \rho t) = (W_1 - W_2)/(2\pi r n \rho t) \quad \dots (3)$$

إذ إن :
W_1: وزن العينة قبل الفحص (غم)
W_2: وزن العينة بعد الفحص (غم)
r : نصف قطر الدوران (7 سم)
n : سرعة دوران القرص (278 دورة/دقيقة)
ρ :كثافة المادة (2.6 غم/سم^3)
t : زمن الفحص (15 دقيقة)

النتائج والمناقشة

تأثير سرعة دوران القالب ودرجة حرارة الصب على البنية المجهرية وسمك تواجد دقائق (Si) الاولي:

يوضح الشكل (6) التركيب ألمجهري لسبيكة (Al-23%Si) تم صبها في قالب معدني ساكن , يلاحظ من الشكل أن دقائق (Si) الاولي (β – Si) تكون ذات حجوم كبيرة بحدود (123) مايكرو متر وذات كسر حجمي قليل بحدود (8%) وموزعة بشكل عشوائي في البنية الأساس المتكونة من شبكة من طور اليوتكتك (α- Al + β - Si) .
.اما الشكل (3) صور فوتوغرافية لمقاطع من اسطوانات تم إنتاجها بسباكة الطرد المركزي لسبيكة (Al-23%Si) عند سرع دوران مختلفة ودرجات حرارة صب مختلفة , يلاحظ من الشكل إن سمك الاسطوانة يتألف من ثلاث طبقات بفعل تأثير سرعة دوران قالب السباكة , وهي على التوالي :

- **الطبقة الخارجية** وتحتوي هذه الطبقة على نسبة قليلة من دقائق (Si) الاولي صغيرة الحجم , وهي الطبقة الملامسة لسطح قالب السباكة ويمكن تفسير وجود هذه الطبقة إلى انه عند صب المعدن المنصهر في قالب الطرد المركزي فان المناطق عند سطح التلامس بين المعدن المنصهر وسطح القالب سوف تتجمد بسرعة وهذا يرجع إلى معامل التوصيل الحراري لمعدن القالب الذي يؤدي إلى إحداث إفراط عالي في التبريد نتيجة الفرق بين درجة حرارة المعدن المنصهر وسطح القالب المعدني وبذلك تتكون هذه الطبقة . وتتأثر عملية التجمد في هذه المنطقة كذلك بسرعة دوران قالب السباكة الذي يعمل على زيادة انتقال الحرارة من المعدن المنصهر عبر قالب السباكة إلى المحيط الخارجي (الهواء) وبالتالي زيادة معدل التبريد .
- **الطبقة الوسطية** وتكون هذه الطبقة إما خالية من دقائق (Si) الاولي كما في شكل (3,a) أو يتدرج فيها وجود دقائق السيلكون كما في شكل (3,b) ويعتمد ذلك على سرعة دوران قالب السباكة . ويمكن تفسير تواجد دقائق السيلكون في هذه المنطقة إلى انه عند حدوث عملية التجمد عند سطح التلامس بين سطح القالب والمنصهر المعدني يؤدي إلى انبعاث الطاقة الكامنة للتجمد وبذلك ترتفع درجة حرارة المنصهر مما يوفر فرصة لتحرك دقائق السليكون نحو المناطق الداخلية للاسطوانة . إن حركة هذه الدقائق وتدرج وجودها يتأثر بمعدل التبريد وسرعة دوران قالب السباكة إضافة إلى اختلاف الكثافات بين دقائق السليكون المتجمدة وكثافة المنصهر المعدني . إن استمرار حركة الدقائق يؤدي إلى الحصول على مادة متدرجة [2]. - **الطبقة الداخلية** وهي الطبقة التي تتركز فيها دقائق (Si)الاولي (β - Si) ويعزى وجود الدقائق في هذه الطبقة إلى تأثير قوة الطرد المركزي الناتجة من دوران القالب التي تعمل على دفع دقائق(Si) الاولي من

دراسة تاثير سرعة الدوران ودرجة حرارة الصب على توزيع السليكون لمادة متدرجة وظيفيا" (FGM) منتجة بسباكة الطرد المركزي
2014¤2..ÞÖÞÞ (A) ÞÞÞ32ÞÞÞ

دراسة تاثير سرعة الدوران ودرجة حرارة الصب على توزيع السليكون لمادة متدرجة وظيفيا" (FGM) منتجة بسباكة الطرد المركزي
2014 ¤2..ÞÖÞÞ (A) ÞÞÞ

2014 ¤2..ÞÖÞÞ (A) ÞÞÞÞÞÞ 32 ÞÞÞÞÞÞ

السرع الواطئة أو تكون خالية من هذه الدقائق عند سرعة دوران (1878) دورة/ دقيقة والمنطقة الخارجية والتي تحتوي على كمية قليلة من دقائق السليكون . لكن بشكل عام معدلات الكسر ألحجمي لدقائق السليكون في المنطقة الوسطية والخارجية تقل مع زيادة سرعة دوران القالب .

2- يمكن الحصول على أعلى كسر حجمي لدقائق السليكون بحدود (35%) في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة الناتجة عند سرعة دوران (1878) دورة / دقيقة ودرجة حرارة صب (900) م°, وتقل معدلات الكسر ألحجمي مع نقصان درجة حرارة الصب.

3- حجم دقائق السليكون الاولي يقل مع زيادة سرعة دوران قالب سباكة الطرد المركزي ودرجة حرارة الصب ولجميع المناطق بسبب زيادة معدل التبريد .

4- اقل معدل بلى كان في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة تليها المنطقة الخارجية, أما أعلى معدل بلى فكان في المنطقة الوسطية عند سرعة دوران (1878) دورة/ دقيقة ودرجة حرارة صب (800) °م.

المصادر

[1].Put S., Vleugels J., Van der Biest O. , " Microstructural engineering of functionally graded materials by electrophoretic deposition", J. Mat. Proc. Tech., Vol.143, (2003) ,pp 572–577.

[2].Watanabe Y., Inaguma Y., Sato H., Miura-Fujiwara E., "A Novel Fabrication Method for Functionally Graded Materials under Centrifugal Force: The Centrifugal Mixed - Powder Method", J. Mat , Vol. 2, (2009) , PP 2510-2525 .

[3]. Chen W. , Wang Q. , Zai C. , Ma C., Zhu Y., He W., " Functionally graded Zn-AI-Si in-situ composites fabricated by centrifugal casting" J. Mat. Sci. Lett.,Vol. 20,(2001),PP 823– 826**.**

[4]. Ekici R. , Kemal Apalak M., Yildirim M.," Indentation behavior of functionally graded Al–SiC metal matrix composites with random article dispersion", Composites Part B 42, (2011),pp 1497–1507**.**

[5]. Singh S. B., Ray S.**,"** Creep analysis in an isotropic FGM rotating disc of Al–SiC composite", J. Mat. Proc. Tech., Vol.143, (2003),pp 616–622.

[6]. Velhinho A., Rocha L. A.," Longitudinal centrifugal casting of metal-matrix functionally graded composites: an assessment of modeling issues " , J. Mat. Sci .,Vol. 46 , (2011) , pp 3753–3765 .

[7]. Yan-bo Z. , Chang- ming L. , Kai W. , Mao-hua Z., Yong X. , " Characteristics of two Al based functionally gradient composites reinforced by primary Si particles and Si/ in situ Mg2Si particles in centrifugal casting " Nonferrous Met. Soc. china ,vol 20, (2010) , pp361-370.

[8]. Song C. J., Xu Z. M., Liang G., Li J. G, "Study of in-situ Al/Mg2Si functionally graded materials by electromagnetic separation method", Mat.Sci.Eng.Vol.A424,(2006),pp6–16.

[9].Su B., Yan H.G., Chen G., Shi J.L., Chen J.H., Zeng P.L., " Study on the preparation of the SiCp/Al–20Si–3Cu functionally graded material using spray deposition", Mat. Sci. Eng.Vol A 527, (2010),pp6660–6665.

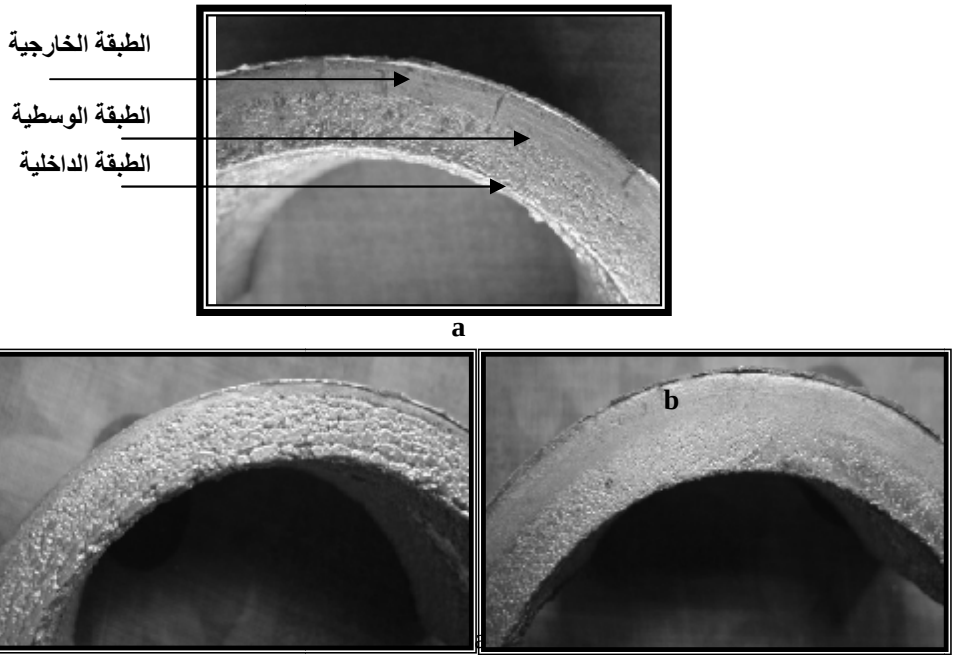
[10]. Panda E., Mazumdar D., of Metal Matrix Composites",Met.Mat.Trans.,Vol.37A,(2006),PP1675.

دراسة تاثير سرعة الدوران ودرجة حرارة الصب على توزيع السليكون لمادة متدرجة وظيفيا" (FGM) منتجة بسباكة الطرد المركزي

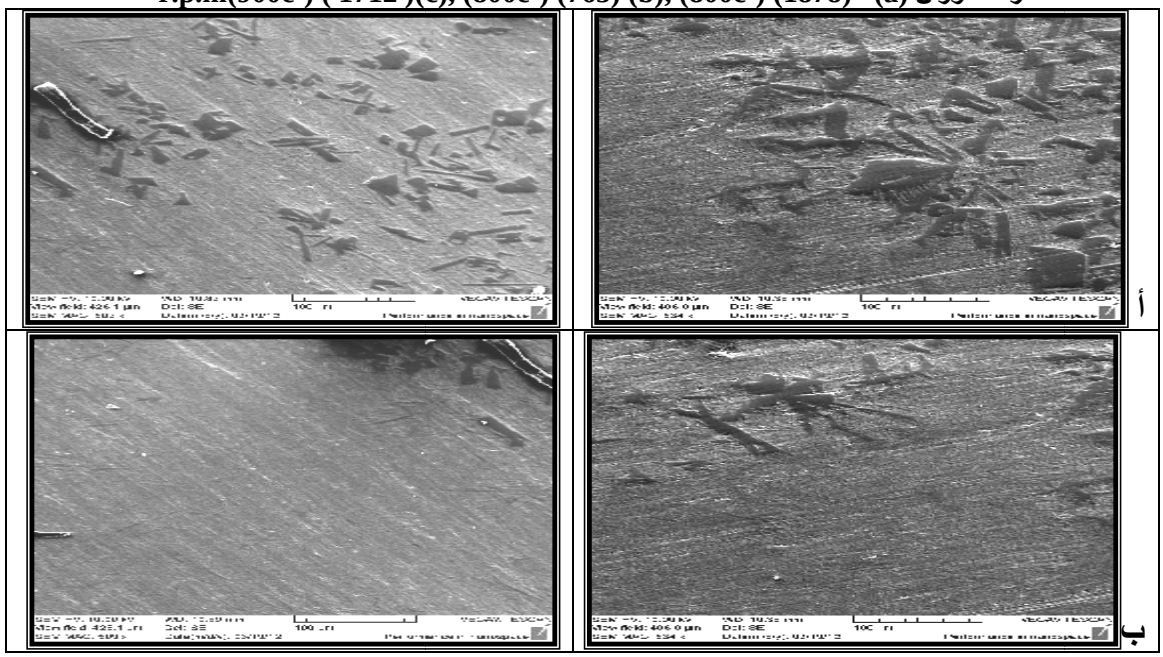
2014¤2..ªÓ¤ÿ (A) ob¥Ž32Ó¥¾Ž¾Ž¾Ž

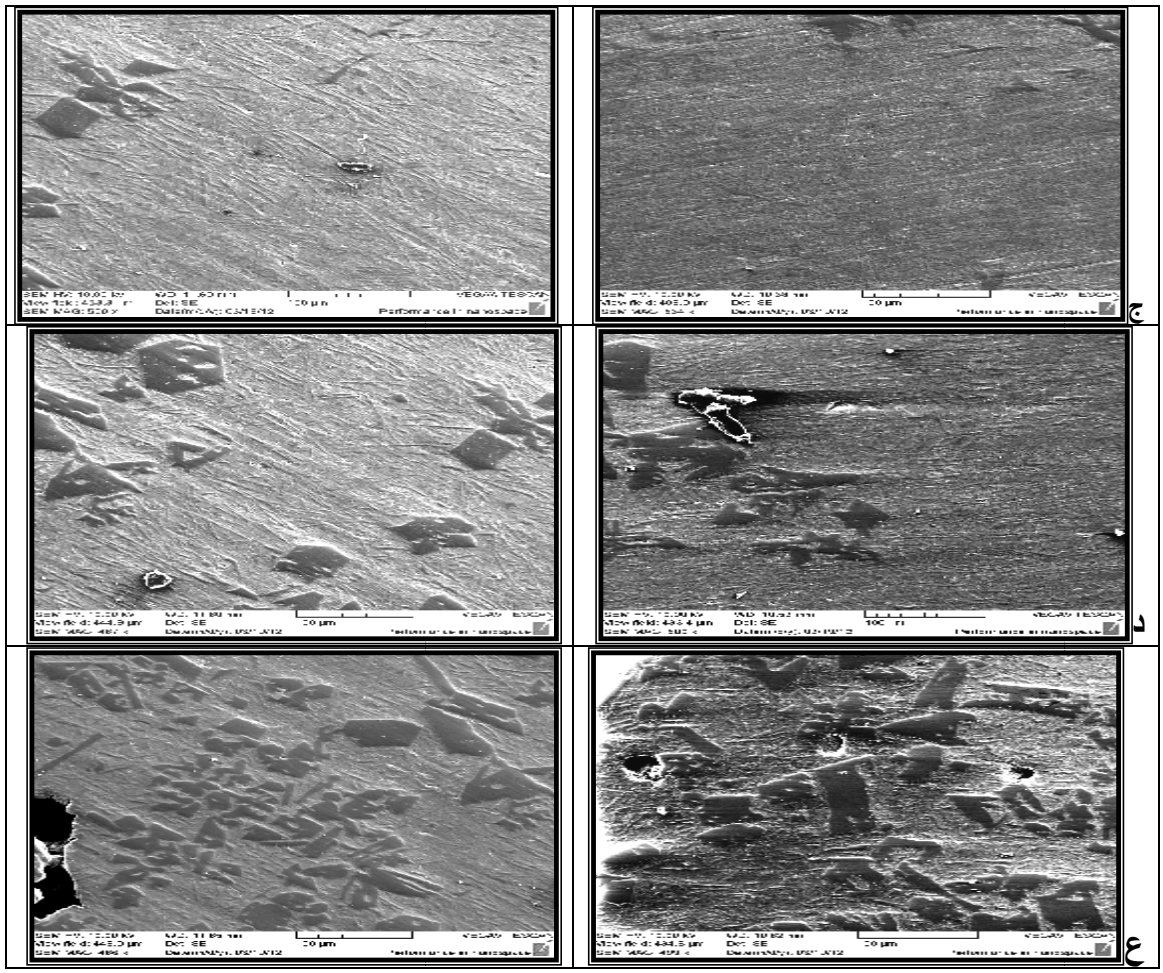
شكل (1) منظومة سباكة الطرد المركزي الأفقي .

شكل (2) يوضح المسبوكات الناتجة



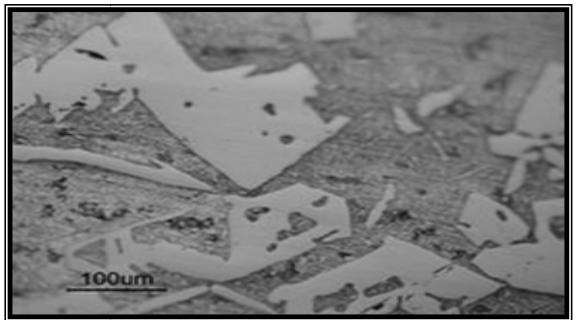
شكل (3) صور فوتوغرافية توضح تكون الطبقات خلال مقطع سمك الاسطوانات المنتجة بسباكة الطرد المركزي عند سرعة دوران (a) (1878) (800c°), (765) (b), (800c°) (1712)(c), (900c°) r.p.m





A B

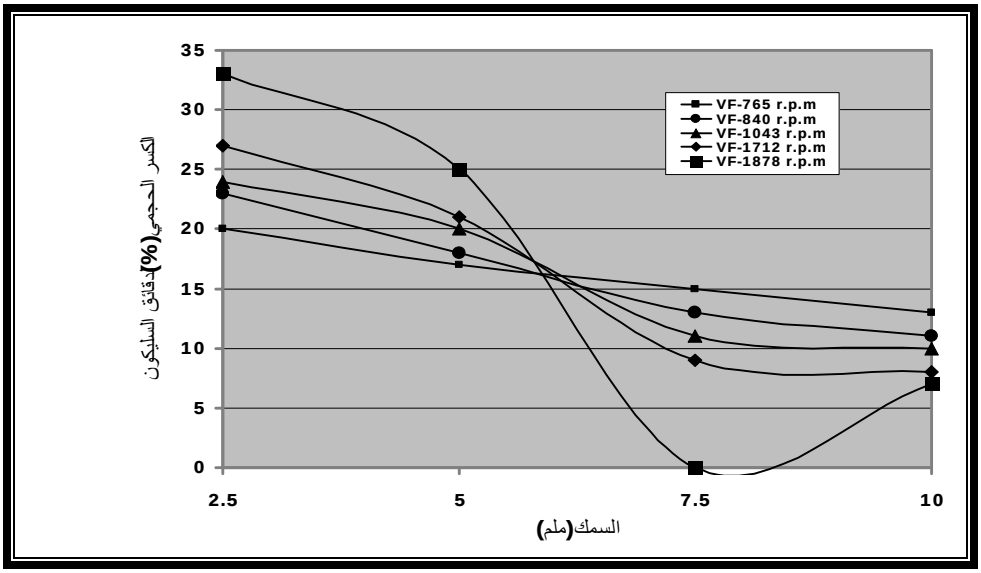
شكل (4) التركيب ألمجهري لمقطع اسطوانة (من الطبقة الخارجية أ نحوالطبقة الوسطى ب,ج ثم الخارجية ع) عند سرعة دوران (1878) دورة / دقيقة ودرجة حرارة صب مختلفة A - (800) م° B- (900) م°.



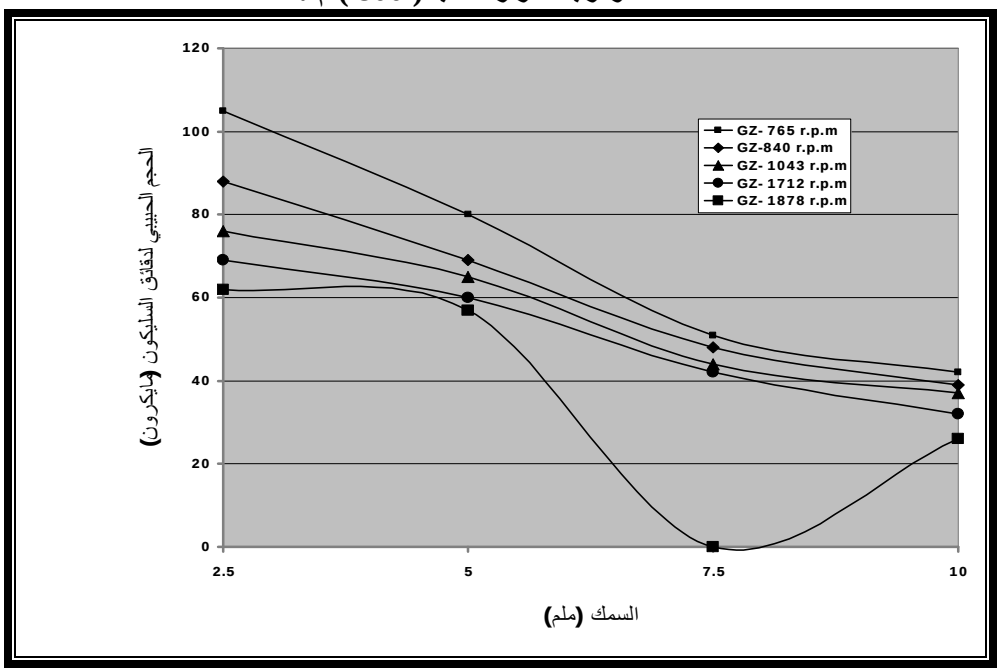
شكل (5) التركيب ألمجهري لنموذج تم صبه في قالب معدني ساكن

عدد الدورات / السمك / ملم	765	840	1043	1712	1878
0 - 5					
5 - 7.5					
7.5 – 10					

شكل (6)التركيب ألمجهري للطبقات الداخلية والوسطية والخارجية لاسطوانات تم إنتاجها عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (800)م°



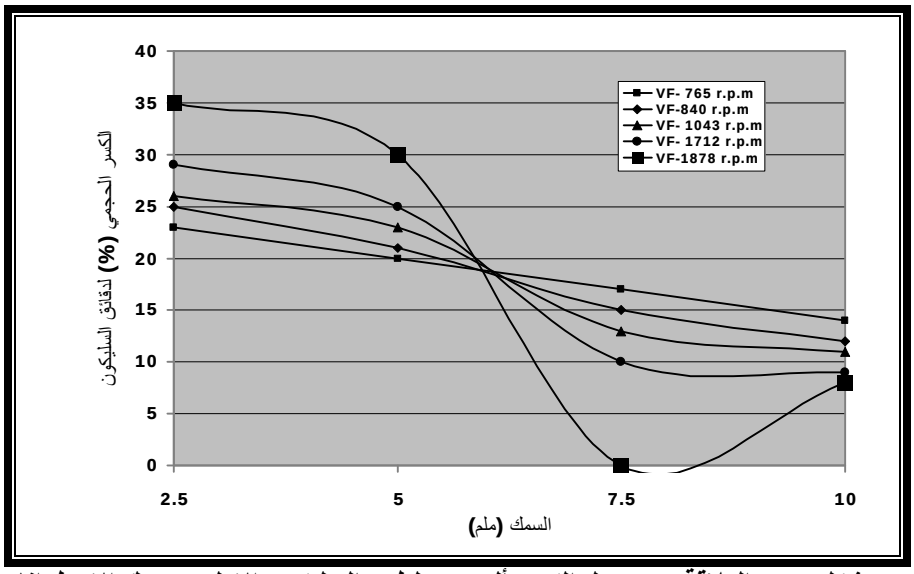
شكل (7) العلاقة بين معدل الكسر ألحجمي لطور (Si) الاولي وسمك الاسطوانة عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (800) م°.



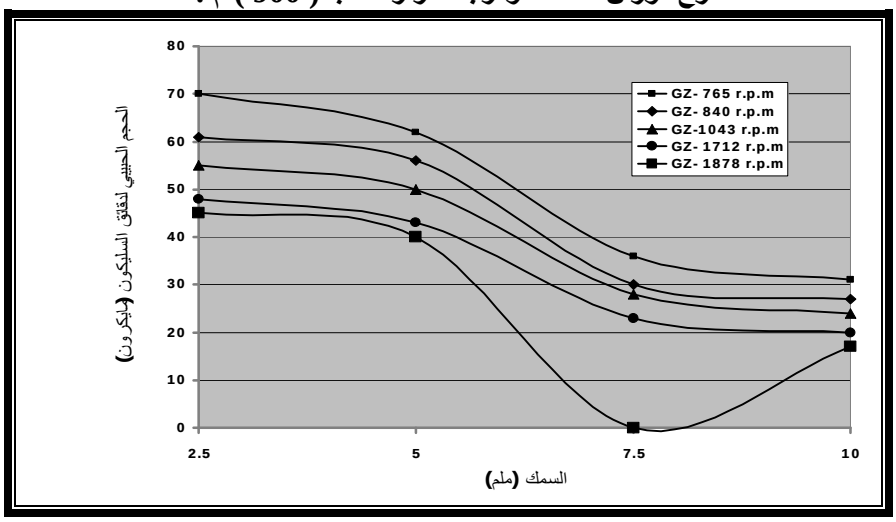
شكل (8) العلاقة بين معدل حجم دقائق (Si) الاولي وسمك الاسطوانة عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (800) م°.

عدد الدورات / السمك / ملم	765	840	1043	1712	1878
0 - 5					
- 7.5 5					
– 10 7.5					

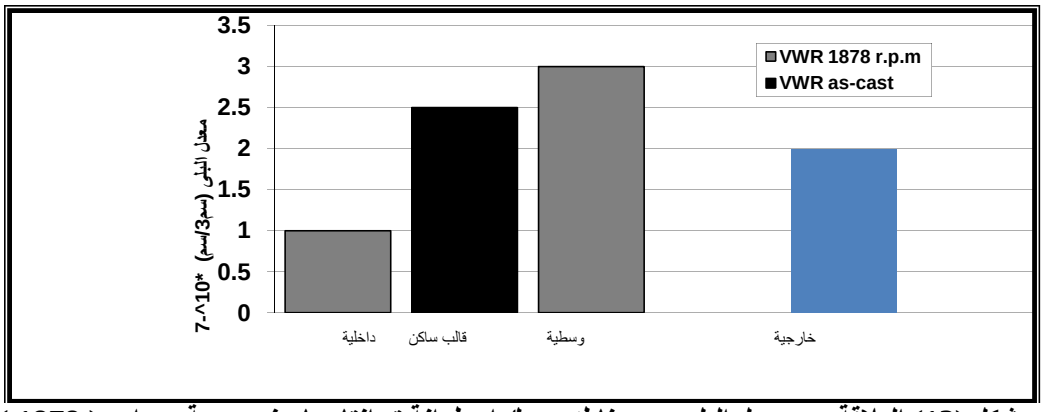
شكل (9)التركيب ألمجهري للطبقات الداخلية والوسطية والخارجية لاسطوانات تم إنتاجها عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (900)م° قوة التكبير (200 X)



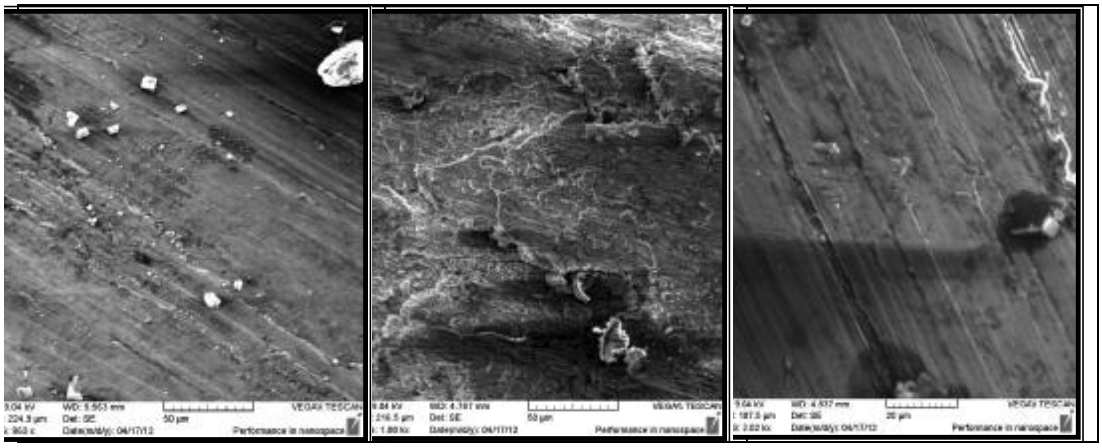
شكل (10) العلاقة بين معدل الكسر ألحجمي لطور السليكون الاولي وسمك الاسطوانات عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (900) م°.



شكل (11) العلاقة بين معدل حجم دقائق (Si) الاولي وسمك الاسطوانة عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (900) م°.

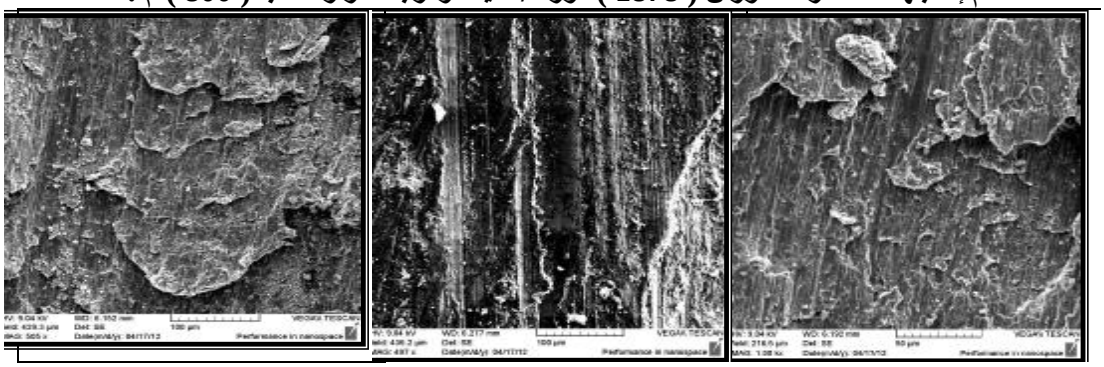


شكل (12) العلاقة بين معدل البلى مع مناطق سمك اسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (1878) دورة / دقيقة ودرجة حرارة صب (800) مº مقارنة مع السبيكة الأساس .



a b c

شكل (13) يبين تركيب سطح البلى للطبقات (a) الداخلية ,(b) الوسطية ,(c) الخارجية لاسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (1878) دورة / دقيقة ودرجة حرارة صب (800) مº.



شكل (14) يبين تركيب سطح البلى لمناطق مختلفة لسطح العينة (السبيكة الأساس) .(as – cast)