



## دراسة تأثير السرعة الدورانية ودرجة حرارة الصب على مقاومة البلى والصلادة لسبيكة الألمنيوم (A380) المقواة بنسب حجمية مختلفة من دقائق الالومينا

فاروق منصور مهدي<sup>1</sup> نجيب عبطان سلمان<sup>2</sup> مهند عبد الخالق حميد الخزرجي<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، صلاح الدين ، العراق

### الخلاصة

في هذه الدراسة تم استخدام سباكة الطرد المركزي الأفقي لإنتاج بطانة اسطوانية لمحرك الاحتراق الداخلي مكونة من سبيكة الألمنيوم (A380) المقواة بدقائق الالومينا ( $Al_2O_3$ )، يتراوح الحجم لدقائق الالومينا بين (63- 25) مايكرون وبنسب حجمية مختلفة (10, 15, 20)%. تم تثبيت درجة حرارة القالب عند درجة حرارة (350)°م والتدوير بسرعات مختلفة. تم التوصل في هذا البحث إلى أن زيادة الفرق بين درجة حرارة الصب ودرجة حرارة القالب تؤدي إلى تقليل العيوب والفجوات السطحية كما تم التوصل إلى أن زيادة السرعة الدورانية للقالب قد أدت إلى تعميم البنية المجهرية وتزداد النعومة بالاقتراب من السطح الخارجي إلا أنها تعمل على زيادة تركيز دقائق الالومينا المضافة عند السطح الخارجي للأسطوانة. توصلت الدراسة الحالية كذلك إلى أن دقائق الالومينا المضافة قد عملت على رفع قيم الصلادة وتحسين مقاومة البلى.

الكلمات الدالة: المواد المركبة، سباكة الطرد المركزي الأفقي، البلى.

## Study the Effect of Rotational Speed and Pouring Temperature on the Wear Resistance and Hardness of Alloy (A380) Reinforced with Different Volume Fraction of Alumina Particles

### Abstract

In this study a cylindrical liner was produced by horizontal centrifugal casting process. The liner was composed from aluminum alloy (A380) matrix reinforced with alumina particles ( $Al_2O_3$ ) with grain size of (63–125) $\mu$  and volume percent of 10, 15 and 20%. The die was rotated at different speeds and its temperature was remained constant at (350)°C.

In this present study it was concluded that any increase in temperature difference between pouring and die temperature will reduce the surface defects. This study reveals that increasing the rotational speed refines the grain size but cause the alumina particles to be concentrated at the outer surface. Finally it was found that the addition of alumina particles increases both hardness and wear resistance of the alloy.

**Key word:** Composite materials, horizontal centrifugal casting process, wear.

### المقدمة

شهدت السنوات الأخيرة توجه عدد من الباحثين نحو دراسة إمكانية استخدام سبائك الألمنيوم – سليكون المقواة بجسيمات من مادة صلدة كبديل عن سبائك حديد الزهر في صنع بطانات اسطوانات محركات الاحتراق الداخلي لتخفيف الوزن وتقليل استهلاك الوقود [2]. فقد قدم الباحثون (Yarandi et al.) [3] دراسة حول السباكة بالقوة الطاردة المركزية والجريان الحلزوني لمنصهر سبيكة (Al-7%wt Si) المقواة بدقائق (SiC) بنسب حجمية قدرها (10، 15، 20%) في قالب معدني. وقد وجد أن سرعة جريان المنصهر تزداد خطياً بزيادة درجة

تعد سباكة الطرد المركزي واحدة من تقنيات السباكة المرتبطة عادة في الحصول على مواد مهجنة عملياً (Functionally Graded materials) وبصورة أساسية المواد المركبة (Composite Materials) أو المواد المعدنية (Metallic Materials) التي تحتوي على اختلاف كبير في الكثافات وكذلك على مواد لها قابلية ذوبان منخفضة (Low solubility) على مختلف الأطوار أو مختلف المعادن وفي نفس السبيكة [1].

صرف الوقود المستخدم في المحركات والتقليل من معدلات البلى (Wear rates) في أجزاء المحركات. يهدف هذا البحث إلى دراسة متغيرات عملية السباكة بالقوة الطاردة المركزية الأفقية على البنية المجهرية وعدد من الخواص الميكانيكية لسبيكة (Al-Si) المقواة بدقائق من الالومينا ( $Al_2O_3$ ). مُثلت المتغيرات التي تم دراستها بسرعة الدوران ودرجة حرارة الصب ونسبة الدقائق المضافة من الالومينا.

#### الجزء العملي:

تم استخدام دقائق من مادة الالومينا كمادة تقوية بنقاوة تصل إلى (99.9%) من إنتاج شركة (Panreac) وبوزن جزيئي (Molecular weight) (101.96) وبأحجام مختلفة إذ تم السيطرة على الحجم الحبيبي للدقائق بواسطة مجموعة من الغرايل الهزازة التي تتراوح أحجامها ما بين (63-125 ميكرون). تم تنظيف المعدن الأساس وهو عبارة غطاء اسطوانة لمحرك الاحتراق الداخلي الخاص بشركة تويوتا لسيارة نوع كرونا موديل (1981-1980)، حيث تم إزالة الدهون عنه وتقطيعه إلى أجزاء يزن الجزء الواحد منها (2) كغم مع إزالة جميع الملحقات التي تختلف في تركيبها الكيميائي عن المعدن الأساس المطلوب. وبعد ذلك تم تهيئة فرن الصهر. أما السيطرة على درجة حرارة الصهر فتتم من خلال منظومة سيطرة رقمية للحصول على درجة حرارة الصب المطلوبة. علما انه تم إجراء التحليل الكيميائي للسبيكة (تحليل طيفي) في شركة نصر العامة ويوضح الجدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة الأساس المستعملة في هذه الدراسة.

حرارة الصب وتقل بزيادة حجوم دقائق التقوية. كما لاحظوا حدوث ترسب لدقائق (SiC) وانعزالها. أما الباحث (Zhu) [4] فقد قام بتقوية أرضية من الألمنيوم بدقائق من الالومينا بطريقة التلغلل بالضغط (Pressure Infiltration). وبعد مقارنة خواص المادة المركبة بخواص حديد الزهر المبطلي (Ductile Cast Iron) توصلوا إلى تقارب قيم معامل يونك (Young's Modulus) بينهما مع تميز حديد الزهر على المادة المركبة بمتانة الكسر (Fracture Toughness) وتغوق المادة المركبة من ناحيتي الكلفة والوزن. ويزيادة نسبة الالومينا في المادة المركبة قد أدت إلى حدوث الكسر الهش (Brittle Fracture). كما قام الباحث (Roberto cocomazzi) [5] بدراسة سلوك سبيكتي الألمنيوم (6061) و(7005) المقواة بدقائق ( $Al_2O_3$ ). أجرى الباحث مقارنة بين الخصائص الميكانيكية للسبيكتين المقواة ونظيرتيهما غير المقواة. كما درس خصائص السبيكتين المقواة عند درجات حرارية مختلفة هي ( $150, 100, 25^{\circ}C$ ). توصل الباحث إن التقوية بدقائق ( $Al_2O_3$ ) أدت إلى تحسين معامل المرونة ومقاومة الشد على حساب المطيلية مع حصول انخفاض طفيف في مقاومة الشد مع ارتفاع درجة الحرارة. قام الباحث (Bonollo) [6] بإنتاج بطانة اسطوانية (Cylinder liners) لمحرك الاحتراق الداخلي من مواد مركبة بأرضية من سبيكة الألمنيوم (A357) مقواة بدقائق أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) بحجم حبيبي ما بين (7-10 ميكرون) بواسطة السباكة بالقوة الطاردة المركزية والغرض من هذه الدراسة هو الحصول على بطانة اسطوانية لمحرك الاحتراق الداخلي تنافس في خصائصها الميكانيكية والفيزيائية مثيلتها من حديد الزهر للتقليل من الوزن إذ تم توفير (0.5 كغم) لكل بطانة وكذلك التقليل من

#### جدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة الأساس

العنصر	Al	Si	CU	Zn	Mg	Ni	Mn	Pb	Fe
النسبة %	86.95	8.11	3.35	0.18	0.31	0.019	0.14	0.020	0.55

وبصورة تدريجية إلى مركز الدوامة (Vortex) وبالنسب الحجمية المطلوبة البالغة (10، 15، 20%)، حيث تم خلط الدقائق مع المعدن المنصهر بواسطة خلاط كهربائي (Electrical stirrer) وبسرعة تدوير (500 دورة/دقيقة). وتستمر عملية الخلط الأولي لمدة دقيقة واحدة ومن ثم رفع درجة حرارة الفرن إلى درجة حرارة الصب المطلوبة وعند هذه الدرجة يتم تثبيت درجة حرارة الفرن لكي تتم عملية الخلط على المرحلة الثانية وبزمن يتراوح ما بين (1-2 دقيقة) و بنفس سرعة دوران الخلط الأولية وبعد ذلك يتم صب الخليط إلى قالب ماكينة الطرد المركزي الأفقية والموضحة في الشكل (1) ومن ثم إخراج المنتج وهو عبارة عن بطانة اسطوانية بالأبعاد الموضحة في الشكل (2) والشكل (3) يبين شكل وعدد البطانة المنتجة.

ولتحديد الظروف الملائمة لإنتاج المادة المركبة المتكونة من السبيكة الأساس (Al-Si) ودقائق الالومينا فانه تم دراسة المتغيرات الآتية:

1. درجة حرارة القالب.
2. درجة حرارة الصب.
3. السرعة الدورانية للقالب.

حيث تم وضع قطع المعدن الأساس في بوتقة سيراميكية من كاربيد السيلكون ومن ثم إدخالها إلى فرن الصهر مع مراقبة درجة الحرارة من خلال منظومة السيطرة الرقمية وعند الوصول إلى درجة حرارة ( $750^{\circ}C$ ) ، عندئذ يتم تثبيت درجة حرارة الفرن ليعمل عمل فرن تثبيت وبعد ذلك يتم إضافة مزيج الخبث ذو التركيب (KALF4) الألماني المنشأ بنسبة 1% إلى المعدن المنصهر لسبيكة الألمنيوم (A380) ذات الكثافة ( $2.71 g/cm^3$ ) [7]، حيث يتم خلطه مع المعدن المنصهر بمغرفة حديدية يدوية ويتم إزالة الخبث بواسطة هذه المغرفة. وبعد ذلك يتم إضافة دقائق الالومينا ( $Al_2O_3$ ) ذات الكثافة ( $3.97-3.986 g/cm^3$ ) [8]

### فحص التركيب المجهرى

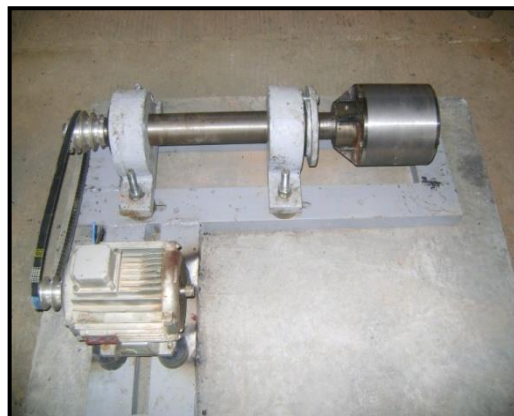
بعد الانتهاء من عملية إنتاج المسبوكات تم تقطيع العينات بواسطة ماكينة التفريز وعلى شكل شريحة طولية بعرض (12 ملم) مقطوعة من منتصف كل اسطوانة. تقطع الشريحة بعد ذلك إلى قطع اصغر لإجراء عملية التنعيم باستعمال ورق تنعيم بالدرجات (1000،600،400) على التوالي ومن ثم إجراء عملية الصقل باستعمال قماش خاص مع معجون الماس. أما الإظهار (Etching) فقد تم باستعمال محلول الإظهار من نوع (Modified Keller's reagent) والذي يتكون من (2مل) من (HF) و (3مل) من (HCl) و (20مل) من (HNO<sub>3</sub>) و (175مل) من الماء [9]. ويتم غمر العينة في محلول الإظهار لمدة (20 ثانية) ومن ثم يتم إخراجها وغسلها بالماء الفاتر وتجفيفها باستعمال مجفف كهربائي لتصبح العينات جاهزة للفحص بالمجهر الضوئي. أما تصوير البنية المجهرية فقد اجري باستخدام مجهر ضوئي موديل (XJP-H200) ملحق بكاميرا فيديو رقمية مربوطة إلى كومبيوتر محمول (Laptop)، وقد تم اخذ عدة صورة لكل عينة بواقع ثلاث قوى تكبير (20X, 10X, 5X) لدراسة توزيع دقائق الالومينا داخل الأرضية المعدنية والتغيرات التي طرأت على البنية المجهرية علما أن الفحص قد تم في معهد الدور التقني التابع لهيئة التعليم التقني/ وزارة التعليم العالي والبحث العلمي العراقية.

### فحص الصلادة

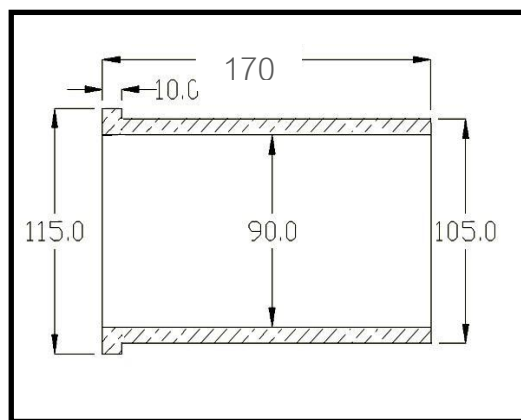
تم إجراء فحص الصلادة للعينات التي تم اقتطاعها من منتصف الاسطوانة بطريقة برينيل (Brinell Hardness) بواسطة جهاز فحص الصلادة نوع (Brinell Rockwell Vickers Hardness Tester Model HBRV – 187.5 S.N. 0098) كما موضح في الشكل (4) إذ تم تسليط حمل مقداره (306.5 نيوتن) على المنطقة المراد اختبارها باستخدام كرة قطرها (1.588 ملم) وتؤخذ القراءة من شاشة الجهاز مباشرة. وقد أخذت ثمانية قراءات للعينة الواحدة وتم حساب معدل هذه القراءات لتعتمد كقراءة نهائية.



شكل (4) جهاز فحص الصلادة



شكل (1) ماكينة سباكة الطرد المركزي الأفقية



شكل (2) أبعاد الاسطوانة المنتجة بالمليمتر



شكل (3) عدد وشكل البطانات الاسطوانية

### الفحوصات المختبرية

لقد تم إجراء فحوصات مختبرية للمادة المركبة المنتجة بواسطة سباكة الطرد المركزي الأفقي وتمثلت بالفحوصات التالية:-

**فحص مقاومة البلى**

حضرت عينات اسطوانية بقطر (8ملم) وطول (20ملم) من الاسطوانات المنتجة. ثم بعد ذلك تم تنعيم هذه العينات باستخدام ورق تنعيم (400،600،1000). وقد اجري اختبار البلى الانزلاقي الجاف بطريقة المسمار فوق القرص باستخدام جهاز فحص البلى الانزلاقي المبين في الشكل (5).



شكل (5) جهاز فحص البلى

$W_1$  = وزن العينة قبل الاختبار (gm).  
 $W_2$  = وزن العينة بعد الاختبار (gm).  
 أما بالنسبة لمعدل البلى فقد تم حسابه وفق المعادلة التالية [10]:

$$\text{Wear rate} = \frac{\Delta W}{S} \left( \frac{\text{gm}}{\text{cm}} \right) \dots \dots \dots (2)$$

وبتعويض مسافة الانزلاق الكلية (S) والمقاسة بالسنتيمتر بحسب معدل البلى من المعادلة التالية:

$$\text{Wear rate} = \frac{\Delta W}{\pi D_s N t} \left( \frac{\text{gm}}{\text{cm}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

إذ إن  
 $D_s$  = قطر دائرة الانزلاق (cm).  
 $N$  = السرعة الدورانية للقرص (RPM).  
 $t$  = زمن الدوران (15) دقيقة عند كل اختبار.

**النتائج والمناقشة:**

إن التوزيع المتدرج لدقائق الالومينا داخل الأرضية المعدنية لسبيكة الألمنيوم- سيليكون (A380) على طول المسار الشعاعي تم ملاحظته من خلال الفحص المجهرى في كل اسطوانات الطرد المركزي وكما موضح في الشكل (6) إذ يوضح هذا الشكل عملية توزيع الدقائق في الاسطوانات التي تم الحصول عليها بواسطة الطرد المركزي عند سرع الدوران المختلفة ودرجات حرارة الصب المختلفة. إذ يلاحظ انه عند سرعة الدوران (1000دورة/دقيقة) يكون معدل التجمد قليل جدا ، كما انه يظهر توزيع دقائق الالومينا بشكل منتظم من داخل الاسطوانة إلى خارجها بشكل شعاعي إذ يتضح من ذلك انتقال الدقائق بشكل تدريجي، وقد وجد أيضا أن طور ( $\alpha$ - Al) الابتدائي يكون ذو تركيب متساوي المحاور (equated structure) عند المنطقة الخارجية وكما موضح في الشكل (7 أ). وبالانتقال من خارج المسبوكة نحو الداخل يلاحظ أن طور الأيوتكتك سيليكون (Eutectic-Si) قد تحول من التركيب ذو شكل الصفائح إلى حبيبات ناعمة والتي ينتج عنها تحسين في الخواص الميكانيكية وكما في الشكل (7ب). يوضح الشكل (8) تغير حجوم الحبيبات مع زيادة سرع الدوران إذ يقل الحجم البلوري مع زيادة السرعة علاوة على التغير في كمية الطور الثاني المترسب على الحدود البلورية، إذ تقل كمية الطور الثاني مع زيادة السرعة وبالتالي الحصول على بلورات محلول جامد فوق الإشباع تحسن من الخواص الميكانيكية، ويرجع السبب في ذلك إلى أن سرعة الدوران تؤدي إلى زيادة معدل التبريد مما يؤدي إلى عدم توفر الوقت اللازم للنمو البلوري أو ترسب الطور الثاني.

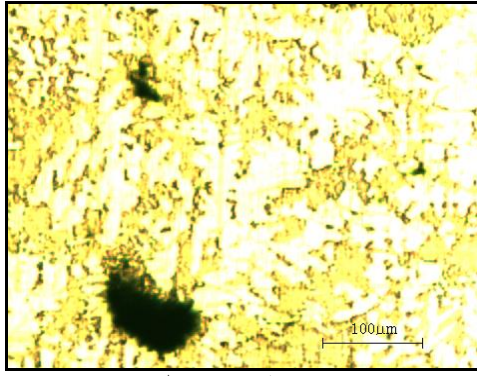
الخطوات التالية تبين طريقة الاختبار:-

1. وزن العينة قبل الاختبار.
2. استخدام قرص من الصلب الكربوني ذو صلادة (60 HRC).
3. تنعيم القرص بورق تنعيم (1000) قبل اختبار كل عينة.
4. تثبيت العينة في المكان المحدد لها وبصورة مستوية.
5. جعل الذراع مستويا في حالة أفقية بواسطة ميزان ذو فقاعة.
6. تسليط حمل مقداره (20نيوتن) وسرعة انزلاق (3.7متر/ثانية).
7. البدء بتشغيل الجهاز وضبط الوقت باستعمال ساعة التوقف وإيقاف الجهاز بعد مرور (15دقيقة) لكل عينة.
8. وزن العينة بعد الاختبار لتحديد الفقدان بالوزن ومن ثم حساب معدل البلى بإتباع الطريقة الوزنية (Weight method) والتي تضمنت حساب الفقدان بالوزن وذلك بوزن العينة قبل الاختبار وبعده بميزان حساس رقمي ذي حساسية (0.0001 gm) نوع (Sartorius) ثم نحسب الوزن المفقود كما يأتي:-

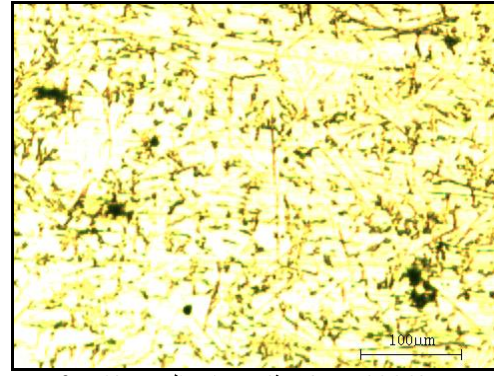
$$\Delta W = W_1 - W_2 \dots \dots \dots (1)$$

إذ إن

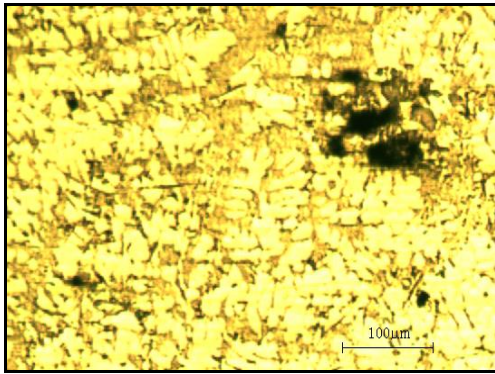
$\Delta W$  = الفرق بالوزن للعينة قبل الاختبار وبعد الاختبار (gm).



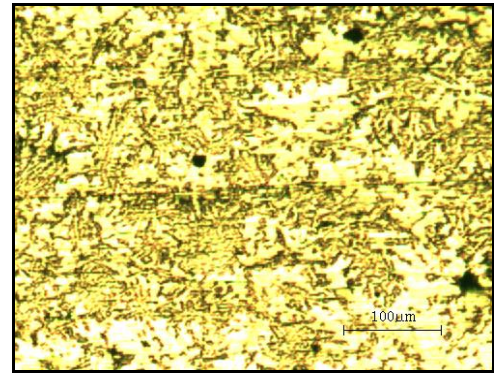
(1000 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (900°م)



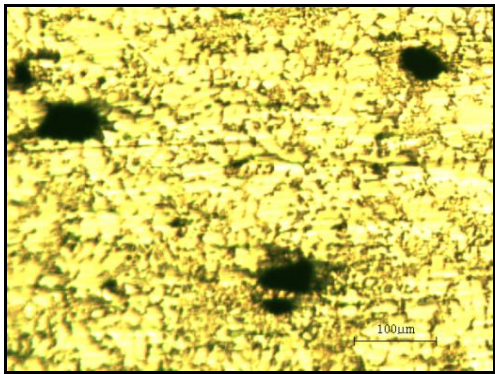
(1000 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (750°م)



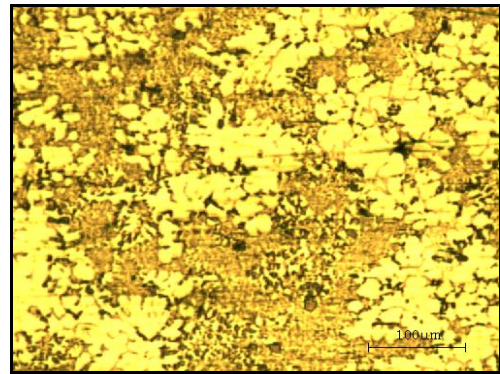
(1125 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (900°م)



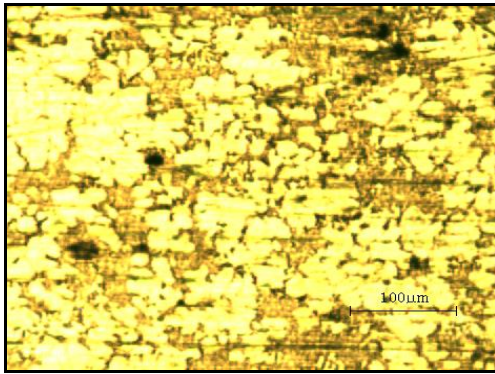
(1125 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (750°م)



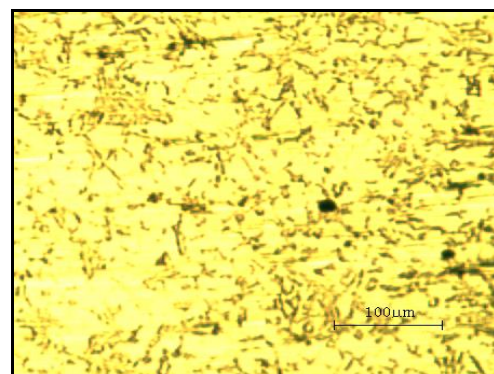
(1440 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (900°م)



(1440 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (750°م)

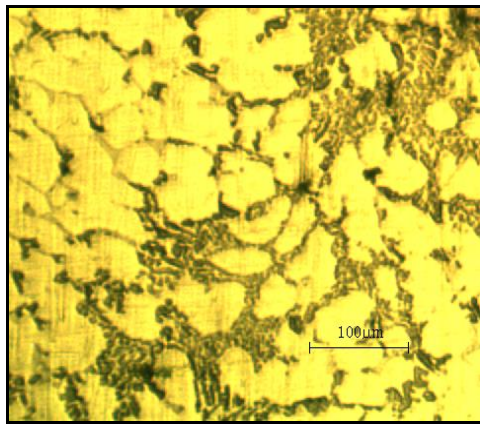


(1750 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (900°م)

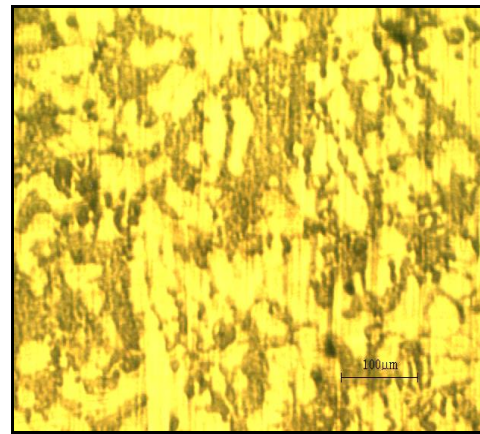


(1750 دورة/دقيقة) وحرارة الصب (750°م)

شكل (6) التوزيع لدقائق الالومينا داخل الأرضية المعدنية بنسبة دقائق مضافة إلى الأرضية المعدنية Vol.% (15) وقوة التكبير (5X)

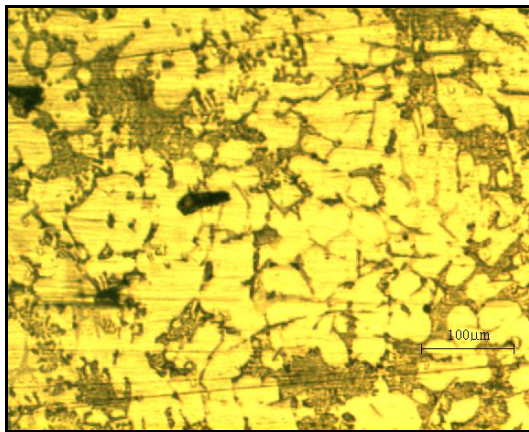


(ب) عند السطح الداخلي طور الايوتكتك سيلكون كروي

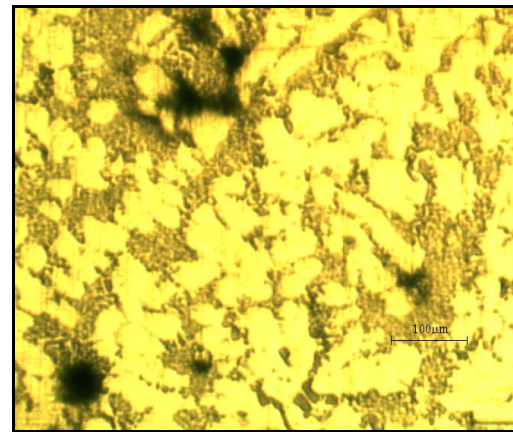


(أ) عند السطح الخارجي تكون الحبيبات متساوية المحاور

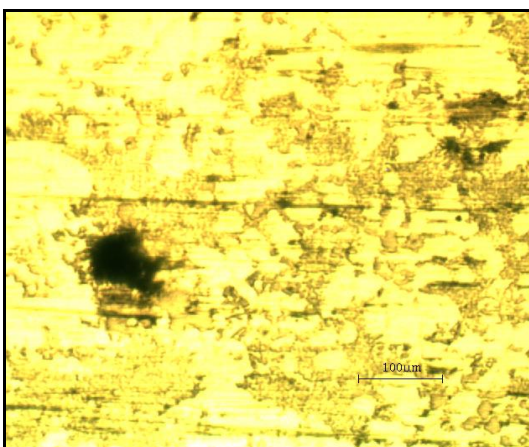
**شكل (7)** شكل الحبيبات عند نسبة دقائق الالومينا المضافة إلى الأرضية المعدنية Vol. % (15) ودرجة حرارة الصب (900)°م وسرعة الدوران (1000 دورة/دقيقة) قوة التكبير (10X)



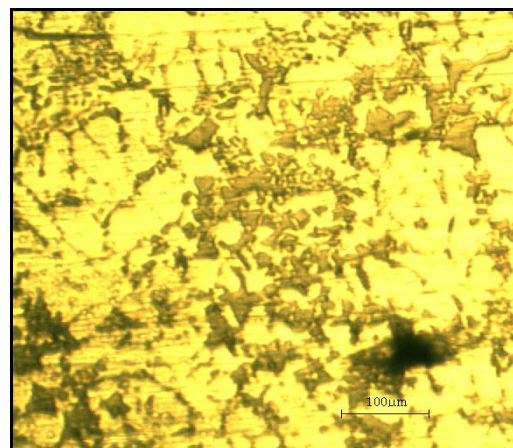
(2) سرعة الدوران (1125 دورة/دقيقة)



(1) سرعة الدوران (1000 دورة/دقيقة)

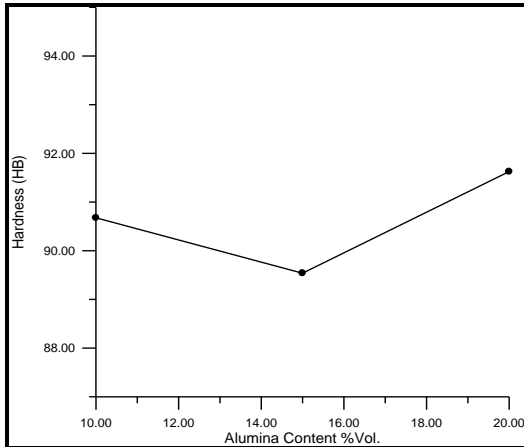


(4) سرعة الدوران (1750 دورة/دقيقة)

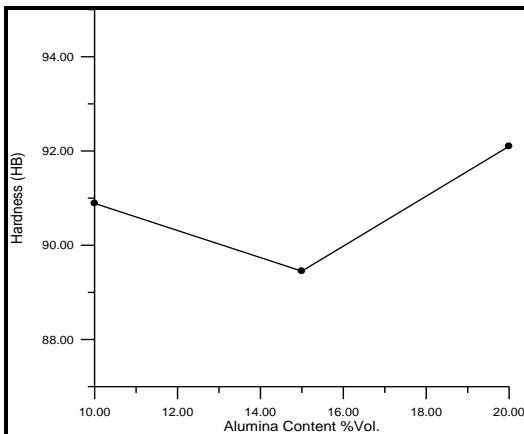


(3) سرعة الدوران (1440 دورة/دقيقة)

**شكل (8)** مقارنة بين حجم الحبيبات عند المنطقة الوسطى للمقطع في السرع المختلفة حيث أن نسبة دقائق الالومينا المضافة إلى الأرضية المعدنية Vol. % (15) ودرجة حرارة الصب (900)°م قوة التكبير (10X)



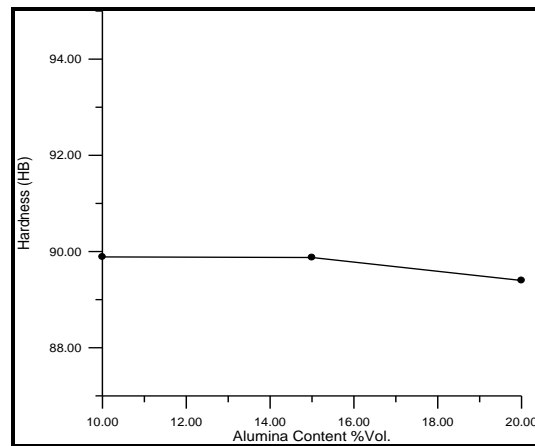
شكل (11) قيم الصلادة مع زيادة نسبة الدقائق عند درجة حرارة صب (850م) وسرعة دوران (1000 دورة ادقيقة)



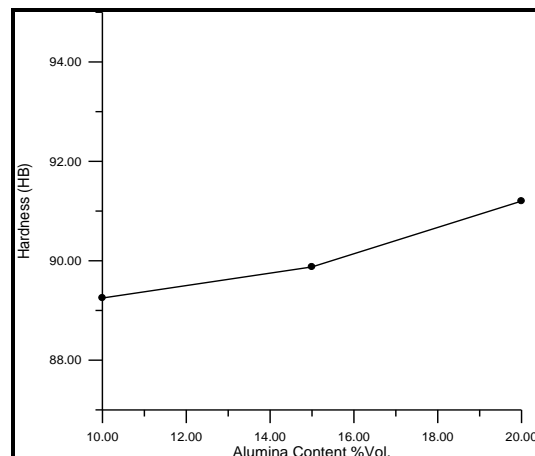
شكل (12) قيم الصلادة مع زيادة نسبة الدقائق عند درجة حرارة صب (900م) وسرعة دوران (1000 دورة ادقيقة)

يلاحظ من الشكل (9) ان زيادة نسبة الالومينا مع تثبيت سرعة الدوران عند (1000 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (750م) أدت إلى خفض قيمة الصلادة، إذ أن قيمة الصلادة هي (89.887 HB) عندما كانت نسبة الكسر الحجمي للدقائق المضافة (10%) ومع كل زيادة في هذه النسبة ينتج عنها انخفاض في قيمة الصلادة لتصل عند نسبة (20%) من الكسر الحجمي للدقائق الالومينا (89.875 HB). ويعزى سبب هذا الانخفاض إلى عدم تمكن السرعة المنخفضة عند درجة حرارة الصب (750م) من نقل الدقائق المضافة بشكل شعاعي لضمان توزيعها على طول سمك البطانة الاسطوانية المنتجة مما أدى إلى تفوق جبهة التجمد في إعاقه حركة الدقائق ومنعها من الانتشار بصورة متجانسة داخل الأرضية المعدنية. أما الشكل (10) فإنه يوضح العلاقة بين قيم الصلادة ونسبة الكسر الحجمي للدقائق إذ أن أي زيادة في نسبة الكسر الحجمي تؤدي إلى زيادة في قيمة الصلادة وذلك عند سرعة الدوران (1000 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (800م). حيث أن قيمة الصلادة عند

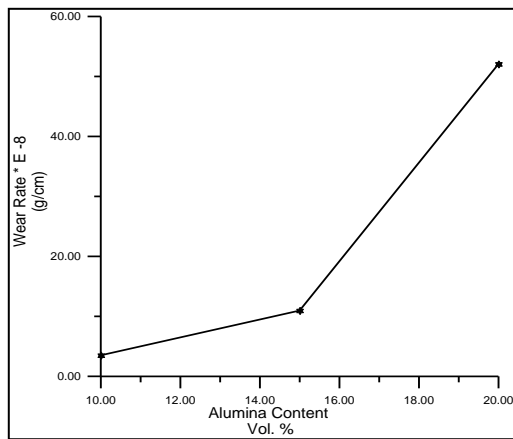
ان الزيادة في نسبة الكسر الحجمي لدقائق الالومينا إلى السبيكة الأساس تعمل على تحسين معامل المرونة لها وكذلك مقاومتها وجساعتها [11]. لذلك فان نتائج فحص الصلادة للعينات التي تم تحضيرها من البطانات الاسطوانية المنتجة بواسطة الطرد المركزي قد بينت زيادة واضحة في قيمة الصلادة، إذ أن قيمة الصلادة للسبيكة الأساس (A380) قبل الإضافة هي (85) [7] (HB)، أما بعد إضافة دقائق الالومينا فان اقل قيمة للصلادة تم الحصول عليها هي (87.9 HB) وذلك عند سرعة دوران (1440 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (750م) علما أن نسبة الإضافة كانت (10%) من الكسر الحجمي أما أعلى قيمة فقد كانت (92.9HB). تبين تأثير متغيرات عملية الطرد المركزي مع تغير النسب الحجمية لدقائق الالومينا المضافة على رفع وخفض قيمة الصلادة وكما هو موضح في الأشكال (9)، (10)، (11)، (12).



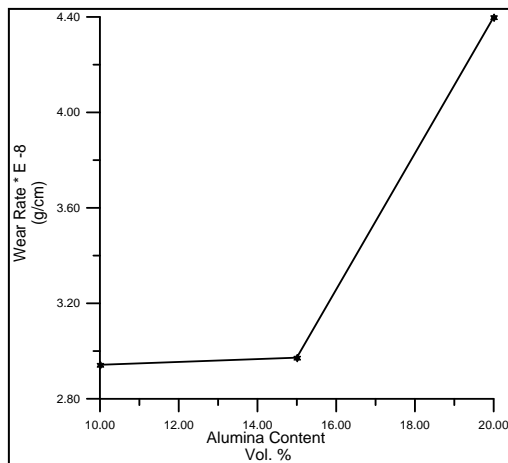
شكل (9) قيم الصلادة مع زيادة نسبة الدقائق (vol. %) عند درجة حرارة صب (750م) وسرعة دوران (1000 دورة ادقيقة)



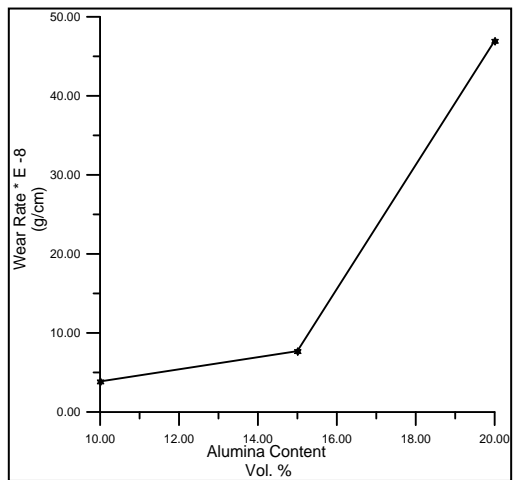
شكل (10) قيم الصلادة مع زيادة نسبة الدقائق (vol. %) عند درجة حرارة صب (800م) وسرعة دوران (1000 دورة ادقيقة)



**شكل (14)** انخفاض معدل البلى بسبب زيادة نسبة الالومينا عند السرعة الدورانية ( 1125 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (850م°)



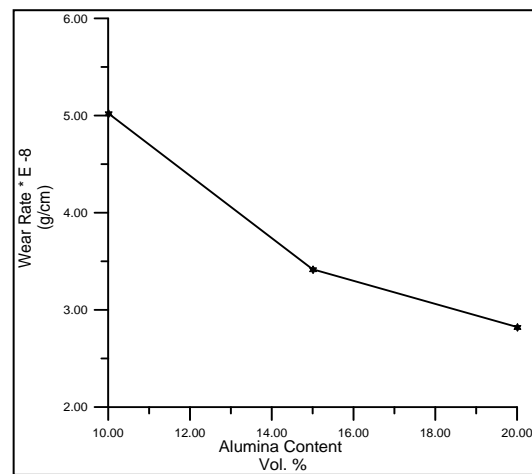
**شكل (15)** ازدياد معدل البلى بسبب زيادة نسبة الالومينا عند السرعة الدورانية ( 1440 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (850م°)



**شكل (16)** ازدياد معدل البلى بسبب زيادة نسبة الالومينا عند السرعة الدورانية ( 1750 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (850م°)

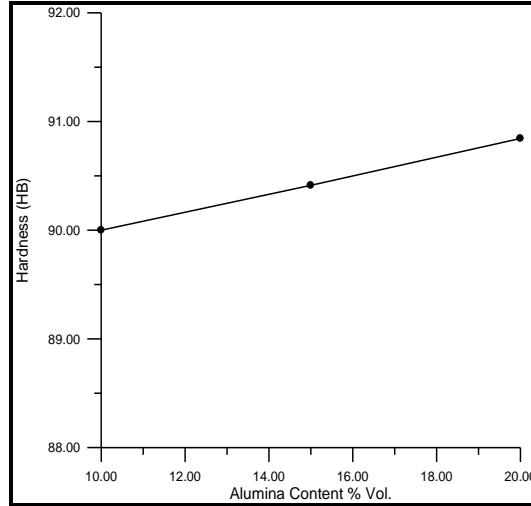
النسبة (10%) كانت (89.88 HB) لتزداد بعد ذلك إلى (91.2 HB) عند النسبة (20%) وهذا ما يوضح شرط التوازن بين سرعة الدوران ودرجة حرارة الصب لإتمام عملية التوزيع المتجانس عند كل زيادة حاصلة في نسبة الدقائق المضافة داخل الأرضية المعدنية.

لقد أظهرت النتائج المبينة في الأشكال (13)، (14)، (15)، (16) انه عند سرعة الدوران (1125 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (850م°) أدت زيادة نسبة الكسر الحجمي لدقائق الالومينا إلى انخفاض قيمة معدل البلى والتي رافقها زيادة في قيم الصلادة وكما هو موضح في الشكل (17). أما عند استخدام سرعة دوران أعلى من هذه السرعة أو أقل منها فقد لوحظ أن الزيادة في نسبة الكسر الحجمي للدقائق تؤدي إلى زيادة قيمة معدل البلى عند نفس درجة حرارة الصب. حيث أن أعلى قيمة لمعدل البلى تم الحصول عليه من هذا الاختبار هو عند سرعة دوران (1000 دورة/دقيقة) إذ تبلغ قيمته ( $5.20709 \times 10^{-7}$  غم/سم) وقد كانت درجة حرارة الصب (850) ونسبة الكسر الحجمي للدقائق المضافة (20%). إن سبب هذا الارتفاع في قيمة معدل البلى عند زيادة نسبة الكسر الحجمي باستخدام السرعة (1000، 1440، 1750 دورة/دقيقة) هو عدم الموازنة بين السرعة ودرجة حرارة الصب مع نسبة الدقائق المضافة، إذ أن سرعة الدوران (1000 دورة/دقيقة) لم تكن قادرة على طرد الدقائق بالاتجاه الشعاعي نحو جدار قالب حيث أن معدل التجمد يكون سريع جدا عند بداية صب الخليط حتى انه يكون أسرع من حركة الدقائق ذات الحجم الحبيب الناعم (Fine particles) بفعل قوة الطرد المركزي عند السرعة المنخفضة لذلك فان هذه الدقائق سوف لن تحصل على فرصة كافية للانتقال داخل الأرضية المعدنية مما تعمل على منع انتقال الدقائق الأخرى الأكبر حجما وبالتالي عدم التدرج في التوزيع مما ينتج عنها ظهور تعقيدات (Clusters) وتجمعات تؤدي إلى زيادة في معدل البلى والشكل (18) يبين توزيع الدقائق داخل الأرضية المعدنية.

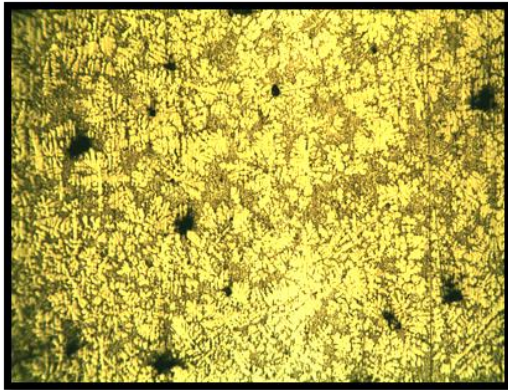


**شكل (13)** ازدياد معدل البلى بسبب زيادة نسبة الالومينا عند السرعة الدورانية ( 1000 دورة/دقيقة) ودرجة حرارة صب (850م°)

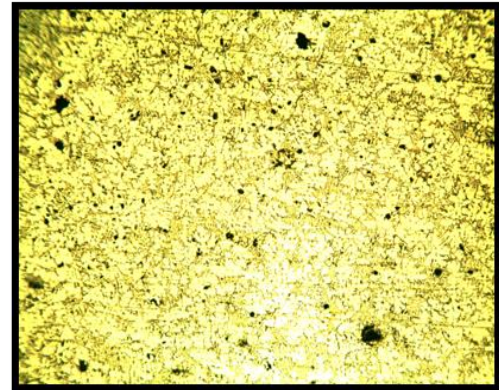




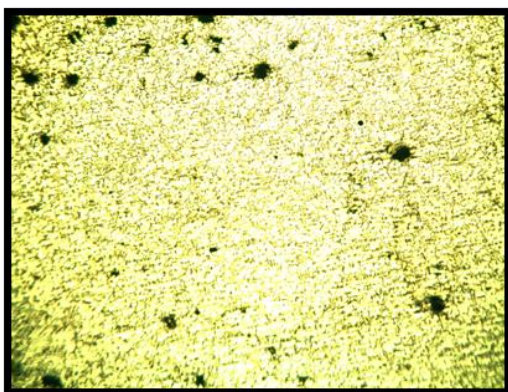
شكل (17) قيم الصلادة مع زيادة نسبة الدقائق (% vol.) عند درجة حرارة صب (850°م) وسرعة دوران (1125 دورة /دقيقة)



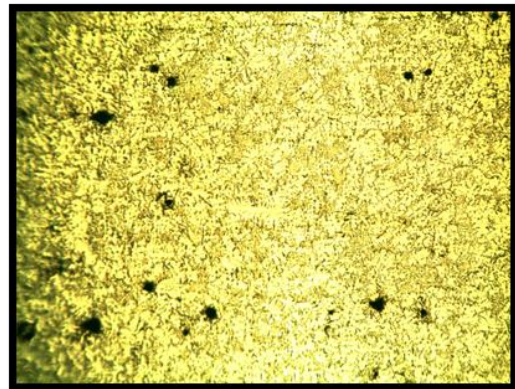
(ب) سرعة الدوران (1125 دورة /دقيقة)



(أ) سرعة الدوران (1000 دورة /دقيقة)



(د) سرعة الدوران (1750 دورة /دقيقة)



(ج) سرعة الدوران (1440 دورة /دقيقة)

شكل (18) التوزيع لدقائق الالومينا داخل الأرضية المعدنية لسبيكة (A380) عند المنطقة الوسطى للمقطع عند الصب من درجة حرارة (850°م) ونسبة الدقائق المضافة (20)Vol.% وسرع دورانية مختلفة قوة التكبير (5X)

- Composites", Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 2, Number 3, Pages 359-364, 1993.
- 4- Zhu, J.H., Liaw, P.K., Corum, J.M., Hansen, J.G.R., and Cornie, J.A., "Damage Mechanisms in a Cast Ductile Iron and a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/Al Composite", Metallurgical and Materials Transactions a Volume 29A, November 1998.
- 5- Roberto Cocomazzi, "High Temperature Mechanical Characterization of Aluminum Based Particulate Reinforced Composites", European Major Research Infrastructure. Aerospace and Space Material Technology Test house. Austrian Research Center Seibersdorf, Austria, 1999.
- 6- Bonollo, F., Moret, A., Gallo, S., Mus, C., "Cylinder Liners in Aluminium Matrix Composite by Centrifugal Casting", Paper presented at the 6th Int. Seminar on "Experimental techniques and design in composite materials" 18-20th June 2003, Vicenza.
- 7- "North America Die Casting Association (NADCA)", Product Specification standards for die castings, Chapter 3, (2006).
- 8- Shackelford, James F. "Materials Science and Engineering Handbook", CRC Press LLC, pp. 104, 2001.
- 9- Kathleen Mills, Joseph R. Davis, James D. Destefani, George M. Crankovic, Heather J. Frissel, "Metal Handbook", 9<sup>th</sup> ed. Metallography and Microstructures, American Society for metals, pp. 354, 1985.
- 10- عبد القادر، إسراء، باقر، مريم عبد العظيم، "تأثير إضافة دقائق الكرافيت على مقاومة البلى ومعامل الاحتكاك لسبيكة البراص ألفا"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 27 ، العدد 6 ، 2009.
- 11- Bolten, W., "Engineering Material Technology", 3<sup>rd</sup> ed. Butterworths 1998.

### الاستنتاجات:

- 1- إضافة دقائق الالومينا تعمل على رفع قيم الصلادة وتحسين مقاومة البلى.
- 2- إن زيادة الفرق بين درجة حرارة الصب ودرجة حرارة القالب ( $\Delta T$ ) ساعد على إنتاج مسبوكات سليمة خالية من العيوب والفجوات التي تظهر على السطح الخارجي للأسطوانة المنتجة عندما يقل هذا الفرق.
- 3- إن زيادة سرعة الدوران تؤدي إلى تنعيم الحبيبات للسبيكة الأساس كما إن الحجم البلوري يتناقص بالانتقال من السطح الداخلي للأسطوانة المنتجة وصولاً إلى السطح الخارجي لها. لقد أخذ طول الأيونات سيكون (Eutectic-Si) الشكل الكروي عند السطح الداخلي للقالب والشكل أصفانحي عند السطح الخارجي للأسطوانة.
- 4- تعمل سرع الدوران العالية على دفع دقائق الالومينا وبخاصة الخشنة منها نحو السطح الخارجي للبطانة في حين تعمل سرع الدوران البطيئة على تشجيع تجمع الدقائق عند السطح الداخلي لها. على الجانب الآخر فإن درجات حرارة الصب المرتفعة ستعمل على تقليل لزوجة المنصهر وتوازير فعل قوة الطرد المركزي في تسهيل حركة دقائق الالومينا نحو السطح الخارجي للأسطوانة وعلى العكس من ذلك بالنسبة لدرجات حرارة الصب الواطئة.
- 5- تميل الالومينا لتكوين تجمعات كبيرة وتعدقات (Clusters) غزيرة وبخاصة عند الطبقات الداخلية من الأسطوانة.

### المصادر

- 1- Chirita, G., Stefanescu, I., Soares, D., Silva, F.S., "Centrifugal Versus Gravity Casting Techniques Over Mechanical Properties", 2006.
- 2- Xuedong Lin, Changming Liu, Yanbo Zhai, Kai Wang, " Influences of Si and Mg Contents on Microstructures of Al-xSi-yMg Functionally Gradient Composites Reinforced with in Situ Primary Si and Mg<sub>2</sub>Si Particles by Centrifugal Casting", J Mater Sci., 26 August 2010.
- 3- Yarandi, F. M., Rohatgi, P. K. and Ray, S., "Fluidity and Microstructure Formation During Flow of Al- SiC Particle