

دراسة الخواص الميكانيكية لسبيكة (Al-22%Si) المتدرجة وظيفياً المنتجة بواسطة السباكة بالطرد المركزي العمودي

حسين علي حسين

مدرس مساعد، قسم هندسة الانتاج والمعادن / الجامعة التكنولوجية

(الاستلام:-2013/11/12، القبول:-2014/4/16)

الخلاصة

يهدف البحث إلى تحضير مادة متدرجة وظيفياً (FGM) باستعمال طريقة السباكة بالطرد المركزي العمودي ودراسة تأثير سرعة دوران قالب السباكة على البنية المجهرية والصلادة لسبيكة (Al- 22%Si) فوق اليوتكتك. تم تسخين السبيكة إلى درجة حرارة (850) م° ومن ثم صبها في قالب سباكة الطرد المركزي الذي تم تسخينه مسبقاً إلى درجة حرارة (115) م° عند سرعة دوران مختلفة لقالب السباكة هي (625 , 1027 , 1144 , 1907) دورة / دقيقة. إضافة إلى دراسة سطح البلى للعينات بعد إجراء فحص البلى. أوضحت نتائج الفحص المجهرى إن لسرعة دوران القالب تأثير على كل من الحجم الحبيبي والكسرالحجمي لطور السليكون الاولي (Si - β)، إذ إن زيادة سرعة دوران القالب أدت إلى زيادة معدل الكسر الحجمي في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة وتقليله في المنطقة الوسطية والخارجية وتقليل الحجم الحبيبي لدقائق السليكون الاولي في كل مناطق الاسطوانة. بينت نتائج فحص معدل البلى بان اقل معدل بلى كان في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة الناتجة عند سرعة دوران (1907) دورة/دقيقة تليها المنطقة الخارجية أما أعلى معدل بلى فكان في المنطقة الوسطية من سمك الاسطوانة. أوضحت نتائج فحص الصلادة إن لسرعة دوران قالب السباكة تأثير على صلادة السمك للاسطوانات الناتجة حيث أعلى صلادة كانت في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة وهي تزداد مع زيادة سرعة دوران القالب تليها المنطقة الخارجية ثم الوسطية.

الكلمات المفتاحية: المواد المتدرجة وظيفياً، سباكة الطرد المركزي العمودي، سرعة الدوران، سبيكة (Al - 22%Si).

المقدمة

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. تعتمد 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 (1). من الصعب جدا ربط خواص المواد الهندسية المتناقضة مثل الصلادة والقساوة (hardness & toughness) في مادة واحدة. إن المواد المتردجة وظيفياً (graded Functionally material) يمكن أن توفر الحل لهذه المشكلة وذلك بإنتاج مواد بخواص تمتلك جزءاً مركزياً ذو قساوة (tough core) وجزءاً سطحياً صلباً (hard surface). ويمكن لهذه المواد أن توفر خواصاً لا يمكن الحصول عليها في المواد التقليدية (1). تعرف المواد المتردجة وظيفياً (FGM) بأنها نوع جديد من المواد التي يتغير فيها التركيب الكيميائي أو التركيب ألمجهرى أو كلاهما معاً خلال اتجاه معين (3). كما يمكن تعريف المواد المتردجة 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 الحجمي لأطوار التقوية بتدرج معين على طول اتجاه السمك داخل مادة الأساس لتخفيف التوزيع المطلوب للتركيب الكيميائي. أن الانتقال التدريجي في التركيب الكيميائي يؤدي إلى خواص ميكانيكية وفيزيائية متردجة 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 آخر مثل درجات حرارة عالية أو تدرج حراري، إن المواد التقليدية (المعادن- السيراميك) لوحدها لا تفي لمتطلبات ظروف التحميل الميكانيكية والحرارية هذه لذا فان المواد المتردجة وظيفياً تملئ الفراغ أو الفجوة في علم المواد عندما تتطلب الأجزاء خواص مختلفة في مواقع مختلفة (5). مع زيادة التقدم في البحوث الخاصة بالتعميم الحبيبي لسبائك (Al-Si) فوق اليوتكتيكية وبالتزامن مع التطبيقات الواسعة لمتراكبات من (Al-Si) المتردجة وظيفياً في صناعة السيارات وفي الملاحة الفضائية (astronautics) وفي صناعة الأجزاء الالكترونية، أصبح للمتراكبات المتردجة وظيفياً ذات أساس ألمنيوم ومقواة بدقائق السليكون الاولي المتكون داخلياً. أهمية كبيرة وبدء الاهتمام يزداد أكثر وأكثر من قبل الباحثين في جميع أنحاء العالم لتحضير متراكبات متردجة وظيفياً و باستخدام طرق تصنيع مختلفة مثل طريقة الفصل الالكترومغناطيسي (electromagnetic separation)، الترسيب بالرش (Spray deposition)، ترسيب الالكتروفورتيك (electrophoretic deposition) (6، 7، 8). يمكن تقسيم طرق تصنيع المواد المتراكبة المتردجة وظيفياً إلى نوعين اعتماداً 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 أن تسلط أثناء التجمد على كل من دقائق التقوية والأساس وفي هذه الحالة فان التجمد يكون مشابه لإنتاج متراكبات داخلية المنشأ (In situ composite) (9).

الجانب العملي:

تم استعمال سبيكة (Al- 22%Si) فوق اليوتكتيك (Hypereutectic)، والجدول (1) يبين التركيب الكيميائي لهذه السبيكة. تم صهر السبيكة في فرن كهربائي عند درجة حرارة (850) م° و استخدمت منظومة سباكة الطرد المركزي العمودي والموضحة في الشكل (1).

استعملت سرع دوران مختلفة للقالب هي (1907,1144,1027,625) دورة/دقيقة بعد إخراج البودقة من الفرن تم تنظيف المعدن المنصهر من الخبث بعدها تم إجراء الصب في المنظومة الموضحة في الشكل (1). والشكل (2) يوضح المسبوكات الناتجة عند سرع الدوران أعلاه.

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

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

تم حساب الحجم الحبيبي لدقائق (Si) الاولي في كل منطقة باستعمال المعادلة التالية (10).

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

إذ إن:

Deq: معدل القطر أو الطول الحبيبي لدقائق السليكون الأولي μm

A: مساحة دقائق السليكون الأولي μm^2 .

ولتوصيف اختلاف التركيب المجهري تم حساب الكسر الحجمي (Vf) لحبيبات السليكون الاولي بوساطة التحليل المساحي لكل النماذج باستخدام العلاقة التالية (10):

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

إذ إن:

A_i : مساحة حبيبات السليكون.

A : المساحة الكلية للصورة.

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

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 لنتيبت عينة الفحص وتسليط الحمل وموازنته. تم قطع شريحة معينة من المسبوكة عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة، هذه الشريحة ذات طول وسمك (10) ملم وارتفاع (10) ملم، بعدها تم تقطيع هذه الشريحة إلى ثلاث شرائح بسمك (3) ملم مستطيلة الشكل كما في الشكل (3) 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 تعميم سطح العينة الملامس للقرص الفولاذي الدوار لضمان تطابق جميع السطح وانتظام معدل البلى. يتم حساب معدل البلى وفق المعادلة التالية (11):

$$\begin{aligned} \text{Volume wear rate (cm}^3\text{/cm)} &= \Delta W / (2\pi r n p t) \\ &= (W_1 - W_2) / (2\pi r n p t) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

إذ إن:

W₁: وزن العينة قبل الفحص (غم)

W₂: وزن العينة بعد الفحص (غم)

r: نصف قطر الدوران (7 سم)

n: سرعة دوران القرص (278 دورة/دقيقة)

p: كثافة المادة (2.6 غم/سم³)

t: زمن الفحص (15 دقيقة)

تم إجراء فحص الصلادة بطريقة (Vickers)، حيث كان مقدار الحمل المسلط (0.4) كغم وزمن تسليط الحمل (10) ثانية وتم حساب قيمة الصلادة باستخدام العلاقة التالية :

$$HV=1.854(P/D^2)..... (4)$$

إذ إن:

HV : صلادة فيكرز (كغم / ملم²).

P : الحمل (كغم).

D : قطر الأثر (ملم).

النتائج والمناقشة:

1- تأثير سرعة دوران القالب على الكسر الحجمي (Vf) والحجم الحبيبي لدقائق (Si) الاولي

أظهرت نتائج الفحص المجهرى إن لسرعة دوران قالب سباكة الطرد المركزي تأثيرا" على كل من الكسر الحجمي والحجم الحبيبي لدقائق (Si) في الأرضية، وسيتم مناقشة التركيب المجهرى اعتمادا على الطبقات الناتجة وكما يلي:

- الطبقة الخارجية

يوضح الشكل (4) التركيب المجهرى للطبقة الخارجية لاسطوانات تم إنتاجها عند سرع دوران مختلفة ودرجة حرارة صب (850) م° , يلاحظ من الشكل إن معدل الكسر الحجمي (Vf) لدقائق (Si) الاولي في هذه المنطقة يقل مع زيادة سرعة الدوران. إن سبب وجود دقائق (Si) في هذه المنطقة يعود إلى معدل التبريد السريع (chilling) الناتج من انتقال الحرارة عبر سطح القالب المعدني مما يؤدي إلى حدوث إفراط في التبريد وتجمد المنطقة الخارجية للاسطوانة وبالتالي عدم قدرة الدقائق على الحركة وبقيائها في المنطقة الخارجية للاسطوانة, كما إن زيادة سرعة الدوران تؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة من المعدن المنصهر إلى قالب السباكة ومن قالب السباكة إلى المحيط الخارجي (الهواء) وبالتالي زيادة معدل التبريد ومن ثم الحصول على دقائق سيلكون صغيرة الحجم في هذه الطبقة (6). كما يلاحظ من الشكل إن معدل حجم دقائق (Si) الاولي لهذه المنطقة قليل ويقل تدريجيا" مع زيادة سرعة الدوران, ويرجع السبب في صغر حجوم دقائق السليكون في هذه المنطقة إلى قوة الطرد المركزي التي تسلط ضغطا على المنصهر وتدفعه بقوة إلى الجدار الداخلي للقالب إضافة إلى معدل التبريد العالي في هذه المنطقة التي تؤدي إلى منع نمو دقائق (Si) بعد تبلورها (12).

- الطبقة الوسطية

يلاحظ من الشكل (5) إن معدل الكسر الحجمي (Vf) لدقائق (Si) الاولي في هذه المنطقة يقل مع زيادة سرعة دوران القالب. ولكن عند استخدام السرعة العالية لقالب السباكة ينعدم تواجد الدقائق ويكون معدل الكسر الحجمي لدقائق (Si) (0%) عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة ويتألف التركيب المجهرى فقط من اليونكتك (Al - Si)، في هذه المنطقة يتحقق التدرج بشكل كامل (FGM) حيث تكون هذه السرعة هي السرعة المثالية التي أعطت تدرجا" في المادة بشكل كامل , إن السرعة العالية لقالب السباكة يجعل سرعة دقائق (Si) عالية جدا" مما يؤدي إلى انعزالها في الطبقة الداخلية للاسطوانة (أي في اتجاه جبهة التجمد) (6) وبقاء المنطقة الوسطية خالية منها. كما يلاحظ من الشكل إن معدل حجم دقائق (Si) الاولي لهذه المنطقة أعلى من حجم الدقائق في المنطقة الخارجية ولكنه اقل من حجم الدقائق في الطبقة الداخلية. ويقل معدل حجم دقائق (Si) تدريجيا مع زيادة سرعة دوران قالب سباكة الطرد المركزي. إن معدل حجم دقائق (Si) الاولي لهذه المنطقة أعلى من حجم الدقائق في المنطقة الخارجية يرجع ذلك إلى زيادة درجة حرارة المنصهر بعد تجمد السطح الخارجي للاسطوانة وتوفر الوقت الكافي لنمو الدقائق وبذلك يزداد حجمها (13).

- الطبقة الداخلية

يلاحظ من الشكل (6) تجمع دقائق (Si) الاولى في هذه المنطقة إذ تحتوي هذه الطبقة على أعلى كسر حجمي مقارنة ببقية المناطق ويزداد مع زيادة سرعة الدوران. إن السبب في تجمع دقائق (Si) الاولى في هذه المنطقة يرجع إلى طبيعة التجمد نتيجة قوة الطرد المركزي الناتجة من سرعة دوران قالب سباكة الطرد المركزي. كما يلاحظ من الشكل إن حجم دقائق (Si) الاولى اكبر من حجوم الدقائق في المناطق الأخرى، إذ يزداد حجم الدقائق عند الاتجاه إلى مركز الاسطوانة، إن درجة الحرارة العالية في هذه المنطقة توفر فرصة لدقائق (Si) للنمو، كذلك فان حجم هذه الدقائق يقل مع زيادة سرعة الدوران بسبب زيادة معدل التبريد (11).

يوضح الشكل (7) العلاقة بين معدل الكسر الحجمي (Vf) لطور (Si) الاولى وسمك الاسطوانة (الطبقة الداخلية، الوسطية، الخارجية) عند سرع دوران مختلفة. مما سبق ومن ملاحظة الشكل (8) الذي يمثل العلاقة بين معدل حجم دقائق (Si) الاولى وسمك الاسطوانة (الطبقات الثلاث) عند سرع دوران مختلفة، يلاحظ وجود تدرج في معدل حجم الدقائق في مناطق الاسطوانة المنتجة بالطرد المركزي.

كما يبين الشكل (9) صور المجهر الالكتروني الماسح (SEM) لاسطوانة (من الداخل الى الخارج) تم إنتاجها عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة، حيث يلاحظ من الشكل توزيع دقائق السليكون بشكل متدرج في الطبقات (الداخلية و الخارجية) من سمك الاسطوانة وخلو الطبقة الوسطية من هذه الدقائق.

2- تأثير سرعة دوران القالب على الصلادة

- الطبقة الخارجية

يبين الشكل (10) العلاقة بين معدل قيم الصلادة (HV) وسمك الاسطوانة (الطبقات الثلاث) عند سرع دوران مختلفة، يلاحظ من الشكل إن هنالك تدرج في قيم الصلادة وتكون صلادة المنطقة الخارجية للاسوانات اقل من صلادة المنطقة الداخلية، وتقل صلادة المنطقة الخارجية مع زيادة سرعة دوران قالب السباكة. إن قيم الصلادة في هذه المنطقة ترجع إلى نسبة تواجد دقائق (Si) ذات الصلادة العالية.

- الطبقة الوسطية

بالنسبة لصلادة المنطقة الوسطية فان قيم الصلادة كانت متدرجة لكنها أعلى من صلادة المنطقة الخارجية وتقل تدريجياً مع زيادة سرعة دوران القالب إلى أن تصل إلى اقل قيمة لها عند السرعة (1907) دورة / دقيقة ويرجع السبب في ذلك إلى خلو هذه المنطقة من دقائق (Si) بشكل كامل، أما تدرج قيم الصلادة لبقية السرعة فهو بسبب وجود نسبة متدرجة من دقائق (Si) في هذه المنطقة.

- الطبقة الداخلية

يلاحظ من الشكل إن صلادة المنطقة الداخلية للاسوانات الناتجة أعلى من قيم الصلادة ل مناطق الأخرى، ويزداد قيم الصلادة فيها مع زيادة سرعة دوران القالب على عكس المناطق الأخرى من الاسطوانة، إن سبب زيادة قيم الصلادة يرجع إلى زيادة معدل الكسر الحجمي لدقائق (Si) في هذه المنطقة والتي تزداد مع زيادة سرعة دوران القالب (14)، إضافة إلى حدوث تعديل في شكل السليكون مقارنة بالسبيكة التي تم صبها في قالب ساكن.

3- نتائج فحص البلى

اجري فحص البلى على مقاطع مختلفة من سمك الاسطوانة التي تم انتاجها عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة ومقارنتها مع سلوك البلى للسبيكة الأساس (Al - 22%Si)، ويوضح الشكل (11) نتائج هذا الفحص يلاحظ من الشكل إن المنطقة الداخلية للاسطوانة أظهرت معدل بلى قليل جدا فهو بحدود (1.5×10^{-7}) سم³ / سم تليها المنطقة الخارجية التي كان معدل البلى فيها بحدود (2.2×10^{-7}) سم³ / سم، ويعزى السبب في ذلك إلى نسب وجود دقائق

السليكون الاولي في كل منطقة حيث تشكل أعلى كسر حجمي (Vf) في المنطقة الداخلية وهذا أدى إلى تقليل معدل البلى. أما المنطقة الوسطية كان معدل البلى فيها عالياً جداً فهو بحدود (3.5×10^{-7}) سم³ / سم وذلك لخلو هذه المنطقة بشكل كامل من دقائق السليكون بفعل قوة الطرد المركزي العالية. أما السبيكة الأساس (Al - 22%Si) فقد أبدت معدل بلى أعلى من الطبقة الداخلية والخارجية لاسطوانة الطرد المركزي والتي كان معدل البلى فيها بحدود (2.5×10^{-7}) سم³ / سم.

يبين الشكل (12) صور المجهر الالكتروني الماسح لسطح البلى للطبقات (الداخلية و الوسطية والخارجية) من سمك اسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة، يبين الشكل (12,a) سطح البلى للطبقة الداخلية حيث يمكن مشاهدة الحزوز على سطح البلى والتي تكون غير عميقة كما إن التآلف في السطح يكون قليلاً، أظهرت هذه الطبقة أفضل خصائص للبلى (أقل وزن مفقود، حزوز قريبة من السطح) وذلك بسبب الكسر الحجمي العالي لدقائق السليكون ذات الصلادة العالية وتركيب اليوتكتك الناعم. يبين شكل (12,b) سطح البلى للطبقة الوسطية التي أظهرت معدل بلى عالي ويلاحظ وجود تشوه لدن وتآلف كبير في سطح البلى كما إن الحزوز كانت عميقة حيث أظهرت هذه الطبقة أسوأ خصائص للبلى (أعلى وزن مفقود، حزوز عميقة) وذلك بسبب خلو هذه المنطقة من دقائق السليكون الاولي. يبين شكل (12,c) سطح البلى للطبقة الخارجية حيث لوحظ حدوث بلى وتآلف قليل في السطح. أما شكل (13) يبين تركيب سطح البلى للسبيكة الأساس (Al - 22%Si) حيث أظهرت سلوك بلى متنوع على سطح العينة وذلك بسبب التوزيع العشوائي لدقائق السليكون ذات الحجم الكبير، حيث أظهرت تلك المناطق سلوك بلى مرتفع وأخر رديء اعتماداً على وجود دقائق السليكون في أرضية العينة، مقارنة باسطوانة الطرد المركزي.

الاستنتاجات:

- 1- قوة الطرد المركزي أدت إلى تكوين ثلاث مناطق في سمك الاسطوانة هي المنطقة الداخلية والتي تتركز فيها دقائق السليكون الاولي بشكل عالي، المنطقة الوسطية والتي أما يتدرج فيها توزيع دقائق السليكون عند السرعة الواطئة أو تكون خالية من هذه الدقائق عند سرعة دوران (1907) دورة/ دقيقة والمنطقة الخارجية والتي تحتوي على كمية قليلة من دقائق السليكون. لكن بشكل عام معدلات الكسر الحجمي لدقائق السليكون في المنطقة الوسطية والخارجية تقل مع زيادة سرعة دوران القالب .
- 2- يمكن الحصول على أعلى كسر حجمي لدقائق السليكون بحدود (25%) في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة الناتجة عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة.
- 3- حجم دقائق السليكون الاولي يقل مع زيادة سرعة دوران قالب سباكة الطرد المركزي ولجميع المناطق بسبب زيادة معدل التبريد.
- 4- أقل معدل بلى كان في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة تليها المنطقة الخارجية، أما أعلى معدل بلى فكان في المنطقة الوسطية عند سرعة دوران (1907) دورة/ دقيقة.
- 5- أعلى قيم للصلادة كانت في المنطقة الداخلية من سمك الاسطوانة وهي تزداد مع زيادة سرعة دوران القالب، أما صلادة المنطقة الوسطية والخارجية فهي تقل مع زيادة سرعة دوران القالب.

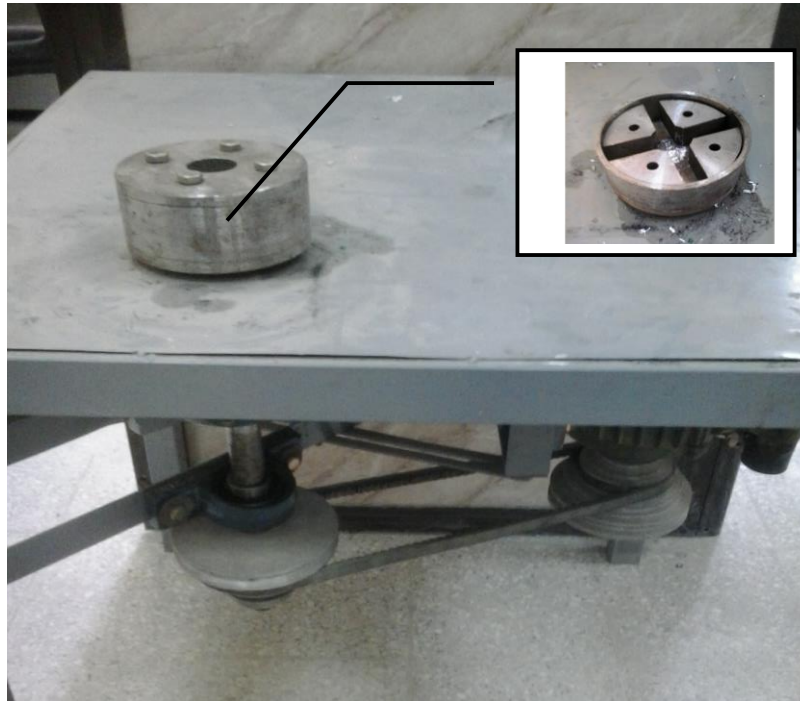
REFERENCES

1. Panda E., Mazumdar D., Mehrotra S. B. "Mathematical Modeling of Particle Segregation during Centrifugal Casting of Metal Matrix Composites", *Met. Mat. Trans.*, Vol. 37A, (2006), PP1675.
2. 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.
3. Chen W., Wang Q., Zai C. , Ma C., Zhu Y., He W., "Functionally graded Zn-Al-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. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Watanabe Y., Kawamoto A., Matsuda K., "Particle size distributions in functionally graded materials fabricated by the centrifugal solid-particle method", *Comp. Sci.*, Vol. A62, (2002), pp881-888.
10. Cui C., Schulz A., Ellen E. M., Zoch H.W., "Characterization of silicon phases in spray-formed and extruded hypereutectic Al-Si alloys by image analysis", *J. Mater. Sci.*, Vol. 44, (2009), pp4814–4826.
11. G. Chirita, I. Stefanescu, J. Barbosa, H. Puga, D. Soares and F. S. Silva "On assessment of processing variables in vertical centrifugal casting technique" *International Journal of Cast Metals Research* 2009 VOL 22 NO 5.

12. Madhusudhan N, Narendranaath S., Mohan Kumar G. C., Mukunda P. G., “effect of mould wall thickness on rate of solidification of centrifugal casting”, J. Eng. Sci. and Tech., Vol. 2 (11), (2010), pp6092-6096.
13. kumar S., subramaniyag V., sarma, and murty B. “Functionally Graded Al Alloy Matrix In-Situ Composites” metallurgical and materials transactions Vol. (41), (2010), p 24.
14. G. Chirita, D. Soares, F.S. Silva “Advantages of the centrifugal casting technique for the production of structural components with Al-Si alloys” Materials and Design Vol. 29, (2008), pp20–27.

جدول (1): يوضح التحليل الكيميائي للسبيكة المستخدمة في البحث.

Al%	Si %	Fe %	Cu %	Mg %	Zn %	Mn %	Ni %
Balance	22.31	0.219	0.001	0.009	0.003	0.01	0.001



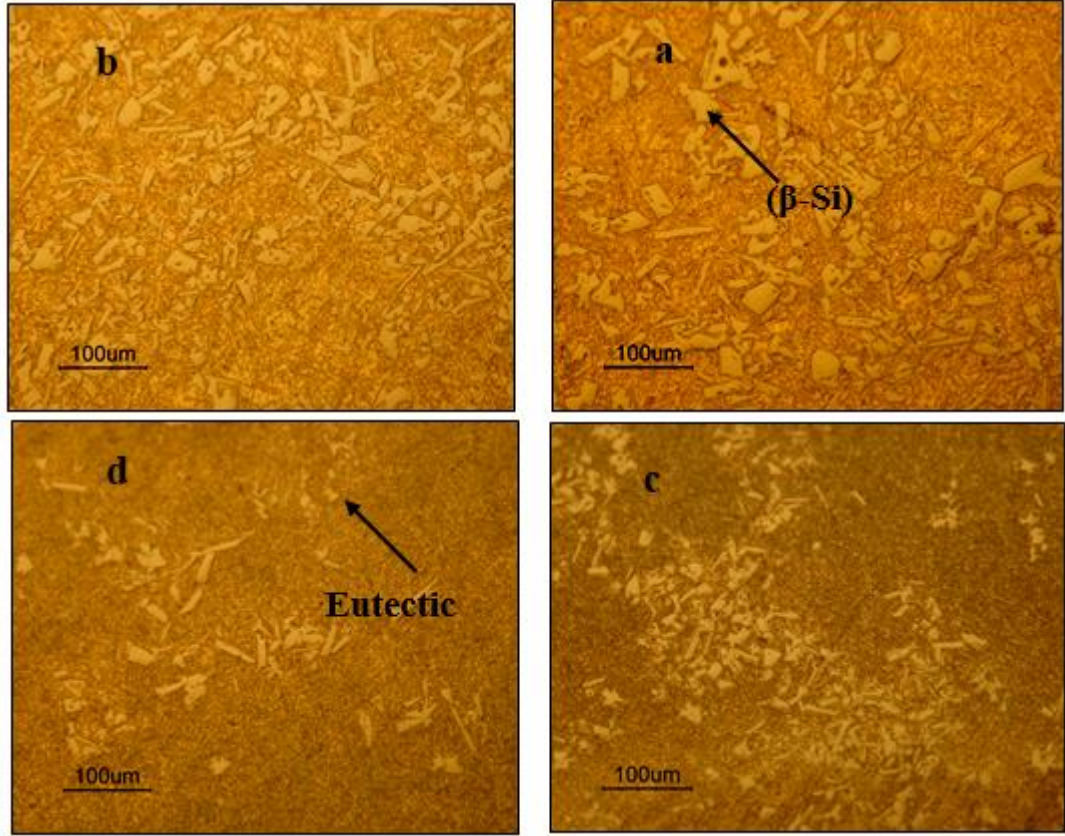
شكل (1): منظومة سباكة الطرد المركزي العمودي



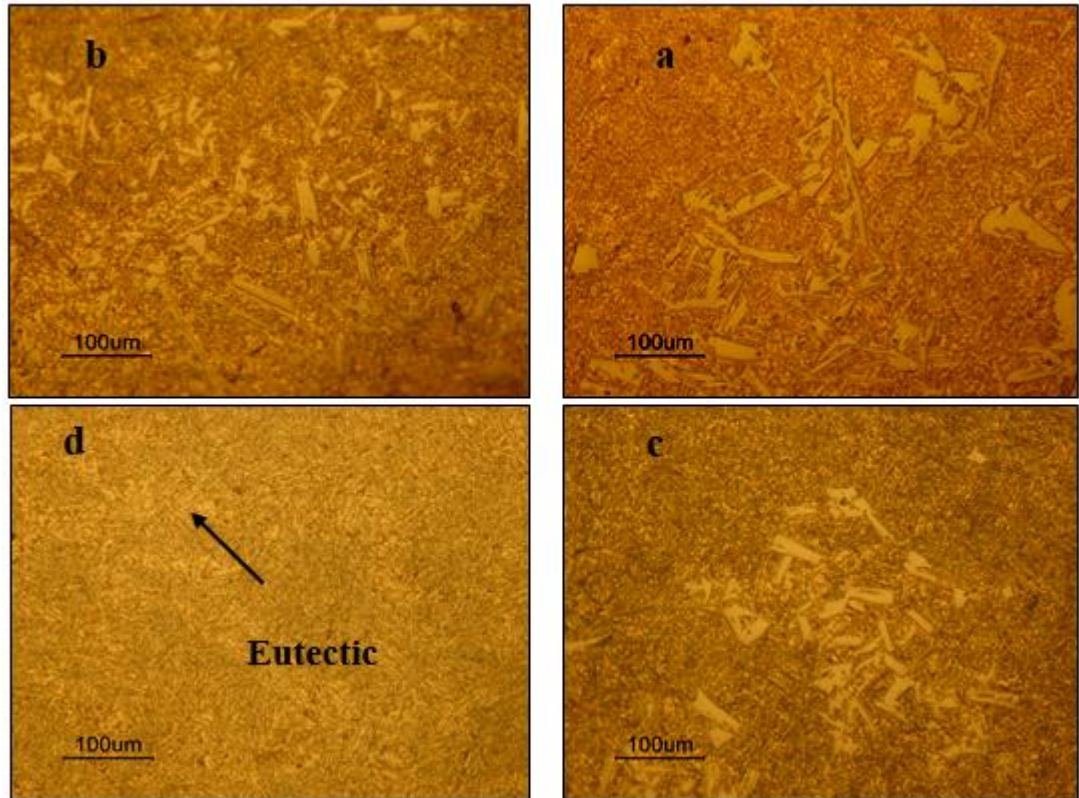
شكل (2): يمثل مسبوكات (Al – 22%Si) منتجة باستخدام منظومة سباكة الطرد المركزي العمودي عند درجة حرارة (850) م° وسرعة دوران (a) (625), (b) (1027), (c) (1144), (d) (1907) دورة/دقيقة.



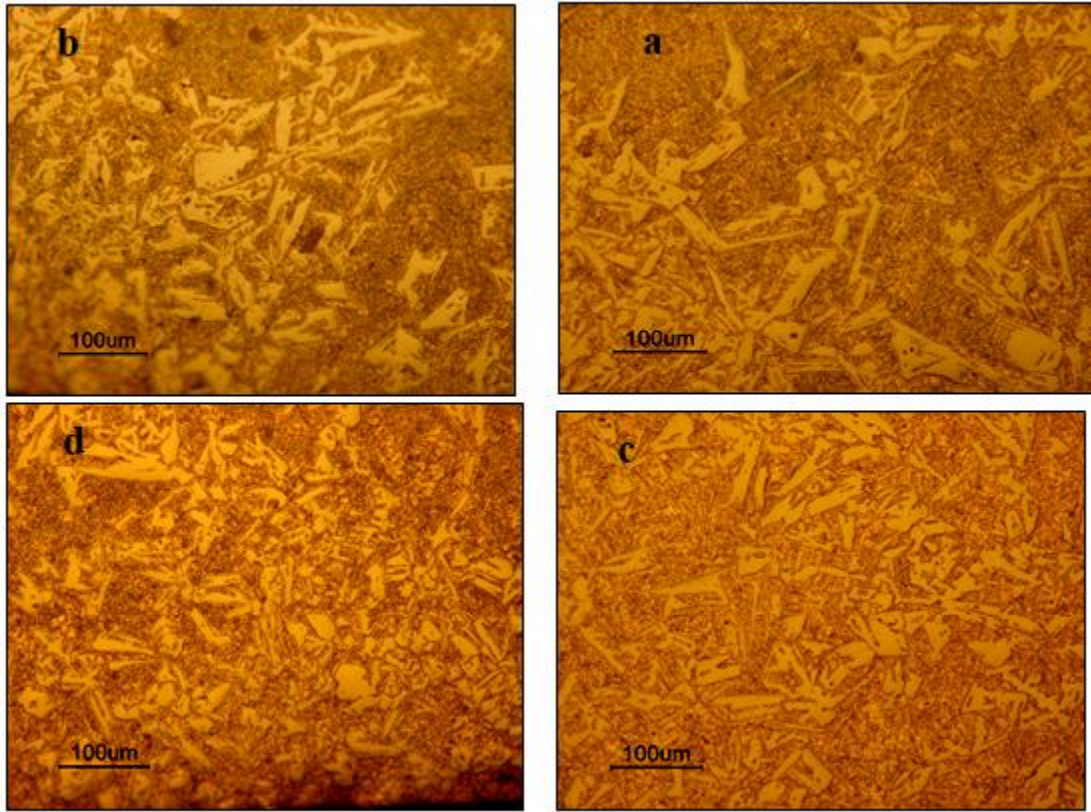
شكل (3): يمثل مسبوكة (Al – 22%Si) باستخدام منظومة سباكة الطرد المركزي العمودي عند سرعة دوران (1907) دورة /دقيقة.



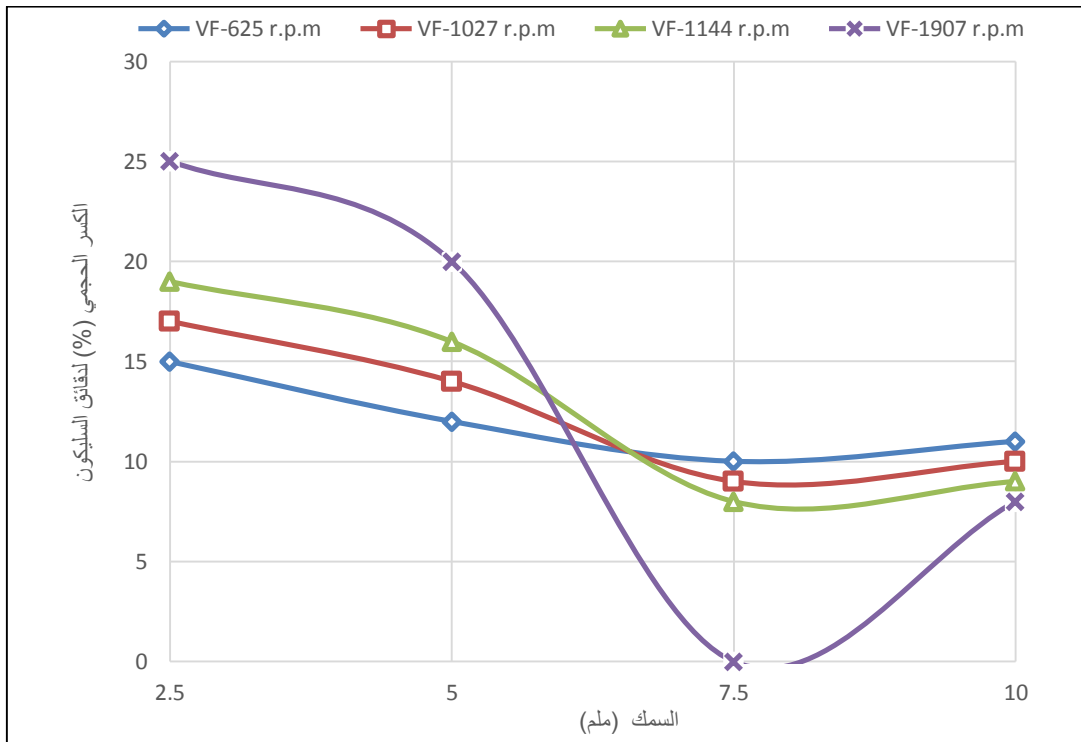
شكل (4): التركيب المجهرى للطبقة الخارجية لاسطوانات تم إنتاجها عند سرع دوران (a) 625, (b) 1027, (c) 1144, (d) 1907 دورة / دقيقة وقوة تكبير (200 x).



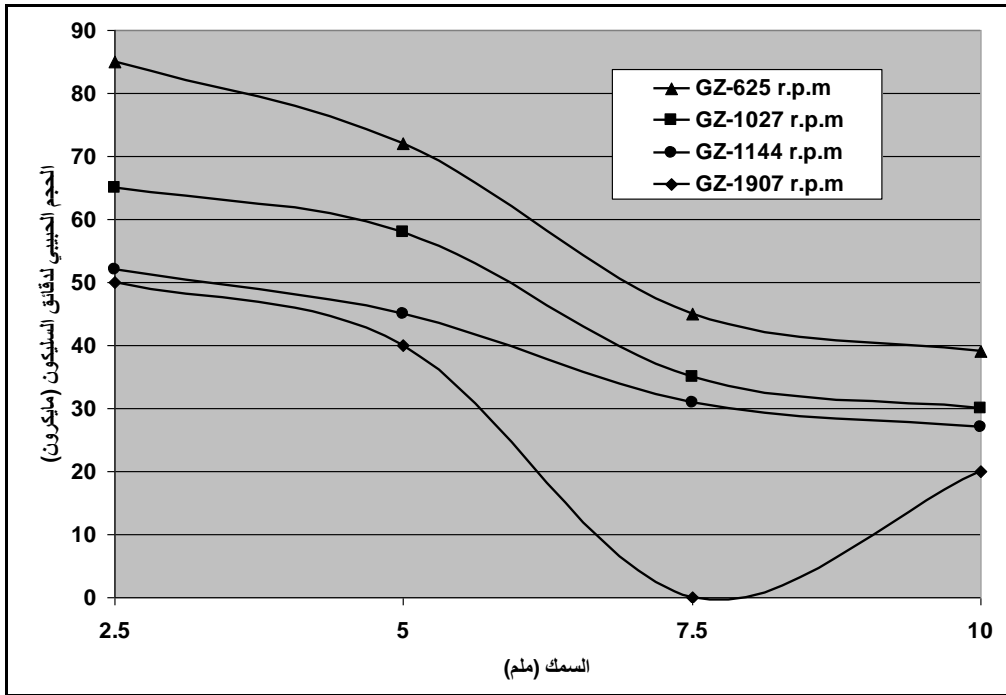
شكل (5): التركيب المجهرى للطبقة الوسطية لاسطوانات تم إنتاجها عند سرع دوران (a) 625, (b) 1027, (c) 1144, (d) 1907 دورة / دقيقة.



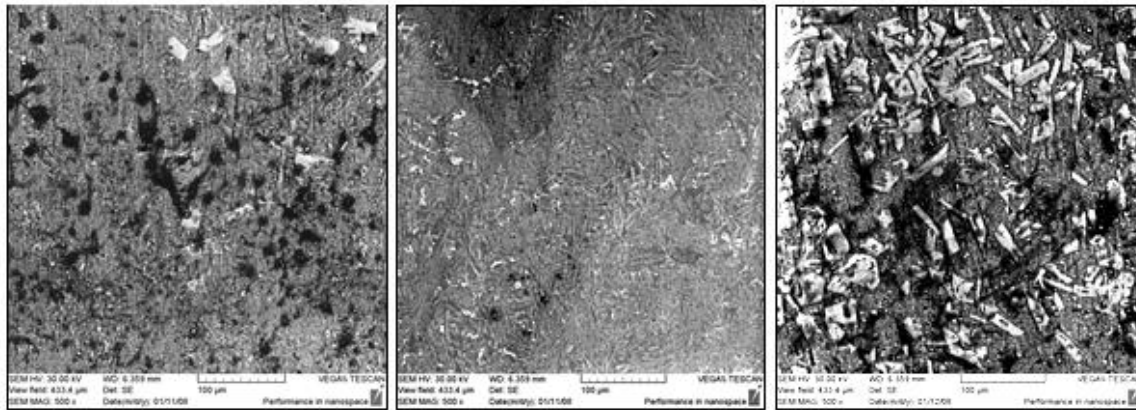
شكل (6): التركيب المجهرى للطبقة الداخلية لاسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (a) 625، (b)، التركيب المجهرى للطبقة الداخلية لاسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (c) 1027، (d) 1907 دورة / دقيقة.



شكل (7): العلاقة بين معدل الكسر الحجمي لطور (Si) الاولي وسمك الاسطوانة عند سرعة دوران مختلفة.



شكل (8): العلاقة بين معدل حجم دقائق (Si) الاولي وسمك الاسطوانة عند سرع دوران مختلفة.

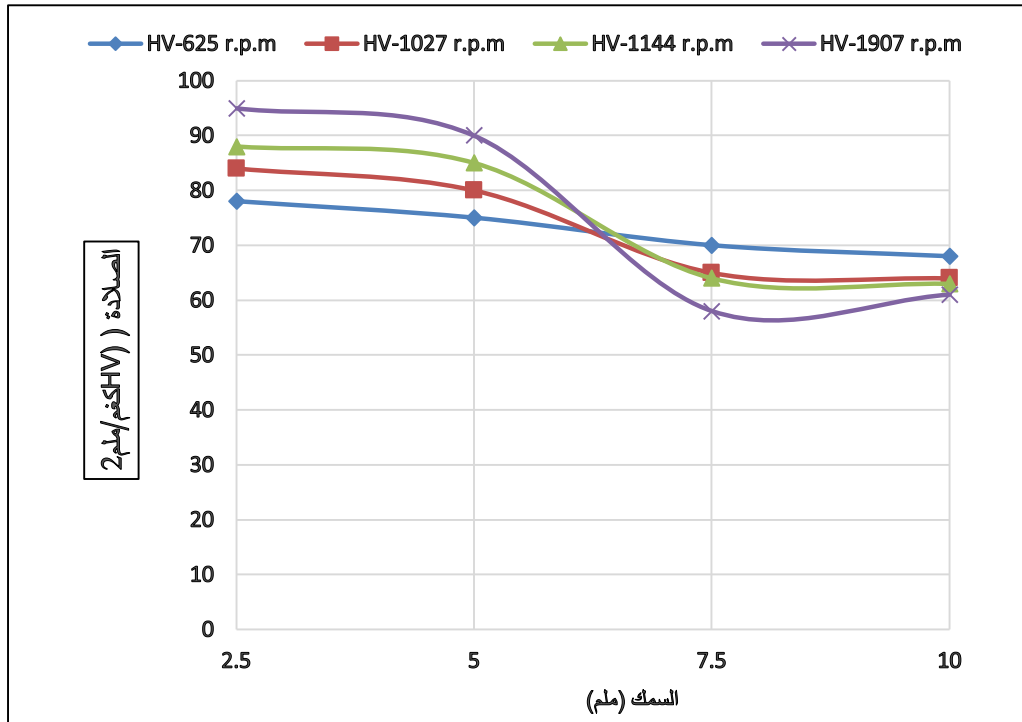


الطبقة الخارجية

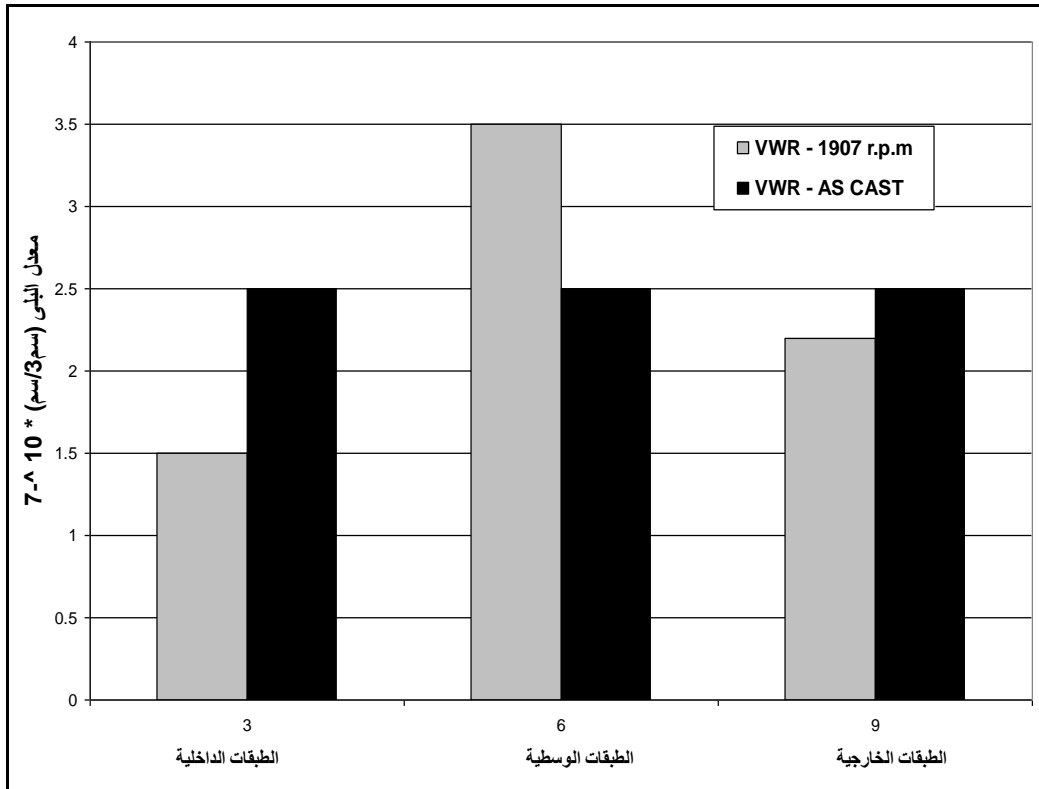
الطبقة الوسطية

الطبقة الداخلية

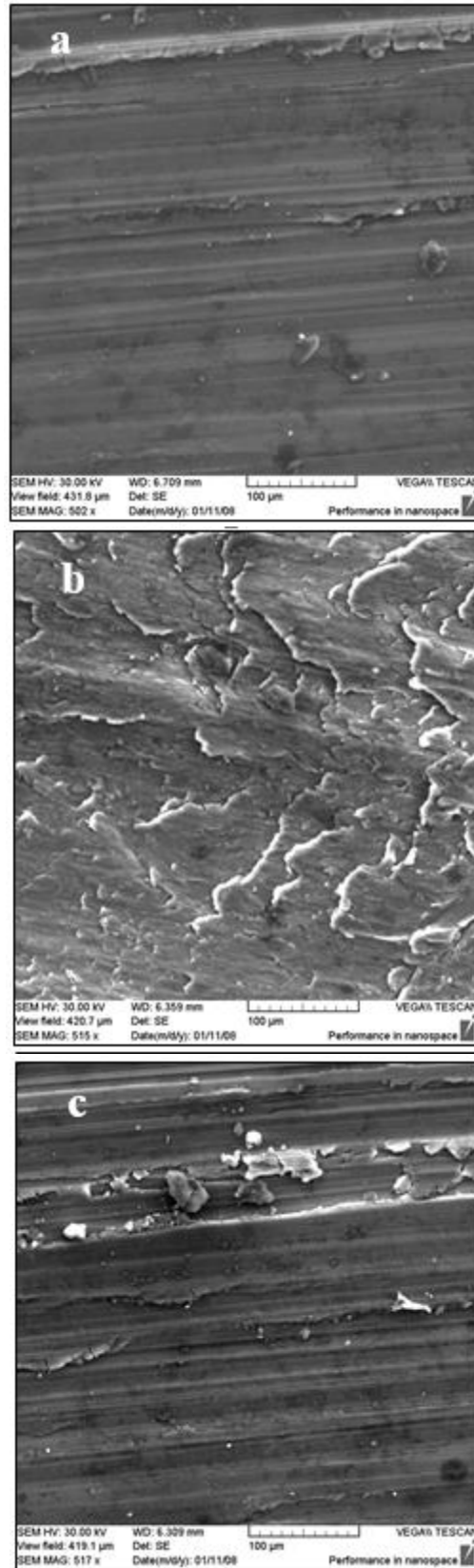
شكل (9): يبين المجهر الالكتروني (SEM) التركيب ألمجهري لاسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة (من الداخل نحو الخارج).



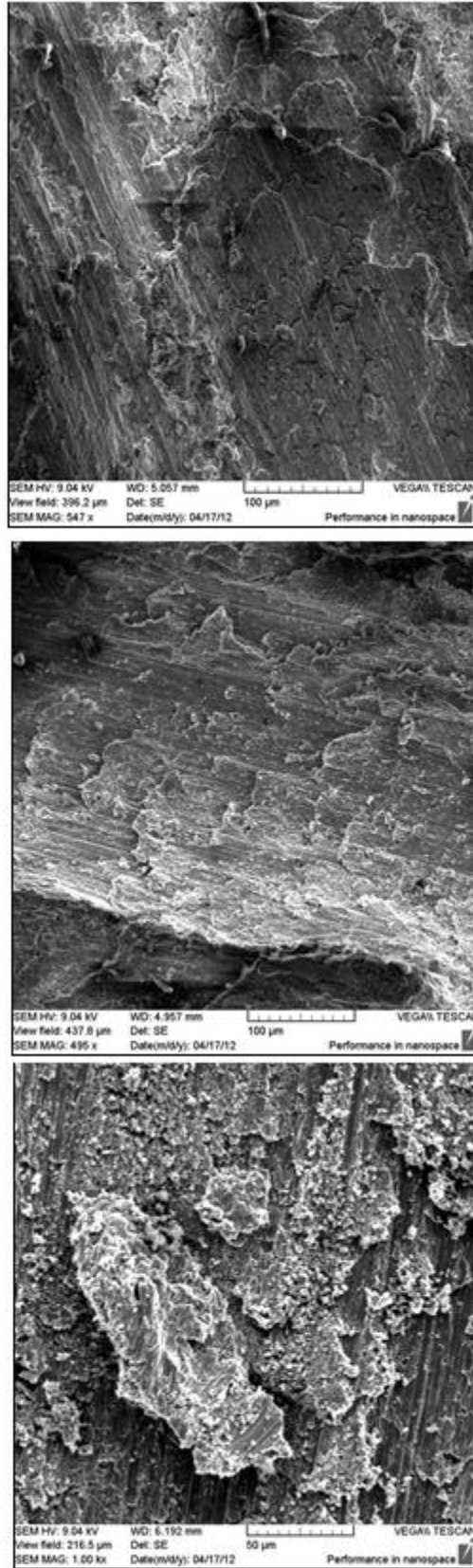
شكل (10): العلاقة بين معدل الصلادة (HV) وسمك الاسطوانة لسرع دوران مختلفة.



شكل (11): العلاقة بين معدل البلى و مناطق سمك اسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة ومقارنتها مع السبيكة الأساس (Al - 22%Si).



شكل (12): يبين المجهر الالكتروني (SEM) تركيب سطح البلى للطبقات (a) الداخلية، (b) الوسطية، (c) الخارجية لاسطوانة تم إنتاجها عند سرعة دوران (1907) دورة / دقيقة.



شكل (13): يبين المجهر الالكتروني (SEM) تركيب سطح البلى لمناطق مختلفة لسطح العينة (السبيكة الأساس) (as - cast) (Al - 22%Si).

STUDY THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALLOY (Al-22%Si) FUNCTIONALLY GRADIENT PRODUCED BY THE VERTICAL CENTRIFUGAL CASTING

Hussein Ali Hussein

Asisstant Lecturer, University of Technology

ABSTRACT: This research is devoted to prepare a functionally graded material (FGM) by using vertical centrifugal casting method and to study the effect of the rotational speed of casting mold on the microstructure and hardness of a hypereutectic (Al-22%Si) alloy. Therefore, the melt was overheated to (850) C° and poured in the centrifugal casting mold after preheating to (115) C°. Then casting was carried out at different rotational speed (625, 1027, 1144, and 1907) r.p.m. The results showed, increasing mold rotational speed due to increasing the average volume fraction in the inner layer from cylinder thickness and decreased in the intermediate and outer layer 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 from cylinder thickness at a rotational speed of (1907) r.p.m, and then the outer layer but minimum wear resistant was in the intermediate layer. The results of hardness tests showed that the maximum hardness was found in the inner layer from cylinder thickness, and increased with increasing mold rotation speed and then outer layer and intermediate layer.

Key words: functionally graded material, vertical centrifugal casting, rotational speed, (Al-22%Si) alloy.