دراسة انتقال الحرارة لمسبوكة (Al-Mg) المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي

د. نوال عزت * د. كريمة إسماعيل** و محمد قاسم محسن*

تاريخ التسلم:2009/2/25
تاريخ القبول:2009/9/3

الخلاصة

تم بناء برنامج حاسوبي بلغة فورتران (90) لدراسة الانتقال الحراري لبعدين(2-D) بطريقة الفروقات المحددة المباشرة (Explicit Finite Difference Method) لمسبوكة (Al-4.5%Mg) المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي الأفقي ، آذ تم دراسة تاثير تغير سرعة دوران القالب على معدل التبريد وسمك التجمد عدديا بادخالها الى البرنامج الحاسوبي, باستخدام بيانات التجارب العمليه .تم دراسة البنية المجهرية والصلادة للمسبوكات المنتجه عند سرع دوران مختلفه وعند التسخين المسبق للقالب لدرجة حرارة (200,70)°م.

الكلمات المرشدة : دراسة انتقال الحرارة ، سباكة الطرد المركزي ، مسبوكة (الالمنيوم-مغنيسيوم).

Study on Heat Transfer of (Al-Mg) Alloy Fabricated By Centrifugal Casting

Abstract

A Fortran 90 computer program was build to study the heat transfer in two dimensions (2-D) using explicit finite difference method for (Al-4.5%Mg) alloy. This alloy was produced by horizontal centrifugal casting, the effect of rotational speed on cooling rate and solidification thickness is investigated numerically, using the experimental data. Microstructure and hardness of the produced casting was investigated for different mold rotational speed, and different preheated mold temperatures (70, 200) °C.

الرموز المستخدمة

F : الكسر الصلب

r_L : كثافة السائل kg/m^3

r_S : كثافة الصلب kg/m^3

k_L : معامل التوصيل الحراري للسائل $W/m.k$

k_S : معامل التوصيل الحراري للصلب $W/m.K$

Cp_L : الحرارة النوعية للسائل $J/kg.K$

Cp_S :الحرارة النوعية للصلب $J/kg.K$

T_L : درجة حرارة السائل $°C$

T_S : درجة حرارة الصلب $°C$

L :الحرارة الكامنة J/kg

T_P :درجة حرارة الصب

* قسم هندسة الانتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية/ بغداد
** كلية الهندسة, جامعة بغداد/ بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.5.17
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq

المقدمة

تعرف عملية السباكة بالطرد المركزي بانها صب المعدن المنصهر في قالب معدني يدور بسرعة دورانية معينة لحين تجمد المعدن المنصهر والحصول على المسبوكات المطلوبة ، ونظرا لما تتمتع به عملية السباكة بالطرد المركزي من مميزات تبرزأهميتها في كونها عملية اقتصادية ، ويمكن استعمالها للمعادن الحديدية ، والمعادن اللاحديدية كما يمكن أنتاج مسبوكات كبيرة الحجم معقدة الشكل علاوة على أمكانية الحصول على منتجات ذات أسطح عالية الجودة خالية من العيوب[1]. أن الهدف الرئيس لعملية السباكة بالطرد المركزي هو أنتاج مسبوكات خالية من العيوب اذ يمكن الحصول على هذة المسبوكات بالسيطرة الدقيقة على عملية تجمد المسبوكة . تعد عملية التجمد عملية مهمة لفهم وتحديد المتغيرات المثلى لعملية السباكة، ويتم الاستعانة بالحاسوب لنمذجة (Modeling)ومحاكاة(Simulation) عملية التجمد ، والسيطرة على متغيرات عملية السباكة بالطرد المركزي من درجة الحرارة ، وزمن التجمد ، وسرعة دوران قالب السباكة . تطبق النمذجة بوساطة الحاسوب في عملية السباكة بالطرد المركزي للتنبؤ بما سيحدث أثناء عملية السباكة ، وتأثير ضبط متغيرات العملية في أنتاج المسبوكات المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي [2] . تعد قوة الطرد المركزي الأساس في عملية بناء شكل ، وتغذية المصبوبة. تدور القوالب المعدة للصب بسرعة معينة حول محورها وتكون هذه المحاور أما أفقية أو عمودية وتعتمد المحاور الأفقية عندما تكون نسبة طول المسبوكة الى قطر المسبوكة كبير، وتعتمد المحاور العمودية عندما تكون نسبة قطر المسبوكة الى طول المسبوكة كبيرة [3]. وفي هذه الطريقة يمكن الحصول على تفاصيل أكثر لسطح القالب وتكون الأشكال المنتجة على الأغلب متماثلة [4]. تستعمل هذه السباكة في العديد من تطبيقات الصناعة الهندسية مثل إنتاج الأنابيب المستعملة في الصناعات النفطية والكيماوية والاسطوانات الهيدروليكية والاسطوانات المستعملة في المحركات كما يمكن إنتاج مسبوكات ثنائية المعدن (Bimetallic) تتكون من معدنين أو سبيكتين مختلفتين يصبان على التوالي أو تراكيب متعددة الطبقات، أو إنتاج المواد المتراكبة كما يمكن إنتاج مسبوكات يتراوح وزنها من عدة غرامات إلى (40) طنا [5].

3.التحليل العددي

معادلة الطاقة

لحساب درجات الحرارة الغير مستقرة للقالب ولمسبوكة بشكل اسطواني فأن معادلة الطاقة يمكن أن تكتب كما في المعادلة رقم (1) وفي مرحلة التجمد يمكن استخدام المعادلة رقم (2) لدراسة انتقال الحرارة في المسبوكة [7] .

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(k_r r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial q}\left(k_q\frac{\partial T}{\partial q}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+Q=rcp\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)\quad\ldots\ldots(1)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{\partial^2 T}{r^2\partial q^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+\frac{Q}{k}=\frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial t}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

العوا مل المؤثرة على التدفق الحراري

هنالك عدة عوامل تؤثر على سرعة التدفق الحراري خلال عملية تجمد السبائك وتتضمن:[7]

- سرعة دوران قالب الطرد المركزي.
- الأسلوب الذي يدخل فيه المعدن المنصهر الى تجويف القالب .

* قسم هندسة الانتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية/ بغداد
** كلية الهندسة, جامعة بغداد/ بغداد

- درجة حرارة تجويف القالب ودرجة حرارة المحيط .
- سريان(flow) المنصهر خلال التجمد .
- درجة حرارة الصب وزمن الصب.
- مادة القالب, والسطح البيني بين السبيكة والقالب.

فرضيات النموذج

- تم اهمال الحمل الحراري الموجود في المعدن المنصهر.
- تم اهمال الاشعاع الحراري الموجود في المعدن المنصهر.
- المواصفات الفيزوحرارية للمسبوكة تتغير مع درجة الحرارة ، ولكنها ثابتة للطور الواحد وثابتة للقالب.
- يعتمد الكسر الصلب (solid fraction) على درجات الحرارة.
- تهمل التغيرات بمحور(z) لوجود التناظر حوله .
- أهمال تأثير سرعة دوران القالب على االحمل الحراري الحاصل بين القالب والجو الخارجي أو بين المسبوكة والهواء الداخلي.
- اعتبار انتقال الحرارة داخل تجويف الاسطوانة بطريقة الحمل الطبيعي(Natural convection).

الحل العددي بطريقة الفروقات المحددة

تم اعتماد طريقة الفروقات المحددة للجزء المراد دراسته بأتجاه (r and z) بتكوين شبكة منتظمة الأبعاد من العقد التي يتم ترقيمها كما موضح في شكل (1) . اذ تم اعتماد نصف النموذج المدروس لوجود التناظر. ويهدف هذا التقسيم الى معرفة الانتقال الحراري بين كل عقدة والعقد المجاورة لها[8] .ويوضح شكل رقم (2) المخطط الانسيابي لخطوات بناء البرنامج بطريقة الفروقات المحددة.

حساب زمن التجمد عدديا

أن الطريقة الأساسية في حساب زمن التجمد هي ادخال معادلات التدفق الحراري للمسبوكة الى الحاسوب عن طريق بناء برنامج بلغة(فورتران90) بطريقة(Finite Difference Method) ويتم من خلال البرنامج حساب درجات الحرارة خلال عملية التجمد في كل مرحلة من مراحل التجمد مع التغير في الزمن ، ويتم حساب زمن التجمد عدديا بادخال بيانات المعدن المنصهر وخواصه الحرارية التي يتم من خلالها التنبؤ بالانكماشات والتقلصات الحاصلة في تجويف المسبوكة المنتجة [9] ، وكذلك من الحرارة المتولدة أثناء عملية التجمد ، وحساب نسبه الكسر الصلب(Solid Fraction) التي تتراوح قيمته مابين الصفر الى الواحد آذ يكون مقدار الكسر الصلب في الحالة السائلة (صفر) أما في الحالة الصلبة فيكون مقدار الكسر الصلب(واحد). تبدأ عملية التجمد من جدار القالب الداخلي الى مركز دوران القالب[10].ويتم حساب درجة الحرارة بوساطة المعادلات والبيانات المعطاة الى الحاسوب عبر البرنامج الخاص لكل عقدة لذا يمكن حساب زمن التجمد لكل عقدة من عقد المسبوكة, وعند وصول درجة حرارة العقدة الى اقل من درجة حرارة الصلب، يستنتج أن هذه العقدة قد تجمدت بفعل قوة الطرد المركزي التي تعمل على قذف المعدن المنصهر بعيدا عن محور الدوران بأتجاه جدار القالب. يتم تكرار هذه العملية الى أن يتم تجمد المعدن المنصهر بشكل نهائي [9]. تم أعتماد خطوة الزمن الأقل حيث أحتسبت قيمتها لكل عقدة وتم اختيار اقل قيمة لضمان الحصول على الحل المتقارب.

حساب الخواص الفزيائية الحرارية للسبيكة

تم حساب الخواص الفيزيائية الحرارية للسبيكة المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي من العلاقات الخطية الاتية :

$$F_S = 1 - \left(\frac{T - T_S}{T_L - T_S} \right) \text{.....} (3)$$

$$k_m = (1 - F_S)k_L + F_S k_S \text{.....} (4)$$

إذ أن :

$$Cp_m = (1 - F_S)Cp_L + F_S Cp_S \text{.....} (6)$$

$$r_m = (1 - F_S) r_L + F_S r_S \text{.....} (5)$$

الحسابات الحرارية للمسبوكة في قالب دوار

من المعادلة رقم (7) يمكن حساب سرعة الانحدار الحراري للسبائك المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي في اتجاه المحاور (r ,Z) [11] .

$$k\left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + \frac{\partial T}{r\partial r}\right] + Q = rCp\left[\frac{\partial T}{\partial t} + V_r \frac{\partial T}{\partial r} + V_Z \frac{\partial T}{\partial Z}\right] \text{.....} (7)$$

تحضير السبيكه الاساس

تم تحضير السبيكه الأساس الخاصة بالبحث وهي سبيكة(Al-4.5%Mg) ، وذلك بصهر وزن معين من أسلاك الألمنيوم التجاري المستعمل في نقل القدرة الكهربائية باستعمال فرن صهر كهربائي ، عند درجة حرارة (700C°) وبعد انصهار الألمنيوم أضيفت قطع صغيرة من المغنيسيوم (Mg) بدرجة نقاوة (99%) مغلفة برقائق من الألمنيوم (Aluminum foils) مع تحريك المنصهر (يدويا) لضمان انصهار المغنيسيوم ، بعدها تم إخراج البودقة من الفرن وتم صب المعدن المنصهر في قالب معدني مصنوع من الصلب.وبعد إجراء التحليل الكيماوي للسبيكة ومعدن القالب , تم استخراج الخواص الفيزيائية الحرارية للسبائك والقالب ويوضح الجدول (1) هذه الخواص[13,12].

تهيئة منظومة سباكة الطرد المركزي

قبل البدء بعملية السباكة يتم تهيئة منظومة الطرد المركزي الموضحة في الشكل (3), آذ يتم تركيب مجموعة القالب، ثم تثبيت عدة الصب بشكل يضمن دخول المعدن المنصهر داخل تجويف القالب بشكل انسيابي وبنفس اتجاه دوران القالب، بعد ذلك يتم فصل الغطاء الموجود في أحدى نهايتي القالب الذي يسمح باخراج المسبوكة المنتجة من القالب، تم طلاء القالب من الداخل بطبقه رقيقه جدا من مسحوق الكرافيت لسهوله اخراج المسبوكة من القالب بعد انتهاء عملية التجمد[6]. بعد ذلك يتم تثبيت المشعل الغازي بوساطة عمود تثبيت وإجراء عملية التسخين للقالب عند درجة حرارة (200,70) م^o , باستعمال مشعل غازي ، بعدها تم صب السبائك في قالب السباكة عند درجة حرارة تسخين مختلفة وعند سرع دوران (1000,1500) دورة / دقيقة. الشكل (5و4) يبين عملية تسخين القالب قبل عملية صب المعدن المنصهر ولغرض قياس درجة حرارة القالب يتم تثبيت المتحسس الحراري قرب جدار القالب أثناء عملية دوران قالب السباكة كما موضح في الشكل (5) .

عملية الصب

بعد تشغيل منظومة الطرد المركزي يتم صب المعدن المنصهر داخل المصب في قالب السباكة والذي تم تسخينه إلى درجة حرارة(200,70) °م مع دوران القالب عند سرع دوران هي(1000,1500) . تم تصوير العملية بكاميرا رقميه عاليه ألدقه , تم اخذ قراءات قيم الزمن ودرجه الحرارة المعدن من هذه الكاميرا بالتصوير البطيء للعملية, وتم رسم منحني التبريد في كل حالة لغرض المقارنة مع نتائج التحليل العددي. وبعد الانتهاء من عملية الصب ترك القالب يدور مدة (1-2) دقيقة ثم تم إيقاف الدوران واخراج المنتج من القالب.

الفحص المجهري Microstructures

تم استعمال المجهر الضوئي نوع(Carl Sizess) والمرتبط بكاميرا رقمية,وبعد اجراء التنعيم والصقل والاظهار بمحلول(0.5%HF), لغرض فحص البنية المجهرية للمسبوكات المنتجه عند سرعة دوران (1500,1000) دورة / دقيقة ومعرفه تاثير سرعة دوران القالب على البنية المجهرية الناتجة

قياس الصلادة Hardness Measurement

قياس الصلادة Hardness Measurement

تم أجراء فحص الصلادة باستخدام مقياس فيكرز باستعمال جهاز فيكرز باستخدام حمل 0.5 كغم بزمن تسليط 10ثواني يتم حساب قيمة الصلادة باستعمال المعادلة (8) وتكرر العملية على طول سمك المسبوكة المنتجة .

$$HV=1.854(P/D^2)\ldots\ldots\ldots (8)$$

اذ ان:

HV :الصلادة .

P : الحمل kg

D : قطر الاثر (ملم).

4. النتائج والمناقشة

تأثير سرعة دوران القالب على معدل التبريد وزمن التجمد

يوضح الشكل(6)التوزيع الحراري لعقد مختارة ضمن المسبوكة وهي (r=0.36,0.42,0.44,0.45) التي تم دراستها عند أجراء عملية السباكة بالطرد المركزي باستخدام قالب من الصلب نوع(H13) وأجراء عملية السباكة بسرع دوران مختلفة لقالب السباكة هي (1500,1000) دورة / دقيقة ، آذ يلاحظ أن درجة الحرارة المعدن تنخفض مع زيادة سرعة دوران القالب المعدني، ولكافة عقد المسبوكة وعند أي لحظة زمنية . مما يؤدي الى تقليل الفترة الزمنية اللازمة لعملية التجمد . هذه النتائج تتفق مع النتائج التي توصل لها الباحثKang[14] وآخرون، إذ استنتج الباحثون إن سرعة دوران القالب تتناسب عكسيا مع زمن التجمد. باستعمال منحنيات التبريد الذي تم الحصول عليها، تم تحديد زمن تجمد كل عقدة بعد تحديد درجه حراره تجمد المسبوكه على إحداثي درجه الحراره ، ثم يتم برسم خط مستقيم من درجة حرارة تجمد المسبوكة يوازي محور الزمن وعند تقاطع هذا المستقيم مع منحني تغير درجة الحرارة والزمن ، يتم تحديد زمن تجمد العقدة لكل سرع الدوران .

لوحظ ان زمن تجمد العقدة (r=0.45)(وهي العقدة التي تمثل سطح التلامس مابين المعدن المصبوب وسطح قالب السباكة) لايتجاوز (0.1) ثانية لجميع سرع الدوران ،والسبب في ذلك يرجع الى معامل التوصيل الحراري لمعدن القالب آذ يتم انتقال الحراره الى القالب عند ملامسة المعدن المنصهر سطح القالب وهذا يؤدي الى أحداث افراط عالي في التبريد نتيجة الفرق مابين درجة حرارة المعدن المنصهر وسطح القالب المعدني وهذا يؤدي الى تكوين طبقة جامدة بسمك قليل ا(قشره) عند هذه العقدة.

عند العقدة (r=0.44) لوحظ أن زمن تجمد العقدة يقل مع زيادة سرعة الدوران ويتراوح زمن التجمد مابين (0.4-0.7) ثانية ، أن موقع هذه العقدة قريب من سطح التلامس مابين قالب السباكة والمسبوكة لذلك فان هنالك عاملان يؤثران على زمن تجمد هذه العقده، الأول هو معامل التوصيل الحراري العالي للقالب والعامل الثاني هو زيادة سرعة تدوير القالب، التي تعمل على انتقال الحرارة من القالب الى المحيط الخارجي (هواء) وبالتالي زيادة انتقال الحرارة من المسبوكة المنصهرة عبر القالب الى المحيط الخارجي أي زيادة معامل التوصيل الحراري مابين المسبوكة والقالب وبالتالي زيادة معدل التبريد .

عند العقدة (r=0.42) يقل تأثير معدن القالب نتيجة تكوين قشرة جامدة من المعدن ، وانبعاث الحرارة الكامنة للتجمد مما يودي إلى زيادة زمن التجمد لهذه العقدة مقارنة مع العقد السابقة القريبة من قالب السباكة.كما لوحظ أن زمن تجمد العقدة يقل مع زيادة سرعة دوران القالب ويتراوح مابين (1-1.7) ثانية.

من النتائج لوحظ أن زمن تجمد العقدة (r=0.36) يتراوح مابين(3-4.3) ثانية عند جميع سرع الدوران. أن زيادة زمن التجمد يعود الى الانخفاض في الانحدار الحراري لهذه العقدة آذ أن تأثير معامل التوصيل الحراري للقالب قليل جدا، ويؤثر على العقدة الحمل الحراري (convection) بسبب وجود هواء في الجزء الداخلي من المسبوكة . لوحظ عند استخدام المعادلات (9)و (10) عند اجراء السباكة باستخدام سرع دوران (1000,1500) دورة/دقيقة , أن تأثير قوة الجذب(Fg) يكون قليلة جدا مقارنة بقوة الطرد المركزي(Fc) لذلك فقد تم إهمالها .

تأثير_سرعة الدوران على سمك التجمد

يوضح الشكل(7)توزيع درجات الحرارة

$$F_C = m \times r \times w^2 \text{.....}(9)$$

$$F_g = m \times g \text{.....}(10)$$

على محور(r)للعقد المختلفة التي تم دراستها عند استخدام سرع دوران مختلفة هي(1500,1000,100) دورة/ دقيقة بعد مرور فترات زمنية مختلفة هي (2.5,5,7.5,10,) ثانية . أظهرت النتائج أن سرعة دوران قالب السباكة يؤثر على سمك المنطقة المتجمدة للمسبوكات المنتجة عند فترات زمنية مختلفة ، فقد لوحظ عند زيادة سرعة دوران القالب يزداد سمك المنطقة المتجمدة على حساب المنطقة الغير متجمدة ، يرجع سبب ذلك الى زيادة سرعة تقدم جبهة التجمد مما يؤدي الى زيادة الانحدار الحراري من المسبوكة الى القالب ، وبالتالي فان عملية التجمد تبدأ من السطح الخارجي للمسبوكة المنتجة باتجاة السطح الداخلي(أي من السطح الأعلى لانتقال الحرارة الى السطح الأسفل لانتقال الحرارة وهذه النتائج تتفق مع النتائج التي تم التوصل أليها الباحث سمير خلف [15] . ان عملية التجمد تبدأ من السطح الخارجي الى السطح الداخلي بفعل الزيادة في سرعة تقدم جبهة التجمد بسبب زيادة سرعة دوران قالب السباكة.

تأثير سرعة الدوران على البنية المجهرية

توضح الاشكال(8) و(9) البنية المجهرية لمسبوكة (Al-4.5%Mg) لمناطق مختلفة الابعاد (r=3.6&4&4.4) سم عن محور الدوران للعقد التي تم دراستها والتي تمثل السطح الخارجي , منتصف المسبوكة والسطح الداخلي, عند سرع دوران (1500,1000) دورة/ دقيقة .تتكون البنية المجهرية للعقدة(r=4.4) سم(التي تمثل السطح الخارجي للمسبوكة) من حبيبات المحلول الجامد(α) والطور الثاني(Inter metallic compound) Al_2Mg_3 على الحدود البلورية للمحلول الجامد.عند قياس حجم الحبيبات باستخدام البرنامج الحاسوبي (S-Image). لوحظ ان حجم حبيبات السطح الخارجي للمسبوكة أصغر من حجم حبيبات السطح الداخلي لنفس المسبوكة ولجميع سرع الدوران المستخدمة. يرجع السبب في ذلك إلى معدل التبريد العالي عند السطح الخارجي للمسبوكة مقارنة بالسطح الداخلي ، وكما يظهر في الشكل (6)، ان التبريد السريع جدا يؤدي الى عدم توفر الفترة الزمنية اللازمة لعملية النمو البلوري وبالتالي الحصول على حبيبات صغيرة الحجم عند السطح الخارجي وهذا يفسر السبب في زيادة صلادة السطح الخارجي للمسبوكة . ان زيادة الصلادة ترجع الى حدوث عملية التقوية بالحدود البلورية اذ تعمل الحدود

البلورية على اعاقة حركة الانخلاعات ، ومع تقليل حجم الحبيبات تزداد المساحة السطحية للحدود البلورية وبالتالي زيادة الاعاقة لحركة الانخلاعات ومن ثم زيادة الصلادة .اما العقدة (r=4) سم التي تمثل منتصف المسبوكة فان البنية المجهرية تتكون من حبيبات من طور (α) بحجم أكبر من حجوم حبيبات السطح الخارجي كما ان كمية الطور الثاني المترسب على الحدود البلورية يكون أكثر مما يترسب في المنطقة التي تبعد (r=4.4) سم عن محور الدوران ، وهذا يرجع الى معدل التبريد في هذة العقدة يكون أقل من معدل التبريد العقدة (4.4) سم ، وبالتالي الحصول على بنية مجهرية ذات حجوم حبيبات أكبر من حبيبات السطح الخارجي، وعند مقارنة قيمة صلادة هذة المنطقة مع صلادة السطح الخارجي لوحظ ان قيمة الصلادة أقل ، وكما موضح في الشكل(10). عند العقدة (r=3.6) سم التي تمثل السطح الداخلي للمسبوكة ، فان البنية المجهرية تتكون من حبيبات كبيرة الحجم من طور(α) وتترسب كمية كبيرة من الطور الثاني على الحدود البلورية ، وسبب ذلك يرجع الى توفر الوقت الكافي لعملية نمو البلورات نتيجة انخفاض معدل التبريد ، وكما يلاحظ ان الفترة الزمنية لتجمد العقدة التي تبعد (3.6) سم عن محور الدوران أعلى من زمن تجمد العقد الاخرى وبالتالي الحصول على حبيبات كبيرة الحجم . ان البنية المجهرية ذات الحبيبات البلورية الكبيرة الحجم تمتلك قيم صلادة اقل مقارنة بقيم الصلادة المناطق التي تمتلك بنية مجهرية ذات حبيبات صغيرة الحجم ويعزى ذلك الى صغر مساحة الحدود البلورية الذي يقلل عملية التقوية والاعاقة لحركة الانخلاعات وذلك وفق نظرية Pich-Hall التي تشير الى ان هنالك علاقة عكسية مابين حجم الدقائق والخواص الميكانيكية [16] ، وهذا يفسر الاختلاف في قيم الصلادة الموضحة في الشكل (10) يوضح قيم الصلادة للعقد المختلفة .عند زيادة سرعة الدوران تزداد قوة الطرد المركزي المؤثرة على سمك المسبوكة كما تؤثر على منحني التبريد وكما موضح في الشكل (6).ان زيادة قوة الطرد المركزي تعمل على زيادة سرعة قذف المعدن المنصهرمما يؤدي الى زيادة الكثافة والحصول على حجوم حبيبات صغيرة تمتلك قيم صلادة عالية، وهذا يفسر زيادة قيم الصلادة للمسبوكات عند زيادة سرع دوران قالب سباكة الطرد المركزي وكما يظهر في الشكل (10).

الاستنتاجات *Conclusion*

من خلال النتائج المستحصلة تم استنتاج مايلي :

- لقوه الجذب في سباكة الطرد المركزي تاثير قليل , وذلك بسبب تاثير سرعة دوران القالب على عملية السباكة.
- تؤثر سرعة دوران قالب السباكة بالطرد المركزي على البنية المجهرية للمسبوكات المنتجة اذ يحتوي السطح الخارجي للمسبوكات المنتجة على بنية مجهرية ذات حجوم حبيبات أصغر من حجوم حبيبات السطح الداخلي للمسبوكات المنتجة
- تزداد صلادة السطح الخارجي للمسبوكة مقارنة بصلادة السطح الداخلي لنفس المسبوكة، بسبب صغر حجم حبيبات السطح الحارجي مقارنة بحجم حبيبات السطح الداخلي بسبب تاثيرسرعة دوران القالب على معدل التبريد للمسبوكات المنتجة.
- بزيادة سرعة دوران قالب السباكة تزداد قوة الطرد المركزي التي تعمل على حدوث انحدار حراري سريع وبالتالي لايوفر الفترة الزمنية الازمة لعملية النمو البلوري .

References

[1]-D.Soares,G.Chrrota, "Advantage of the centrifugal casting technique for the production of structural components", Materials &Design,Vol.29, No.1,2008, pp.20-27

[2]-W.Shouren,G.Peiquan, "Certrifugal precision cast TiAl wheel using ceramic mold", Journal of MaterialsProcessing Tecnology,Vol.204,No.1-3,2008,pp492-497

[3]- Joshi,A.M.," Centrifugal Casting" Indian Institute of Technology –Bombay , India, 2003.

[4]-Bronze,H., "Defining a New World Wide Standard of Excellence with Centrifugal Casting" http://www hubcobronze.Com/ Cent cast. htm.

[5]- Bralla,J. , " Design for manufacturability" Hand book 2th edition, 1999.

[6]- "A Design Study in Centrifugal Steel Casting-Accumulator Cylinder", Steel Founders, Society of America, 2004.

[7]- Holman,J.P.,"Heat Transfer", Ninth Edition, McGraw-Hill,2002.

[8]-Steven,M.,Dalguer, "Comparison of Finite Difference and Boundary Integral Solutions to Three- Dimensional Spontaneous Rupture ", USA,Vol.110 B12307, 2005.

[9]Kim,K.W.,Baek,S.W," Efficient inverse radiation analysis in a cylindrical geometry using a combined method of hybrid genetic algorithm and finite-difference Newton method", Journal of Quantitative Spectroscopy Radioactive Transfer Korea , Vol . 108 2007 PP.423-439.

[10] Lewis,R.W. ,Nithiarasu," Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow", John Wiley& Sons, Ltd,USA,2004.

[11] -Tracie Lee Durbin," Modeling Dissolution in Aluminum Alloys", PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, USA, 2005, PP.15-16.

[12] -Mills,K.," Recommended Values of Thermo Physical Properties For Selected Commercial Alloys" ,Wood head Ltd, ASM International ,2002, PP.19-70.

[13]- Properties for Selection Nonferrous Alloys and Pure Metal in" Metals HandBook", Ninth Edition, Volume 2 ", USA, 1979.

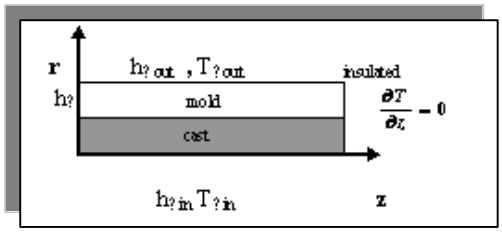
[14]Kang,C.G.,Rohatgi,P.K.,Narendranath,C.S.,Cole,G.S., "A solidification Analysis on Centrifugal Casting of Metal Matrix Composites Containing Graphite Particles ", ISIJ International, Vol.34, No.3, , 1994, PP.247-254.

[15]سمير خلف "دراسة خواص المواد المركبة-ذات أساس المنيوم منتجة بسباكة الطرد المركزي" اطروحة ماجستير, الجامعة التكنولوجية, قسم هندسة الانتاج والمعادن, العراق, بغداد. 2005

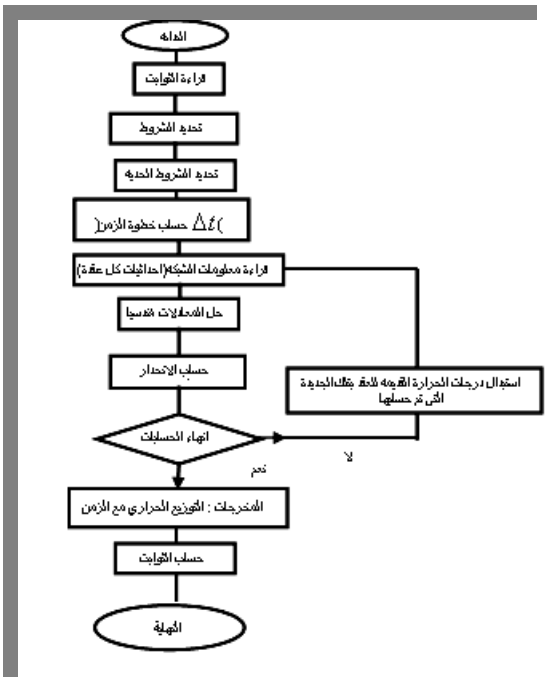
[16]-Chawla, K., Meyers, A., "Mechanical Behavior of Materials", Prentice-Hall. Inc., 1999.

جدول(1) يوضح الخواص الفيزيائية الحرارية لسبيكة (Al-4.5%Mg)[13,12].

الرمز	الخواص	القيمة	الوحدات
r_L	كثافة السائل	2354	kg/m^3
r_S	كثافة الصلب	2526	kg/m^3
k_L	معامل التوصيل الحراري للسائل	63	$W/m.k$
k_S	معامل التوصيل الحراري للصلب	139	$W/m.K$
Cp_L	الحرارة النوعية للسائل	1220	$J/kg.K$
Cp_S	الحرارة النوعية للصلب	1190	$J/kg.K$
T_L	درجة حرارة السائل	633	$°C$
T_S	درجة حرارة الصلب	542	$°C$
L	الحرارة الكامنة	389000	J/kg
T_P	درجة حرارة الصب	640	$°C$



شكل (1)انتقال الحرارة في نصف النموذج

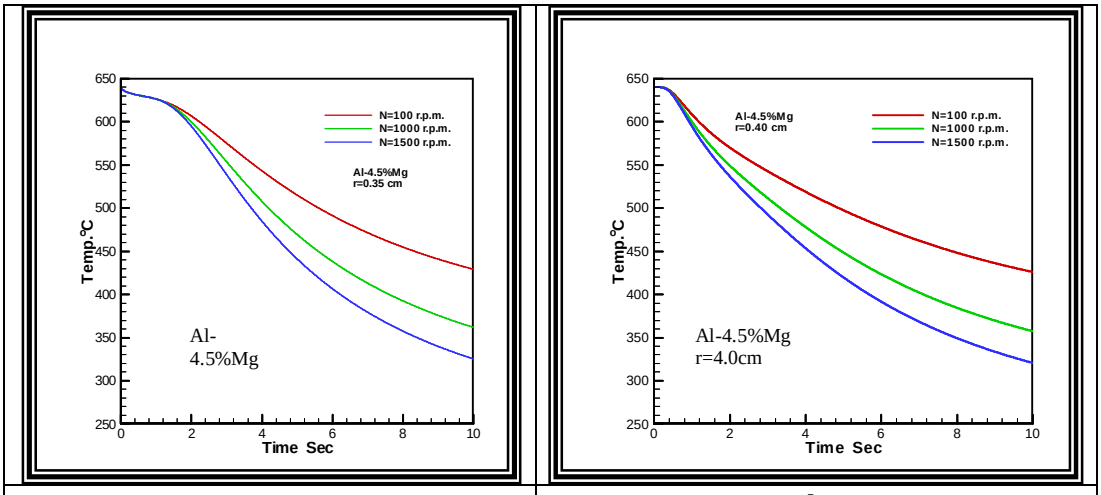


الشكل(2) يوضح خطوات البرنامج بطريقة الفروقات المحددة

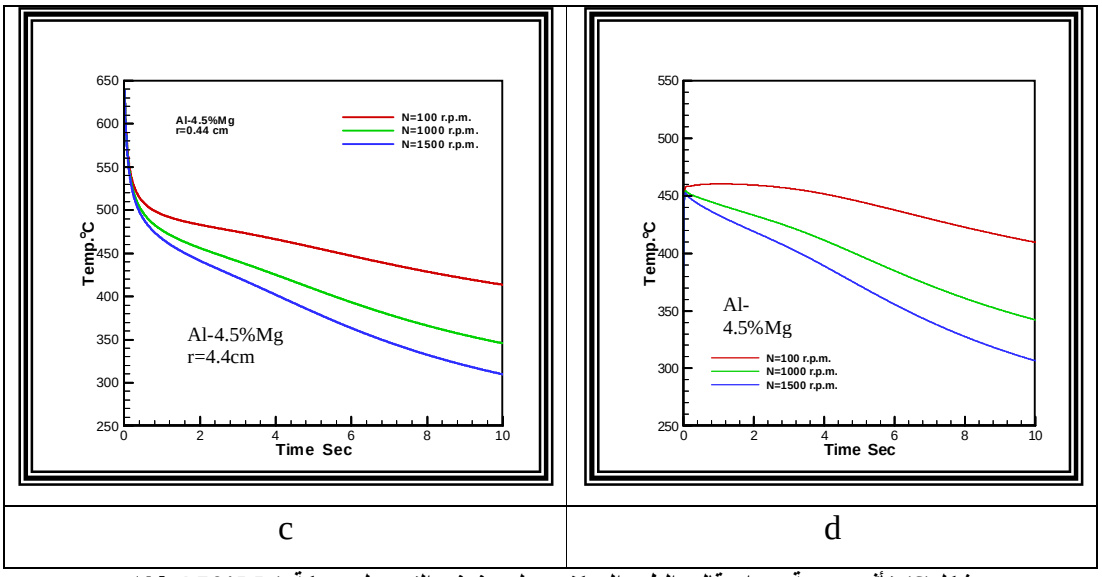
شكل(3) منظومة السباكة المستخدمة في البحث

الشكل (4) يوضح عملية تسخين القالب قبل البدء بصب المعدن .

الشكل(5)يوضح تثبيت المتحسسات الحرارية لقالب السباكة بالطرد المركزي.

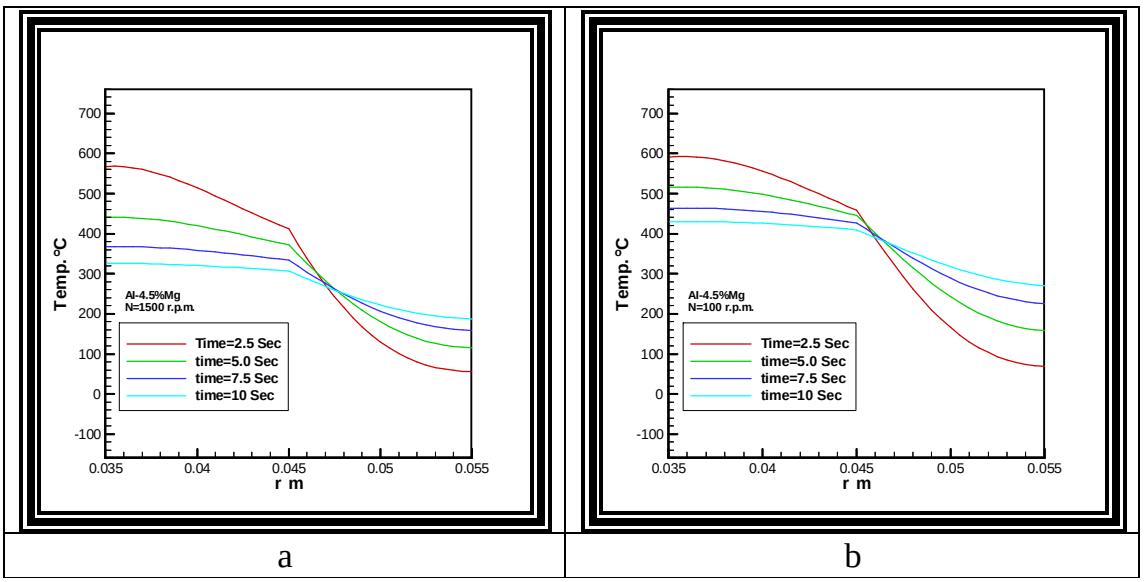


a b



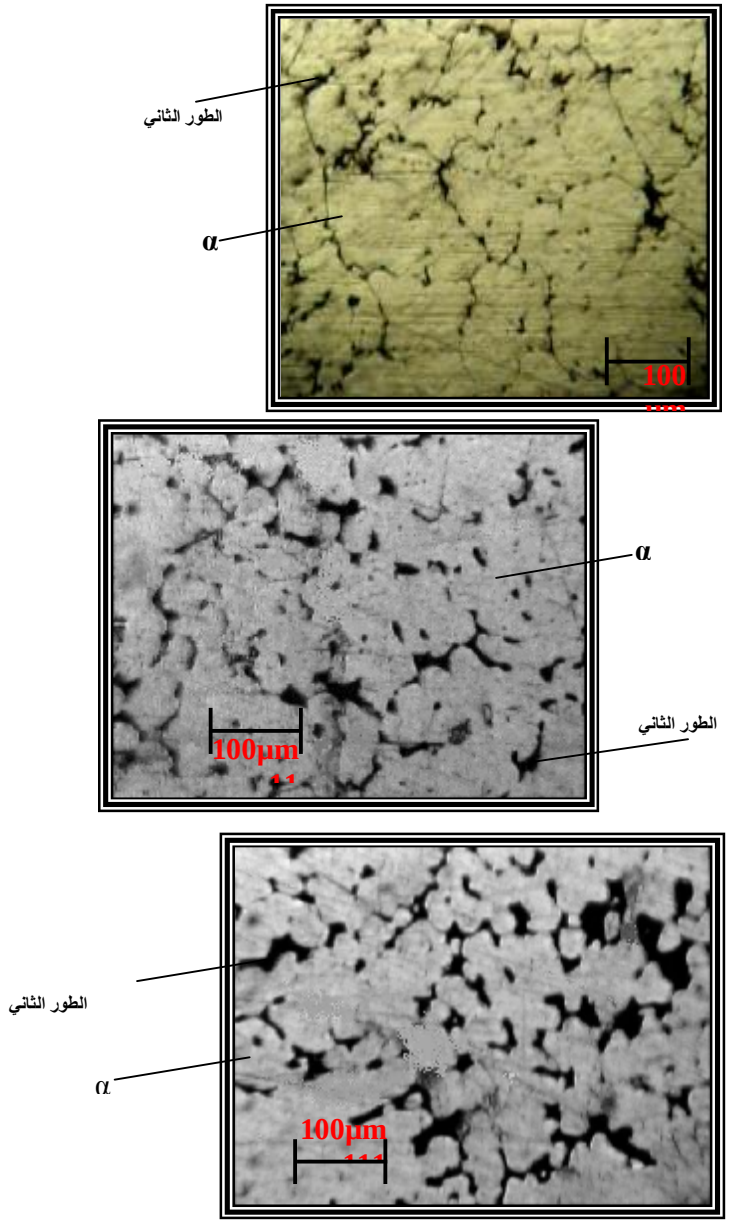
c d

شكل(6) تأثير سرعة دوران قالب الطرد المركزي على منحني التبريد لمسبوكة (Al-4.5%Mg)

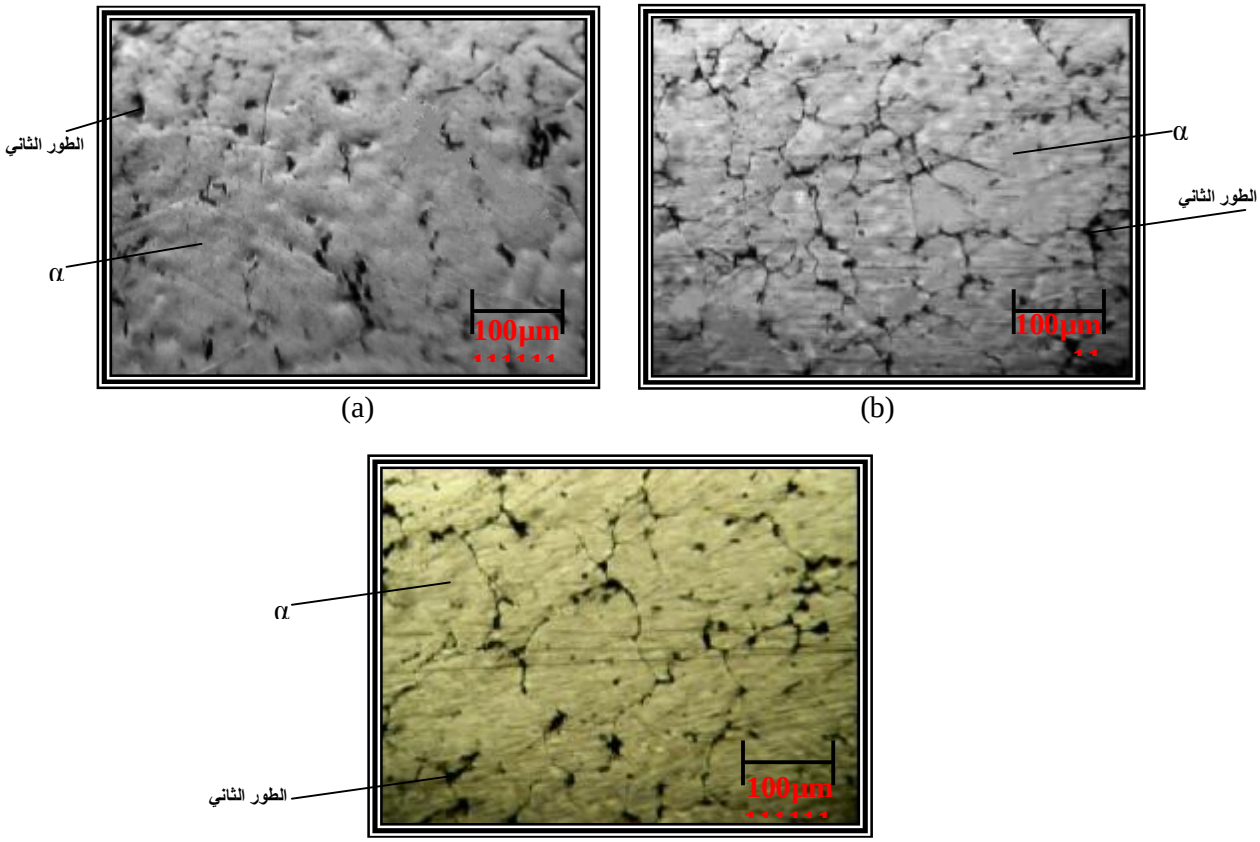


a b

شكل(7) العلاقة بين بعد العقد عن محور الدوران ودرجة الحرارة لمسبوكة(Al-4.5%Mg)باستعمال سرعة دوران مختلفة عند زمن تجمد مختلف.



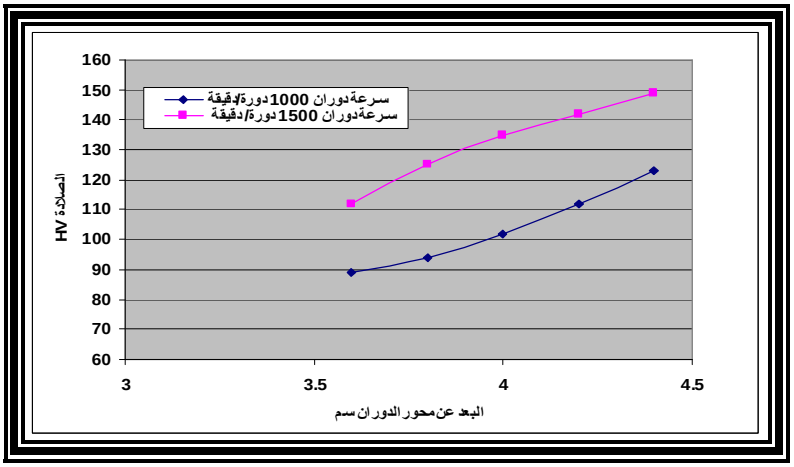
الشكل (8) البنية المجهرية لمسبوكة (Al-4.5%Mg) عند مناطق مختلفة البعد عن محور الدوران لسرعة دوران (1000) دورة / دقيقة. a : السطح الخارجي ،b: منتصف المسبوكة ،c: السطح الداخلي .



(a) (b)

(c)

الشكل (9) البنية المجهرية لمسبوكة (Al-4.5%Mg) عند مناطق مختلفة البعد عن محور الدوران لسرعة دوران (1500) دورة / دقيقة، السطح الخارجي -a ، منتصف المسبوكة -b ، السطح الداخلي -c.



الشكل (10) يوضح صلادة مسبوكة (Al-4.5%Mg) عند أبعاد مختلفة باستعمال سرع دوران (1500,1000) دورة / دقيقة