

تحليل وتشخيص مسببات الانحراف في جودة إنتاج سبيكة الألمنيوم- ٤,٦ % نحاس⁺
ANALYSIS AND DIAGNOSTIC CAUSES OF VARIANCE IN THE
QUALITY PRODUCTION TO (Al – 4.6% Cu) ALLOY

خالد عبد الرضا اسماعيل**

زهير حسن عبدالله*

المستخلص:

يهدف البحث إلى إمكانية استخدام مخطط باريتو في تحديد مسببات الانحراف الناتجة من صب سبيكة الألمنيوم – 4.6 % نحاس. استخدمت عدة أنواع من القوالب في صب السبيكة أعلاه لبيان تأثير معدلات التبريد على نسب العيوب الناتجة. أثبتت الفحوصات المجهرية ان الصب في القالب المعدني غير المعزول المبرد بالهواء يعطي أقل نسبة عيوب وبالغلة (٤,٣٢٣ %) في حين أعطى القالب المبرد بالفرن نسبة عيوب عالية وبحدود (37.062%).

الكلمات الدالة: مخطط باريتو، نسبة العيوب، سبيكة الألمنيوم – ٤,٦ % نحاس.

Abstract:

This research is aimed to use Pareto chart in determining variation reasons result from casting (Al – 4.6 %Cu) alloy. Several molds were used in casting the alloy mentioned above to find out the effect of cooling rates on the resulted defect percentage. Microstructure tests showed that casting in air-cooled non isolated permanent mold gives the minimum percentage of defects (4.323%) while the percentage was (37.062 %) when furnace-cooled mold was used.

Keywords: pareto chart, percentage of defects, (Al – 4.6 %Cu) alloy.

المقدمة:

الألمنيوم النقي معدن طري وضعيف (مقاومة الشد له تبلغ 70 Mpa) عندما يكون في حالة تخمير وعلى هذا الأساس فان استخدام سبائك الألمنيوم في المجالات الصناعية هو المفضل، وكثافة الألمنيوم حوالي (2.7 g/cm³) لذلك يعتبر الألمنيوم من المعادن الخفيفة حيث تعتمد الخواص الميكانيكية للألمنيوم وسبائكه على درجة النقاوة ونوع وكمية العناصر السبائكية الداخلة معه، وكذلك على مقدار التشكيل اللدن على البارد الذي يجرى له، حيث يعمل التشكيل على البارد على تشويه البنية المجهرية وزيادة الكثافة الإنخلاعية والمقاومة لحركة الحبيبات وبذلك تزداد مقاومة الشد وكذلك الصلادة وتقل المطيلية بمقادير تتناسب مع مقدار التشكيل على البارد كذلك لمعدن الألمنيوم قابلية شديدة على إذابة الهيدروجين في مرحلة الصهر وهو الغاز الوحيد القابل للذوبان في منصهر الألمنيوم بكميات كبيرة [1,2].

تمتاز سبيكة الألمنيوم-4.6% نحاس المبردة ببطء بأنها تكون هشّة وضعيفة لوجود مركب يترسب على حدود الحبيبات وهو عبارة حبيبات صغيرة من (CuAl₂) وذلك لنقصان قابلية ذوبان النحاس في الألمنيوم عند انخفاض درجات الحرارة ولكن يمكن تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة وذلك بإجراء التصليد الإزماني أو التصليد بالترسيب وذلك من خلال تسخين السبيكة إلى أعلى من حد الذوبان وهي درجة حرارة (٥٠٠م^٥) ثم تبريد السبيكة حتى درجة

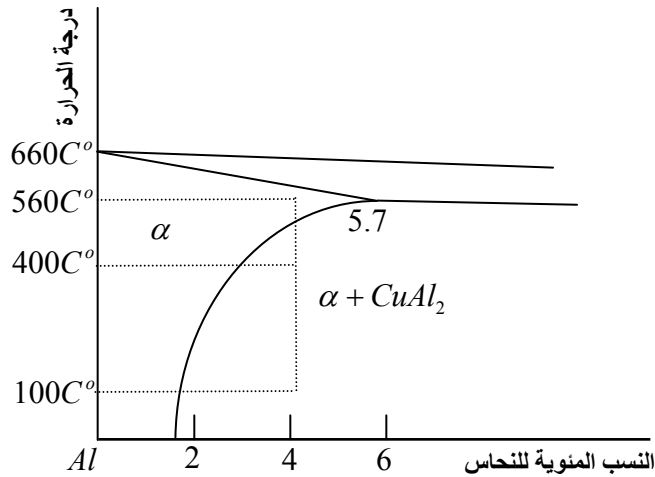
⁺ تاريخ استلام البحث ٢٠٠٩/٧/١٣، تاريخ قبول النشر ٢٠١٠/٤/٨ .

* مدرس /المعهد التقني/ بابل

** مدرس مساعد / المعهد التقني/ بابل

حرارة الغرفة تبريداً سريعاً من خلال الإخماد بالماء لمنع تكون الطور الهش ($CuAl_2$) الذي يتكون عند التبريد البطيء وهذا ما يطلق عليه بالمعالجة المحلولية وعند ترك السبيكة في درجة حرارة الغرفة تزداد صلابتها بمرور الزمن حتى تصل إلى أعلى قيمة بعد مرور أربعة أيام بالنسبة لسبيكة (الديورالامين) وهذا يطلق عليه التصليد الطبيعي الإزماني أما إذا سخنت السبيكة بعد المعالجة المحلولية إلى (150°) ولمدة عدة ساعات فإن هذه الطريقة تعرف بالإصلاص الاصطناعي أو التصليد بالترسيب كما مبين في الشكل (1). [3].

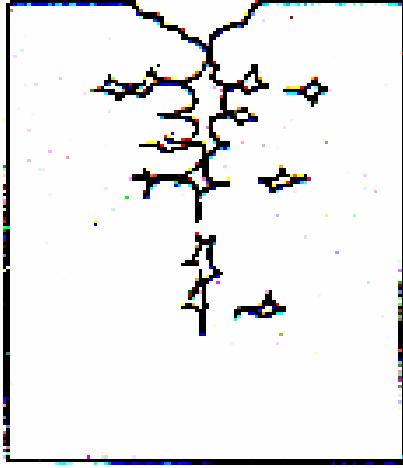
ومن أجل فصل العيوب القليلة المؤثرة عن الكثيرة قليلة التأثير يستخدم مخطط باريتو وهو منحني بياني يرتب الأسباب من حيث حجم تأثيرها في المشكلة محل الدراسة. وتتجلى الفائدة من تحليل باريتو عند دراسة المشكلة الكبيرة وجعلها تبدو اصغر نتيجة لتحليل أسباب حدوثها كما يمكن استخدام مخطط باريتو لإحداث التحسينات في كافة المجالات مثل كفاءة الأداء والمحافظة على التكاليف والمجالات الأخرى. يستخدم هذا المخطط في مجال ضبط الجودة لتحديد مسببات الانحراف في العمليات الإنتاجية. يلي ذلك توسع كبير بتطبيقات هذا المخطط في الدول الصناعية المتطورة في مراقبة جودة الإنتاج وبالأخص في اليابان، حيث يستخدم لحد الآن وبنطاق واسع في مختلف أنواع الصناعات لإحكام ضبط جودة الأداء أثناء تنفيذ المسالك التكنولوجية والمنتج الجاهز في مرحلة الفحص والتفتيش النهائي [4,2].



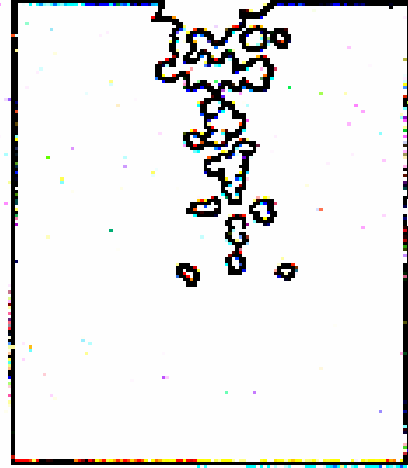
الشكل (1) مخطط يوضح عملية الإصلاص لسبيكة الألمنيوم - 4.6% نحاس [٢]

دراسة تأثير العيوب على السبائك:

من الواضح ان الحصول على المصبوبة ذات مواصفات مثالية غير ممكن وذلك نتيجة للتأثيرات والعوامل المحيطة بعملية الصب ، ان استخدام مصبوبات الألمنيوم وخاصة في أجزاء تتعرض مثلاً إلى إجهادات حرارية مثل أغشية محركات السيارات وإجهادات ضغط وشد كما في أبدان الزوارق. ولهذا أصبح من الضروري تجنب حصول عيوب في المصبوبة لان وجود عيوب مسامية غازية كبيرة تظهر على شكل ثقب منتفخة أو شقوق سيؤدي حدوث انخفاض في الخواص الميكانيكية، كذلك تجنب وجود فجوات التجمد بالمصبوبات التي تظهر على شكل فقائيع صغيرة تسبب إنسحاقية المصبوبة ومساميتها كما مبين في الشكل (٢) [6,5].



مسامية الانكماش



مسامية الغاز

(فجوات غازية)

الشكل (٢) رسم تخطيطي يوضح شكل مسامية الغاز والانكماش عند الإنجماد [٧]

علاقة الخواص الفيزيائية للمعادن بقابلية السباكة:

ان درجة حرارة الانصهار والانسايبية للمعدن المنصهر هي من الخصائص الفيزيائية المؤثرة بشكل كبير في قابلية السباكة فدرجة الانصهار عادة ما تكون متباينة لمختلف المعادن، فعلى سبيل المثال سبيكة الرصاص-الزئبق-الأنثيمون لها درجة حرارة انصهار منخفضة مقدارها (47 C^0) في حين ينصهر الموليبيديوم بدرجة حرارة بدرجة (2625 C^0)، لذا يجب اختيار مواد المقابلة المناسبة للمعادن ذات درجات انصهار منخفضة لا تكون مناسبة للمعادن ذات درجات الانصهار العالية، وفي أحيان أخرى درجات التجمد لبعض المعادن والسبائك تحت الضغط الجوي الاعتيادي لا يمكن تغييرها، لذا لا بد من ملائمة طرق السباكة الخاصة بها، أما خاصية الانسايبية فهي قابلية المعدن للانسايب بحرية داخل القالب وملئ التجاويف بشكل كامل وجيد، وتعتمد إنسايبية المعدن على كل من الشد السطحي للمعدن واللزوجة الحركية ووجود أو عدم وجود طبقات أكاسيد على سطح المعدن، فالشد السطحي للمعادن يختلف باختلاف درجة انصهارها فهو ذو قيم عالية للمعادن ذات درجات الانصهار الواطئة، وعلى هذا الأساس كلما كان الشد السطحي ذو قيمة عالية كانت انسايبية المعدن واطئة أما وجود الأكاسيد فإنه يشكل غطاء حول المعدن المنصهر مما يعيق المعدن من ملئ تجاويف القالب الضيقة، لذا فإن وجود الأكاسيد تقلل من انسايبية المعدن وتعيق عمليات الصب وبخاصة كل من الألمنيوم والنحاس الأصفر [8,4].

أما اللزوجة فتعود إلى تغير للوزن النوعي للمعادن، وعند مقارنة لزوجة الماء مع لزوجة المعادن يلاحظ ان لزوجة المعادن اكبر من لزوجة الماء بمقدار (٢-٤) مرات على الأقل في حين عند تقسيم اللزوجة على الوزن النوعي فن لزوجة المعادن تكون اقل مما للماء وهذا يؤدي إلى انسايبية جيدة، لذا تستخدم درجات حرارة صب مناسبة بحيث تبقى درجة حرارة المعدن المنصهر فوق مدى التجمد لغرض ملئ القالب بشكل جيد [9].

حساب قيم المسامية:

يتم حساب النسبة المئوية للمسامية الغازية بإتباع طريقة تقاطع الخطوط وكما مبين في الشكل (٣) حيث تم عمل شبكة من الخطوط الأفقية والعمودية على ورق شفاف وبعيد ثابت يبلغ (5 mm) وتم مطابقة هذه الشبكة على صور العينات لحساب تقاطع المسامية مع الخطوط الأفقية والعمودية وكما موضح في المعادلة رقم (١) [١٠]. كذلك يمكن

احتساب متوسط المسامية اعتماداً على وسط التبريد المستخدم لجميع العينات وكما موضح في المعادلة رقم (٢) [12,11].

$$(1) \text{ ---} 100 \times \frac{A + B}{C} = \text{النسبة المئوية للمسامية}$$

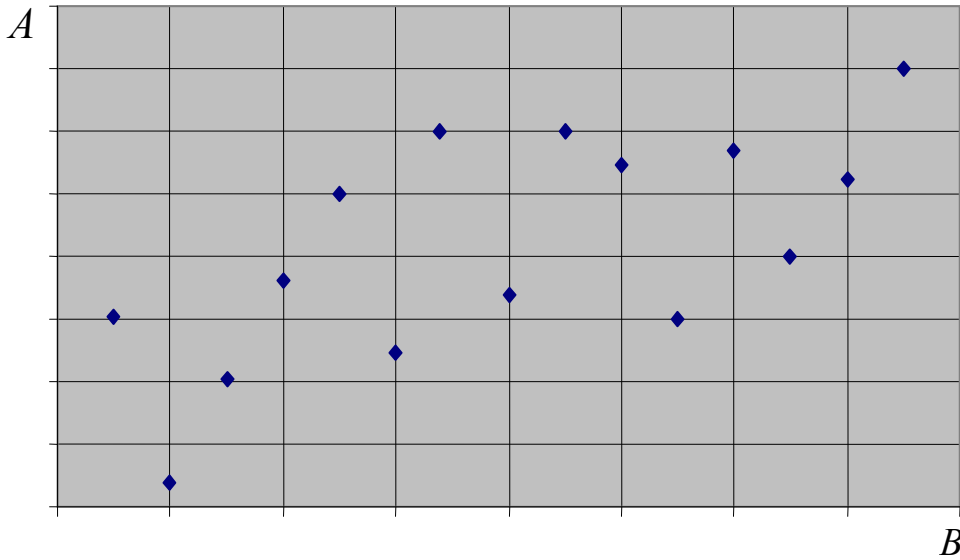
حيث ان:

A = مجموع أطوال تقاطع المسامية مع الخطوط الأفقية.

B = مجموع أطوال تقاطع المسامية مع الخطوط العمودية.

C = مجموع أطوال الخطوط الأفقية والعمودية.

$$(2) \text{ ---} \frac{\text{مجموع النسب المئوية للمسامية لكل عينة}}{\text{عدد العينات}} = \text{متوسط المسامية}$$



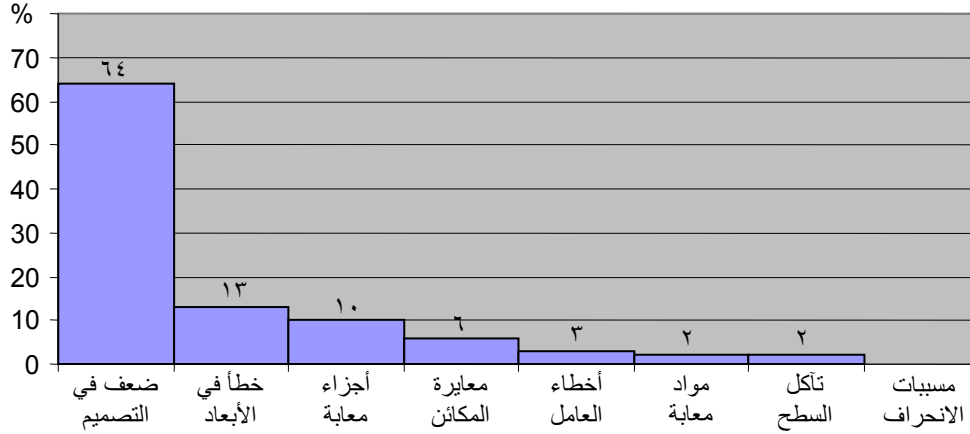
الشكل (٣) يوضح تقاطع المسامية مع الخطوط الأفقية والعمودية [١٠]

مخطط باريتو:

اثبت الواقع العملي في المنشآت الصناعية التي تستخدم مخطط باريتو في مراقبة نسب المعيب وجودة المنتجات فيها، على انه يساعد بشكل فاعل على توحيد جهود كافة المعنيين باتخاذ قرار الإجراءات التصحيحية وتنفيذها بصيغة متماسكة. وذلك لان نظرة مبسطة للمخطط توضح ماهية وحجم المشكلة الرئيسية المتمثلة بالمستطيلين أو الثلاثة الأكثر ارتفاعاً. وقد أظهرت الخبرة المكتسبة بهذا الصدد، ان من الأسهل خفض مستطيل كبير إلى النصف بالمقارنة مع خفض مستطيل صغير إلى النصف أو الصفر تستدعي جهوداً كبيرة يناظرها نفقات عالية وهذه الجهود والنفقات غير مبررة نسبياً وذلك لان العيوب الصغيرة تحدث بين حين وآخر ولأسباب لايمكن تلافيها مسبقاً ولهذا فان التركيز على المستطيلات الأكثر ارتفاعاً كما يظهر مخطط باريتو أفضل من زاوية تحقيق نتائج مثمرة بالإمكانات المتاحة [14,13].

ولرسم مخطط باريتو علينا تحديد نسبة العيوب من كل سبب من هذه الأسباب كأن نأخذ فترة زمنية مناسبة ونحدد عدد العيوب من كل سبب. ثم نقوم بتحديد نسبة العيوب الناشئة عن كل سبب إلى العدد الكلي للعيوب بمعنى ان نحدد النسبة المئوية للعيوب الناشئة عن كل سبب. بعد ذلك نقوم بترتيب الأسباب من حيث النسب المئوية للعيوب بدءاً بالأكبر فالأقل

والمثال التالي يوضح طريقة إعداد المخطط ، حيث تم خلال إسبوع (تاريخ الفحص: من 10-16/3/2008) فحص (1125) وحدة من عملية إنتاجية معينة وقد أوضحت نتائج الفحص مسببات الانحراف في جودة الإنتاج ونسبها المئوية التي تم ترتيبها تنازلياً من خلال رسم مخطط باريتو كما في الشكل (٤) الذي أوضح ان ما ينبغي معالجته أولاً هو عيب الضعف في التصميم لأنه يمثل المستطيل الأكثر ارتفاعاً يليه بالأهمية المستطيل الثاني، أي الخطأ في الأبعاد وهكذا طبقاً للتسلسل التنازلي للنسب المئوية الخاصة بمسببات الانحراف في جودة الإنتاج [16,15,14].



الشكل (٤) مخطط باريتو لعيوب عملية إنتاجية [١٤]

الجانب العملي

١ السبيكة المستخدمة

في هذا البحث تم استخدام سبيكة الألمنيوم -4.6% نحاس مجهزة من قبل شركة (BDH chemical Ltd pool England) لغرض دراسة موضوع البحث حيث تم إجراء الفحص المجهر في مختبر المواد في جامعة بابل والجدول (١) يبين العناصر الداخلة في التركيب الكيميائي لهذه السبيكة.

الجدول (١) يوضح التحليل الكيميائي للسبيكة المستخدمة في البحث

العنصر	Al	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
النسبة %	94,26	4.6	0.12	0,04	0.15	0.33

٢ عملية الصهر والصب

تتضمن عملية الصب والصهر النقاط التالية:-

- ١- تنظيف المسبوكة أولاً من طبقة الصدأ بواسطة محلول HCL.
- ٢- تحضير قالب بأبعاد (100×30×20)mm ليناسب شكل المسبوكة النهائي.
- ٣- وضع قطع المسبوكة النظيفة في بودقة كرافيتية سعة (5 kg) ثم إدخالها إلى الفرن الكهربائي وتسخينها إلى درجة (750 C^o). والمكوث في الفرن لمدة ساعة واحدة لإكمال الانصهار ثم إخراجها وصبها في القالب وتركها لتتجمد.
- ٤- إجراء معاملة إزالة الجهود الحرارية من المسبوكة للحصول على خواص المسبوكة الأصلية.

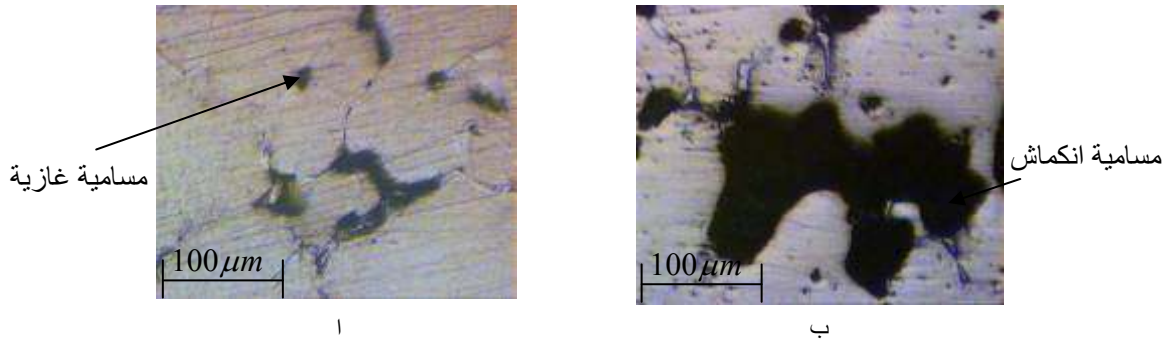
النتائج والمناقشة:

لقد تم استعراض النتائج المستحصلة من عمليات الصب لسبيكة الألمنيوم-4.6% نحاس والذي يتضمن توزيع المسامية على جسم المصبوبات بعد إجراء العمليات بطرق مختلفة لتبريد المصبوبة ومن ثم إجراء المعاينة عليها

وحساب النسبة المئوية للمسامية في كل طريقة تبريد من خلال اعتماد الشكل (٣) والمعادلة (١) ثم إجراء مقارنة بين تلك النسب وحساب متوسط المسامية من خلال اعتماد المعادلة (٢).

١- قالب معدني مبرد داخل الفرن

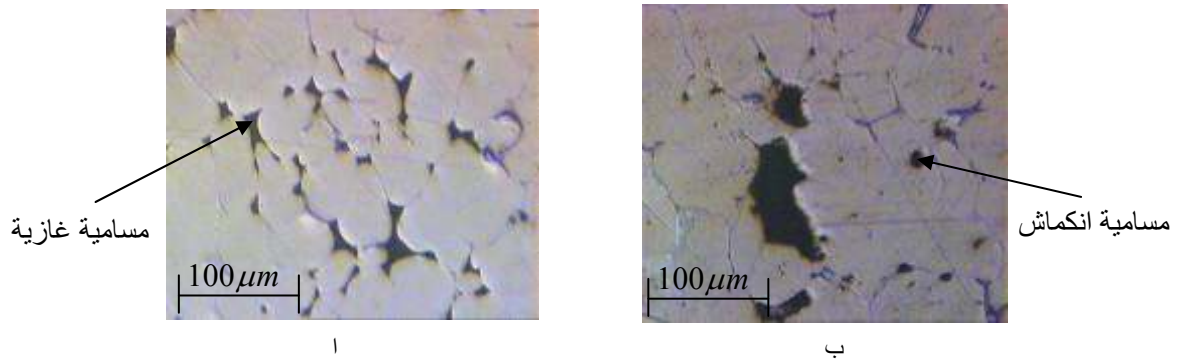
من خلال اعتماد الشكل (٥) تم الحصول على قيم المسامية لست عينات وهي (٥) (36.166,4.008,37.062,6.916,9.606,8.760) ومتوسط مسامية (17.086) كذلك يبين كل من الشكل (٥) ومتوسط المسامية ان توزيع عيب المسامية الغازية لايتصف بالاتجاهية حيث تتركز المسامية بشكل عالي عند السطح العلوي من المصبوبة ونتيجة لوسط التبريد البطئ تظهر مسامية الانكماش على شكل فقائيع كبيرة وخشنة.



الشكل (٥) يوضح مصبوبة من الألمنيوم-٤,٦% نحاس صبت في قالب معدني مبرد داخل فرن

٢- قالب معدني مسخن إلى 400 C° ومبرد بالهواء:

في هذه الحالة صبت سبيكة الألمنيوم-٤,٦% نحاس في قالب معدني مسخن إلى درجة حرارة تبلغ 400C° قبل الصب وبردت في الهواء حيث لوحظ ان توزيع عيب المسامية يكون بتدرج تزايدي من الأعلى إلى الأسفل لتحقيق أعلى قيمة لها في وسط الجزء السفلي من المصبوبة، وذلك لتحقيق بؤرة ساخنة في هذه المنطقة وهذا ما يوضحه كل من الشكل (٦) الذي من خلاله تم الحصول على قيم المسامية التالية (16.202,6.494,9.467,10.138,19.555,7.026) ومتوسط المسامية (11.480).

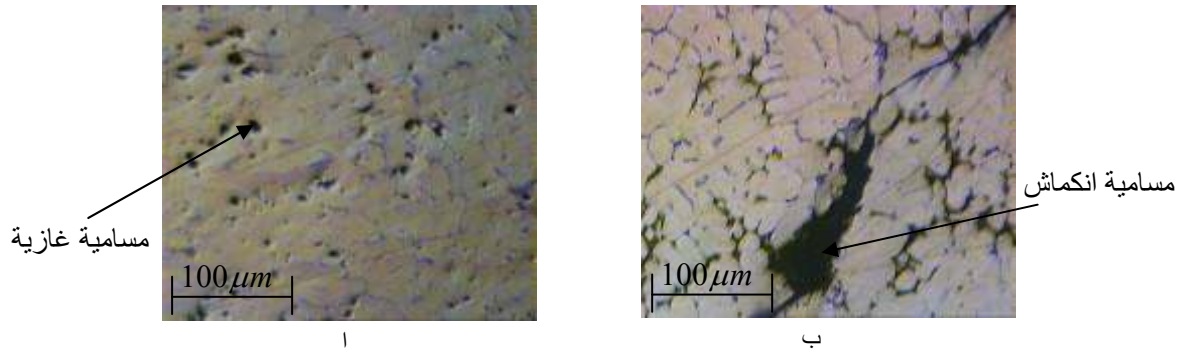


الشكل (٦) يوضح مصبوبة من الألمنيوم-٤,٦% نحاس صبت في قالب معدني مسخن إلى 400C°

٣- قالب معدني معزول من الأعلى برمل السليكا الجاف ومبرد بالهواء

السبيكة صبت في قالب معدني معزول من الأعلى برمل السليكا الجاف ومبرد بالهواء حيث لوحظ ان توزيع عيب المسامية يكون بشكل غير منتظم بعد عملية الصب وتحقق أعلى قيمة لها في وسط المصبوبة وهذا ما يوضحه كل من

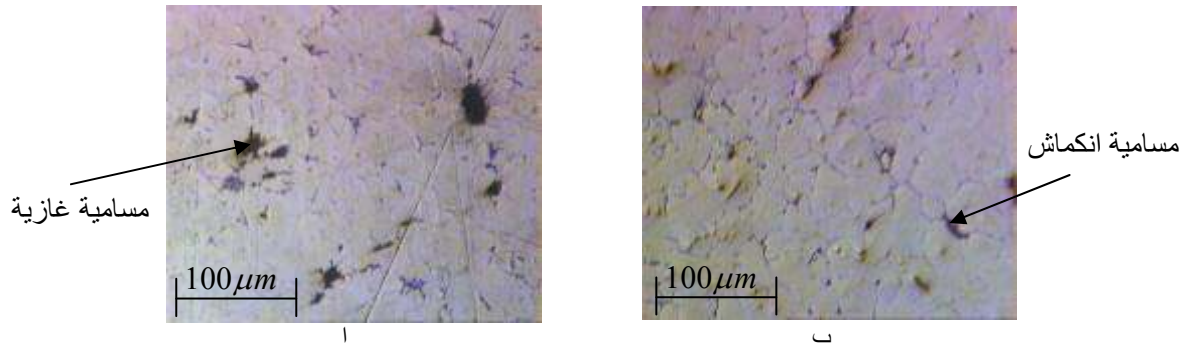
الشكل (٧) الذي من خلاله تم الحصول على قيم المسامية التالية (11.763,6.946,6.406,14.110,5.838,8.571) ومتوسط المسامية (8.939).



الشكل (٧) يوضح مصبوبة من سبيكة الالمنيوم - 4.6% نحاس صبت في قالب معدني معزول مبرد بالهواء

٤- قالب معدني مبرد بالهواء وغير معزل

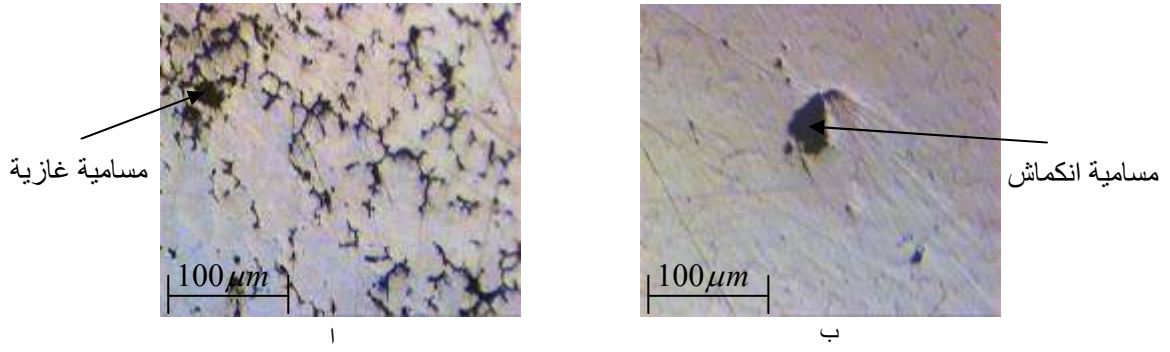
في حالة صب السبيكة في قالب معدني غير معزول ومبرد بالهواء لوحظ ان توزيع عيب المسامية يكون بشكل منتظم على جسم المصبوبة، ويعزى ذلك إلى تحقق حالة من التوازن بين فرص خروج الغازات والتغذية السائلة والتغذية بين الشجيرات كما يمكن للتغذية الصلبة ان تسهم في تحقيق هذا الانتظام في توزيع ونقل الانكماش إلى الفجوة الابتدائية وهذا ما يوضحه كل من الشكل (٨) الذي من خلاله تم الحصول على قيم المسامية التالية (3.928,6.457,3.513,5.160,1.545,5.335) ومتوسط المسامية (٤,٣٢٣).



الشكل (٨) مصبوبة من سبيكة الالمنيوم - ٤,٦% نحاس صبت في قالب معدني مبرد بالهواء بدون عزل

٥- قالب معدني مبرد بالماء من الأسفل

من خلال اعتماد الشكل (٩) تم الحصول على قيم المسامية التالية (5.306,13.396,4.307,3.338,8.708,9.635) ومتوسط مسامية (٧,٤٤٨) كذلك يبين كل من الشكل (٥) ومتوسط المسامية ظهور فجوة غازية ابتدائية متوسطة الحجم بطول (3 mm) حيث التصقيع المباشر برشاش الماء أدى إلى احتباس الغازات وضعف عملية التغذية بين الشجيرات مما إنعكس ذلك إلى تركيز عالي للمسامية في الجزء السفلي من المصبوبة وقلة الانحدار الحراري الأمر الذي وفر فرصة لهروب الغازات وتعويض الانكماش مع تقدم الإنجماد والنتيجة انخفاض المسامية بشكل تدريجي وبتوزيع غير منتظم.



الشكل (٩) مصبوبة من سبيكة الألمنيوم - ٤,٦% نحاس صبت في قالب معدني مبرد بالماء من الأسفل

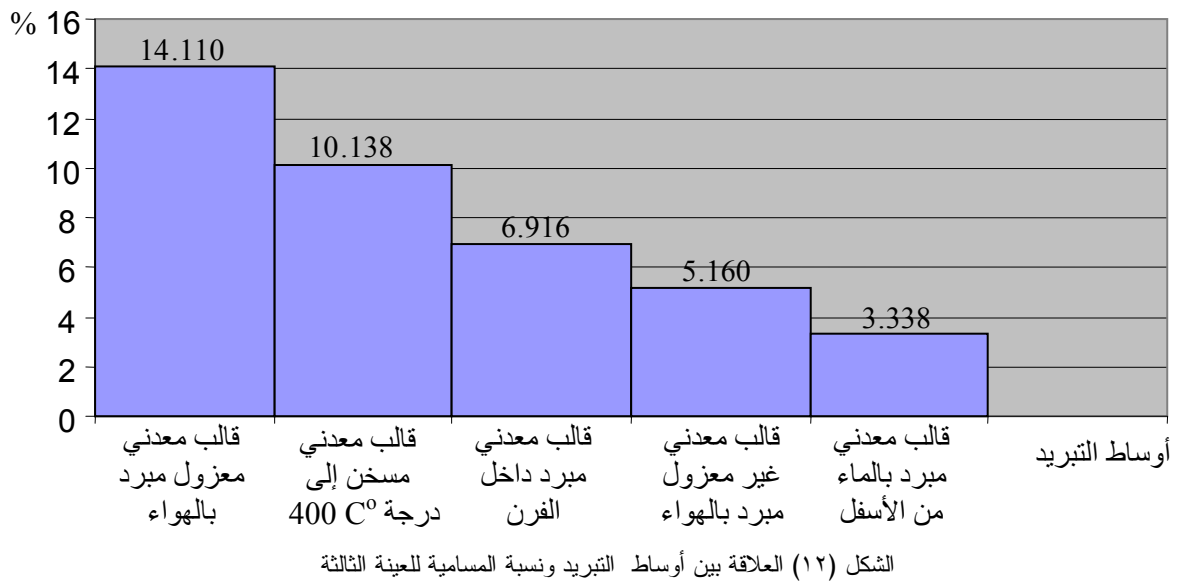
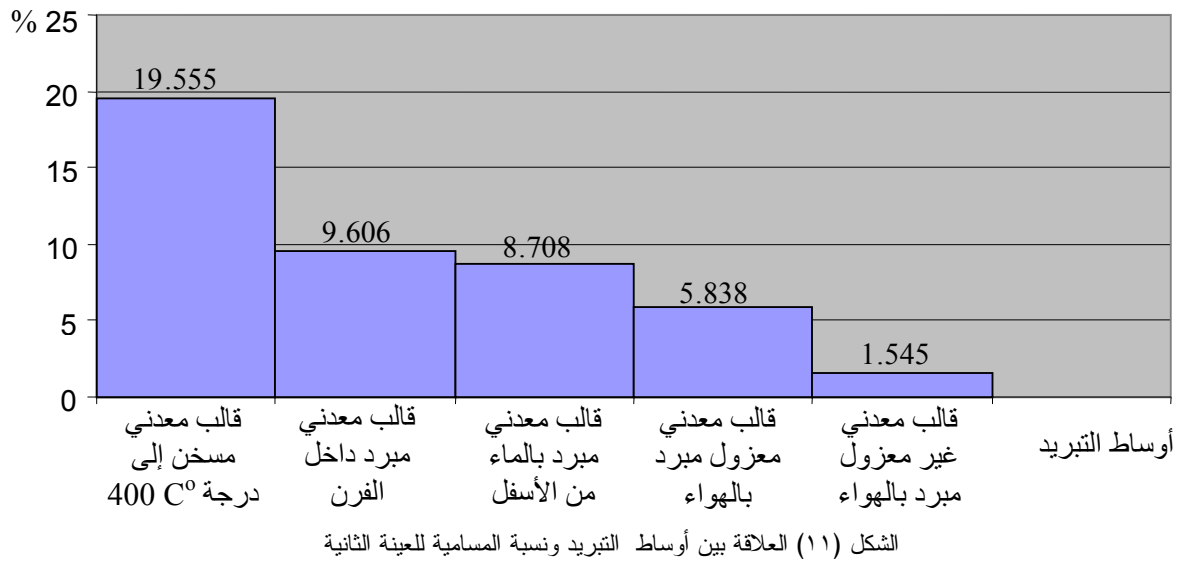
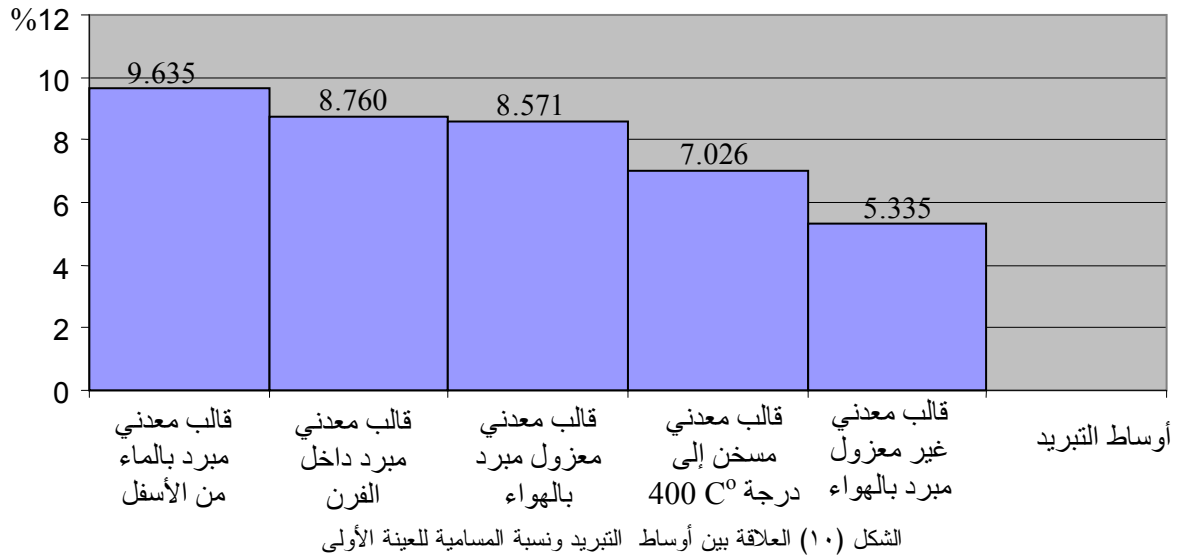
٦- تحليل باريتمو للعيوب المسامية

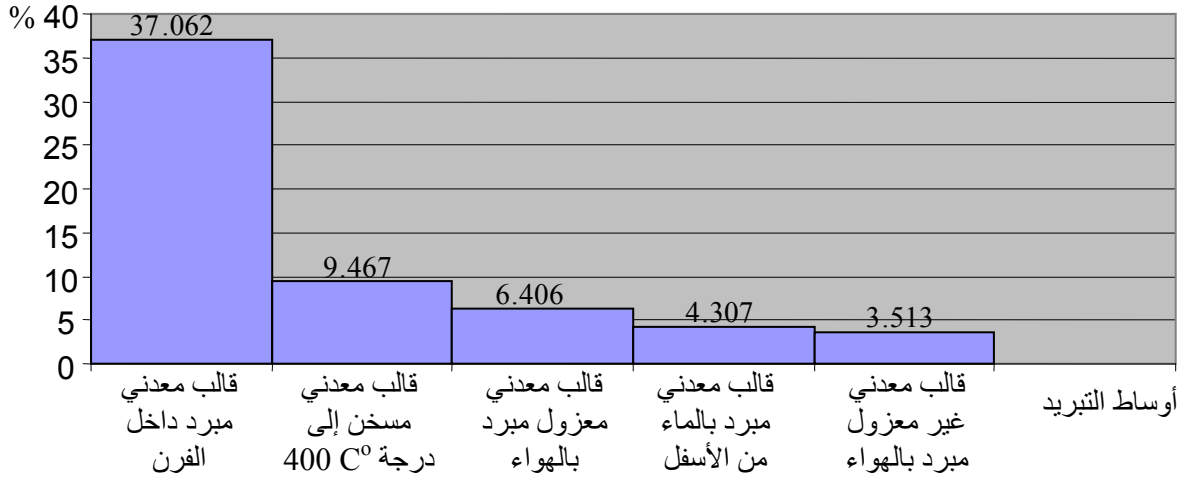
بعد إجراء عمليات الصهر والصب لسبيكة الألمنيوم-٤,٦% نحاس في قالب معدني لعدد محدد من العينات (٦ عينات)، وكذلك بعد إجراء عمليات الفحص المجهرية لتلك العينات التي تم تحديد مواقع العيوب المسامية والتي تظهر على شكل نقاط على الخطوط الأفقية والعمودية الناتجة عن عمليات الفحص المجهرية ولكل عينة كما مبين في الشكل (٣). ومن خلال إجراء توليفة بين البنية المجهرية للعينات مع العمليات الحسابية وذلك من خلال إعداده معادلة رقم (١) يتم التوصل إلى النسب المئوية لعيوب المسامية والتي تم إحتسابها، وذلك من أجل الاستفادة منها أولاً، لإيجاد متوسط المسامية الذي يحقق أفضل موازنة بين تلك النسب. ثانياً، لغرض استخدام مخطط باريتمو لتحليل تلك النسب المئوية للعيوب الخاصة بكل عينة وحسب أوساط التبريد المستخدمة كما مبين في الأشكال (10,11,12,13,14,15)، والتي أوضحت النقاط التالية:-

١- تبين الأشكال (10,11,12,13,14,15) ان النسب المئوية لعيوب المسامية الأكثر أهمية أي النسب المؤثرة والتي يجب معالجتها أولاً هي (9.635, 19.555, 14.110, 37.062, 13.396, 36.166) ذات أوساط التبريد (قالب معدني مبرد بالماء من الأسفل، قالب معدني مسخن إلى درجة $400^{\circ}C$ ، قالب معدني معزول مبرد بالهواء، قالب معدني مبرد داخل الفرن، قالب معدني مبرد بالماء من الأسفل، قالب معدني مبرد داخل الفرن).

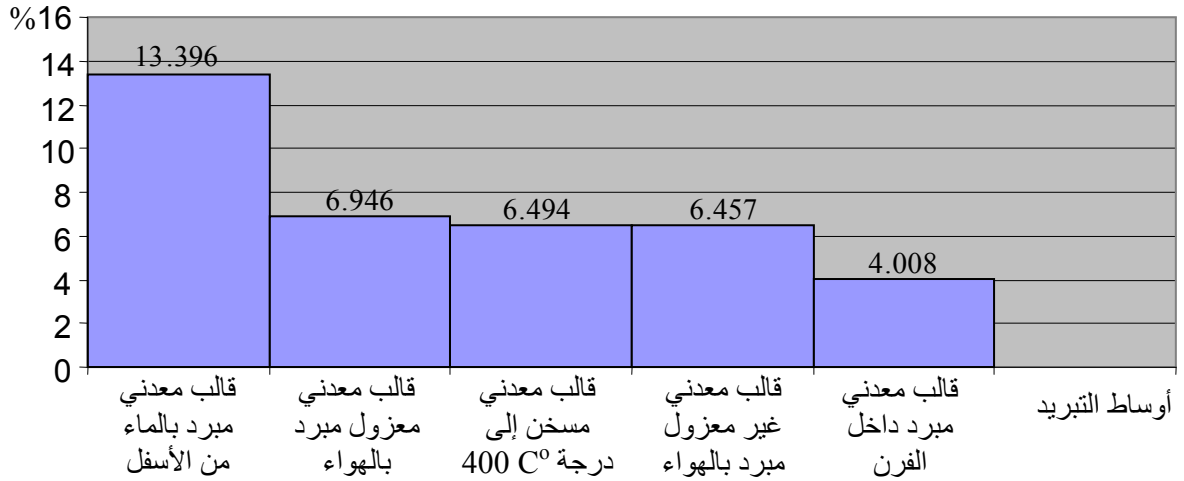
٢- تبين الأشكال (10,11,12,13,14,15) ان النسب المئوية لعيوب المسامية الأقل أهمية أي النسب الغير مؤثرة والتي يجب معالجتها مؤخراً أو عدم معالجتها هي (5.335, 1.545, 3.338, 3.513, 4.008, 3.928) ذات أوساط التبريد (قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء، قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء، قالب معدني مبرد بالماء من الأسفل، قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء، قالب معدني مبرد داخل الفرن، قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء).

٣- تبين الأشكال (13,15) تكرار النسبة المئوية الأكثر أهمية للمسامية في العينات (4,6) ذات وسط التبريد قالب معدني مبرد داخل الفرن لان المسامية تتركز عند السطح العلوي للمصبوبة، كذلك تكرار النسبة المئوية الأقل أهمية في العينات (1,2,4,6) ذات وسط التبريد قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء لان المسامية تكون موزعة بشكل منتظم على سطح المصبوبة.

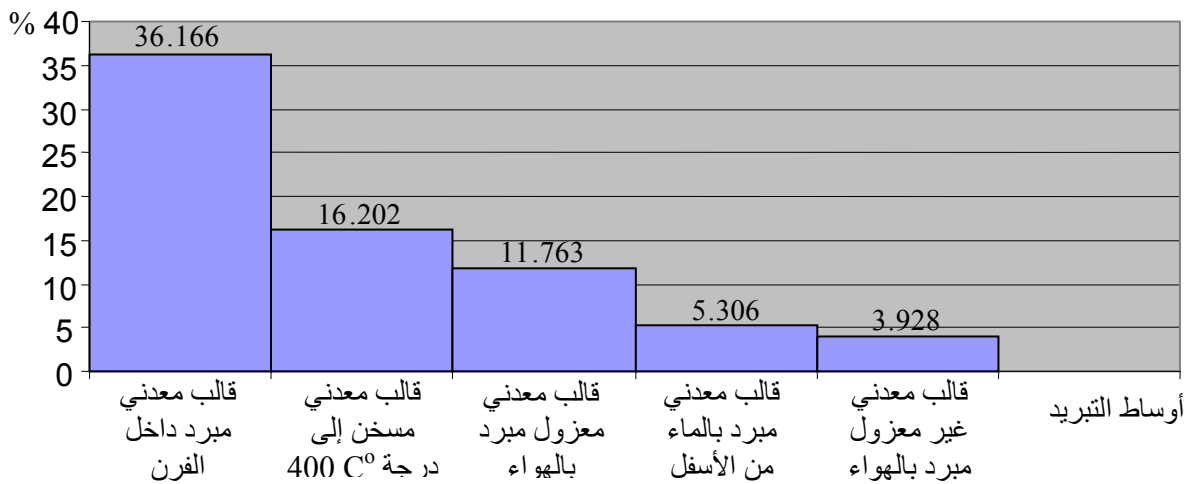




الشكل (١٣) العلاقة بين أوساط التبريد ونسبة المسامية للعينه الرابعه



الشكل (١٤) العلاقة بين أوساط التبريد ونسبة المسامية للعينه الخامسه



الشكل (١٥) العلاقة بين أوساط التبريد ونسبة المسامية للعينه السادسه

الإستنتاجات والتوصيات:

- بعد إجراء عمليات الصب والصبهر لسبيكة الألمنيوم - ٤,٦ % نحاس لمجموعة محددة من العينات مع استخدام أوساط تبريد مختلفة وظهور العيوب المسامية بعد عمليات التجمد تم التوصل إلى الإستنتاجات التالية:
- ١- التغذية بين الشجيرات هي الآلية المتحكممة في سبيكة الألمنيوم - ٤,٦ % نحاس .
 - ٢- يتركز توزيع المسامية في سبيكة الألمنيوم - ٤,٦ % نحاس في مناطق الحدود البلورية وعلى امتدادها كذلك تميل إلى التعقد.
 - ٣- من خلال مقارنة النسب المئوية لعيوب المسامية الأكثر أهمية نجد ان النسبة (37.062) ذات وسط التبريد قالب معدني مبرد داخل الفرن هي النسبة الأكثر أهمية إذ أعطت أعلى مستوى للمسامية..
 - ٤- من خلال مقارنة النسب المئوية لعيوب المسامية الأقل أهمية نجد ان النسبة (1.545) ذات وسط التبريد قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء هي النسبة الأقل أهمية إذ أعطت أدنى مستوى للمسامية.
 - ٥- يعد الصب في قالب معدني غير معزول مبرد بالهواء أفضل الظروف لإنتاج سبيكة الألمنيوم - ٤,٦ % نحاس وذلك لان متوسط المسامية يحقق أفضل نسبة موازنة بين النسب المئوية للمسامية داخل المصبوبة تساوي (٤,٣٢٣ %).
 - ٦- توفير المواد اللازمة لإجراء عمليات الصهر والصب في الوقت والمكان المناسبين وذلك من أجل اختصار وقت انجاز العمليات وهذا له الأثر في تقليل القيود الخاصة باستخدام الموارد بالإضافة إلى تقليص الوقت والكلفة.
 - ٧- تبني عملية استخدام مخطط باريتو الذي يسهم بشكل كبير جداً في التمييز بين العيوب الحرجة أي ذات الأهمية الأكبر التي يجب معالجتها أولاً والعيوب الأقل أهمية التي تعالج مؤخراً.
 - ٨- الاستفادة من استخدام مخططات السيطرة على الجودة وخاصة تلك المرتبطة بالمتغيرات التي تم التوصل إليها عن طريق عملية القياس.

المصادر:

- 1- I.J, Qolmea, "Light Alloys Metallurgy of the light Metals", Second Edition, Edward Arnold, 1989.
- 2- Q.G, Wang, D. Apelian, and D.A, Lados, "Fatigue Behavior of A356-T6 Aluminum Cast Alloys. Effect of Casting Defects", *Light Met.*, 2001.
- 3- D. Casellas, R. Perez, and J.M, Prado, "Fatigue variability in Al-Si cast alloys", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 398, p. 171, , 2005.
- 4- John Campbell, "Casting", Martins the printers, England Ltd. Vol. 5 pp. 175-707, 1998.
- 5- G.A, Edwards et al., "Microporosity Formation in Al-Si-Cu-Mg Casting Alloys", *AFS Trans.*, Vol 105, 1997.
- 6- D.A, Granger, Q.T, Fang, and P.N, Anyalebechi, "Effects of Solidification Conditions on Hydrogen Porosity in Aluminum Alloy Castings", *AFS Trans*, 1989.
- 7- R.M, Lumley, R.G, O'Donnel, D.R, Gunasegaram, M. Girord, "Heat Treating Progress", Vol. ١٨, No.11, pp. 31 – 37, 2006.
- 8- G. Sigworth and C. Wang, "Evolution of Porosity During Solidification", *AFS Trans.*, 1992.
- 9- J.Y, Buffiere, S. Savelli, and P.H. Jouneau, E. Maire, and R. Fougères, "Experimental study of porosity and its relation to fatigue mechanism of model Al-Si7-Mg0.3 cast Al alloys", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 316, p. 115, 2001.
- 10- S. Ma, Md. Maniruzzaman, and R.D. Sisson Jr., "Development of quench factor analysis of cast Al-Si-Mg alloys", *ASM Heat Treating Society Conference and Exposition*, September 26-28, Pittsburgh, PA, USA, 2005.

11- Davis, Mark. M, *Fundamental of Operation Management*, Mc Graw-Hill, North America", 2003.

١٢- أ. د درويش، محمد، وآخرون، *إدارة الإنتاج والعمليات*، " عين الشمس للطباعة والنشر، مصر، ٢٠٠٦.

١٣- عبد الستار العلي " *إدارة الإنتاج والعمليات* " ، دار وائل للطباعة والنشر ، جامعة اليرموك، الأردن،

الطبعة الأولى 2000.

14- Mitra, John Wiley, *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, Duxbury Center, 1st edition, January 15, 2009.

15- David L.Goetsch and Stanly B. David *Quality Management* , Prentice Hall , 5th Edition , June 1 , 2005 .

16- Lewis R. *Quality Management For Projects And Programs*, Irland Project Institute, June, 2007.