

تحسين البنية المجهرية لبيليت الألمنيوم

المصبوب غير المجانس AA-6063

إعداد: م. سامي محمد غسان شريك- طالب دراسات عليا (دكتوراه)

إشراف: د.م فؤاد ضحية & د.م المهندس مكي

جامعة البعث- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- قسم هندسة التصميم والإنتاج

ملخص البحث

يهدف تحسين البنية المجهرية لبيليت الألمنيوم 6063 المصنّع بطريقة الصب المستمر والتبريد المباشر بالماء Direct Chill Casting, تم التعاون مع مصنع محلي لدراسة ظروف الصب. تم فحص عينات البيليت بالاعتماد على عدة أجهزة اختبار كالمجهر الضوئي، جهاز فحص قساوة فيكرز HV، جهاز تحليل انعراج الأشعة السينية XRD وجهاز التحليل الطيفي.

تم تطبيق درجات حرارة صب مختلفة عند (685, 710, 735°C) و سرعات صب مختلفة عند (70, 90, 110mm/min)، حيث لوحظ أنه باعتماد درجات حرارة صب منخفضة وسرعات صب عالية تم الحصول على بنية حبيبية ناعمة متاسقة. تساهم تلك البنية بدورها في تحطيم الطور β -AlFeSi المتشكل على حدود البلورات والذي يسبب عادةً ضغوط بثق عالية وتأثير حاك على سطح الضبط لقلب البثق.

كما تمت دراسة مخطط الانحلال الطوري Al-Mg₂Si حيث لوحظ أنه لدرجة حرارة تسخين البيليت قبل البثق أثر إيجابي في انحلال قسم جيد من رواسب الطور Mg₂Si وذلك لنسب مغنزيوم قريبة من 0.5% وسليكون عند 0.45% مع الحفاظ على زمن إبقاء من (2-4 hr).

الكلمات المفتاحية: مجانسة بيليت الألمنيوم، ترسب الأطوار، سبيكة الألمنيوم 6063

Improving the microstructure of un-homogenized casting aluminum billet 6063

Abstract

In the aim to improve the microstructure of aluminum billet 6063, the conditions of direct chill casting of this billet were studied by cooperating with local factory. The samples were examined by optical microscope, hardness tester HV, x-ray diffraction, and spectrum meter.

Different casting temperatures at (685, 710, 735°C) were applied besides different casting speed at (70, 90, 110mm/min). It was noticed that by adopting high casting speeds and low casting temperatures we got equiaxed grains.

This structure helps to break the β -Al-Fe-Si phase which is located at the grains boundary. This phase normally causes high extrusion pressure and hard wear in the die bearing.

The Al-Mg₂Si phases dissolving diagram was studied. We noticed that the billet pre-heating temperature with holding time 2-4 hr could has a positive effect on dissolving of good amounts of this phase by adopting ratios for Mg near to 0.5% and Si at 0.45%.

Keywords:

Aluminum billet homogenizing, phases participating, aluminum alloy 6063

1- مقدمة:

تصنع معظم منتجات البثق من سبائك الألمنيوم (6xxx) خاصةً السبيكة 6063 والتي تعد الأكثر شيوعاً في مجال البناء والأغراض الإنشائية الأخرى حيث يعد السليكون والمغنزيوم العنصران الأساسيان في هذه السبائك لتشكيلهما معاً سلسيديات المغنزيوم Mg_2Si والتي تساهم لاحقاً في تقسية قضبان الألمنيوم المبتوقة بسبب ترسبها من جديد بشكل ناعم ومتناسق بعد تطبيق عملية المعالجة الحرارية بالتعتيق الاصطناعي *Artificial Aging*. تجرى عادةً عملية مجانسة حرارية للألمنيوم بعد صبه -والذي يكون بشكل أسطوانات أو ما يسمى بالبيليت- وذلك بتسخينه إلى درجات حرارة من $560-580^{\circ}C$ (تحت خط التجمد لتجنب حدوث انصهار أولي) لزمان إبقاء من 6-8 hr ثم التبريد إلى درجة حرارة الغرفة. خلال عملية المجانسة يبدأ الانعزال الميكروي *Micro Segregation* للعناصر السبائكية مثل Mg, Si, Mn وغيرها بالزوال إلى أن تختفي هذه الفروق بالتراكيز كما ينحل أيضاً جزء كبير من الطور Mg_2Si غير المتناسق حجماً و توزيعاً إضافةً إلى تحول طور اليوتكتيك $\beta-Al-Fe-Si$ الأبري القاسي المتوضع على حدود البلورات إلى طور $\alpha-Al-Fe-Si$ الحبيبي حيث يعد هذا التحول ضروري من أجل زيادة قابلية البثق وإعطاء إنهاء جيد للسطح [6], [7].

حيث إن غياب عملية المجانسة الحرارية أو عدم تطبيق ناجح لها يعد أحد أهم أسباب الفشل المبكر للقوالب بسبب ضغوط البثق العالية له وتسارعه لتشكيل طبقة اهتراء كثيفة على سطح ضبط القالب *Bearing* (الذي يعطي الشكل النهائي لقضيب الألمنيوم المبتوق) وبالتالي تآكل معدن القالب عند سطح الضبط حيث تحت الأطوار $\beta-Al-Fe-Si$ أبرية الشكل و Mg_2Si ذات الحجم الكبير والتوزيع غير المنتظم على اهتراء القالب حتى في حال كان القالب مقسى بشكل جيد بعملية المعالجة الحرارية بالترتدة بسبب المساواة العالية والشكل الحاد لبنية هذه الأطوار المتشكلة في البيليت [14], [11]. فضلاً عن أنه لدى الألمنيوم قابلية عالية للالتصاق على سطح الحديد حيث تتشكل خلال عملية

البثق نتيجة الضغوط العالية على سطح الضبط والتي قد تصل إلى 50Mpa طبقة إضافية من الأكاسيد والتي تلتصق بسطح الضبط للقالب مما يؤدي إلى اهترائه بشكل متدرج كما أن هذا الاهتراء يتسارع بشكل كبير في درجات الحرارة العالية التي قد تصل إلى 600C° على سطح الضبط [8] . وعلى الرغم من سلبيات غياب عملية المجانسة الحرارية فإن العديد من المصانع حول العالم خاصة في جنوب شرق آسيا تتجنب هذه المعالجة الحرارية [3] , إضافةً لمعظم المصانع المحلية بسبب تكلفتها التأسيسية المرتفعة جداً وارتفاع تكاليف التشغيل فضلاً عن الحاجة إلى مساحة عمل كبيرة.

عادةً ما يتم تصنيف البيليت إلى فئتين: أولي Primary أي مصبوب من الفلز مباشرة وثانوي Secondary أي مصبوب من التالف Scrap (معاد صهره) [11] إلا أنه في بحثنا هذا تم تصنيفه إلى غير مجانس أي لم يتعرض لعملية المجانسة الحرارية بعد الصب والذي يستخدم عادةً لإنتاج القضبان الأقل جودة أو ذات مستويات التعقيد المنخفضة، ومجانس حرارياً.

بدراسة تاريخ فشل القوالب المستخدمة في المصانع المحلية لوحظ أنه بعد عدة دورات بثق يحصل فشل حاد في القوالب في حال كان الاعتماد أكثر على البيليت غير المجانس، حيث لوحظ أن القوالب تتعرض لضغوط عالية باستخدام هذا البيليت ما يؤدي إلى أضرار رئيسية كتشققات في ذكر القالب خاصةً عند الأعصاب، اهتراء سطح ضبط القالب وتكسر مفاجئ في القالب. يعد قالب البثق أكثر العناصر الحرجة في عملية البثق نظراً لكلفته الكبيرة، ابتداءً من معدن القالب مروراً بمعالجته الحرارية فضلاً عن دقة التصنيع العالية، تسامحات صغيرة جداً، إجهادات ميكانيكية وحرارية متكررة. لذا يعد زيادة العمر الاستثماري للقالب مطلب أساسي لتحقيق إنتاج اقتصادي بموثوقية عالية. إلا أنه بمعزل عن باقي العوامل المؤثرة مثل تصميم القالب والمعالجة الحرارية وظروف التشغيل، فإنه يمكن ربط العمر الاستثماري للقالب بشكل مباشر بجودة بيليت الألمنيوم فضلاً عن تأثير ذلك على الجودة النهائية للمقطع المبتثق مع الانتباه إلى باقي المعايير كسرعة البثق أو

معدل الإنتاج. حيث يمكن ربط جودة القضبان المبنوثة والعيوب الناشئة فيها كالعيوب السطحية، خشونة، تمزقات سطحية، حدوث شرخ في المقطع، تشكل خطوط، مشاكل بالأبعاد، تشكل ندبات، بظروف القالب وجودة سطح الضبط، بنية البليت، وبارامترات عملية التشغيل [4].

الجدول 1. التركيب الكيميائي لفولاذ القوالب السبائكي H13 - DIN 1.2344 [1]

C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	Fe%
0.37	0.98	0.36	5.02	1.25	0.85	Rest

توجه العديد من الباحثين إلى تحسين جودة البليت بطرق مختلفة فقد أشار الباحث [2] Shahani أن تغيرات صغيرة تكاد تكون لا ملحوظة في التركيب الكيميائي أو في العملية الإنتاجية يكون لها تأثيرات هامة على أداء سبائك بليت الألمنيوم 6xxx، فعلى سبيل المثال إضافة كميات صغيرة من المنغنيز لها تأثير كبير على تحولات الأطوار المعدنية. أيضاً لدورة تبريد بليت الألمنيوم تأثير على قابلية البثق وعلى الخواص الميكانيكية لقضبان الألمنيوم. ونوه إلى ذلك أيضاً الباحث [5] Cooper فقد تم الحصول على بنية مجهرية حبيبية ناعمة للبليت بإضافة Master Alloy Al-Ti-B أثناء الصب حيث تشكل نقاط تبلور ضمن بنية الألمنيوم. كما أشار الباحث [18] Ajide أنه من الممكن ربط زيادة قساوة السبيكة Al6063 بنمو البلورات و نشوء رواسب الطور Mg_2Si .

قام الباحث [9] Hao بدراسة التحريك والخلط أثناء الصب بتطبيق حقل كهرومغناطيسي لسبائك الألمنيوم 2024 حيث لاحظ تحسين في جودة السطح والبنية المجهرية وإلغاء ظاهرة الانعزال الميكروي للعناصر بشكل كامل. وقام بذلك أيضاً الباحث [13] Mapelli حيث درس الخلط أثناء الصب بتطبيق حقل كهرومغناطيسي لسبائك الألمنيوم 6060 حيث تم الحصول على رواسب أنعم وبنية مجهرية متجانسة. لم يتطرق الباحث إلى عملية البثق اللاحقة ومعالجاتها الحرارية.

قام الباحث [15] Samson بدراسة تأثير درجة حرارة الصب على الخواص الميكانيكية والكهربائية وتشكل البنى المجهرية لسبائك الألمنيوم 6063 بعد مرحلة الصب ومرحلة المجانسة ومرحلة التشكيل، إلا أن الباحث لم يتطرق لأثر سرعة الصب أو معدل التبريد كما أن عملية التشكيل المختارة كانت الدرفلة على البارد بعد القيام بمعالجة محلولية. أما الباحث [3] Couper فقد قام بدراسة أثر درجة حرارة المجانسة Homogenization على سبائك الألمنيوم Aluminum Billet 6061 حيث قام بأخذ عينات ودراستها عند درجات حرارة تتراوح بين $450-600^{\circ}\text{C}$ ولزمن إبقاء 2hr، خواص المجانسة الأفضل كانت عند درجة حرارة 540°C و 570°C . في حين قام الباحث [10] Akhtar بدراسة الفرق بين بنية البيليت الأولي المصنَّع من الفلز مباشرة و بين البيليت الثانوي المعاد تكريره وبيّن أثر جودة البيليت على عمر خدمة القالب، لكنه لم يتعرض لغياب أثر المجانسة أو لضبط ظروف الصب والبتق لتحسين من بتق البيليت ذو الجودة المنخفضة، تمت ملاحظة درجة تكور أقل في عينة البيليت الثانوي وقد ينسب ذلك غالباً بسبب حجم الحبيبات الخشن والتي تميل إلى أن تملك درجة أكبر من تغطية $\beta\text{-AlFeSi}$ خلال ظروف الصب مما يجعل من الصعب تكورها خلال المجانسة. بالمقابل فإن البيليت الأولي يملك بنية حبيبية صغيرة لذا يكون تكور الطور $\beta\text{-AlFeSi}$ أكثر سهولة.

إن معظم الأبحاث لم تتطرق إلى غياب عملية المجانسة الحرارية بعد الصب والتي هي أضحت واقع صناعي في صناعة بتق قضبان الألمنيوم. يوضح (الشكل 1) آلية بتق قضبان الألمنيوم.



الشكل 1. آلية بتق قضبان الألمنيوم

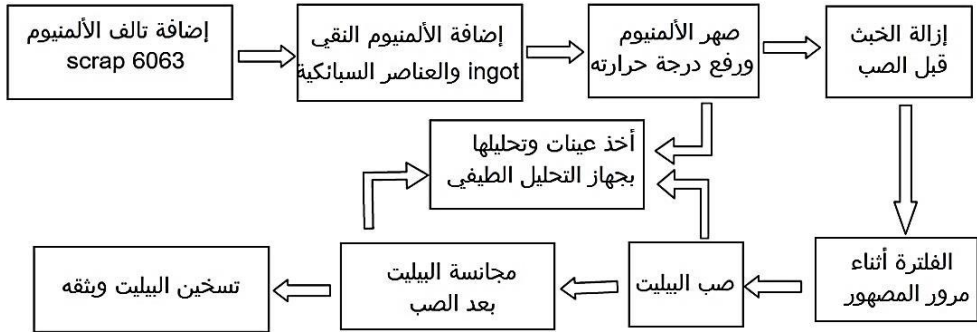
2- هدف البحث: Search Objective

إن الهدف وراء الدراسة الحالية اقتراح إجراءات صب وضوابط ما قبل البثق تعزز من جودة بيليت الألمنيوم المستخدم في عملية البثق بهدف الحصول على بيليت محسن ذو بنية حبيبية ناعمة متناسقة بإنتاجيات مقبولة وجيدة بغرض تعويض غياب عملية المجانسة الحرارية اللاحقة لعملية الصب ذات الكلفة العالية.

3- مواد وطرق البحث: Experimental Study

3-1- صب البيليت:

تم صب البيليت الثانوي ضمن مصنع محلي (شركة الزين لسحب الألمنيوم في حسياء) تبعاً لمواصفات AA-6063 لقطر بيليت 6inch باستخدام طريقة Direct Chill (DC) وذلك لفرن صهر بسعة 8ton حيث يتم إضافة العناصر السبائكية كالمغنزيوم والسليكون بعد الوصول إلى درجات حرارة قد تصل إلى 750°C ثم إضافة الأملاح اللاعضوية كطارد للخبث. يتم استخدام فلاتر من فوم الألومينا أثناء جريان المصهور لصيد بقية الأكاسيد والشوائب ليتم الصب في قالب من السيراميك حيث يتم تبريد مصهور المعدن بواسطة تيار من الماء بشكل دائري وذلك عن طريق مضخة ماء ذات استطاعة 20Kw ولغزارة تدفق 2600 l/min. إن المخطط التدفقي العام لصب البيليت الثانوي المعاد تدويره موضح في (الشكل 2).



الشكل 2. مخطط تدفقي لعملية الصب لإنتاج البيليت الثانوي

يتضمن تالف المصنع: القضبان غير المحققة للمواصفات، نهايات القضبان التي تم شدها قبل القص النهائي، تالف البيليت من المكبس وغيرها من الخردة Scrap خاصة المستخدمة في مجال البناء. عادةً ما يتم هنا تجاهل عملية المجانسة الحرارية بعد الصب لتخفيض التكاليف الإنتاجية، حيث يرسل البيليت مباشرةً إلى مكبس البثق ليتم بثقه على الساخن لدرجة حرارة لا تقل عن 440°C إذا كان القالب من النوع المفتوح و 470°C إذا كان القالب من النوع المغلق [1].

3-2- تحضير العينات:

تم شحذ عينات البيليت بورق صنفرة 600, 800, 1200, 1500 على التوالي، تم التلميع بمسحوق الماسي ذو حجم الحبيبات $0.5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$ على التوالي. تم بعدها تخريش العينات بالغمس حوالي 30sec على الأقل بمحلول Keller ذو التركيب الكيميائي [19], [21] (190ml H₂O, 5ml HNO₃, 3ml HCL & 2ml HF).

3-3- تحليل وقياس جهاز انعراج الأشعة السينية XRD:

تم مسح عينات البيليت باستخدام جهاز انعراج الأشعة السينية X-Ray Diffraction نوع Philips طراز PW 1830 للتأكد من الأطوار المتواجدة من أجل زوايا انحراف $10^{\circ} \leq 2\theta \leq 180^{\circ}$ الذي أظهر أن الرواسب Mg₂Si و AlFeSi هي الأطوار الأساسية المتشكلة Major Phases، تم إجراء المسح مرتين للتأكد من دقة النتائج كما هو موضح في (الشكل 5).

3-4- تحليل القساوة:

تم إجراء قياس قساوة فيكرز HV برأس هرمي زاوية 136° ولزمن تطبيق حمولة 5sec بمعدل 3 مرات لكل قراءة، وذلك لعينات البيليت بعد الصب لمراقبة تحسن الخواص الميكانيكية.

3-5-التحليل الطيفي Spectrometer:

تم تنفيذ تحليل التركيب الكيميائي لعينات البيليت باستخدام جهاز التحليل الطيفي Spectrometer, يبين (الجدول 2) نتائج تحليل عينات بيليت ألمنيوم بجهاز التحليل الطيفي سواء من بيليت أساسي مجاني مصبوب من الفلز مباشرة, أو من بيليت ثانوي مصبوب من التالف أو الخردة. يلاحظ زيادة نسبة الحديد بشكل ملحوظ إلى الحدود العظمى في البيليت الثانوي المعاد صهره من التالف مقارنة بالبيليت الأولي الصبوب من الفلز الخام Raw Material. حيث ضبط نسب الحديد و الشوائب يحتاج إلى إضافة ألمنيوم نقي Ingot إلى مصهور الألمنيوم.

3-6-الفحص المجهرى:

تم فحص خصائص البنى المجهرية لعينة البيليت بعد الصب باستخدام المجهر الضوئي وبمقدار تكبير 100x, والتي تظهر العديد من الرواسب. وفق المواصفة ASTM-E3. يمكن تفسير هذه الرواسب بالطور Mg_2Si والذي يترسب داخل الحبيبات كجزئيات سوداء كبيرة الحجم ويختلف توزيعها من حبيبة لأخرى, و الطور $AlFeSi$ والذي يترسب غالباً بشكل جزئيات رمادية على حدود الحبيبات [11].

يبين (الشكل 3) أجهزة الاختبار المستخدمة:



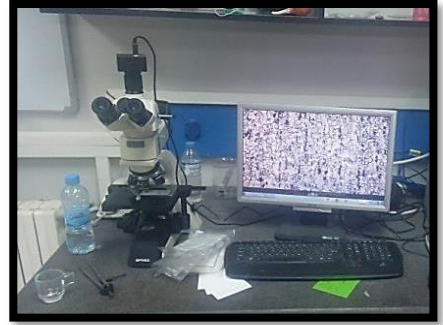
(a)



(b)

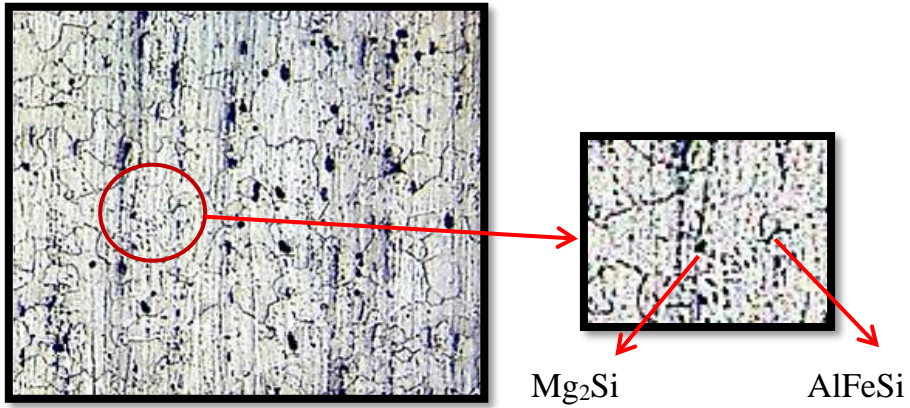


(c)



(d)

الشكل 3. أجهزة الاختبار المستخدمة
(a) قالب الصب, (b) جهاز اختبار القساوة, (c) جهاز XRD, (d) مجهر ضوئي



الشكل 4. صورة مجهرية لبليت الألمنيوم

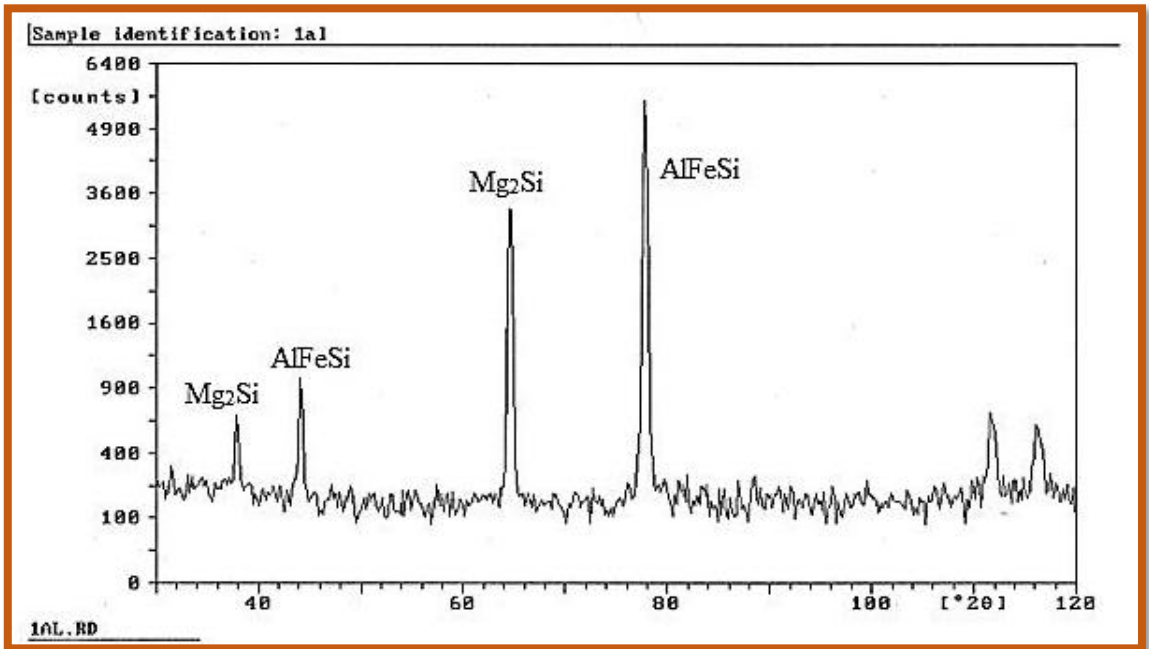
يبين (الجدول 2) التركيب الكيميائي (wt.%) للسبيكة 6063 وفق المعايير العالمية, و(الجدول 3) نتائج التحليل الطيفي لعينات من البليت الأساسي مصبوب من الفلز والبليت الثانوي مصبوب من التالف:

الجدول 2. التركيب الكيميائي المعياري للسبيكة AA-6063 [20]

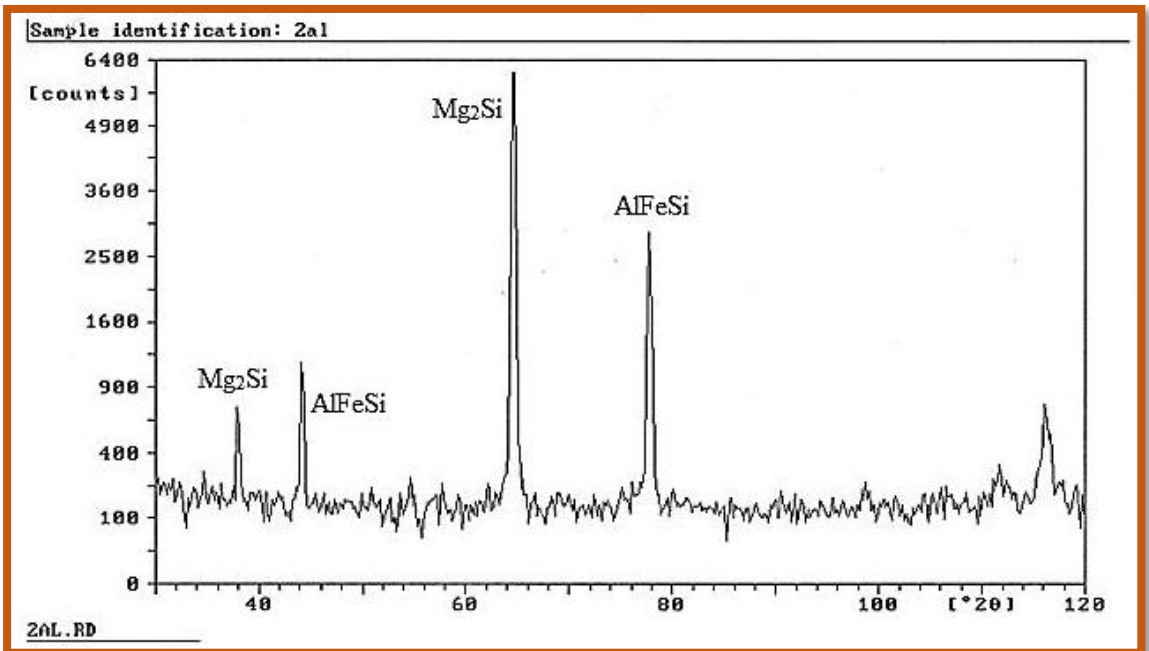
Si%	Fe.% max	Cu%	Mn%	Mg%	Cr%	Zn%	Ti%	بقية العناصر الشائبة		Al%
0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	0.10	كل	مجم	97.5-99.35
								عنصر%	العناصر%	
								0.05	0.15	

الجدول 3. التركيب الكيميائي للبيليت AA-6063

	Fe%	Mg%	Si%	Mn%	Ti%	Cu%	Al%
بيليت أساسي من الفلز Primary	0.220	0.529	0.535	0.003	0.017	0.032	98.7
بيليت ثانوي من التالف Secondary	0.366	0.576	0.492	0.153	0.015	0.100	97.9
بيليت ثانوي من التالف Secondary	0.353	0.705	0.480	0.124	0.010	0.121	97.9



(a)



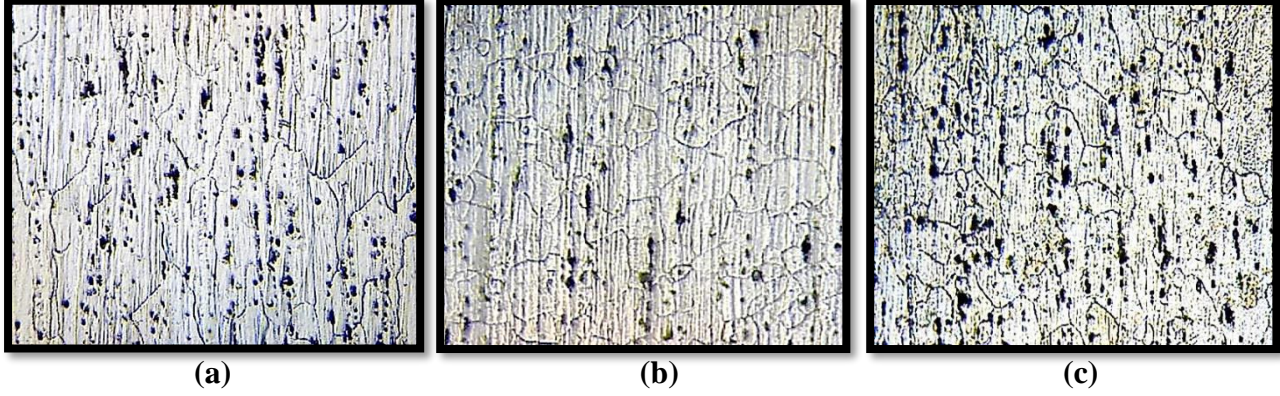
(b)

الشكل 5. نتائج تحليل XRD لعينات من بليت الألمنيوم

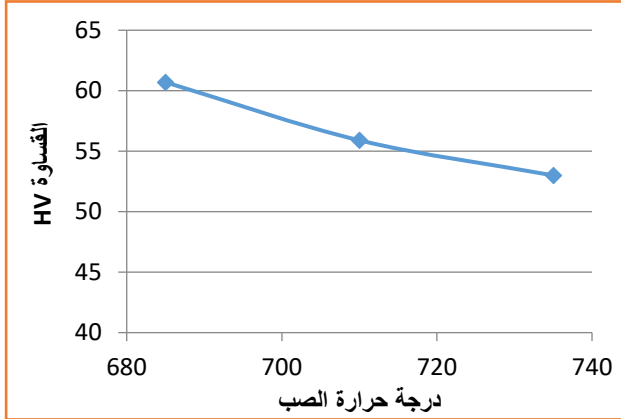
4-النتائج:

4-1-أثر درجة حرارة الصب على بنية بيليت الألمنيوم:

تم اختيار درجات حرارة صب مختلفة ($685, 710, 735^{\circ}\text{C}$) ليطم دراسة تطور البنية المجهرية كما هو موضح في (الشكل6), وتغير القساوة كما هو موضح في (الشكل7):



الشكل6. تطور البنية المجهرية لدرجات حرارة صب مختلفة
(a). 735°C , (b). 710°C , (c). 685°C



الجدول4. تغير القساوة

مع تغير درجة حرارة الصب

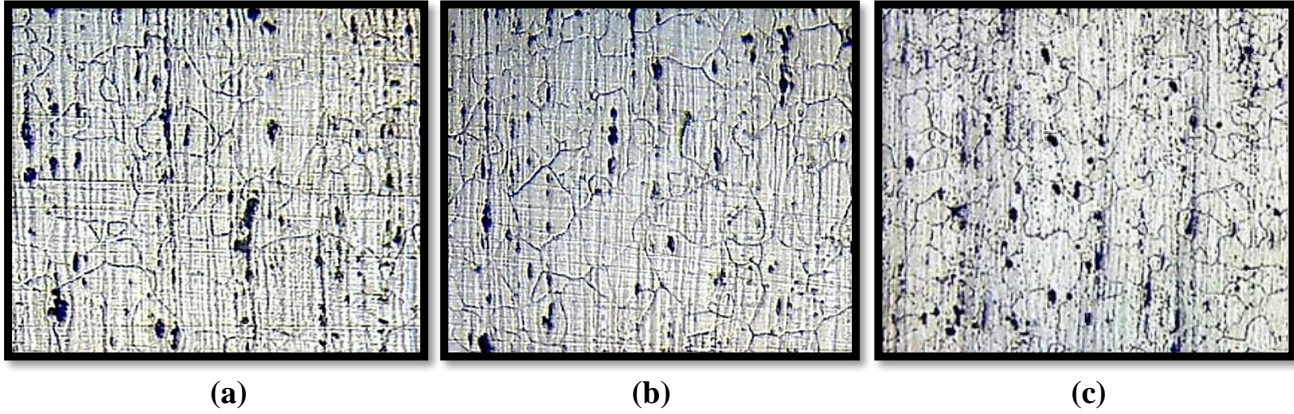
درجة حرارة الصب $^{\circ}\text{C}$	القساوة HV
685	60.7
710	55.9
735	53

الشكل7. تغير القساوة مع تغير درجة حرارة الصب

تم اقتراح درجة حرارة الصب الدنيا عند 685°C للمحافظة على سيولة جيدة لمصهور الألمنيوم، كما أنه يجب الانتباه إلى ضرورة أخذ قراءة درجة حرارة الصب فوق قالب الصب وليست لحظة خروجه من الفرن. نلاحظ أنه بانخفاض درجة الحرارة تتناقص حجم البلورات (الحبيبات) من الشكل الخشن Coarse لتصبح أكثر انتظاماً، يلاحظ أيضاً اختلاف توزيع جزيئات Mg_2Si من حبيبة لأخرى إضافةً إلى شكلها الخشن وغير المتجانس. كما نلاحظ أن القساوة تميل إلى الازدياد مع تناقص درجة الحرارة ما يدل على تحسن الخواص الميكانيكية .

4-2- أثر سرعة الصب على بنية بيليت الألمنيوم:

تم اختيار سرعات صب مختلفة (70, 90, 110mm/min) ليطم دراسة تطور البنية المجهرية كما هو موضح في (الشكل 8)، وتغير القساوة كما هو موضح في (الشكل 9):

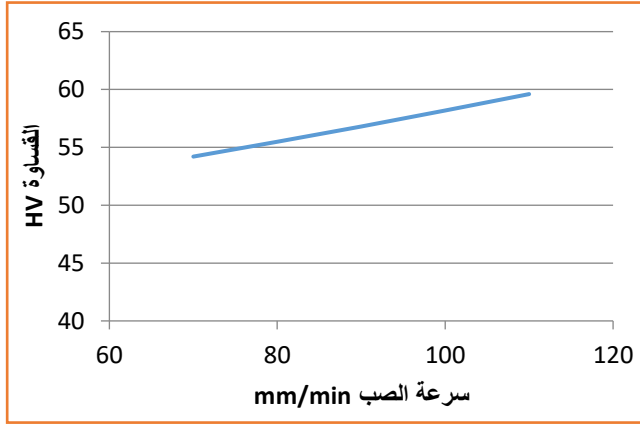


الشكل 8. تطور البنية المجهرية لسرعات صب مختلفة
(a).70mm/min, (b).90mm/min, (c).110mm/min

الجدول 5. تغير القساوة

مع تغير سرعة الصب

سرعة الصب mm/min	القساوة HV
70	54.2
90	56.6
110	59.6



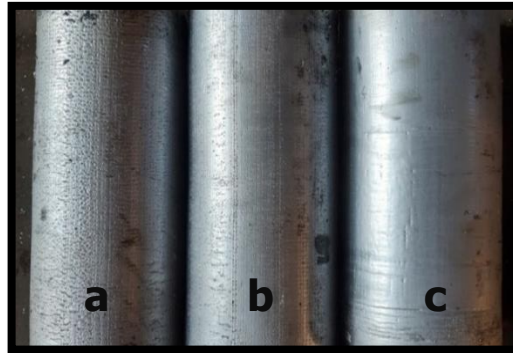
الشكل 9. تغير القساوة مع تغير سرعة الصب

تم التحكم بسرعة الصب بواسطة Inverter, نلاحظ أنه بازدياد سرعة الصب تتناقص حجم البلورات وتصبح أكثر انتظاماً Equiaxed Crystal, يلاحظ أيضاً توزع جزيئات Mg_2Si كبيرة الحجم غير المتجانسة من حبيبة لأخرى بشكل عشوائي. تميل القساوة إلى الازدياد مع زيادة سرعة الصب ما يدل على تحسن الخواص الميكانيكية. يجب الانتباه أنه مع زيادة سرعة الصب بشكل كبير وبالتالي يحدث تناقص بدرجة الحرارة بشكل حاد مما يزيد من الإجهادات الداخلية ما قد يؤدي إلى تشكل تشققات Cracks في بنية البيليت

إضافةً إلى تشكل المسامات Porosities [14]. كما أن زيادة سرعة الصب إلى حوالي 130mm/min فأعلى قد تؤدي إلى عدم وجود كمية مياه تبريد كافية متناسبة مع سرعة الصب وبالتالي حدوث تقطعات في عملية التجمد كما هو مبين في (الشكل 10) لذا تم اعتماد سرعة الصب العظمى 110mm/min.

الشكل 10. حدوث تقطعات أثناء صب البيليت وشرشرة سطحية Bleed Out لدى زيادة سرعة الصب بشكل زائد

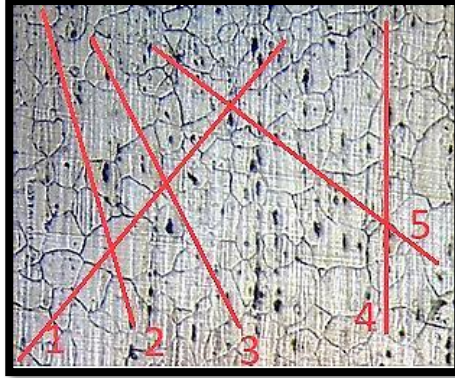
إن ضبط درجات حرارة الصهر و سرعات الصب مع ضرورة الانتباه إلى أن يكون تدفق مياه التبريد كافي و بدرجات حرارة منخفضة نسبياً من شأنه تحسين جودة سطح وتناقص سماكة قشرة التجمد (الطبقة المؤكسدة القاسية). كما هو مبين في (الشكل 11):



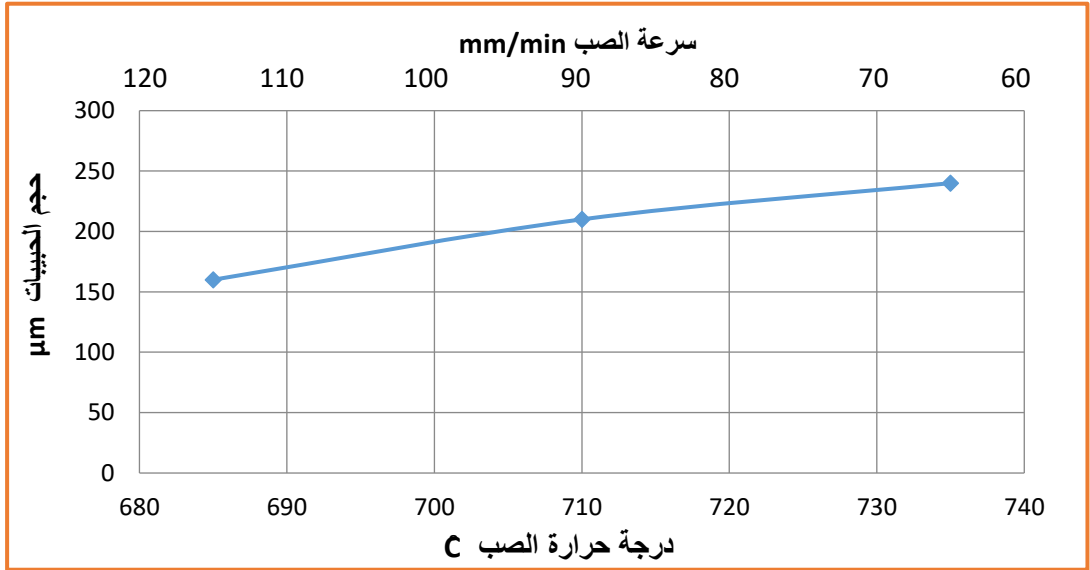
الشكل 11. تحسن جودة سطح البيليت بتحسين ظروف الصب و درجة حرارة تبريد مياه صحيحة

تم قياس طول البلورات باعتماد طريقة Average Grain Lineal Intercept (AGLI) حيث تم رسم عدة خطوط عشوائية (يمكن رسم دوائر) ثم تقسيم الطول الكلي للخط على عدد التقاطعات بين هذه الخطوط مع حدود الحبيبات (الشكل 12)، تم ملاحظة

تناقص في قياس البلورات كلما ازداد معدل التبريد, تقريباً من 240 μm إلى حوالي 160 μm كما هو موضح في (الشكل13):

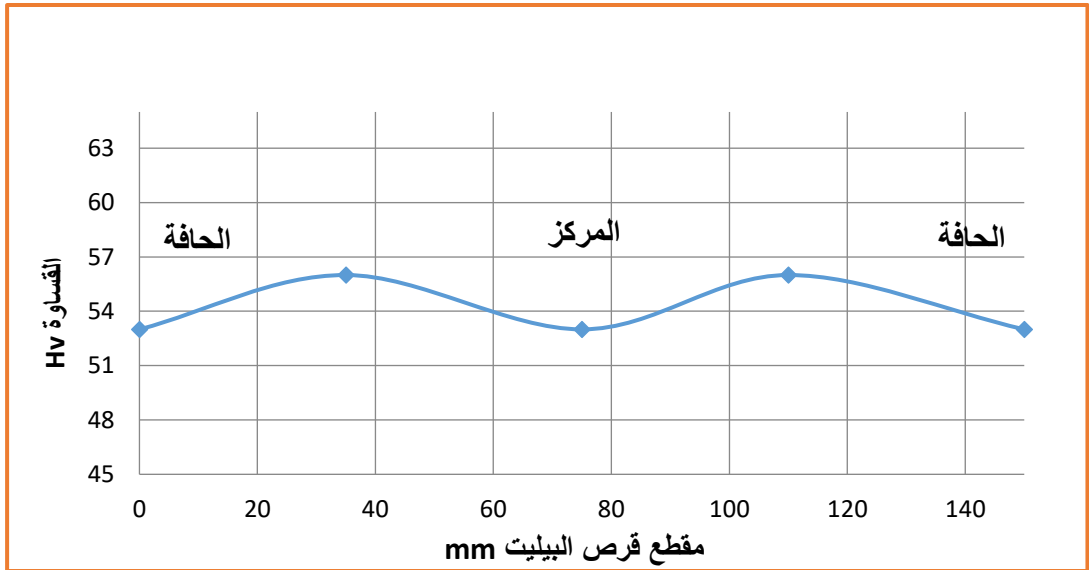


الشكل12. القياس الوسطي لطول الحبيبات



الشكل13. تغير قياس الحبيبات μm مع تغير درجة حرارة وسرعة الصب

كما تم ملاحظة اختلاف القساوة بالقرب من المركز وبالقرب من الحافة لعينة البيليت نفسها, يمكن تفسير ذلك باختلاف حجم الحبيبات بسبب معدلات التبريد السريعة عند الحافة وانخفاضها باتجاه الداخل خاصةً بسبب القطر الكبير للبيليت (الشكل 14). إضافةً لتواجد أكبر للرواسب نتيجة خاصية الانعزال الميكروي والتي قد تظهر بشكل واضح عند قشرة البيليت وبالقرب من الحافة والذي قد يؤدي أيضاً إلى ازدياد القساوة عند الحافة مقارنةً بالمركز [3].



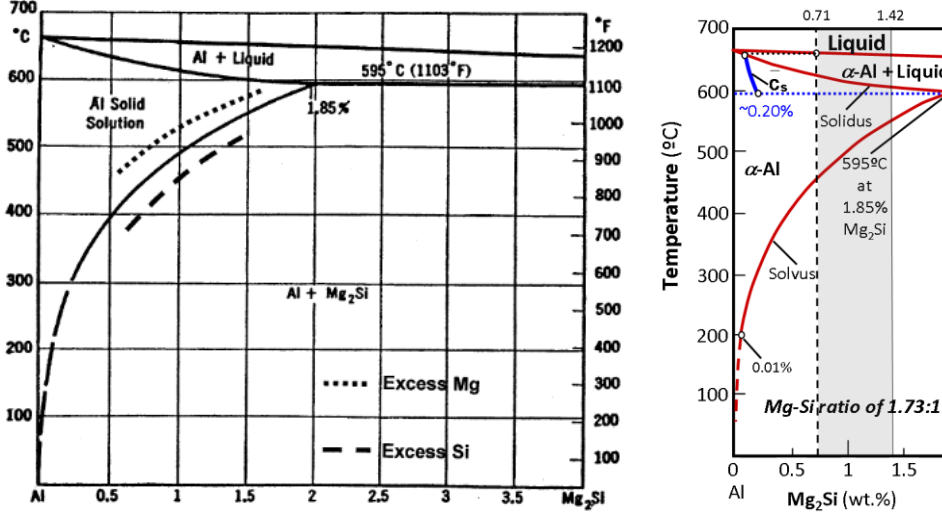
الشكل 14. تغير القساوة على مقطع قرص البيليت ذو القطر 6inch=152mm

وما يجب التنويه إليه أن القساوة المثالية لبيليت الألمنيوم الملائم لعملية البثق تتراوح بين 45-55HV , حيث إن البيليت ذو القساوة المنخفضة مثلاً من 32-36HV يميل ليكون لدن جداً Gummy خلال عملية البثق ما يجعلها أكثر صعوبة للبثق كما إن ذلك يسبب ذلك انهيار مبكر للقالب نتيجة لدونة البيليت والتصاقه بالقالب Jammed [17].

4-3- أثر التسخين المسبق على تحسين بنية بيليت الألمنيوم , مخطط الانحلال الطوري $Al-Mg_2Si$:

تمت دراسة مخطط الانحلال الطوري (الشكل 15) من أجل معرفة نسب الحديد والمغنيزيوم و السليكون والتي تعد العناصر الرئيسية في السبيكة AA6063 - الممكن اختيارها للوصول إلى درجات حرارة منخفضة لانحلال الطور Mg_2Si , وبالتالي ربط انحلال هذا الطور Mg_2Si بدرجة حرارة تسخين البيليت والتي تستغرق عدة ساعات في الأفران متعددة البيليت- والذي يعد خيار مساعد للتعويض عن غياب عملية المجانسة الحرارية.

مع ملاحظة أن للمغنيزيوم أثر سلبي في رفع درجة الحرارة المحلولية بعكس السليكون الذي له أثر إيجابي في خفض درجة الحرارة المحلولية [16], إلا أنه تجدر الإشارة أن زيادة السليكون تقلل من تحول الطور β : $AlFeSi$ الإبري إلى الطور α الكروي [10].



الشكل 15. مخطط الانحلال الطوري

$Al-Mg_2Si$ pseudo-binary phase [16]

تتراوح نسب العنصر لسبائك AA-6063 حسب التركيب المعياري:

$$[Si]_{total} = 0.2-0.6 \quad \%$$

$$[Mg]_{total} = 0.45-0.9 \quad \%$$

$$[Fe]_{total} = 0.15 - 0.35 \quad \%$$

يتم حساب نسبة المنغنيزيوم بالنسبة للسليكون لسبائك AA-6063 لدى تشكل الطور Mg₂Si والتي تكون دائماً ذات قيمة ثابتة من العلاقة:

$$Mg/Si = \frac{2 \times A_{Mg}}{A_{Si}} = \frac{2 \times 24.304}{28.084} = 1.73$$

A_{Si} الوزن الذري للسليكون: 28.084

A_{Mg} الوزن الذري للمغنيزيوم: 24.304

A_{Fe} الوزن الذري للحديد: 55.845

يتم حساب النسبة الوزنية للطور Mg₂Si كالاتي:

$$[Mg_2Si] = [Si]_{Mg_2Si} + [Mg]_{total} \quad \%$$

لذا تكون نسبة السليكون في الطور Mg₂Si من أجل نسب مغنيزيوم مختلفة:

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.45/1.73 = 0.26 \quad \%$$

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.6/1.73 = 0.34 \quad \%$$

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.75/1.73 = 0.43 \quad \%$$

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.9/1.73 = 0.52 \quad \%$$

بناءً على ذلك، تتراوح نسبة الطور Mg₂Si في بنية الألمنيوم للسبيكة 6063 بين:

$$Mg_2Si = 0.45+0.26=0.71 \quad \%$$

$$Mg_2Si = 0.6+0.34=0.94 \quad \%$$

$$Mg_2Si = 0.75+0.43=1.18 \quad \%$$

$$Mg_2Si = 0.9+0.52=1.42 \quad \%$$

تكون هنا نسبة الطور Mg_2Si 1.42% - 0.71% وبالتالي فإن درجة حرارة الانحلال تتراوح بين $T = 440-570^{\circ}C$ تبعاً لمخطط الانحلال الطوري.

يتم حساب كمية السليكون الداخلة في الطور $AlFeSi$: β من العلاقة:

$$[Si]_{AlFeSi} = [Fe]_{total} \times \frac{A_{Si}}{A_{Fe}} \quad \%$$

تكون نسبة السليكون في الطور $AlFeSi$, من أجل نسب الحديد الصغرى $Fe = 0.15\%$

$$[Si]_{AlFeSi} = [Fe]_{total} \times \frac{A_{Si}}{A_{Fe}} = 0.15 \times \frac{28.084}{55.845} = 0.075 \quad \%$$

تكون نسبة السليكون في الطور $AlFeSi$, من أجل نسب الحديد العظمى $Fe = 0.35\%$

$$[Si]_{AlFeSi} = [Fe]_{total} \times \frac{A_{Si}}{A_{Fe}} = 0.35 \times \frac{28.084}{55.845} = 0.175 \quad \%$$

لذا فإن نسبة السليكون الواجب تواجدها في السبيكة AA-6063 بما يتوافق مع ماسبق، تكون

من أجل نسب الحديد الصغرى $Fe = 0.15\%$:

$$Si = 0.26 + 0.075 = 0.335 \quad \%$$

$$Si = 0.34 + 0.075 = 0.415 \quad \%$$

$$Si = 0.43 + 0.075 = 0.505 \quad \%$$

$$Si = 0.52 + 0.075 = 0.595 \quad \%$$

ومن أجل نسب الحديد العظمى $Fe = 0.35\%$:

$$Si = 0.26 + 0.175 = 0.435 \quad \%$$

$$Si = 0.34 + 0.175 = 0.515 \quad \%$$

$$\text{Si} = 0.43 + 0.175 = 0.605 \%$$

$$\text{Si} = 0.52 + 0.175 = 0.695 \%$$

وبالتالي كاختصار لماسبق، يمكن تقسيم درجة حرارة الانحلال و نسب السليكون إلى أربع فئات لنسب مغنيزيوم مختلفة كما هو موضح في (الجدول 5) و (الجدول 6):

الجدول 5. نسب العناصر الرئيسية الواجبة لتحقيق درجة حرارة الانحلال الصغرى والعظمى

لنسب حديد صغرى

	T	Mg ₂ Si%	Fe%	Mg%	Si%
فئة 1	440°C	0.71	0.15	0.45	0.335
فئة 2	485°C	0.94	0.15	0.6	0.415
فئة 3	510°C	1.18	0.15	0.75	0.505
فئة 4	570°C	1.42	0.15	0.9	0.595

الجدول 6. نسب العناصر الرئيسية الواجبة لتحقيق درجة حرارة الانحلال الصغرى والعظمى

لنسب حديد عظمى

	T%	Mg ₂ Si%	Fe%	Mg%	Si%
فئة 1	440°C	0.71	0.35	0.45	0.435
فئة 2	485°C	0.94	0.35	0.6	0.515
فئة 3	510°C	1.18	0.35	0.75	0.605
فئة 4	570°C	1.42	0.35	0.9	0.695

تكون عادةً درجة حرارة تسخين البيليت المجانس عند 440°C للمقاطع المفتوحة Solid و 470°C للمقاطع المغلقة Hollow [1] ، لذا يجب رفع درجة الحرارة بما يقارب 50°C للوصول إلى درجة الحرارة المحلولة عند 485°C في حال ارتفاع نسبة المغنيزيوم للحدود العظمى المسموح بها تبعاً لمخطط الانحلال الطوري وتركيب السبيكة AA6063. إلا أنه

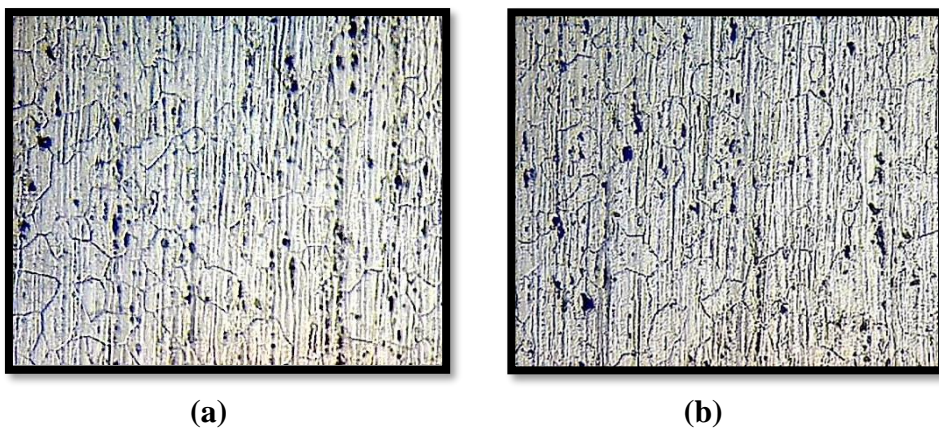
تجدر الإشارة أن رفع درجة حرارة البيليت له تأثير سلبي على قالب البثق بزوال طبقة النتردة بشكل متسارع لذا يجب زيادة تكرارية النتردة. كما أن ارتفاع نسب المغنزيوم والسليكون أدى إلى الحصول على قساوات عالية غير محبذة عند 63.5Hv و 64.5Hv.

كما أنه مايجب الأخذ به بعين الاعتبار هو تشكل الطور $AlFeSi$ والذي يكون سابقاً لتشكل الطور Mg_2Si [16], لذا ومن أجل الحصول على درجة حرارة محلولية منخفضة للطور Mg_2Si فإنه يجب اختيار نسبة المغنزيوم عند حدوده الصغرى في الفئة الأولى $Mg = 0.45\%$ أو قريبة منها في الفئة الثانية بما يتوافق مع التركيب الكيميائي المعياري للسبيكة AA-6063. حيث إن لرفع درجة حرارة تسخين البيليت بشكل كبير تأثير معاكس على انخفاض سرعة البثق وذلك بغرض المحافظة على درجة حرارة خروج مستقرة للمقطع المبتوق و التخفيض من درجة حرارة الاحتكاك مع القالب. عادةً ما يتم قياس درجة حرارة البيليت باستخدام مقياس حرارة تلامسي كما هو مبين في (الشكل 16).



الشكل 16. قياس درجة حرارة بيليت الألمنيوم بعد التسخين المسبق قبل البثق

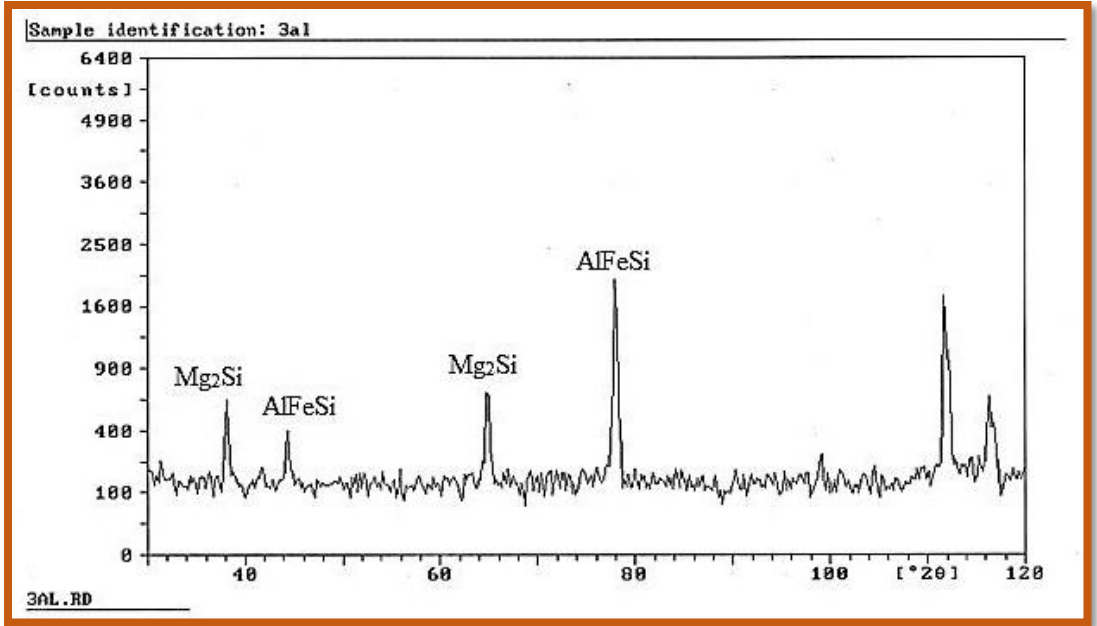
يوضح (الشكل 17) تطور البنية المجهرية لدرجة حرارة تسخين للبيليت عند 485°C ولأزمنة تسخين مختلفة, تم التبريد بالهواء:



الشكل 17. تطور البنية المجهرية لدرجة حرارة تسخين 485°C وأزمنة مختلفة
(a). 2hr, (b). 4hr

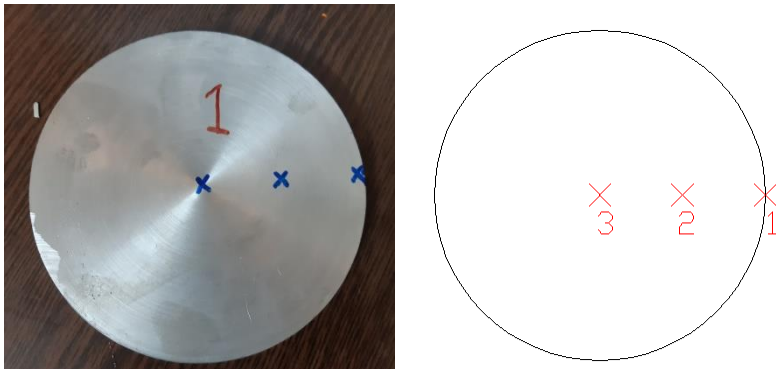
تم اختيار زمن الإبقاء عند 2-4hr بما يتوافق مع الواقع الصناعي حيث تقوم العديد من المصانع المحلية والعالمية باعتماد فرن تسخين متعدد البيليت والذي تتراوح سعته عادةً بين 8-12 عمود بيليت. نلاحظ من (الشكل 17) انحلال جيد للعديد من رواسب Mg_2Si , ما تبقى من الرواسب يتم انحلالها عادةً لدى البثق حيث تصل درجة حرارة خروج المقطع المبتثق بين $510-550^{\circ}\text{C}$ [6].

تم ملاحظة أيضاً أنه بازدياد زمن الإبقاء يزداد مقدار الانحلال, نلاحظ انخفاض قمم الأطوار Mg_2Si و AlFeSi بعد التسخين المسبق والذي قد يدل على انحلال جزء جيد منها وانخفاض كثافتها. كما تم التأكد من ذلك بقياس قساوة البيليت فتم ملاحظة انخفاض القساوة بمقدار 8-10 Hv , مثلاً من 56.7Hv إلى 48.1Hv ومن 53Hv إلى 43Hv.



الشكل 18. نتائج تحليل XRD لبيليت الألمنيوم بعد التسخين المسبق

ومن أجل معرفة تجانس العناصر المنحلة تم أخذ قراءة جهاز التحليل الطيفي من مناطق مختلفة من عينة قرص عمود البيليت من المركز باتجاه الحافة كما هو موضح في (الشكل 19).



الشكل 19. أخذ قراءة التحليل الطيفي من مناطق مختلفة من قرص عمود البيليت 6inch

وكانت النتائج كالتالي:

الجدول 7. تحليل تركيز العناصر من مناطق مختلفة, قطر البيليت 6inch

	Fe%	Mg%	Si%	Mn%	Ti%	Cu%	Al%
بالقرب من الحافة	0.742	0.650	0.456	0.205	0.007	0.212	97.3
بين الحافة و المركز	0.731	0.651	0.446	0.206	0.007	0.181	97.3
بالقرب من المركز	0.718	0.653	0.441	0.205	0.008	0.180	97.3

إن تغير التركيب الكيميائي محدود و طفيف من الحافة باتجاه الداخل والذي يدل على تجانس توزع العناصر المنحلة بشكل جيد و على عدم تواجد ملحوظ لظاهرة الانعزال الميكروي بالنسبة لهذه العناصر.

4-4- مقارنة إنتاجية:

تمت تجربة أداء البيليت على مكبس البثق 1250ton بعد مراعاة الضوابط المدروسة حالياً بغرض الحصول على بيليت (محسن) رغم غياب عملية المجانسة الحرارية ناتج عن تالف السكراب و تجربة أدائه من ناحية ضغط المكبس و سرعة البثق ليتم مقارنته بالبيليت النخب الثاني (غير المجانس) المستخدم سابقاً بدون هذه الضوابط, كما تمت مقارنته بالبيليت النخب الأول (المجانس) المستورد عادةً والناتج من الفلز مباشرة. تم ذلك بالاعتماد على بيانات المعمل (شركة الزين).



الشكل 20. مكبس بثق ألمنيوم 6inch - شركة الزين

تمت تجربة البيليت على قوالب مفتوحة و مغلقة, و لفتحة واحدة أو عدة فتحات لأخذ نتائج شاملة, مع أخذ نسبة البثق أو التخفيض بعين الاعتبار extrusion ratio, حيث يتم حساب نسبة البثق (نسبة التخفيض) R كما يلي:

$$R = \frac{\text{مساحة مقطع البيليت}}{\text{مساحة المقطع المبتثق}} = \frac{\pi D^2 / 4}{n \cdot A}$$

D: قطر البيليت, A: مساحة المقطع المبتثق, n: عدد الفتحات في القالب

وتتراوح نسب البثق للقوالب المستخدمة من أقل قيمة عند 40 مرة إلى أكبر قيمة عند

110 مرة بما يتوافق مع التصنيف المرجعي. [1]



(a)



(b)



(c)



(d)

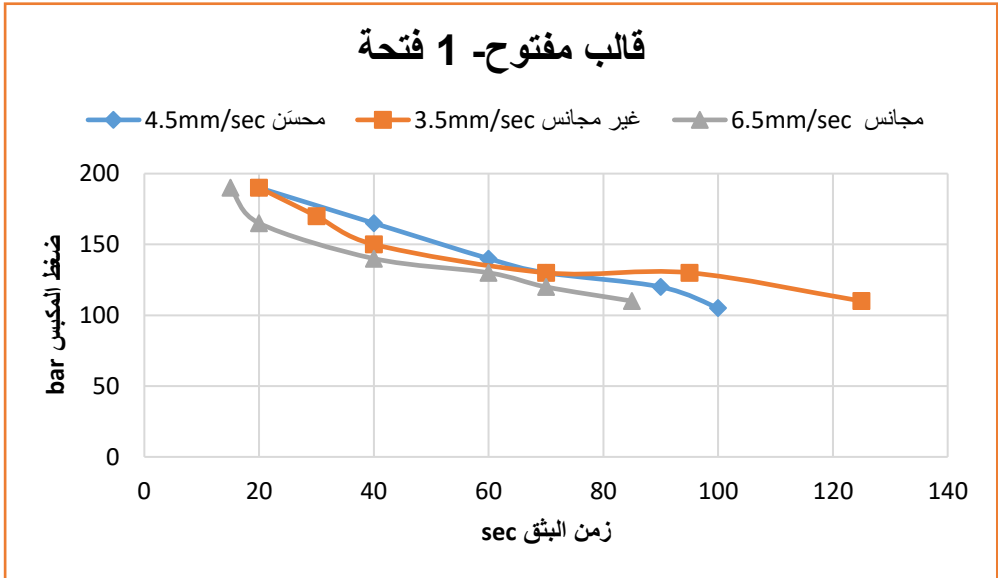
الشكل 21. بعض عيوب سرعة البثق الزائدة على مقطع بروفيل الألمنيوم

- (a) قالب مفتوح عدد 1 فتحة، نسبة التخفيض 63 مرة، طول البيليت 440mm
(b) قالب مفتوح عدد 2 فتحة، نسبة التخفيض 85 مرة، طول البيليت 360mm
(c) قالب مغلق عدد 1 فتحة، نسبة التخفيض 90 مرة، طول البيليت 310mm
(d) قالب مغلق عدد 2 فتحة، نسبة التخفيض 52 مرة، طول البيليت 370mm

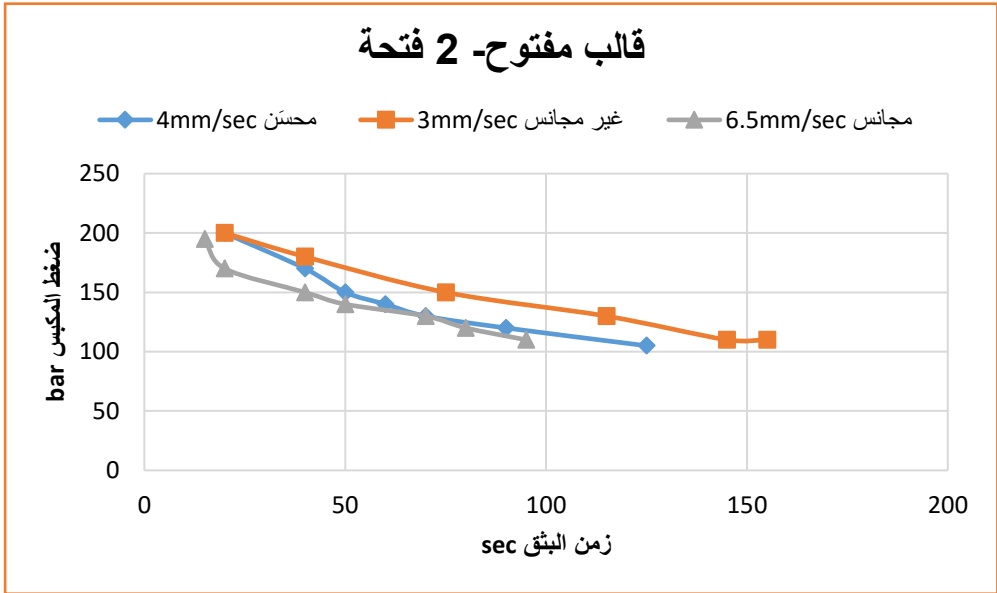
وكانت النتائج كالآتي:

الجدول 8. مقارنة السرعات الإنتاجية, سرعة البثق mm/sec

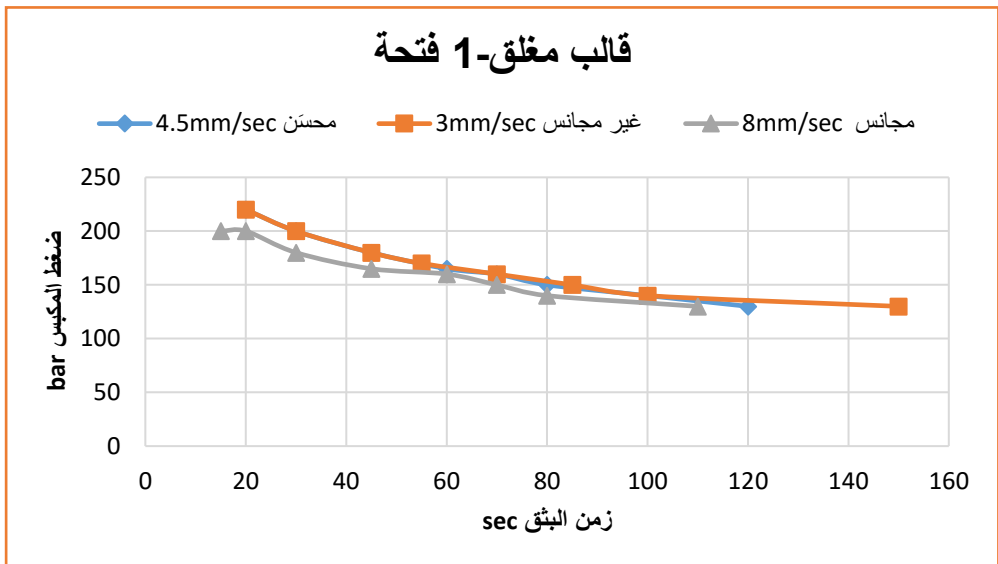
	بيليت مجانس (مستخدم سابقاً)	بيليت غير مجانس (مستخدم سابقاً)	بيليت غير مجانس محسّن (الدراسة الحالية)
قالب مفتوح (فتحة واحدة)	6.5	3.5	4.5
قالب مفتوح (فتحتين)	6.5	3	4
قالب مغلق (فتحة واحدة)	8	3	4.5
قالب مغلق (فتحتين)	8	3	4.5



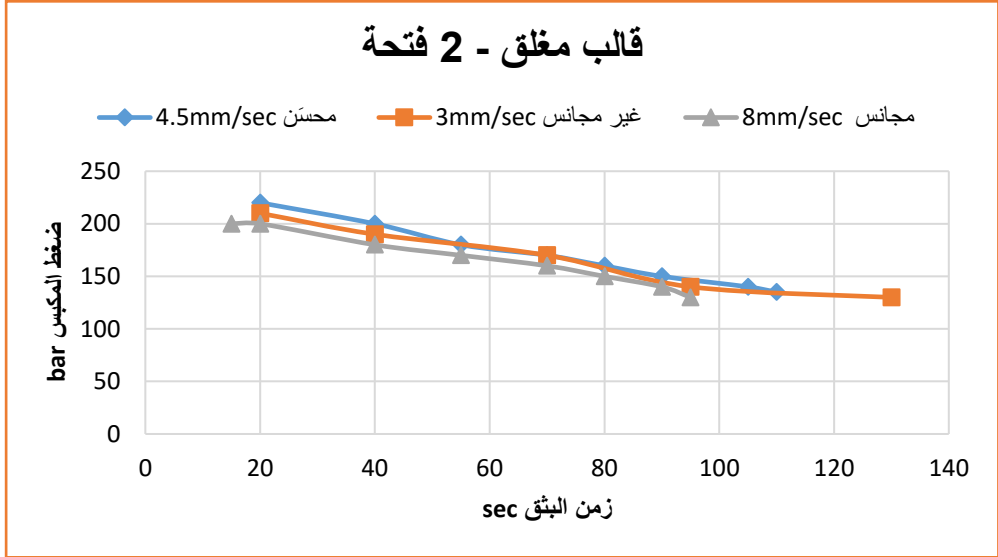
(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل 22. تغير سرعة وضغط المكبس تبعاً لنوع البيليت المستخدم في البثق لقوالب مفتوحة ومغلقة

إن الحاكم الرئيسي لسرعة البثق هو ضغط المكبس و جودة القضيب المبتوق, لذا يجب الانتباه إلى ضرورة تحقيق التوازن بين زيادة معدلات الإنتاج وبين ضبط جودة قضبان الألمنيوم المبتوقة كما هو مبين في (الشكل 23) الذي يظهر بعض عيوب البثق المتشكلة على القضبان نتيجة زيادة سرعات البثق أو سوء في جودة البيليت.

تمت تحقيق إنتاجيات متوسطة بين البيليت المجانس النخب الأول والبيليت غير المجانس المستخدم سابقاً حيث كان إنتاج البيليت غير المجانس يعادل تقريباً 40% من إنتاج البيليت المجانس الأولي المصبوب من الفلز. و تم تحسينها إلى حوالي 55-60% باتباع التوصيات السابقة رغم غياب عملية المجانسة الحرارية.



(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل 23. بعض عيوب سرعة البثق الزائدة على مقطع بروفيل الألمنيوم
(a) خشونة عالية، (b) تشوه في المقطع الهندسي (تموجات)
(c) تشكل ندوب و انخماصات في مقطع البروفيل، (d) تشققات في مقطع البروفيل

5- مناقشة النتائج:

- أظهرت نتائج الفحص المجهرى لعينات من البيليت بعد الصب حبيبات ذات حجم متباين تبعاً لمعدلات التبريد، وتوزع غير منتظم للطور Mg_2Si وذلك في معظم أماكن البنية المجهرية إضافة للطور β : $AlFeSi$ المتواجد على حدود البلورات. والتي تؤدي إلى ضغوط عالية خلال عملية البثق بسبب صعوبة انحلال الجزيئات الكبيرة منها خلال مرحلة تسخين البيليت قبل البثق.

- كانت قساوة البيليت غير المجانس أعلى من البيليت المجانس و يمكن ربط القساوة العالية للبيليت بظهور رواسب Mg_2Si و $AlFeSi$ في السبيكة و بظاهرة الانعزال الميكروي لها أي توزعها بشكل غير متناسق.

- يجب إبقاء درجة حرارة الصب منخفضة لجعل عملية التصلب أسرع خاصةً باتجاه الداخل, ففي حال كانت درجة حرارة الصب مرتفعة جداً فإن مركز البيليت سيبقى فوق خط السيولة لفترة طويلة وسينتج عن هذا إعادة انصهار لجزء كبير من البلورات المتعددة عن جدار البيليت ما يؤدي إلى تشكيل بنية منتظمة عند القشرة وبالقرب من جدار البيليت وتمتد بشكل عمودي باتجاه الداخل. بينما في حال كانت درجة الحرارة منخفضة نسبياً فإن المصهور سينتقل بسرعة تحت خط السيولة وتتشكل البلورات بسرعة مما يساعد على تشكل بنية بلورية منتظمة متكاملة. أيضاً باعتماد سرعات صب أعلى فإننا نحصل على معدل تبريد وتجمد أعلى, كما أنه بازياد سرعة الصب تتناقص سماكة قشرة التجمد (الطبقة المؤكسدة القاسية).

- إلا أنه نتيجة الفروق الحرارية الكبيرة بين المركز و سطح البيليت الناتجة عن آلية التبريد والتي تؤدي إلى إجهادات حرارية إضافةً إلى سرعات الصب الكبيرة فإن العديد من العيوب قد تنشأ أثناء الصب مثل المسامات, انعزال ميكروي, تشققات, شرشرة سطحية .Bleed Outs

6-الاستنتاجات والتوصيات:

-في ضوء الدراسات المحلية، فإنه ينصح بتحسين جودة المعدن الخام باتباع تركيب كيميائي صحيح، استخدام نظام فلتر مناسب وتطبيق إجراءات الصب بشكل صحيح للحصول على جودة بيليت جيدة.

-بالحصول على معدلات تبريد وتصلب أسرع تم الحصول على بنية مجهرية ناعمة وتوزع أكثر انتظاماً للبلورات.

-بازدياد معدلات التبريد يتناقص حجم البلورات، تناقص قياس البلورات من حوالي $240\mu\text{m}$ إلى ما دون $160\mu\text{m}$. إن القياس الوسطي الحبيبات مقارب للدراسة المرجعية Birol [7] و ZHANG [12] التي كانت عند $150\mu\text{m}$.

-إن الحصول على بلورات أكثر انتظاماً ونعومة يؤدي إلى تكسر الطور AlFeSi المتواجد على حدود الحبيبات وبالتالي التقليل من أثرها الحاد.

- بتسخين البيليت فوق خط الانحلال قبل عملية البثق يمكن الحصول على انحلال جيد لعناصر Mg , Si والطور Mg_2Si . كما أن تسخين البيليت يجب أن يتم بشكل سريع بحيث يتجاوز خط الانحلال ولزمن إبقاء لا يقل عن 2-4hr لضمان أكبر انحلال ممكن لمركبات Mg_2Si .

- من أجل الحصول على درجة حرارة انحلال منخفضة 485°C ، تكون نسب المغنيزيوم المثالية عند الحدود الدنيا عند 0.45-0.5% بينما تكون نسب السليكون المثالية عند الحدود الوسطى عند 0.4-0.45% تبعاً للتركيب الكيميائي المعياري للسبيكة AA-6063.

References

1. Pradip K. Saha 2000, Aluminum Extrusion Technology, ASM International United States of America (2000).
2. Shahani, R., Collet, R.T., Sigli, C.: Optimized 6xxx alloy billet performance: a structured approach. In: Proceedings of the Seventh International Aluminum Extrusion Technology Seminar, rvol. 2, pp. 13–22 (2000)
3. M. J. Couper, M. Cooksey, B. Rinderer, Effect of Homogenisation Temperature and Time on Billet Microstructure and Extruded Properties of Alloy 6061, Comalco Research & Technical Support, Comalco Aluminium Ltd., Australia.(2000)
4. A.F.M. Arif , A. K. Sheikh , S.Z. Qamar , M.K. Raza , K.M. Al-Fuhaid, Product Defects in Aluminum Extrusion And Their Impact On Operational Cost, The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, December (2002).
5. Dr Paul Cooper and Allan Barber, REVIEW OF THE LATEST DEVELOPMENTS AND BEST USE OF GRAIN REFINERS, Presented at the 2nd International Melt Quality Workshop, Prague, Czech Republic, 16-17th October (2003).
6. Qamar, S.Z.: Modeling and analysis of extrusion pressure and die life for complex aluminium profiles. Ph.D. thesis, King Fahd University of Petroleum & Minerals, pp. 250–277 (2004)
7. Birol,Y:The effect of homogenization practice on the microstructure of AA6063 billets. J. Mater. Process. Technol. 148, 250–258 (2004)
- 8- G. KUGLER et al.: WEAR BEHAVIOUR OF NITRIDED, WEAR BEHAVIOUR OF NITRIDED MICROSTRUCTURES OF AISI H13 DIES FOR HOT EXTRUSION OF ALUMINIUM, ISSN 0543-5846, M ETABK 45 (1) 21-29 (2006)
9. Hai Hao, Xingguo Zhang, Shan Yao and Junze Jin, improvement of Casting Speed and Billet Quality of Direct Chill Cast Aluminum Wrought Alloy with Combination of Slit Mold and Electromagnetic Coil, Materials Transactions, Vol. 48, No. 8 pp. 2194 to 2201, The Japan Institute of Metals (2007)
10. S. S. Akhtar A. F. M. Arif B. S. Yilbas, Performance of Al-6063 Primary and Secondary Billets Used in Hot Aluminum Extrusion, Journal of Manufacturing Science and Engineering Vol 131 (2009)

11. A. F. M. Arif S. S. Akhtar A. K. Sheikh, Effect of Al-6063 Billet Quality on the Service Life of Hot Extrusion Die: Metallurgical and Statistical Investigation, J Fail. Anal. and Preven. 9:253–26 (2009)
12. L. ZHANG, D.G. ESKIN, A. MIROUX, T. SUBROTO, and L. KATGERMAN, Influence of Melt Feeding Scheme and Casting Parameters During Direct-Chill Casting on Microstructure of an AA7050 Billet, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International (2012)
13. C. Mapelli , A. Gruttadauriaa, M. Peroni , Application of electromagnetic stirring for the homogenization of aluminium billet cast in a semi-continuous machine, Journal of Materials Processing Technology 210 306–314 (2010)
14. Koray TURBALIOĞLU and Yavuz SUN, The improvement of the mechanical properties of AA 6063 aluminum alloys produced by changing the continuous casting parameters, scientific Research and Essays Vol. 6(13), pp. 2832-2840, 4 July, (2011).
15. Samson O. Adeosun & Emmanuel I. Akpan 2013, Pouring Temperature Effects on Mechanical and Electrical Responses of Cast 6063 Aluminum Alloy, The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago, Vol.41, No.1, pp.4-10, (2013)
16. Juan Asensio-Lozano, Beatriz Suárez-Peña and George F. Vander Voort , Effect of Processing Steps on the Mechanical Properties and Surface Appearance of 6063 Aluminium Extruded Products, Materials, 7, 4224-4242; (2014)
17. Shadi Al Khateeb, Amin Al robaidi, Radwan Dweiri, Ahmad Lebzo, and Mahmood Al-Sawa'adeh, Mechanical Failure Study of Aluminum Extrusion Dies as Affected by the Quality of the Billets, Journal of Testing and Evaluatio, Vol.42, No.4, pp. 1016–1024, (2014)
18. Ajide O.O., Oyedele J.O., Salau T.A.O. and Abu R., Investigating the Influence of Casting Parameters on the Mechanical and Microstructural Characteristics of Grade Al6063 Alloy, American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-6, Issue-7, pp-181-190 (2017)

19. Senthil Murugan Subramanian, Maheswaran Karuppaiah, Hardness Property Measurement, Grain Size Reduction and Heat Treatment of AA6061+CuO Composite with and without TiB2 Addition, International Information and Engineering Technology Association, Composites et des Materiaux Avances Vol. 29, No. 1, February, pp. 33-37, (2019)
20. https://en.wikipedia.org/wiki/6063_aluminium_alloy
21. https://www.tppinfo.com/metallurgical_lab/etchant.html

ملحق

Measure Window - Elements: Concentration

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Sample No: _____ Quality: _____

Sample Id: _____

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %
1	0.4563	0.742	0.2125	0.2056	0.650	0.3207	0.0096
2	0.4460	0.731	0.1810	0.2067	0.651	0.3273	0.0091
3	0.4411	0.718	0.1805	0.2056	0.653	0.3283	0.0088

	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	Be %	Bi %
1	0.0085	0.0926	0.0037	0.0076	0.0009	0.0001	<0.0010
2	0.0081	0.0899	0.0035	0.0079	0.0009	0.0001	<0.0010
3	0.0080	0.0880	<0.0030	0.0088	0.0009	0.0001	<0.0010

	Ca %	P %	Sb %	V %	Bg %	Al %
1	0.0014	<0.0010	<0.0001	0.0042	97.3	97.3
2	0.0015	<0.0010	<0.0001	0.0042	97.3	97.3
3	0.0025	<0.0010	<0.0001	0.0042	97.3	97.3

الشكل 23. نتائج التحليل الطيفي لأماكن مختلفة من قرص البيليت

1- عند الحافة

2- عند الوسط

3- عند المركز

Measure Window - Elements: Concentration

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Sample No: _____ Quality: _____

Sample Id: _____

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %
1	0.535	0.2202	0.0324	0.0034	0.5297	0.0078	0.0043

	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	Be %	Bi %
1	0.0023	0.0024	<0.0030	0.0177	0.0006	0.0001	<0.0010

الشكل 24. تحليل عينات ألمنيوم بجهاز التحليل الطيفي
 عينة ألمنيوم من بيليت أساسي مجانس مصبوب من الفلز

Sample No:	Quality:	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %
1		0.4923	0.366	50770	0.1531	0.576	0.1913	0.0102
Sample No:	Quality:	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	Be %	Bi %
1		0.0136	0.0292	0.0092	0.0152	0.0009	0.0001	<0.0010
Sample No:	Quality:	Ca %	P %	Sb %	V %	Bi %	Al %	
1		0.0067	<0.0010	0.0107	0.0073	97.9	97.9	

(a)

Sample No:	Quality:	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %
1		0.4802	0.3536	0.1211	0.1246	0.705	0.1173
2		0.4975	0.3319	0.1731	0.1170	0.703	0.1290
Sample No:	Quality:	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	Be %
1		0.0198	0.0591	0.0092	0.0108	0.0013	0.0002
2		0.0118	0.0694	0.0047	0.0109	0.0009	0.0002
Sample No:	Quality:	Ca %	P %	Sb %	V %	Bi %	Al %
1		0.0152	<0.0010	0.0109	0.0056	97.9	97.9
2		0.0025	0.0056	0.0053	0.0053	97.9	97.9

(b)

الشكل 25. تحليل عينات ألنيوم بجهاز التحليل الطيفي
a,b. عينات ألنيوم من بيليت ثانوي مصبوب من التالف



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل 26. قساوة فيكرز لعينات بيليت ألومنيوم