

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة



ميدان: علوم المادة
فرع: الفيزياء
تخصص: فيزياء تطبيقية

كلية: العلوم
قسم: الفيزياء
رقم: PhAPP 04/2019

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالب(ة): بن أمهاني سمية

تحت عنوان

دراسة بعض الخواص لسبيكة (Al -7%.(Wt) Mg
المحضرة بطريقة السباكة بالتحريك (Technique Stir Casting)
المقواة بدقائق أكسيد الألومين Al_2O_3

تمت المناقشة يوم: 2019/ 07/ 09 أمام اللجنة المكونة من:

رئيساً	جامعة محمد بوضياف - المسيلة	بري السعدي
مشرفاً ومقرراً	جامعة محمد بوضياف - المسيلة	إبرير ميلود
مساعد مشرف	جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا- الجزائر	عبد الكبير جمال
مناقشاً	جامعة محمد بوضياف - المسيلة	عز الدين هبة

السنة الجامعية: 2019/2018

تشكرات



نحمد الله تعالى أنه وفقنا لإتمام هذا العمل المتواضع.

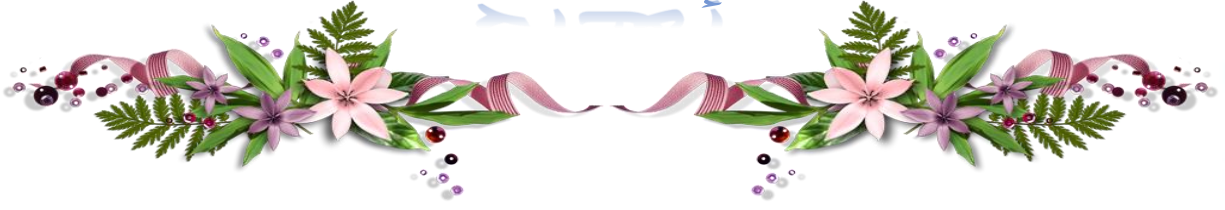
أتوجه بجزيل الشكر و العرفان للأستاذ "إبريرميلود" والأستاذ
"عبد الكبير جمال" على إشرافهما و تتبعهما المستمر طيلة إنجاز هذا
البحث، وكذا نصائحهما و إرشاداتهما القيمة و تشجيعهما.
كما أتوجه بجزيل الشكر و العرفان لأعضاء لجنة المناقشة الأستاذ
"بري السعدي" والأستاذة "عزالدين هبة".

إلى كل من ساهموا في انجاز هذا البحث من قريب أو بعيد و أخص
بالذكر مهندسي و رئيس مخابر البيولوجيا، كلية العلوم، جامعة
المسيلة، كذلك الأستاذ "سحنون فوضيل".

إلى كل من شجعنا بالكلمة الطيبة وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة
وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذه الدراسة.



إهداء



إلى ملاكي في الحياة إلى معنى الحب ومعنى الحنان والتفاني.
إلى بسملة حياتي وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها
بلسم جراحي إلى أمي الحبيبة.
إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشيء من أجل
دفعني في طريق النجاح إلى والدي العزيز.
إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة إلى رياحين حياتي
إخوتي: محمد، مراد، إبراهيم، وليد.
إلى شمعة حياتي أختي: أسماء.
وفي هذه الحياة لا يضيء إلا قنديل الذكريات، الذين ساندوني دائماً:
جميلة، بركاهم، أمينة إلى روح الغالية جدتي رحمها الله وأسكنها فسيح
جناته.

إلى زميلاتي اللاتي كن معي طوال مشواري الجامعي: هدى ونوال إلى كل
من ساهم في إنجاز هذه المذكرة.



الفهرس

الموضوع	الصفحة
التشكرات	I
الفهرس	II
المقدمة	أ - ب

الفصل الأول: الدراسة النظرية

1.I	تعريف السبيكة.....	4
2.I	أنواع الأطوار في سبائك.....	4
3.I	مخططات الاتزان الحراري.....	5
4.I	الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن الألمنيوم.....	7
5.I	الألمنيوم و سبائكه.....	8
6.I	أكسيد الألمنيوم وخواصه.....	9
7.I	معدن المغنيزيوم.....	10
8.I	سبائك ألمنيوم - مغنيزيوم.....	11
9.I	مخطط الأطوار لسبيكة ألمنيوم - مغنيزيوم.....	12
10.I	آليات التصليد.....	14
11.I	المواد المركبة.....	15
12.I	تقنيات إنتاج المواد المركبة.....	20

21	13.I. طريق السباكة مع التحريك (السباكة بالمزج) (Stir Casting)
21	14.I. تطبيقات المواد المركبة

الفصل الثاني: الدراسة التجريبية

24	1.II. طريقة تحضير المادة المركبة
25	2.II. المعالجة الحرارية (التلبيد)
26	3.II. صقل العينيات
27	4.II. المجهر الضوئي
27	5.II. قياس الصلادة المجهرية
28	6.II. جهاز حيود الأشعة السينية (DRX)
29	7.II. طريقة (Rietveld)

الفصل الثالث: تحليل ومناقشة النتائج

31	1.III. انعراج الأشعة السينية
32	2.III. تغيرات ثابت الشبكة البلورية والتشوه المجهرية
33	3.III. تغيرات الحجم البلوري مع الصلادة بدلالة النسب الكلية للألومين
36	الخلاصة
37	المراجع

الملخص

فهرس الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
01	الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمعدن الألمنيوم.	07
02	ترميز سبائك المنيوم التطريق حسب الترميز العالمي.	08
03	الذوبانية العظمى لبعض عناصر سبائك الألمنيوم.	09
04	الخواص الميكانيكية والفيزيائية لأكسيد الألمنيوم ألفا α .	10
05	بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمعدن المغنيزيوم.	11

فهرس الأشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
(1.I)	محاليل صلبة.	05
(2.I)	مخطط الاتزان الحراري.	06
(3.I)	مخطط ثنائي يبين محلولين صلبين.	7
(4.I)	مخطط الأطوار لسبيكة ألومنيوم-مغنيسيوم.	12
(5.I)	مخطط اتزان الألومنيوم والمغنيسيوم.	13
(6.I)	رسم تخطيطي يبين جسيمة مقطوعة بواسطة انخلاع اثناء الانزلاق.	14
(7.I)	رسم تخطيطي يوضح التقاف الانخلاع حول الجسيمة وتكوين حلقة الانخلاع.	15
(8.I)	التصنيف العام للمواد المركبة.	16
(9.I)	تصنيف المواد المركبة وفقا لشكل مادة التقوية.	18
(10.I)	معامل يونغ النوعي (E/ρ) لمواد تقليدية بمواد مركبة ذات رابط معدني.	19
(11. I)	عملية السباكة مع التحريك.	21
(12. I)	الجزء الدوار في موقف القطار الالمني ICE1 و ICE2.	22
(1. II)	الجهاز التجريبي المستعمل في تحضير العينات.	25
(2. II)	الجهاز التجريبي للمعالجة الحرارية.	26
(3. II)	جهاز الصقل الميكانيكي.	26
(4. II)	المجهر الضوئي.	27
(5. II)	أثر قطري d_1 و d_2 .	28
(6. II)	التمثيل التخطيطي لأثر فيكرز لعينة ألومنيوم - 7% مغنيسيوم (وزنا).	28
(7. II)	مخطط حيود الأشعة السينية.	28
(1.III)	انعراج الأشعة السينية للمادة المركبة $(Al-7\%Mg/x\%Al_2O_3)$ (نسب وزنية) حيث: $x = 0, 3, 5, 7, 10\%$.	31
(2.III)	تغير ذروة انعراج الأشعة السينية للمستوى البلوري (111) بدلالة مختلف النسب للألومين من 0 إلى 10 % نسب وزنية).	32
(3.III)	تغيرات ثابت الشبكة البلورية والتشوه المجهرى بدلالة النسب الوزنية الألومين.	33
(4.III)	تغيرات الحجم البلوري والصلادة بدلالة النسب الوزنية.	34
(5.III)	صور بالمجهر الضوئي لمختلف العينات بعد عملية المعالجة الكيميائية.	35

مقدمة:

للمواد بشكل عام والمعادن بشكل خاص دور مهم في أي تطور صناعي أو تقدم تكنولوجي. وبالنظر إلى متطلبات الصناعة الحديثة، فإن العديد من الأبحاث في طريقها لتطوير مواد أكثر كفاءة وأقل تكلفة مثل المواد المركبة. تلعب السبائك المعدنية دورًا مهمًا لأن خصائص هذه السبائك تتحسن يومًا بعد يوم بفضل الأبحاث.

الصناعة التكنولوجية المتقدمة الآن تعتمد على مواد جديدة ذات خصائص مجهرية متجانسة وتطويرها بتقنيات أقل تكلفة وفعالية. إذ تعتمد الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة على الدراسة المجهرية وبالتالي فإن المعرفة التفصيلية للبنية المجهرية هي خطوة مهمة للغاية في تصميم المواد. الألومنيوم هو واحد من أكثر المعادن المستخدمة. تمثل سبائك الألومنيوم والألومنيوم فئة مهمة من المواد بسبب قيمتها التكنولوجية العالية والتطبيق الواسع وخاصة في الصناعات الفضائية والصناعات الآلية والمنزلية.

نظراً للمشاكل التي يواجهها الألومنيوم وسبائكها أثناء الاستخدام بسبب انخفاض مقاومته الميكانيكية (تغير الخواص الميكانيكية) خاصة عند استخدامه في ظروف العمل بتحميل عالي، ونتيجة للتطور الصناعي الكبير الذي شهده العالم في كافة المجالات سعى العلماء والفنيون إلى إيجاد بدائل مختلفة، للمواد الواسعة الاستخدام في الصناعة بحيث تكون تلك البدائل ذات مواصفات ونوعية عالية من حيث خفة الوزن والخواص الميكانيكية بصورة عامة وذلك لاستعمالها في الطائرات والرادارات والسفن والسيارات وغيرها من التطبيقات، الأمر الذي حفز الباحثين في الآونة الأخيرة في هذا المجال بتكثيف جهودهم البحثية حول إمكانية استخدام سبائك الألومنيوم في إنتاج مواد مركبة [1]. وخاصة في صناعة السيارات والطائرات التي تتطلب الحصول على مقاومة ومرونة عالية مع أقل وزن ممكن لهذه الأجزاء [2].

وعليه تم إنتاج ما يعرف بالمواد المركبة لإعطاء مزيجاً من الخواص لا يمكن الحصول عليه من المواد الأصلية. وذلك بتقوية الطور الأساس (الألومنيوم) بدقائق سيراميكية مثل (كربيد السيليكون، أكسيد الألومين، أكسيد التيتانيوم، أكسيد المغنيزيوم، الخ) بهدف تحسين الخواص الميكانيكية. لذا فالمواد المركبة عبارة عن مزج مادتين أو أكثر وتكون بشكل أطوار منفصلة وتمزج للحصول على تراكيب مرغوبة للحصول على خواص معينة ومحددة لكل من المكونات شرط أن لا يذوب أو يتفاعل أي من المركبات مع بعضها، ويمكن أن تكون المكونات عضوية أو غير عضوية أو معدنية (مصنعة) أو (طبيعية) بشكل دقائق أو صفائح، أو ألياف، قضبان، أو رغوة.

تتيح المعالجات الحرارية والميكانيكية الحصول على بنية مجهرية كافية من أجل تحسين استخدام المواد المركبة.

في عملنا هذا، قمنا بدراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة من سبيكة (ألومنيوم- 7% (وزناً) مغنيزيوم) مضافاً إليها مادة سيراميكية (أكسيد الألومين) وبتراكيز مختلفة حيث: $(x = 0, 3, 5, 7, 10) \%$ (وزناً)، وتحديد مختلف المساهمات في التصلب الهيكلي للمادة المركبة.

تم تنظيم هذه المذكرة في أربعة فصول. يتناول هذا العمل تحضير وتوصيف مادة مركبة معدنية سيراميكية يلعب فيها الألومنيوم والمغنيزيوم دور مادة رابطة وأكسيد الألومين كمادة مقوية وذلك باستخدام تقنية الصب مع التحريك.

يقسم هذا العمل إلى أربعة فصول رئيسية، نتناول في **الفصل الأول** مقدمة عامة حول المواد المركبة والمواد المركبة ذات الرابط المعدني بشكل خاص، كما يتطرق إلى أهم تقنيات الإنتاج المستخدمة في تصنيع هذه المواد، ويعرض بإيجاز بعض الآليات المعروفة لحدوث التقوية في المواد المركبة عامة ويستعرض بعض التطبيقات الهامة للمواد المركبة ذات الرابط المعدني في مختلف المجالات.

وفي **الفصل الثاني** توصيف وتعريف مختلف المواد والطرق والتجهيزات المستخدمة في إنجازه. ويتضمن **الفصل الثالث** مخطط التوازن للسبيكة المنيوم – مغنيزيوم.

أما **الفصل الأخير**، خاص بعرض النتائج ومناقشتها وأهم الاستنتاجات.

الفصل الاول: الدراسة النظرية

تتناولنا في هذا الفصل تعريف المواد المركبة وخصائصها وتطبيقاتها ثم تطرقنا الى تعريف الألمنيوم وسبائكه واستعمالاته و مخطط التوازن الحراري لسبيكة ألمنيوم - مغنيزيوم.

1.I. تعريف الشبكة:

الشبكة هي خليط معدني من عنصرين أو أكثر يمكن الحصول عليها إما بالصهر أو التلييد. ويسمى العنصر الأكبر نسبة في الشبكة بالعنصر الأساس، وتسمى الشبكة عادة باسمه، والذي يجب أن يكون معدنا. في حين أن العناصر الأخرى المكونة للشبكة يمكن أن تكون إما معدنية أو غير معدنية. ونظرا لتعدد السبائك أصبح دراستها بشكل مفرد صعبا، وإنما من الأسهل دراستها على شكل مجاميع أو أنظمة سبائكية. فالنظام السبائكي الواحد يشمل جميع السبائك الممكن تكوينها من عناصر النظام السبائكي.

2.I. أنواع الاطوار في السبائك:

1- **المحلل الصلب:** يتكون المحلول الصلب من تذويب العنصرين المكونين للشبكة ببعضهما في الحالة الصلبة. حيث تختفي ذرات المذاب بين ذرات المذيب، فيبدو المحلول الصلب تحت المجهر كتركيب متجانس لا يمكن التمييز بين العنصرين المكونين له. وقد جرت العادة على استخدام الرموز اللاتينية للمحاليل الصلبة مثل الفا α ، بيتا β ، الخ.

1.2.I. أنواع المحاليل الصلبة:

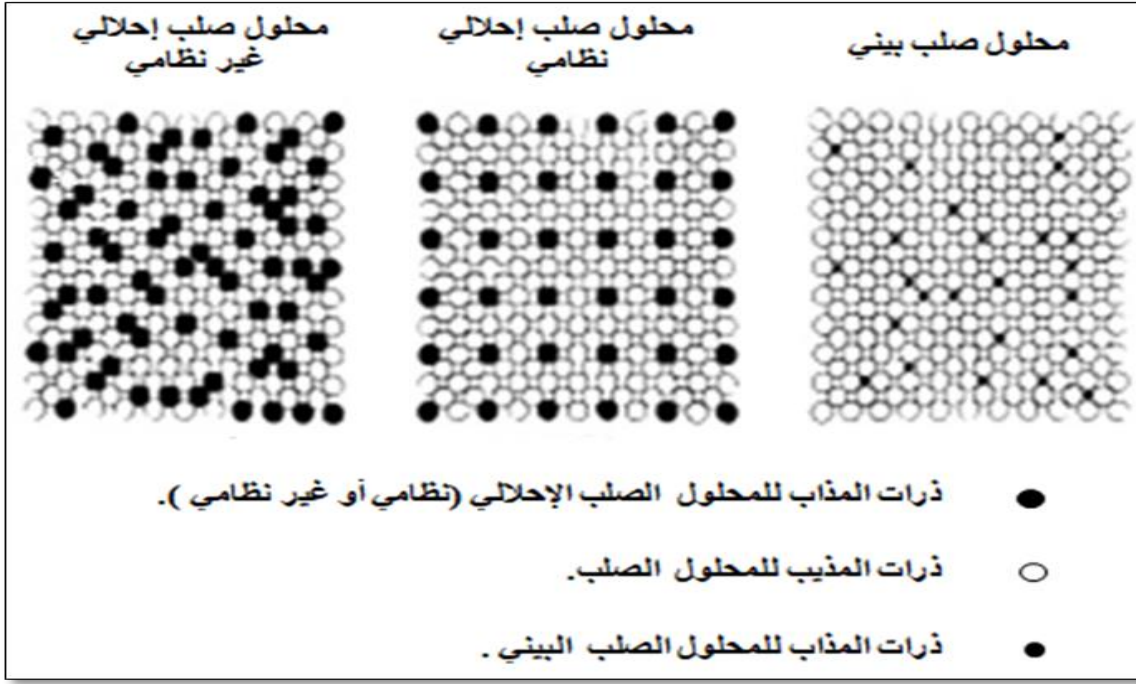
أولا: محلول صلب بيني: يتكون عندما تحتل ذرات المذاب المواقع البينية للشبكة البلورية للمذيب. ولهذا فإن حجم ذرات المذاب يجب أن يكون أصغر من حجم ذرات المذيب بما لا يقل عن 65%. كذلك قابلية الذوبان تكون محدودة ولا تتجاوز 10%.

ثانيا: محلول صلب احلالي: حيث تحتل ذرات المذاب محل بعضا من ذرات المذيب في الشبكة البلورية للمذيب. ويشترط لتكونه: تقارب الاحجام الذرية لكل من المذاب والمذيب، على أن لا يتجاوز الفرق عن 15%. كذلك يجب أن تتشابه الشبكة البلورية للمذاب والمذيب. وأن تتساوى إلكترونات التكافؤ لكل من المذاب والمذيب. ولهذا فإن نسبة التذوب تكون عالية.

والمحاليل الصلبة الاحلالية على نوعين:

1. **محاليل صلبة إحلالية نظامية:** عندما تحتل ذرة المذاب موقعا محددا في الشبكة البلورية للمذيب وتمتاز بصلادة عالية ولدونة قليلة، الشكل (1.I).

2. **ومحاليل صلبة لا نظامية:** حيث تحتل ذرات المذاب مواقع عشوائية في الشبكة البلورية للمذيب وتمتاز هذه المحاليل بصلادة ولدونة أقل مقارنة بالمحاليل النظامية، الشكل (1.I).



الشكل(1.I): المحاليل الصلبة.

2.2.I. أهمية المحاليل الصلبة:

للمحاليل الصلبة أهمية كبيرة في الصناعة والتجارة حيث تتميز تلك المحاليل الصلبة بخواص تفوق خواص العناصر النقية. وكثير من السبائك المعدنية هي عبارة عن محاليل صلبة. ومنها ما يحتوي على قليل من العنصر المذاب، ولكنه يغير الخواص الفيزيائية والكهربائية للعنصر المذيب.

3.I. مخططات الاتزان الحراري:

المعادن النقية تكون عادة لينة وغير صالحة لكثير من الاستخدامات الصناعية، بينما نجد أن للسبائك استخدامات واسعة في الصناعة. فالسبيكة هي خليط معدني من عنصرين أو أكثر يمكن الحصول عليها إما بالصهر أو التلبيد (التصليد الحراري). ويسمى العنصر الأكبر نسبة في السبيكة بالعنصر الأساس، وتسمى السبيكة عادة باسمه، والذي يجب أن يكون معدنا. في حين أن العناصر الأخرى المكونة للسبيكة يمكن أن تكون أما معدن أو غير معدن. ونظرا لتعدد السبائك أصبح دراستها بشكل مفرد صعبا، وإنما من الأسهل دراستها على شكل مجاميع أو أنظمة سبائكية. فالنظام السبائكي الواحد يشمل جميع السبائك الممكن تكوينها من عناصر النظام السبائكي. والأنظمة السبائكية على نوعين:

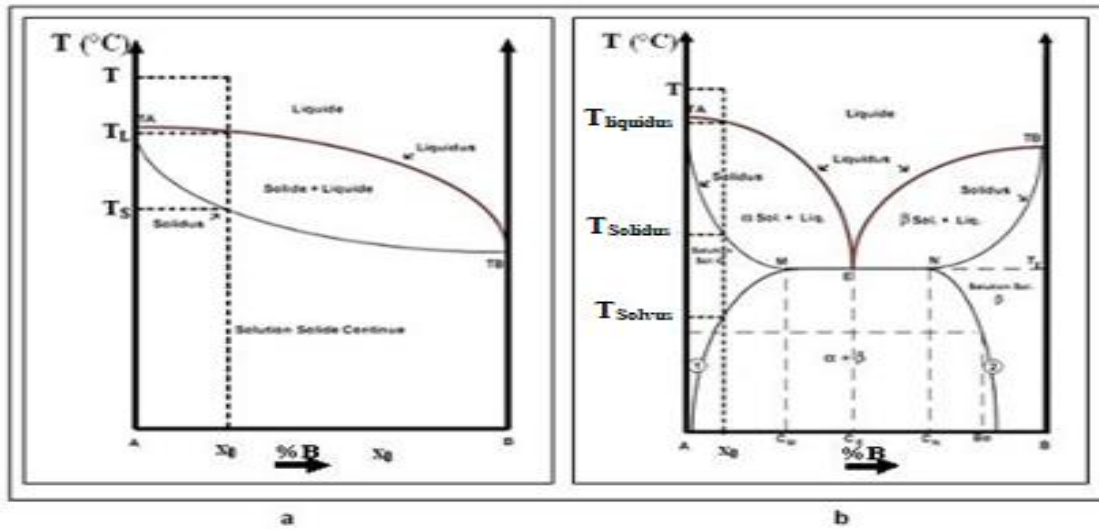
- 1-النظام السبائكي الثنائي: يتكون النظام السبائكي من عنصرين فقط
- 2-النظام السبائكي الثلاثي: يتكون النظام السبائكي من ثلاثة عناصر.

وعندما تتكون السبائك، تتكون الأطوار، ويعرف **الطور** بأنه تركيب متجانس كيميائيا وفيزيائيا يمكن تمييزه بالمجهر ويفصل الطور عن الأطوار الأخرى سطح انفصال. والسبيكة في حالتها الصلبة تكون إما أحادية الطور أو متعددة الأطوار، فمخطط الاتزان الحراري هو عبارة عن رسومات توضح العلاقة بين التركيب ودرجة حرارة السبائك في حالة الاتزان. وبواسطة هذه الرسومات يمكن الحصول على المعلومات الآتية:

- العلاقة بين درجة الحرارة وتركيب المادة مع بيان الأطوار المختلفة.
 - تحديد نسبة ذوبانية المواد في بعضها.
 - التعرف على التركيب الكيميائي والأطوار المكونة للسبيكة عند حرارة معينة.
 - تحديد إمكانية إجراء المعالجة الحرارية على سبيكة ما من عدمه.
 - تحديد درجة حرارة تحول المادة إلى حالة الانصهار والعكس.
- ولغرض دراسة مخطط الاتزان الحراري نأخذ، سبيكة المنيوم - مغنيزيوم.

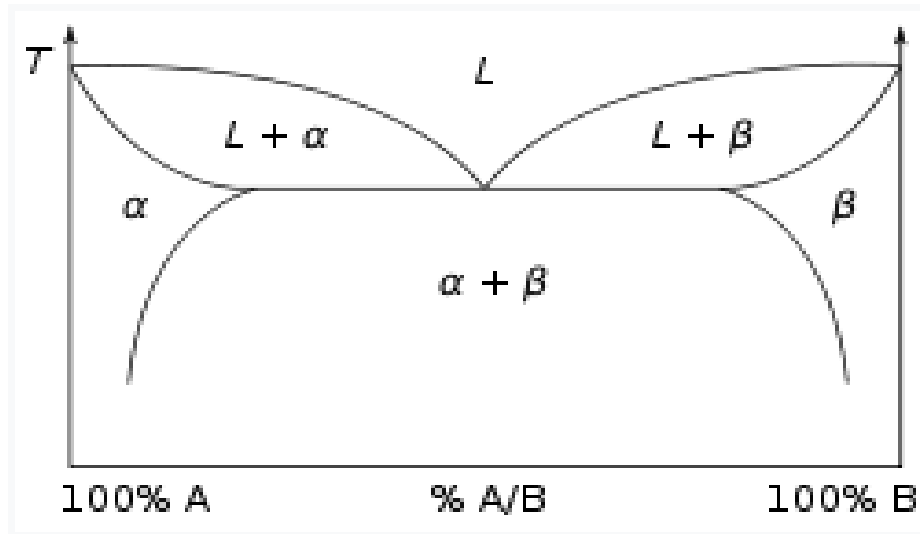
1.3.I مخطط الاتزان الحراري:

ذوبانية العنصر B في المعدن A يعتمد على درجة الحرارة، والغرض من مخططات الاتزان الحراري هو تحديد، الحالة الفيزيائية للسبائك في ظل ظروف تكون فيها حركية التحول كافية بحيث يتحقق التوازن الديناميكي الحراري في كل لحظة. يمثل مخطط التوازن التحولات (السائلة - الصلبة) أو (الصلبة - الصلبة) للسبائك، ومجالات وجود المراحل المختلفة كدالة للتركيز ودرجة الحرارة الشكل (2.I).



الشكل (2.I): مخطط الاتزان الحراري (a) مخطط الاتزان الحراري لمحللول صلب وحيد غير محدود. (b) مخطط الاتزان الحراري يظهر تفاعل يوتكتيكي لمحللول صلب محدود.

يسمى الشكل المجاور مخطط الثنائي الأطوار: وهو مزيج من مادتين مختلفي التركيز A و B محور اليمين يبين وجود المادة B بنسبة 100%، ويمثل محور اليسار وجود المادة A بنسبة 100%. بينهما توجد مزيج منهما بنسب تركيز مختلفة. المنطقة " α " هي عبارة عن محلول جامد وتقوم فيه المادة B بدور المذاب في مادة المذيب A. وعلى الناحية الأخرى للرسم البياني الذي يبين تركيز المادتين نجد المنطقة " β " وهي أيضا عبارة عن محلول صلب، وفيه يلعب A دور المذاب في المذيب B وفي المنطقة الوسطى العريضة بين المنطقتين α و β ، وهي معلمة ب " $\alpha + \beta$ "، وهي ليست محلول جامد. وإذا فحصنا التركيب الصغرى تحت الميكروسكوب لتلك المنطقة نجدها تتكون من طورين A في B محلول جامد B في A ويكونان طورين منفصلين قد يكونا في هيئة رقائقيه أو هيئة حبيبية.



الشكل (3.I): مخطط ثنائي يبين محلولين صلبين.

4.I. الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن الألمنيوم:

للألمنيوم خواص ميكانيكية و فيزيائية تجعله مطلوب في الصناعة و الجدول رقم (01) يوضح هذه الخواص.

الجدول رقم (01): الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمعدن الألمنيوم [3].

2.7	الكثافة النظرية (g/cm ³)
45	مقاومة الشد (MPa)
62	معامل المرونة (GPa)
660	درجة الانصهار (C°)
247	الناقلية الحرارية (W/m.k)
22.2	عامل التمدد الحراري (10 ⁻⁶ / K)

5.I. الألمنيوم وسبائكه:

يحتل عنصر الألمنيوم، المرتبة الثالثة في عناصر القشرة الأرضية. و مع ذلك فإن تعدين الألمنيوم قد جاء متأخر مقارنة بالنحاس والبرونز والحديد ولم تقتزن عصور الحضارة البشرية بالألمنيوم لأن تعدينه لم يبدأ إلا في القرن التاسع عشر بعد أن تطورت معارف البشرية في التعدين. وفي البداية كان سعر الألمنيوم يقارن بأسعار المعادن الثمينة، ومع تطور حجم إنتاجه وزيادته أصبح من المعادن والسبائك واسعة الانتشار التي يبلغ إنتاجها حوالي 30 مليون طن في العام. ولكن في البداية الحقيقية التطور الصناعي للألمنيوم وسبائكه حدث في عام 1886م مع اختراع عملية التحليل الكهربائي للألمنيوم وبسبب خواصه الفريدة في خفة الوزن والمقاومة الكيميائية انتشر استخدام الألمنيوم حالياً في جميع قطاعات الاقتصاد والتقانة من التغليف والتغليف حتى الطيران والفضاء.

1.5.I. تصنيف سبائك الألمنيوم:

إن المقاومة العظمى للألمنيوم في الحالة النقية تكون بحدود (30-50) Mpa)) لذا تضاف عناصر السبك كالنحاس أو الزنك أو المغنيزيوم أو السليكون لغرض زيادة المقاومة والصلادة. أن مقاومة عظمى بحدود (300 Mpa) تكون نموذجية للسبائك متوسطة المقاومة بينما تزداد المقاومة أكثر الى حوالي (500 Mpa) بالنسبة للسبائك عالية المقاومة [4].

يتم تصنيف سبائك الألمنيوم وفق الترميز الدولي كما في الجدول (2).

الجدول رقم (02): ترميز سبائك ألمنيوم التطريق حسب الترميز العالمي.

1XXX	%ألمنيوم بنقاوة $99.0 \leq$
2XXX	سبيكة ألمنيوم – نحاس
3XXX	سبيكة ألمنيوم – منغنيز
4XXX	سبيكة ألمنيوم – سليكون
5XXX	سبيكة ألمنيوم – مغنيزيوم
6XXX	سبيكة ألمنيوم – نحاس – سليكون
7XXX	سبيكة ألمنيوم – زنك

على الرغم من خواص الألمنيوم وسبائكه الفريدة، يعاني الألمنيوم من مقاومة حرارية ضعيفة ومحدودية الخواص الميكانيكية، من هنا برزت الحاجة إلى تقوية الألمنيوم وسبائكه باستخدام مساحيق سيراميكية أبرزها أكسيد الألمنيوم ألفا وكربيد السيليكون أو ألياف سيراميكية، غالباً، قصيرة مثل ألياف أكسيد الألمنيوم أو ألياف البور أو شعيرات بلورية (Whiskers). وسيتناول هذا العمل تقوية معدن الألمنيوم باستخدام مسحوق أكسيد الألمنيوم- α نظراً لخواصه وتوفره في السوق المحلية.

لايزال الألمنيوم وسبائكه يحتلون مكانة مهمة اليوم في مختلف مجالات الصناعة. يزداد استخدامه يوماً بعد يوم بفضل الخصائص المميزة التي يقدمها:

- 1- الخفة والمقاومة الجيدة، مما يسهل استخدامه في البناء الميكانيكية.
- 2- التوصيل الجيد للحرارة والكهرباء.
- 3- مقاومة جيدة للتآكل بفضل التكوين السطحي لفيلم رقيق للغاية، فعند ملامسته للأكسجين في الهواء تنشأ طبقة أكسيد الألومين Al_2O_3 التي تحمي المعدن من أي تآكل كيميائي.
- 4- سهولة التشويه واللحام.

أما الجدول (03) فيبين الذوبانية العظمى لبعض عناصر سبائك الألمنيوم عند درجات حرارة الذوبان.

الجدول رقم (03): الذوبانية العظمى لبعض عناصر سبائك الألمنيوم.

Element	Temperature (°C)	Maximum solid solubility	
		(at %)	(wt%)
Cadmium	649	0.4	0.09
Cobalt	657	<0.02	<0.01
Copper	548	5.65	2.40
Chromium	661	0.77	0.40
Germanium	422	7.2	2.7
Iron	655	0.05	0.025
Lithium	600	4.2	16.3
Magnesium	450	17.4	18.5
Manganese	658	1.82	0.9
Nickel	640	0.04	0.02
Silicon	577	1.65	1.59
Silver	566	55.6	13.8
Tin	228	-0.06	-0.01
Titanium	655	-1.3	-0.74
Vanadium	661	-0.4	-0.21
Zinc	443	70	28.8
Zirconium	660.5	0.28	0.08

I. 6. أكسيد الألمنيوم وخواصه:

على الرغم من وجود أطوار بلورية متعددة لأكسيد الألمنيوم، فإن أكسيد الألمنيوم المعروف باسم الألومين ألفا ($\alpha - Al_2O_3$) هو الطور الأكثر استقراراً، وانتشاراً في التطبيقات الصناعية والتقنية.

يعود استخدام أكسيد الألمنيوم في صناعة الأجر المقاوم حرارية إلى أكثر من قرن، ويسمح تغيير نسبة أكسيد الألمنيوم بالحصول على طيف واسع من أجر بناء الأفران المختلفة في صناعة التعدين والاسمنت والزجاج وغيرها. ونظرا لخواصه الحرارية والميكانيكية والكيميائية، تطورت خلال العقود الأخيرة تطبيقات جديدة لأكسيد الألمنيوم في الإلكترونيات (ركائز الدارات وعلب عناصر الكترونية).
أستغلت صناعات منذ نهاية القرن التاسع عشر. إلا أن الألومين الذي يتم إنتاجه تخدم ببساطة وبشكل أساسي كمقدمة لإنتاج الألمنيوم ونميز بين نوعين تجاريين من أكسيد الألمنيوم تبعاً لبنيتيه البلورية: الأول هو النوع α ذو بنية بلورية سداسية، والثاني هو النوع γ ذو بنية بلورية مكعبة.
ومن بين بعض خواصه الفيزيائية:

1. العزل الكهربائي.

2. الموصلية الحرارية الممتازة.

الجدول رقم (04): الخواص الميكانيكية والفيزيائية لأكسيد الألمنيوم ألفا α [5].

3.96	الكثافة النظرية (g/cm^3)
350	معامل المرونة (GPa)
2500	مقاومة الإنضغاط (MPa)
32.6	الناقلية الحرارية (W/m.K)
6.8	عامل التمدد الحراري ($10^{-6}/\text{K}$)
8.3	السعة الحرارية النوعية ($\text{W.m}^2/\text{Kg K}$)

7.I. معدن المغنيزيوم:

عرفت مركبات المغنيزيوم منذ مئات السنين وذلك قبل الحصول على الفلز (المعدن) بشكله النقي. يعد الفيزيائي والكيميائي الاسكتلندي جوزيف بلاك أول من عمل على مركبات المغنسيوم بشكل علمي وذلك في القرن الثامن عشر. تمكن السير همفري ديفي عام 1808 من الحصول على المغنسيوم من خلال التحليل الكهربائي لهيدروكسيد المغنيزيوم الرطب باستعمال عمود فولتا، لكنه لم يكن نقياً إنما حصل عليه على شكل خليطة مع الزئبق، لأنه استخدم مهبط من الزئبق. أظهر ديفي بهذه العملية أن المغنيزيا أكسيد فلز جديد، أسماه المغنيوم والتي تحولت إلى المغنيزيوم.

ازداد الطلب على المغنيزيوم في بداية هذا القرن بسبب الحاجة المتزايدة إليه في الصناعة وخاصة صناعتي السيارات والإلكترونيات لأنها تتطلبان خفة وزن، والتي تصنع بسبائك القوالب المعدنية. المغنيزيوم معدن يمتلك كثافة واطئة جداً، قابلية إعادة تصنيع جيدة، خفة وزن كاللدائن، ويمتلك مقاومة تأكل جيدة وتشتيت حراري جيد. و لكن الخاصية الأهم بالنسبة للصناعات الإلكترونية هي مقاومة التداخل الكهرومغناطيسي التي تجعله مفضلاً على اللدائن.

I.1.7. الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمعدن المغنيزيوم:

إن معدن المغنيزيوم يحمل خواصاً ميكانيكية غير ملائمة إطلاقاً لاستخدامه في الصناعات الهندسية إلا بإضافته كعنصر سبك للمعادن الأخرى. فعند إضافة المغنيزيوم إلى الألمنيوم فإنه يدخل ضمن سبائك الألمنيوم غير المعالجة حرارياً، وهذه السبائك لا يمكن تصليدها بطريقة التشكيل على البارد، إن هذه السبائك تتميز بمقاومتها الجيدة للتآكل في ماء البحر لذا تكون استخداماتها في صناعة السفن [6]. وأن الألمنيوم والمغنيسيوم يشكلان محلول جامد ذو استخدام واسع في التراكيب والسبائك المسبوكة التي تحتوي على نسبة من 0.5 % إلى أكثر من 5 %، وأن سبائك الألمنيوم مغنيزيوم ذات استخدامات واسعة في تطبيقات اللحام للخرانات الكبيرة التي تحمل البترول، والحليب والحبوب، وكذلك قدور الضغط [7].

يوضح الجدول التالي بعض الخواص الميكانيكية لمعدن المغنيزيوم.

الجدول رقم (05): بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمعدن المغنيزيوم.

البنية البلورية	نظام بلوري سداسي
الكثافة النظرية (C/gm^3)	1.738
معامل المرونة (Gpa)	45
معامل القص (Gpa)	17
درجة الانصهار ($^{\circ}C$)	650
الناقلية الحرارية ($W/k.m$)	156
صلادة برينل (Mpa)	260

I.2.7. إضافة المغنيزيوم للألمنيوم:

درس الباحث Agrawal Lucky وآخرون تأثير إضافة المغنيزيوم على الخواص الميكانيكية لسبيكة 7xxx حيث وجد الباحثون أن بإضافة المغنيزيوم مع وجود الزنك تتحسن خاصية الشد بشكل كبير ومع زيادة نسبة المغنيسيوم تنخفض الاستطالة لسبيكة الألمنيوم كذلك لها تأثير قليل على الصلادة حيث تزداد الصلادة مع زيادة نسب المغنيزيوم ولكن بنسبة قليلة [8].

I.8. سبائك الألمنيوم – مغنيزيوم:

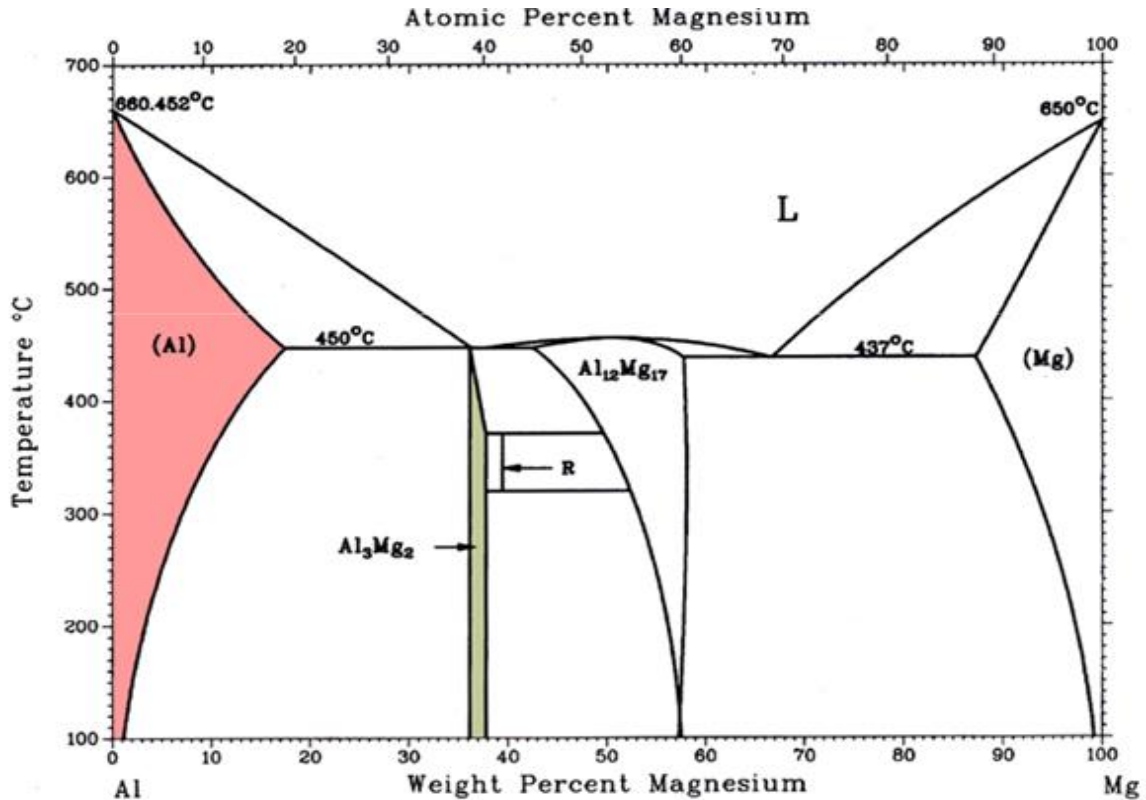
إن الهدف من إضافة بعض المعادن هو تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية مثل قوة الشد الصلادة والصلابة لتحسين بعض خواص السبائك.

سبائك الألومنيوم والمغنيزيوم باستخدام أو بدون استخدام الإضافات الأخرى في مكونات سبائك الصب هذه السبائك أصبحت مفيدة تجارياً وفائدتها تكمن في مقاومتها للصداً وقوتها العالية بدون المعالجة الحرارية وتملك خصائص لحام جيدة. أهم السبائك الصب التجارية تكون من 1 الي 7% مغنيزيوم وسبائك الصب من 4 الي 10% مغنيزيوم.

إن سبيكة ألومنيوم - مغنيزيوم (Al-10% Mg) تستجيب للمعاملة الحرارية مع تحسين الخواص الميكانيكية لقوة الشد ومقاومة الصدمة [9]. إن مدى إضافة المغنيزيوم إلى الألومنيوم في السبائك التجارية يقع ضمن حدود من 0.5 إلى 13% Mg. وأن محتوى المغنيزيوم القليل يعطي قابلية تشكيل جيدة , بينما محتوى المغنيزيوم العالي يعطي متانة وسباكة جيدة و أن هذه المجموعة تحتوي على العديد من السبائك الثنائية مع بعضها مع بعض المركبات المعقدة والتي تبدأ من (Al-4%Mg)، و إن السمة الأساسية لها هي مقاومتها العالية للتآكل، وأن معظمها لا تستجيب للمعالجة الحرارية [10].

9.I. مخطط الأطوار لسبيكة ألومنيوم- مغنيزيوم:

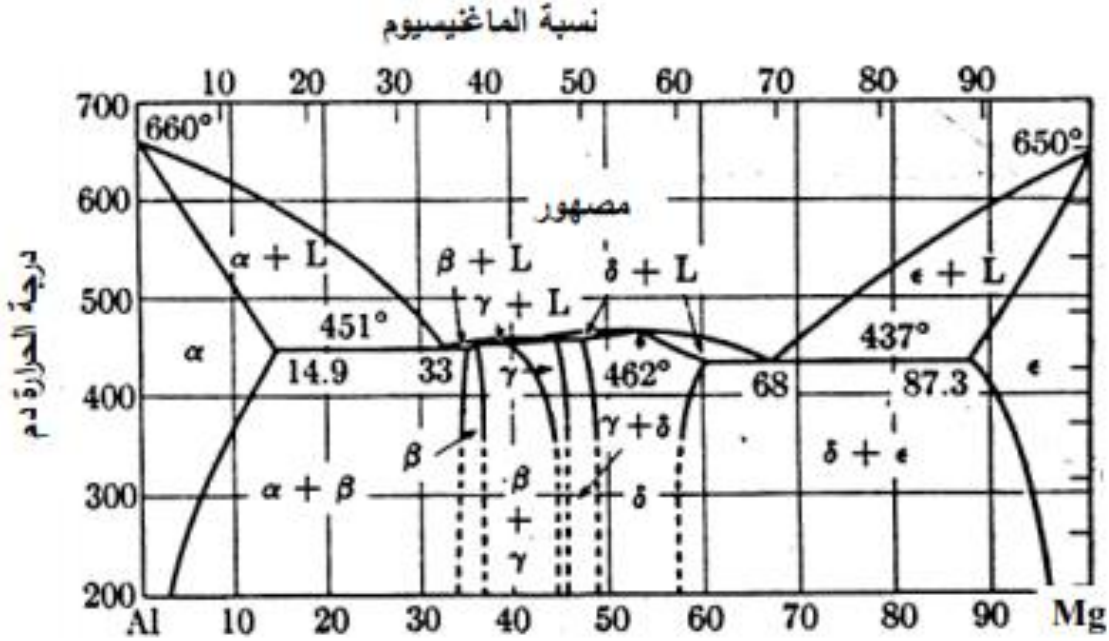
الشكل (4. I) يبين مخطط الأطوار لسبيكة ألومنيوم- مغنيزيوم، حيث يبلغ الحد الأقصى لذوبانية المغنيزيوم في الألومنيوم إلى 17.4% (وزنا) عند 450 درجة مئوية، بينما، يذوب الألومنيوم في المغنيزيوم 12.4% (وزنا) كحد أقصى في درجة حرارة 437 درجة مئوية [SMA – 92]، لكن التفاعل العالي للمغنيزيوم مع الألومنيوم يؤدي إلى تطور هائل من الأطوار المعدنية، فعندما يتجاوز محتوى المغنيزيوم 5.5% (وزنا)، قد تتشكل أطوار بين المعدنيين، مثل الطور (Al_3Mg_2 ، $Al_{12}Mg_{17}$)، على حافة الحدود الحبيبية. [11].



الشكل (4. I): مخطط الأطوار لسبيكة ألومنيوم-مغنيسيوم، (ASM International,1988).

1.9.I. تأثير اضافة المغنيزيوم في سبيكة الألمنيوم (5xxx) وتحسن خواصها:

عنصر الخط الأساسي في هذه السلسلة هو المغنيزيوم، وهو أكثر العناصر فعالية وأكثرها استعمالاً فسبائك الألمنيوم. وتتميز اضافة المغنيزيوم الى الألمنيوم بانها تؤدي الى خفض الكثافة، بينما تعمل في نفس الوقت على رفع المقاومة وتحسين مقاومة التآكل يضاف المغنيزيوم الخفيف الوزن إلى الألمنيوم في هذه السلسلة ليزيد من قوة الشد، وقد تضاف كميات قليلة من معادن أخرى مثل الكروم أو المنغنيز لتحسين خواص سبائك هذه المجموعة، وتعتمد كمية طور β في السبيكة على كمية المغنيزيوم كما هو مبين في الشكل (5.I)، ويساعد هذا الطور كثيراً على زيادة صلابة المعدن.



الشكل (5. I): مخطط اتزان الألمنيوم والمغنيزيوم.

2.9.I. تجمد سبائك الألمنيوم-مغنيزيوم:

تبدي سبائك الألمنيوم المستعملة عملياً سلوك أبسط من سلوك سبائك الفولاذ وتحولاتها المعقدة حيث يشكل الألمنيوم محاليل جامدة تذوب بها عناصر السبيكة بنسب مختلفة استناداً إلى درجات حرارة فتؤخذ سبائك الألمنيوم فوق درجة حرارة 300 درجة مئوية على شكل محاليل جامدة وعند التبريد إلى درجة حرارة الغرفة يظهر الطور (α) الشكل (5. I) كما أن عناصر السبيكة إما تترسب أو تتعزل مرة أخرى وعند تجاوز حدود الذوبانية المغنيزيوم في الألمنيوم، تتكون مجموعة محاليل مثل (Al_3Mg_2) تظهر على أطراف الحدود البلورية وعموماً فإن انخفاض نسبة المغنيزيوم تؤثر سلباً على مقاومة التآكل للمسبوكات والخواص الميكانيكية للسبيكة [12].

الشكل (5. I) يبين مخطط الأطوار لسبيكة ألمنيوم-مغنيزيوم، تعتبر السبيكة الحاوية على حوالي (7%) مغنيزيوم أكثر هذه السبائك مقاومة إلا أنها لا تستعمل إلا تحت ($80^\circ C$) إذ أنها تتعرض فوق هذه الدرجة إلى التآكل بين الحبيبات حيث يترسب المركب (Al_3Mg_2) على شكل حلقة على حدود الحبيبات.

تميل السبائك ذات نسبة المغنيزيوم (7.5%) بشكل خاص إلى التآكل بين الحبيبات والتآكل الجهدي لذلك فقد صرف النظر عن إنتاجها بالإمكان تفادي هذه الظاهرة بإضافة الزنك أو الكروم أو بالترسيب الاصطناعي للمركب (Al_3Mg_2). (الخرجي والسامرائي، 1984).

10.I. آليات التصليد في سبائك الألمنيوم المصلدة بالترسيب:

إن الزيادة في مقاومة سبائك الألمنيوم القابلة للتصلد بالترسيب أعلى من تلك التي يمتلكها المعدن النقي أو سبائك المحلول الجامد، وهو ناتج عن تجاذب الإنخلاعات مع الترسبات الأولية أو الترسبات الانتقالية والتي تتكون خلال المعالجة الحرارية تحت درجة الحرارة الحرجة المساهمة في التقوية التي تقدمها الجسيمات القابلة للقص، تتعلق بالخواص الأصلية للجسيمات والكسر الحجمي للجسيمات ويمكن أن توضح بالمعادلة ذات الشكل الآتي:

$$\tau = C f^m r^p \dots (1.I)$$

τ : اجهاد القص التصميمي الحرج.

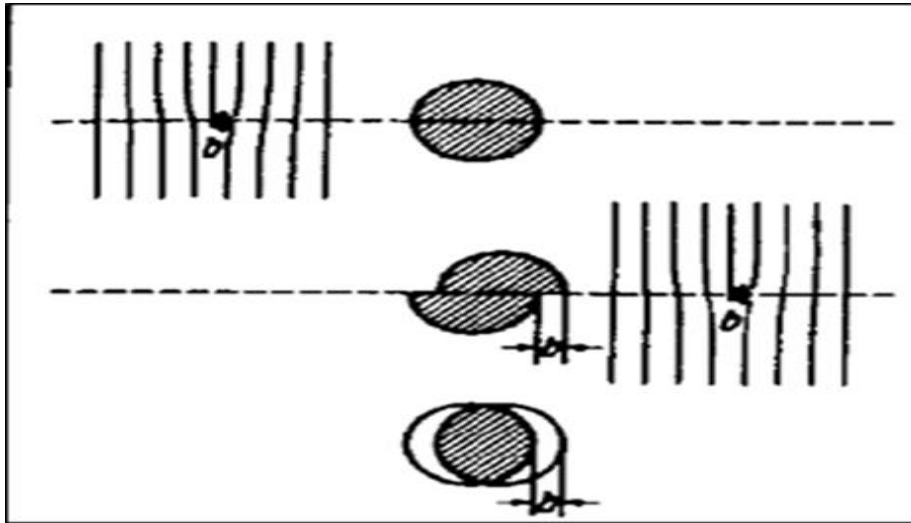
C : ثابت خاص بالسبيكة يعتمد على آلية التقوية المعينة (على سبيل المثال التطابق، السطح الكيمياوي اختلاف التراص أو اصلاص المعامل).

f : الكسر الحجمي.

r : قطر الجسيمة.

1.10.I. التصليد السطحي:

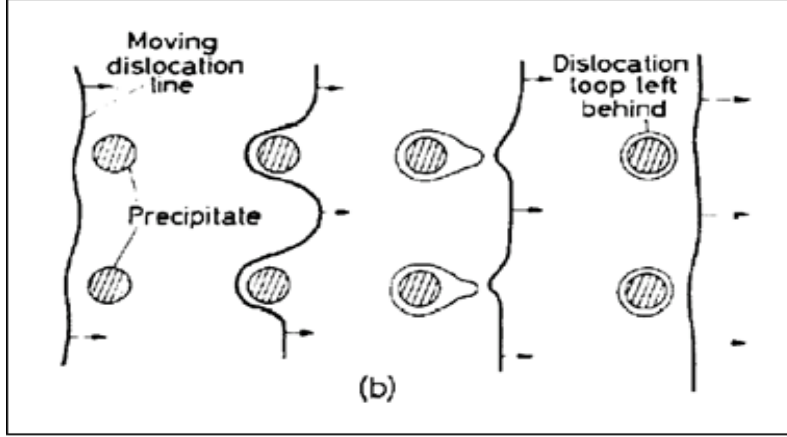
ويرتبط بالطاقة الضرورية لإيجاد سطوح بينية اضافية بين الجسيمة وطور الأساس عندما تقطع بواسطة الانخلاع وكما هو مبين في الشكل (6.I) [13].



الشكل (6.I): رسم تخطيطي يبين جسيمة مقطوعة بواسطة انخلاع أثناء الانزلاق.

2.10.I. التصليد المنتظم:

ويرتبط داخل الجسيمة بالجهد الاضافي المطلوب لإيجاد سطح بيني عازل بين المناطق أو حد لا طوري وكما هو في الشكل (7.I) ذات التركيب المنتظم [14].



الشكل (7.I): رسم تخطيطي يوضح التفاف الانخلاع حول الجسيمة وتكوين حلقة الانخلاع (آلية Orowan).

وبهذا سوف تنخفض المقاومة مع زيادة حجم الجسيمات. أي أنه اعتماداً على الحجم والمسافة ودرجة التطابق فإن الترسيبات إما أن تقص أو يلتف حولها من قبل الانخلاع خلال التشويه لللدن. إذن هناك نوعان من آليات كبح الانخلاع:

الأول هو آلية Orowan: لا يمكن للانخلاع أن يعبر المترسب (التشوه الذي ينشره الخلع غير متوافق مع الهيكل البلوري للراسب)، لذلك "يتخطى" المترسب. عندما يكون التفكك قد اجتاز الترسيبات، تلتقي الحلقتان، الشكل (5.I).

الآلية الثانية هي قص المترسب: التشوه الذي ينشره الانخلاع متوافق مع التركيب البلوري للترسيب وبالتالي فإن التشوه يؤدي إلى تشويه الترسيبات نفسها الشكل (7.I).

11.I. المواد المركبة Composite Materials:

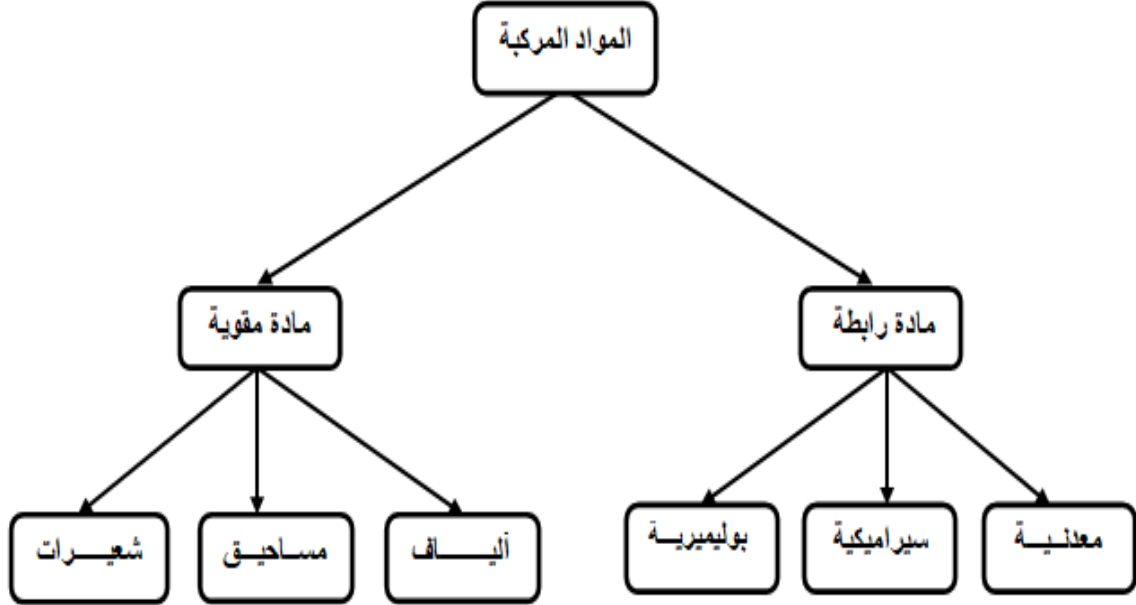
يمكن تعريف المادة المركبة بأنها مزيج من مادتين، أو أكثر، مختلفتين فيزيائياً وكيميائياً تجتمعان عبر سطح بيني لتشكيل مادة تتمتع بخواص مختلفة عن خواص المواد المكونة لها وأداء يتفوق على أداء المكونات منفردة. ينسجم هذا التعريف عموماً مع مستوى الأبعاد المجهرية، لكنه لا يتناقض مع مستوى الأبعاد النانو مترية في المواد المركبة النانو مترية. من جهة أخرى، قد يبدو العديد من المواد الهندسية ذات طبيعة مركبة تشتمل على أطوار متعددة عند الفحص على المستوى المجهرى، لكن ذلك لا يجعلها تصنف تحت مظلة المواد المركبة نظراً لاختلاف سلوكها وتقنية تصنيعها عما هو متعارف عليه في المواد المركبة. تصنيف المواد المركبة وفق نوع المادة الرابطة:

المواد المركبة ذات الرابط المعدني: مثل الألمنيوم المقوى بمساحيق (دقائق) أو ألياف سيراميكية.

المواد المركبة ذات الرابط السيراميكي: مثل الكربون المقوى بألياف الكربون.

المواد المركبة ذات الرابط البوليميري: مثل البولييمرات المقواة بالألياف الزجاجية.

يبين الشكل رقم (7) التصنيف العام للمواد المركبة:



الشكل رقم (8.I): التصنيف العام للمواد المركبة.

لكن التعريف الأكثر دقة الذي يستخدم من قبل الصناعيين وعلماء المواد هو (المادة المركبة هي المادة التي تتكون من تراكيب تنتج من خلال ترابط فيزيائي لمواد موجودة للحصول على مادة جديدة ذات خواص متميزة عند مقارنتها مع خواص مادة أحادية) هذا التعريف يميز المادة المركبة عن غيرها من المواد المتعددة الاطوار التي تنتج ببعض العمليات حيث ينتج طور واحد أو أكثر بالتحويلات الطورية [15].

ازداد الاهتمام بالمواد المركبة بالسنوات الأخيرة كمادة هندسية وذلك لخواصها الفريدة وقد تجسد هذا الاهتمام بشكل بارز في حقل الاستعمالات الإنشائية التي تتطلب:

1. خفة الوزن.

2. مقاومة عالية.

I. 1.11. المواد المركبة ذات الرابط المعدني:

عندما تكون المادة الرابطة عبارة عن معدن نقي أو إحدى خلائطه نحصل على مادة مركبة ذات رابط معدني، ويعتمد أداء هذه المادة على طبيعة المادتين الداخلتين في تركيبها (التركيب الكيميائي، البنية البلورية، شكل المادة المقوية وحجمها) والنسبة الحجمية للمادة المقوية وتقنية الإنتاج [16].

بدأت الجهود المركزة في تطوير المواد المركبة ذات الرابط المعدني في الخمسينات من القرن الماضي. وفي البداية، كانت الأعمال المتعلقة بتلييد مسحوق الألمنيوم لإنتاج مواد مركبة مع مادة مقوية

غير مستمرة، ولكن التطور في إنتاج الألياف عالية المقاومة (ألياف البور أولاً ثم ألياف كربيد السيليكون (SiC) انعكس في تطوير المواد المركبة المقواة بالألياف خلال فترة الستينات وأوائل السبعينات. وقد ظهرت مشاكل متعلقة بعمليات المعالجة مثل تضرر الألياف والتفاعلات غير المرغوبة بين الليف والمادة الرابطة فكانت الجهود موجهة للسيطرة على هذه المشكلات وإنتاج مواد جيدة قابلة للاستعمال.

عادت الجهود في أواخر السبعينات لتنصب على تطوير المواد المركبة مع مادة مقوية غير مستمرة باستخدام شعيرات بلورية (Whiskers) من كربيد السيليكون كمادة تقوية. أدت الكلفة المرتفعة لهذه الشعيرات وصعوبة تجنب تضررها خلال عملية الاندماج إلى إعادة ظهور مفهوم التقوية بالحبيبات وإلى مواد تتمتع بالمقاومة والمتانة نفسها للمواد المنتجة باستخدام الشعيرات لكن مع كلفة أقل وعمليات معالجة أسهل. خلال الثمانينات، تضمنت الجهود الرئيسية تقوية الألمنيوم والمغنيزيوم والحديد والنحاس بالحبيبات أو الشعيرات أو بكليهما للاستخدام في تطبيقات النقل السيارات والتحكم الحراري والتزيت (تخفيف الاحتكاك) والصناعات الفضائية. كما ظهر أيضاً تطوير تقوية التيتانيوم بألياف مستمرة لاستخدامه في تطبيقات درجات الحرارة العالية في الأنظمة الفضائية. دخلت المواد المركبة ذات الرابط المعدني في مجالات وسائط النقل والتحكم الحراري والصناعي وتعليب الأنظمة الالكترونية وتجاوز نموها فيها نظيره في الصناعات الفضائية. وهكذا، تراجع إدخال مواد جديدة في الطائرات الحربية والمدنية وراء إدخال هذه المواد في القطاع الصناعي. وعلى سبيل المثال، وصل سوق المواد المركبة ذات الرابط المعدني في مجال التحكم الحراري وتعليب الأنظمة الالكترونية بمفرده إلى خمسة أضعاف سوق الصناعات الفضائية في عام 1999. وتبدو هذه الفجوة مرشحة للاتساع مع النمو المستمر لتطبيقات المواد المركبة ذات الرابط المعدني في سوق وسائط النقل والتحكم الحراري [5].

2.11.I. تصنيف المواد المركبة ذات الرابط المعدني:

تتيح تقوية المعادن الخفيفة إمكانية استخدامها في الحالات التي يكون فيها تخفيض الوزن هو الأولوية، ويكون الشرط الأساس لتطويرها هو تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية. وتتلخص أهداف تقوية المعادن الخفيفة في:

- زيادة مقاومة الشد العظمى ومقاومة الخضوع (حد الليونة) في درجات الحرارة العادية والمرتفعة.
- زيادة مقاومة الزحف هو الاستطالة الدائمة التي تحدث في المادة نتيجة التحميل بحمل ثابت .
- لفترة طويلة في درجات الحرارة المرتفعة للخلائط التقليدية.
- زيادة مقاومة التعب وخاصة في درجات الحرارة المرتفعة.
- تحسين مقاومة الصدمات الحرارية.
- تحسين مقاومة التآكل.
- زيادة معامل يونغ.

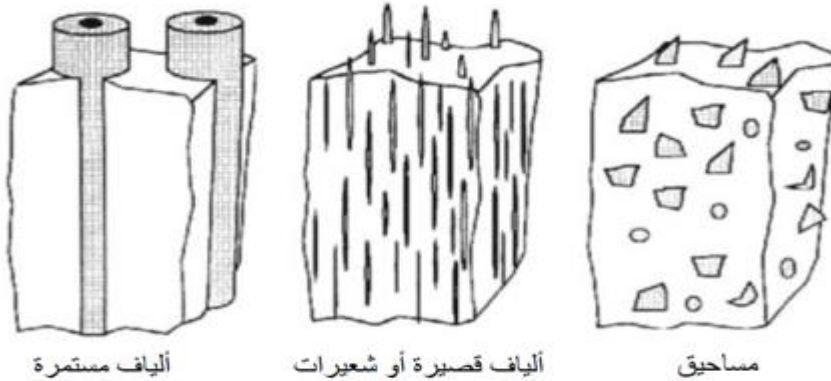
• تخفيض التمدد الحراري.

باختصار، يمكن أن ينتج تحسن في الخواص النوعية (الخاصة /الوزن) مما يؤدي إلى توسيع مجالات استخدام هذه المواد واستبدال المواد الشائعة. وفي المواد الوظيفية، يجب أن تتمتع المادة المركبة، إضافة إلى أدائها الجديد، بالخاصة الوظيفية المحددة المتوافرة في المادة المراد تقويتها، وعلى سبيل المثال:

- زيادة مقاومة المواد الناقلة الميكانيكية مع المحافظة على ناقليتها المرتفعة.
- تحسين سلوك الاهتراء (الاهتراء: في علم المواد هو تآكل سطح المادة الصلبة نتيجة تأثير وفعل سطح آخر) (في الأجزاء المنزلقة).
- إنتاج مواد مغناطيسية بمواصفات خاصة.

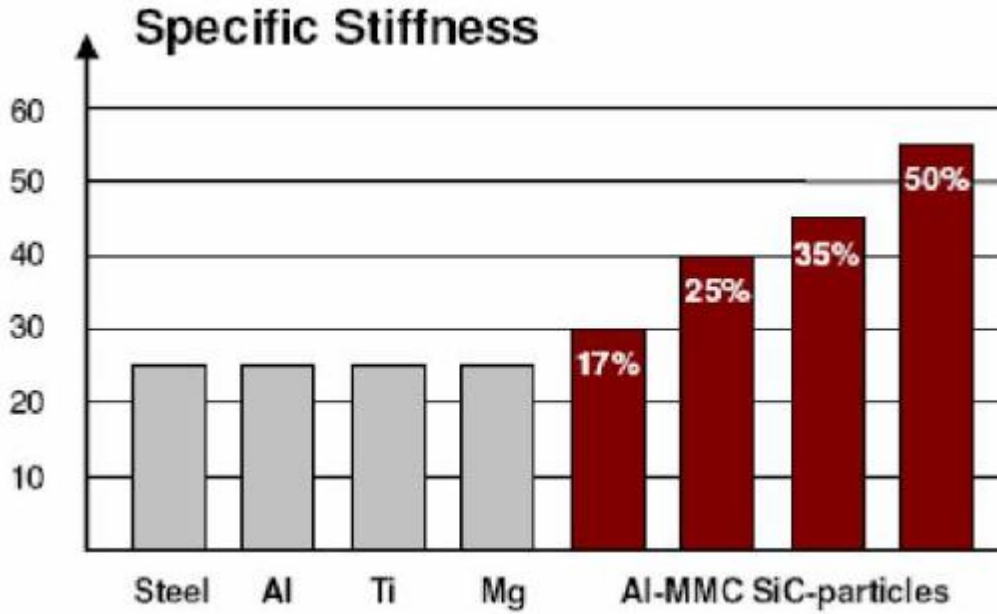
وبشكل عام، يمكن القول إن المادة المركبة ذات الرابط المعدني تستفيد في الوقت نفسه من خواص المادة الرابطة (خفة الوزن، الناقلية الحرارية الجيدة، المطاوعة (قابلية المادة للتشكل بالطرق: هي خاصية فيزيائية للمادة، وتطلق على المعادن وأشباه المعادن وبصفة عامة هي قدرتها على أن تسطح إلى رقائق بدون أن تتشقق نتيجة عملية الطرق)) وخواص المادة المقوية والتي غالبا ما تكون سيراميكية (المتانة العالية، مقاومة الاحتكاك العالية، معامل التمدد الحراري المنخفض). وهكذا، إذا ما قورنت بالمادة المعدنية الأساسية، تكون المادة المركبة متميزة بقيم عالية لكل من المقاومة الميكانيكية والمتانة ومقاومة الاحتكاك ومقاومة التعب والزحف ومقاومة التآكل في الأوساط المخدوشة. وبسبب وجود المكون السيراميكي في هذه المواد، تنخفض المطاوعة ومقاومة الكسر أكثر من عاملي التمدد الحراري والناقلية الحرارية [16]. ووفقا لشكل المادة المقوية المستعملة، تصنف المواد المركبة ذات الرابط المعدني، إلى مجموعتين أساسيتين:

- مادة التقوية مستمرة: مواد مركبة مقواه بواسطة ألياف أو أسلاك مستمرة.
- مادة التقوية غير مستمرة: مواد مركبة مقواه بواسطة الألياف القصيرة أو المساحيق أو الشعيرات البلورية. يبين الشكل (9.I) تصنيف المواد المركبة وفقا لشكل مادة التقوية.



الشكل (9.I): تصنيف المواد المركبة وفقا لشكل مادة التقوية [17].

يتعلق اختيار المادة المقوية بنوع التطبيق الذي تستخدم فيه المادة المركبة والتوافق والتلائم بين المادة المقوية والمادة الرابطة. وكما ذكرنا سابقاً، تستخدم عادة المواد المقوية السيراميكية من أكاسيد وكربيدات أي المواد ذات المقاومة والمتانة العاليتين سواء في درجات الحرارة العادية أو المرتفعة. ومن أكثر المواد المقوية شيوعاً: كربيد السيليكون SiC وأكسيد الألمنيوم (الألومينا) Al_2O_3 وبوريد التيتانيوم TiB_2 وألياف البور والكربون. وتعد المساحيق أكثر أشكال المواد المقوية استخداماً من الناحية الاقتصادية. يبين الشكل (10.I) معامل يونغ النوعي (معامل يونغ النوعي E/ρ الكثافة: ρ) لبعض المواد التقليدية مقارنة بالمواد المركبة ذات الرابط المعدني [17].



الشكل (10.I): معامل يونغ النوعي (E/ρ) لمواد تقليدية بمواد مركبة ذات رابط معدني [17].

خلال زمن طويل، كانت المادة الرابطة تعد وسيلة لجمع الألياف أو أي نوع من أنواع المقوية مع بعضها، ومع مرور الوقت وانتشار أنواع مختلفة من المواد المركبة، أصبح من الواضح أن بنية المادة الرابطة، وبالتالي خواصها الميكانيكية تؤثر بشدة في خواص المادة المركبة وأدائها. ومن أكثر المواد المعدنية المستخدمة كمادة رابطة، نذكر الألمنيوم والمغنيزيوم والتيتانيوم والنحاس. يمكن تلخيص أبرز جمل تراكيب المواد المركبة وفقاً للرابط المعدني على النحو التالي:

الألمنيوم:

- ألياف مستمرة: البور، كربيد السيليكون، أكسيد الألومين، الكربون.
- ألياف قصيرة: ألومينا، سيليكون.
- شعيرات بلورية: كربيد السيليكون.
- مساحيق: كربيد السيليكون، كربيد البور، أكسيد الألومين.

المغنيزيوم:

- ألياف مستمرة: الألومينا، الغرافيت.
 - شعيرات بلورية: كربيد السيليكون.
 - مساحيق: كربيد السيليكون، كربيد البورون، أكسيد الألومين.
- يتعلق اختيار المادتين، المقوية والمادة الأساس، بالسطح البيني نهما. كتشكل روابط كيميائية بين المادتين (الألمنيوم وأكسيد الألمنيوم).

3.11.I. السلبات الممكنة في الإنتاج والاستخدام للمواد المركبة:

- أنظمة إنتاج مرتفعة الكلفة.
- تعقيد عمليات التصنيع والإنتاج (خاصة في المواد المركبة مع ألياف مستمرة) [17].

12.I. تقنيات إنتاج المواد المركبة :

تعد التقنيات المستخدمة في إنتاج المواد المركبة ذات الرابط المعدني حديثة نسبيا، حيث أن العديد من عمليات التصنيع التقليدية غالبا ما تم تعديلها منفردة من قبل المصنعين لتلائم الحاجة. إذ يراعى في تصنيفات الطرق التقنية في إنتاج المواد المركبة ذات الرابط المعدني الحالة الفيزيائية للمكونات اثناء دورة الإنتاج في المعالجات الأساسية وتقسم إلى:

- عمليات الطور الصلب.
- عمليات الطور السائل.
- عمليات الطور الغازي.
- عمليات ترسيب رذاذ/بلازما.
- سوف نهتم بتقنية: عمليات الطور السائل.

1.12.I. تقنيات وعمليات الطور السائل:

في هذه التقنية يفضل أن تكون المادة الأساس في الحالة السائلة لتسهيل عملية دمج المواد المقوية وتغطيتها وتوزيعها ضمن الرابط المعدني الحاضن. وهذا ما يجعل السباكة من التقنيات الأكثر استعمالا والأقل كلفة في تصنيع المواد المركبة ذات الرابط المعدني، إذ تؤمن هذه التقنية دخول وتوزيع المادة المقوية السيراميكية ضمن المصهور المعدني.

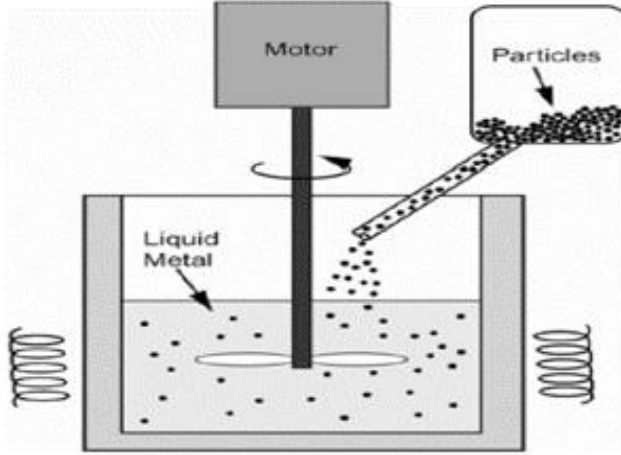
من بين أنواع تقنيات وعمليات الطور السائل نذكر:

- تقنية التشكيل على الساخن.
- ارتشاح السائل.
- تشكيل بواسطة ضغط السائل.

- الصب تحت الضغط.
- الصب مع التحريك (السباكة بالمزج).

13.I. طريقة السباكة مع التحريك (السباكة بالمزج) (Stir Casting):

وهي من الطرق الرئيسية في إنتاج المواد المركبة حيث تندمج المادة المقوية مع المصهور بواسطة التحريك. يبين الشكل (11.I) مبدا هذه الطريقة.



الشكل (11.I): عملية السباكة مع التحريك [17].

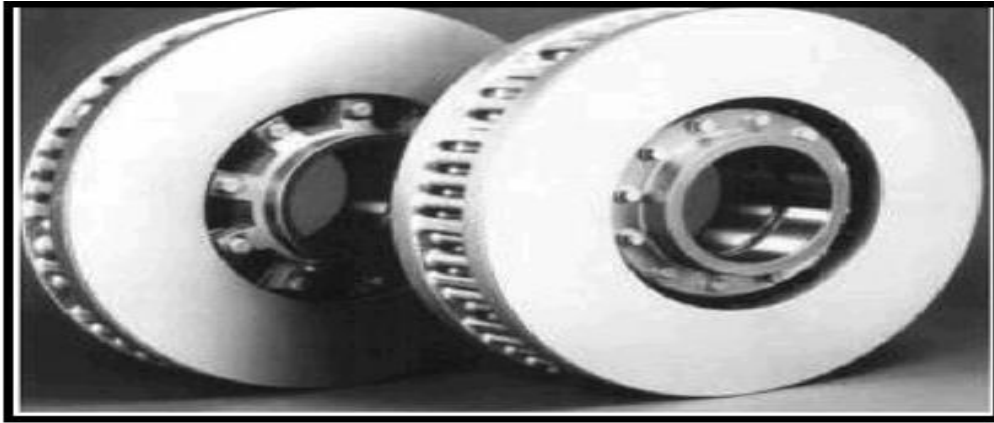
يطلق على طريقة متفرعة عن السباكة مع التحريك بـ "الصب الهجين"، حيث يكون المعدن شبه صلب وتندمج المادة المقوية مع المعدن المتصلب جزئية والمعرض للتحريك بشدة. تتم ميكانيكية ادخال الطور السيراميكي غير المستمر ضمن الطور قبل اليوتكتيكي في خليط المادة الرابطة عند درجة حرارة بين التصلب والانصهار. تسمح هذه الطريقة بالحصول على منتجات شبه نهائية وتخفيض مقاومة التشكيل بشكل ملحوظ نظرا لحالة المادة شبه المنصهرة. يتفرع عن هذه التقنية طرائق متعددة مثل الارتشاح بالطرد المركزي والارتشاح بالأموح فوق الصوتية بالإضافة إلى الوسائل المغناطيسية والكهرومغناطيسية بهدف الوصول على مادة مركبة بأفضل توزيع.

14.I. تطبيقات المواد المركبة:

مجال الفضاء وصناعة الطيران:

كان الاهتمام منصبا في البداية أوائل السبعينات على زيادة مقاومة الزحف في الشفرات الدوارة للمحركات النفاثة عبر تقوية خلأط الألمنيوم بوسطة ألياف مختلفة مثل ألياف البور، لكن نتائج هذه المحاولات لم تكن بمستوى الطموح المنشود. تحول الاهتمام حديثا نحو الأجزاء غير المتناظرة محركات

الطائرات، والتي يصنع بعضها من مواد مركبة ذات ألياف وحيدة الاتجاه عالية الأداء باستعمال معدن التيتانيوم في كمادة رابطة. ظهرت أيضاً تطبيقات مهمة في قطاع المروحيات وسائل النقل والمواصلات ازدادت التطبيقات أكثر وأكثر في حقل السيارات نتيجة تخفيض كلفة الإنتاج مع التوجه نحو تخفيض الوزن في المواد المركبة ذات الرابط المعدني. كما أن الخواص المرتفعة لهذه المواد في درجات حرارة العمل العالية يجعلها بديلاً مهمة عن المواد التقليدية. وتظهر المواد المركبة ذات الرابط المعدني بشكل مهم ومتزايد في المحركات وخاصة كتل المحرك والمكابس ومحاور القيادة وأقراص المكابح (بما فيها مكابح القطارات). وعلى سبيل المثال، تغطي تطبيقات المواد المركبة معظم الأقراص المصنوعة من الألمنيوم مع حبيبات (SiC). من التطبيقات العديدة والمختلفة اختير مثال موضح بالشكل (12.I)، وهو الجزء الدوار في كابح القطار الألماني المصنوع من مادة (المنيوم – سليسيوم – 7% مغنيزيوم) والمقوى بدقائق كربيد السيليكون، مقارنة مع القطع الاعتيادية المصنوعة من حديد الزهر ذات الوزن (120 كغ / قطعة) فإن وزن مقداره (76 كغ / قطعة) للجزء الدوار المصنوع من المادة المركبة يعتبر تميزاً في مجال تقليل الوزن.



الشكل (12.I): الجزء الدوار في موقف القطار الألماني ICE1 و ICE2.

الفصل الثاني: الدراسة التجريبية

تناولنا في هذا الفصل مراحل تحضير المادة المركبة والطرق التجريبية المتبعة كما تمت الإشارة إلى بعض طرق التحليل والقياس.

1.III. طريقة تحضير المادة المركبة:

قسمت المواد المستخدمة في تحضير المواد المركبة إلى قسمين هما المادة الأساس ومواد التقوية.

2.1.III. تحضير المادة الأساس:

اختيرت سبيكة (Al -Mg) والمسماة (5000) حسب جمعية الألمنيوم الأمريكية كمادة أساس.

3.1.III. تحضير مادة التقوية:

أما مادة التقوية فتضمنت أكسيد الألمنيوم الذي هو مركب كيميائي له Al_2O_3 ، ويطلق عليه أيضاً اسم ألومينا، حيث استعملنا النمط α . و هو عبارة عن مسحوق أبيض تصل درجة نقاوته إلى 99,99% و ذو كتلة حجمية تقدر بـ: $4.05 \text{ cm}^3/\text{g}$ وهو غير قابل للذوبان في الماء ودرجة انصهاره تقدر بـ: 2054°C .

أما عملية تحضير المادة المركبة فتتمت على مرحلتين هما:

2.III. المرحلة الأولى:

تم تحضير السبيكة الأساس بالسباكة العادية بكتلة معلومة. نفذت عملية الصهر عند درجة حرارة 850°C مئوية بواسطة فرن كهربائي ذي فوهة عليا ببودقة مصنوعة من الكربون، اذ تم صهر قطع من عنصر الألمنيوم وتمت إضافة قطع صغيرة (Chips) من المغنيزيوم للمنصهر، بعد تغليفها برقائق من الألمنيوم لمنع حدوث التأكسد ولضمان دخولها المنصهر ولغرض مجانسة المنصهر يتم تدويره باستمرار بواسطة قضيب كرافيتي. بعدها تمت عملية إخراج البوتقة من الفرن التي فيها المنصهر لتبرد في درجة حرارة الغرفة.

3.III. المرحلة الثانية:

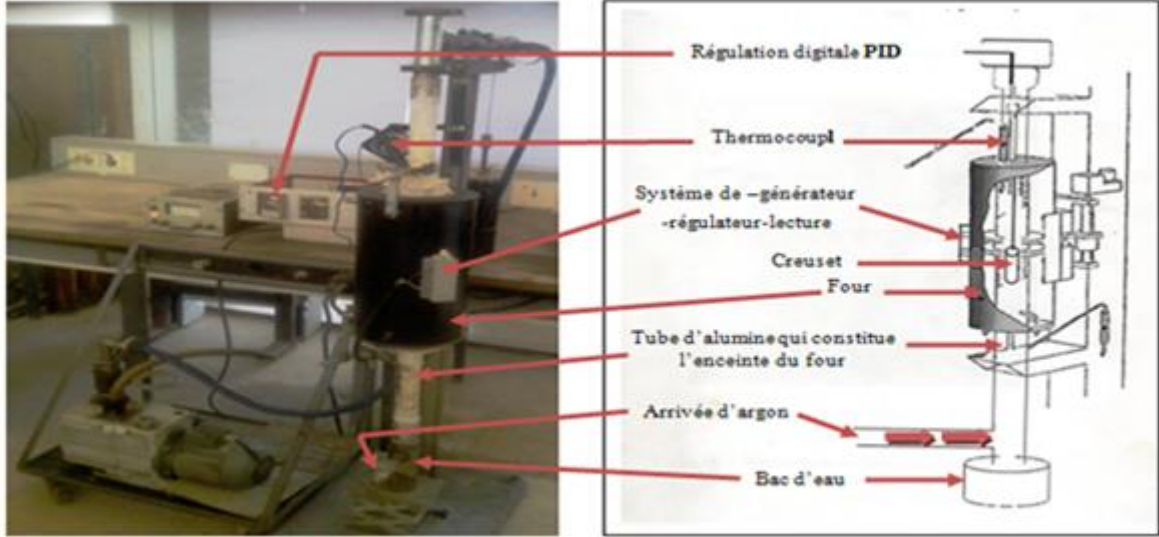
أما المادة المركبة فحضرت بطريقة السباكة بالمزج (Stir Casting) للحصول على تقنية الدوامية، إذ قطعت السبيكة الأساس (5000) إلى قطع صغيرة لغرض وزنها وحساب الكسر الوزني لمادة التقوية لكل كمية من أكسيد الألمنيوم بنسبة (0%, 3%, 5%, 7%, 10%) وزناً، ثم وضعت القطعة الموزونة في البودقة داخل الفرن الكهربائي المثبتة حرارته عند 850°C مئوية لضمان انصهار السبيكة التام، ثم أدخل خلاط كهربائي في البودقة الموجودة داخل الفرن والذي يدور بسرعة (700 دورة/الدقيقة) الشكل (II. 1) للحصول على دوامة تجانس المنصهر ولمدة تتراوح بين (3 إلى 5 دقائق) بعدها تمت عملية إخراج البوتقة من الفرن التي فيها المنصهر لتبرد في درجة حرارة الغرفة.



الشكل (1.II): الجهاز التجريبي المستعمل في تحضير العينات.

4.II. المعالجة الحرارية (التليد):

يتم تقطيع العينات إلى قطع صغيرة، المصقولة بدقة، وإعادة تليدها في درجة حرارة 320 درجة مئوية، في فرن كهربائي من نوع (ADAMEL) تصل درجة حرارته القصوى إلى 1100°C الشكل (2.II)، ثم تبرد بالماء (يتم ضمان التبريد بمجرد السقوط الحر للعينة في صينية مملوءة بالماء الموجود أسفل الفرن). قمنا بالمعالجة الحرارية للعينات السابقة على شكل مسحوق عند درجة حرارة 250 درجة مئوية، في فرن كهربائي ذو برنامج آلي يسمح بالتحكم في درجات الحرارة وأزمنتها وفقاً لسرعات محددة وفي عمليتنا هذه تم استعمال سرعة 10°C/min حتى الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة والبقاء فيها لمدة 24 ساعة، ليتم بعد ذلك تبريد العينات بنفس شروط التسخين ونزعها عند درجة حرارة الغرفة.



الفرن الكهربائي.

التمثيل التخطيطي للفرن الكهربائي.

الشكل (2.II): الجهاز التجريبي للمعالجة الحرارية

5.II. صقل العينات:

بعد انتهائنا من عملية تلييد العينات قمنا بصقلها بواسطة أوراق الصقل من نوع كربيد السيلكون (Sic) ذات الرقم 180، 400، 600، 800، 1000، 1200، 4000، وفي عملية الصقل تم استعمال سرعة دوران ثابتة لجهاز الصقل وضغط مناسب على العينة و كنا نتأكد من عدم وجود الخدوش على السطح المصقول للعينة بالمجهر الضوئي والشكل (3.II). يوضح جهاز الصقل.



الشكل (3.II): جهاز الصقل الميكانيكي.

6.II. المجهر الضوئي:

يعد الفحص المجهرى ضروريا لفحص نوع و مورفولوجيا الأطوار التي تؤثر في الخواص الفيزيائية. ولإجراء عملية الفحص المجهرى على العينات يستخدم المجهر الضوئي من طراز IM3 Ziess الشكل (4.II) حيث تتم المعالجة الكيميائية للعينات لإظهار البنية المجهرية و هذا بواسطة كاشف كيلر المكون من:

90 مل من الماء المقطر، 2.5 مل من حمض النيتريك HNO_3 65٪، 1.5 مل من حمض الهيدروكلوريك HCl 32٪، 1 مل من حمض الهيدروفلوريك HF 40٪.



الشكل (4.II): المجهر الضوئي.

7.II. قياس الصلادة المجهرية:

تعرف القساوة بأنها مقياس لمدى مقاومة المادة للتشوه اللدن الموضعي (كالخدش والحفر الخفيف). وتعطى القساوة، بالإضافة إلى الكثافة، مؤشرا هامة عن السلوك الميكانيكي للمنتجات المعالجة حراريا. كما أن قساوة هذه المنتجات تتأثر بشدة بكثافتها. لمعرفة الصلادة المجهرية للعينات الملبدة و الغير ملبدة استعملنا طريقة فيكرز باستعمال ZWICK/Roell Indentée الجهاز كما يوضح الشكل (6.II) حيث قمنا بتطبيق كتلة قدرها 100g لمدة 15 ثانية 15 ثا. وبعدها تمت قراءة قيمة الصلادة المجهرية مباشرة من جهاز الحاسوب بواسطة برنامج خاص يعمل على حساب قيمة الصلادة المجهرية من العلاقة:

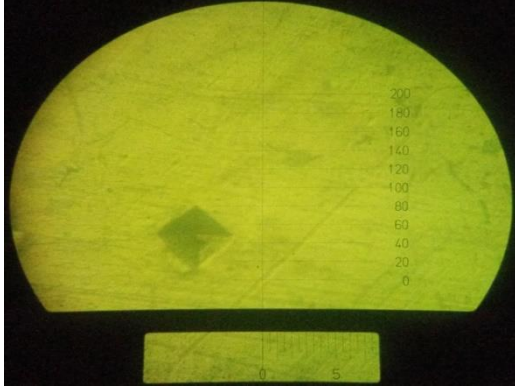
$$H_v(\text{Kg/mm}^2) = 1,8544(P/d^2)$$

حيث :

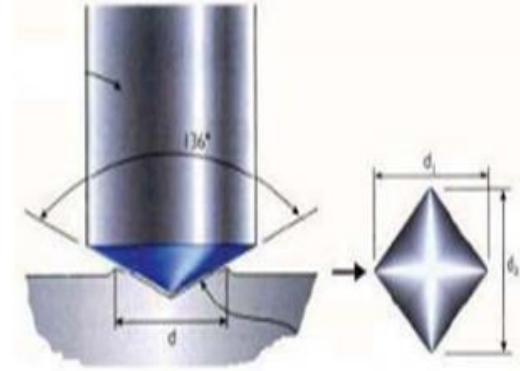
P : هي الحمولة المطبقة وتقاس بالغرام ثقلي.

d: قطر أثر فيكرز و وحدة قياسه بالميكرو متر، حيث: $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ الشكل (6.II).

والجهاز الموصوف سابقا يعطي لنا قيمة الصلادة المجهرية مباشرة مع الصورة الفوتوغرافية لأثر فيكرز الشكل (5.II).



الشكل (6.II): التمثيل التخطيطي لأثر فيكرز للعينة ألمنيوم - 7% مغنيسيوم (وزنا).



الشكل (5.II): أثر قطري d_1 و d_2 .

8.II. جهاز حيود الأشعة السينية (DRX):

لتحديد الاطوار المتشكلة في العينات قمنا بتحليلها بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية من نوع xpert pro panalytical اثناء هذا التحليل تم استعمال الاشعة السينية لمهبط النحاس $Cu(K\alpha)$ حيث تقذف العينات بحزمة من الأشعة السينية احادية اللون، تنعرج عند اصطدامها بالمستويات البلورية الشكل (7.II) وفق علاقة براغ:

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin\theta$$

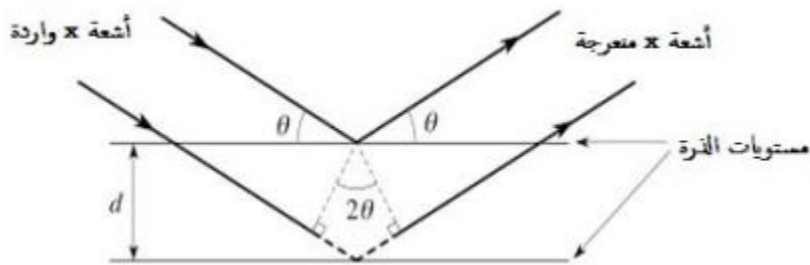
حيث:

n : رتبة الانعراج

θ : زاوية الانعراج

λ : طول موجة الاشعة السينية

d : البعد بين المستويات البلورية



الشكل (7.II): مخطط حيود الأشعة السينية.

وبواسطة برنامج خاص يحتوي على جميع بطاقات ASTM للمركبات، نتعرف على جميع الأطوار المتشكلة

9.II. طريقة (Rietveld):

تم تعديل حيود X بواسطة طريقة Rietveld بواسطة برنامج MAUD الذي يسمح بتوصيف المادة [18] تتمثل الطريقة بالمحاكاة انطلاقاً من نموذج بلوري وتعديل المتغيرات الهيكلية والبنية المجهرية للحصول على أنماط حيود للمحاكاة والمقاسة وتكون جد متقاربة, هذه الطريقة تجعلنا نعرف بدقة شكل القمم ومساهماتها المختلفة مثل: العرض, التموضع, والشدة [19].

لمحاكاة شكل كل ذروة للانعراج من الحيود يمكن ادخال نموذج رياضي من نوع gaussienne و Lorentzienne او pseudo Voigt وتحديد عرضه عند منتصف الارتفاع H هذا العرض متعلق بتموضع القمة 2θ وتبعاً لهذا يمكن ربط مجاميع العرض عند القمم الظاهرة لنفس الطور بهذا القانون والبحث على هذه الوسائط. قيمة العرض عند منتصف الارتفاع يمكن تحديدها بمجاميع لوسيط $\tan\theta$ بدرجة 2θ يدعى هذا بمجموع Caglioti.

$$H^2 = U(\tan \theta)^2 + V \tan \theta + W$$

المعاملات U و V و W تحدد من الجهاز والبنية المجهرية للعينة.

الخطوة الأولى للمحاكاة (Rietveld) تشمل على تعيين شكل دالة انعراج الأشعة السينية توجد دالتين أساسيتين تسمح لنا بمحاكاة شكل قيمة الانعراج $G(2\theta_i)$ (Gaussienne) و $L(2\theta_H)$ (Lorentzienne) وتعرف كما يلي:

$$G(2\theta_i) = \frac{2}{H} \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \exp\left(\frac{-4 \ln 2}{H^2} (2\theta_i - 2\theta_H)^2\right)$$

$$L(2\theta_i) = \frac{2}{\pi H} \left(1 + \frac{4}{H^2} (2\theta_i - 2\theta_H)^2\right)^{-1}$$

حيث الزاوية 2θ المشاهدة و 2θ الزاوية النظرية الخاصة بالموضع عند القمة هذه الدالتين تستعمل بشكل مجموع وتسمح بالمحاكاة الصحيحة لشكل انعراج الأشعة السينية لهذا دالة Voigt تنتج من تداخل Gaussienne و Lorentzienne بحيث يمكن استعمالها وهذه الدالة يمكن الشكل التالي:

$$P_v = \eta L(2\theta_i) + (1-\eta) G(2\theta_i)$$

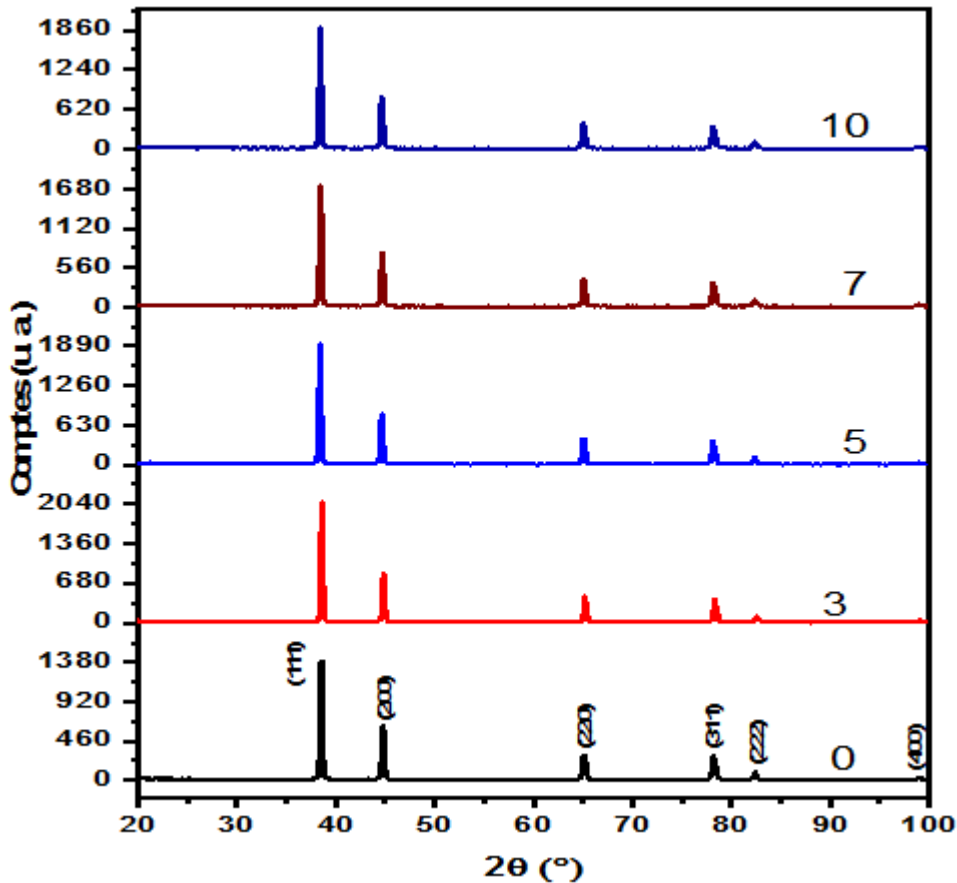
ثابت η محصور بين 0 و 1 وهو جزء الخاص بدالة Lorentzienne خوارزمية التقارب بين الوسائط والثوابت من أجل تدقيق (Coffinement) البنيوي بطريقة Rietveld هي مخصصة من أجل انقاص انحراف بين المنحنى الذي نحكي به والمنحنى التجريبي.

الفصل الثالث: النتائج التجريبية و مناقشتها

نتناول في هذا الفصل أهم النتائج المتحصل عليها للمادة المركبة $\text{Al-7\%Mg/x\%Al}_2\text{O}_3$ نسب وزنية حيث $x = 0, 3, 5, 7, 10 \%$ والمحضرة بطريقة السباكة بالتحريك والمزج (Stir Casting).

1.III. انعراج الأشعة السينية:

يمثل الشكل (1.III) انعراج الأشعة السينية للمادة المركبة (Al-7%Mg/x%Al₂O₃) (نسب وزنية) حيث (x= 0, 3, 5, 7, 10%)، نلاحظ من خلال المنحنيات وجود قمم خاصة بطور الألمنيوم فقط المتبلور على شكل (CFC)، حيث أن الاتجاه المفضل هو (111) عند جميع النسب المضافة من الألومين، حسب البطاقة رقم (01-089-2837) المعالجة ضمن برنامج High Score plus. ونلاحظ أن أطوار المغنيزيوم والألومين لم تظهر في المرحلة الأولى ويمكن تفسير عدم ظهور المغنيزيوم من خلال مخطط التوازن الترموديناميكي الشكل (1.II) الذي يظهر على أن المغنيزيوم له ذوبانية حيث تصل إلى 18.5 % (وزنا) بينما في حالتنا استعملنا نسبة 7% فقط من المغنيزيوم. وبالتالي سوف يدخل هذا الأخير في طور الألمنيوم ليشكل لنا محلول صلب مكون من طور ألومنيوم-مغنيزيوم α -Al(Mg) [20]. أما أطوار الألومين، فلم تظهر ربما نتيجة إلى أن النسب المضافة قليلة، أقل من 10% (وزنا) وربما تتوزع بشكل عشوائي كأجزاء صغيرة داخل المصفوفة أو في الحدود الحبيبية.

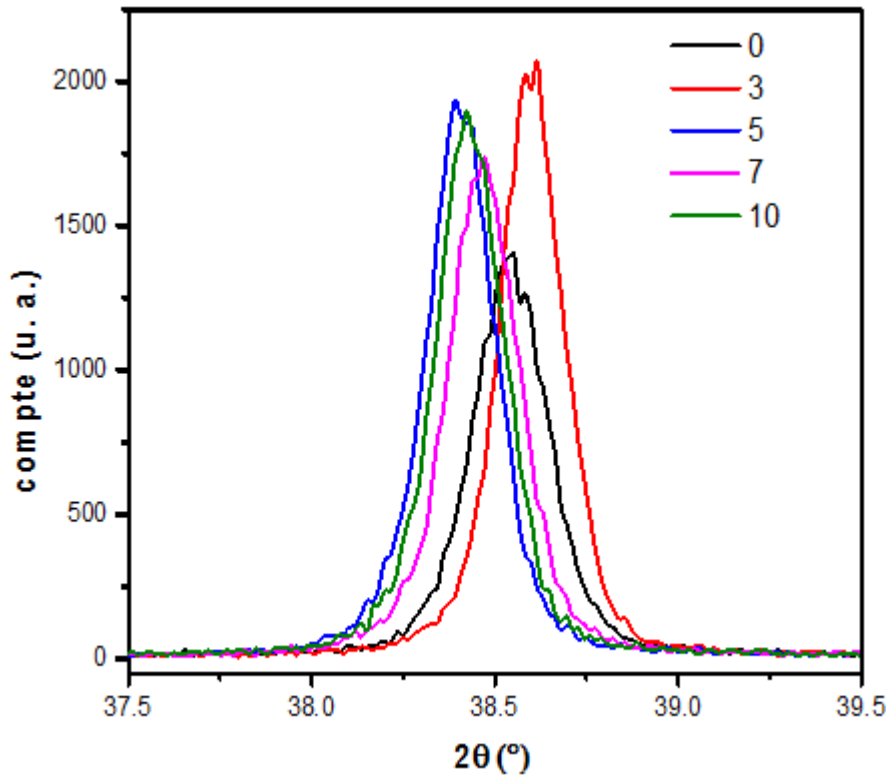


الشكل (1.III): انعراج الأشعة السينية للمادة المركبة (Al-7%Mg/x%Al₂O₃)

(نسب وزنية) حيث (x= 0, 3, 5, 7, 10%).

ويظهر تأثير المغنيزيوم والألومين من خلال انحراف قمم الانعراج عند زيادة نسب الألومين كما هو موضح في الشكل (2.III)، فقد يكون انزياح القمم إما إلى زوايا 2θ الصغيرة أو الكبيرة ويرافق هذا تغير في ثابت الشبكة البلورية الشكل (3.III) كما نلاحظ زيادة أو نقصان في قيم الشدات، وهذا ربما ما يفسر أن ذرات الألمنيوم الموجودة في الألومين تدخل في طور الألمنيوم-مغنيزيوم. كما نلاحظ زيادة في العرض عند منتصف الارتفاع بزيادة نسب الألومين، هذه الملاحظات متوافقة مع [21] Cvijovic. يمكن أن يرتبط توسع الذروة لنمط الحيود بالحجم البلوري للمركبات باستخدام معادلة شيرير [22].

$$l = \frac{k \cdot \lambda}{B \cdot \cos \theta}$$

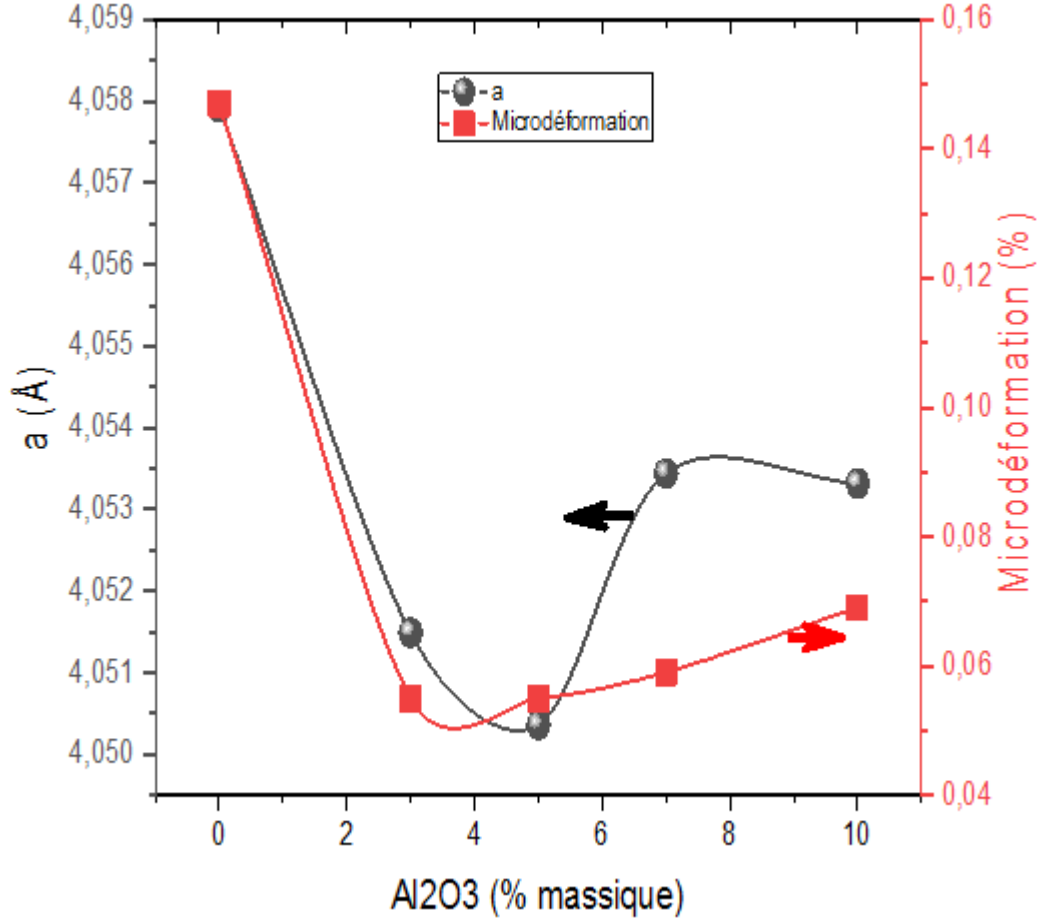


الشكل (2.III) تغير ذروة انعراج الأشعة السينية للمستوى البلوري (111) بدلالة مختلف النسب للألومين من (0 إلى 10 % نسب وزنية).

2.III. تغيرات ثابت الشبكة البلورية والتشوه المجهرى:

يوضح الشكل (3.III) تغيرات ثابت الشبكة البلورية والتشوه المجهرى داخل الشبكة البلورية لطور ألومنيوم بدلالة النسب الوزنية للألومين، حيث يظهر الشكل نقصان كل من ثابت الشبكة البلورية والتشوه المجهرى من 0% إلى 5%، ربما يرجع هذا إلى أن الألمنيوم المستعمل الذي درجة نقاوته 99% (وجود شوائب أخرى تزيد من نسبة التشوه المجهرى) ونتيجة تحضير العينات عند درجات حرارة عالية فإن بعض من هذه الذرات سوف تهاجر إلى الحدود الحبيبية وتتشكل لنا مادة أقل تشوه لتستقر تقريبا عند مراحل أخرى أي عند نسب أكبر من مادة Al_2O_3 . وعليه فإن زيادة الألومين يؤدي إلى زيادة الألمنيوم

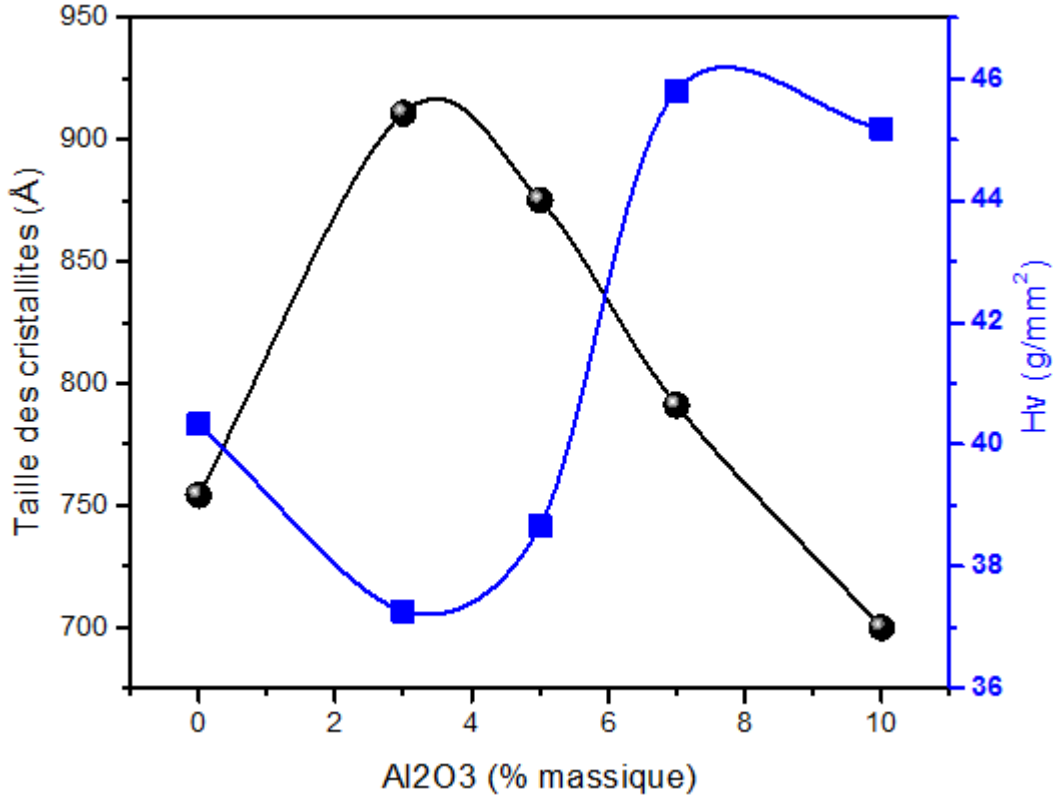
الأصلي وبالتالي ينقص التشوه المجهرى ويتناقص معه ثابت الشبكة البلورية. وبزيادة الألومين فوق 5% (وزنا)، نلاحظ زيادة طفيفة في التشوه المجهرى الذي يرافقه زيادة أيضا طفيفة في قيمة ثابت الشبكة البلورية.



الشكل (3.III): تغيرات ثابت الشبكة البلورية والتشوه المجهرى بدلالة النسب الوزنية للمادة الألومين المضافة.

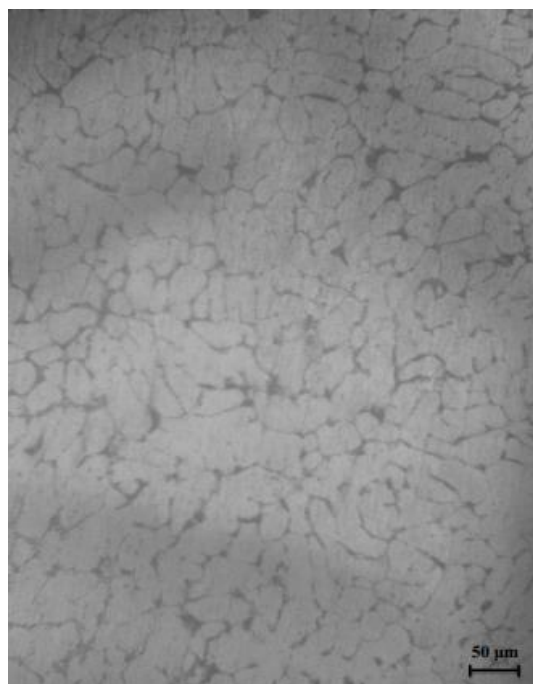
3. III. تغيرات الحجم البلورى مع الصلادة بدلالة النسب الكتلية للألومين:

يمثل الشكل (5.III) تغيرات الحجم البلورى والصلادة بدلالة النسب وزنية للألومين، نلاحظ من الوهلة الأولى، أن هناك علاقة عكسية تربط الحجم البلورى مع الصلادة، حيث عند النسب (0% - 3%) (وزنا). نلاحظ زيادة الحجم البلورى يرافقه تناقص في قيمة الصلادة، ثم نلاحظ نقصان في الحجم البلورى بشكل خطى في حين أن قيمة الصلادة تزداد ثم تثبت تقريبا. فربما دخول ألومنيوم الناتج عن الألومنيوم في البداية يزيد من الحجم البلورى وعليه ينقص من الصلادة لنصل لمرحلة التشبع وبزيادة الألومين فإنها تتشكل على شكل أجرام تعمل هذه الأخيرة كعوائق أمام الإنخلاعات و بالتالى تعمل على تقوية المادة إذ يمكن أن تشارك هذه الدقائق (أجرام الألومين) مع المصفوفة في تحمل القوى والاجهادات المسلط عليها مما يزيد من قيمة الصلادة [23].

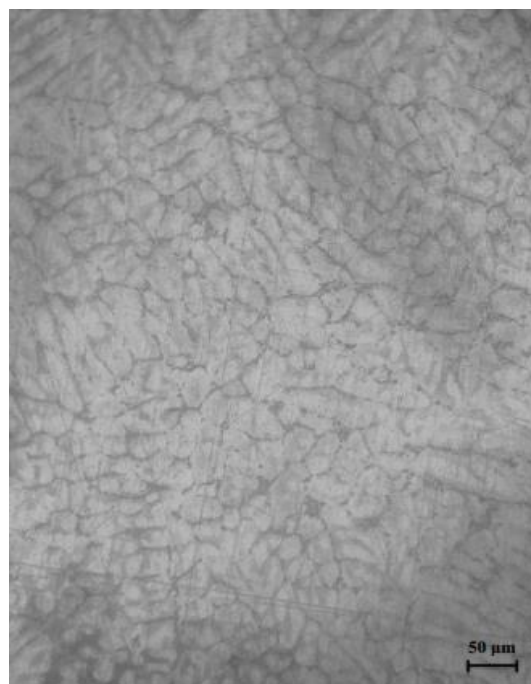


الشكل (4.III): تغيرات الحجم البلوري والصلادة بدلالة النسب الوزنية للألومين.

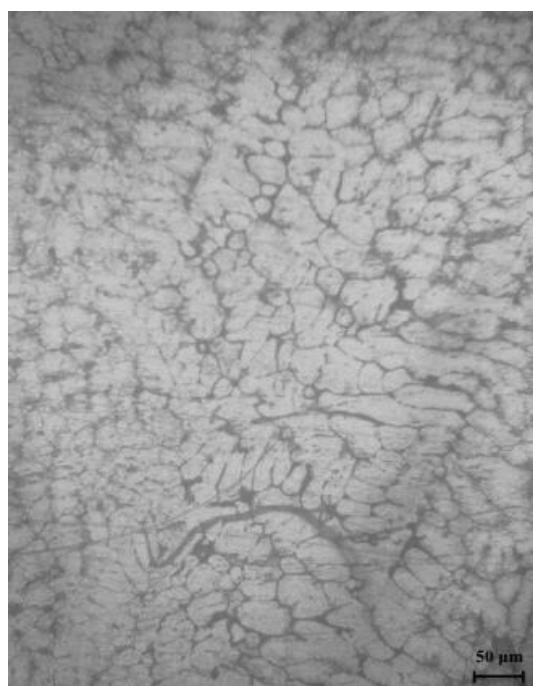
إن المسؤول عن خفض حجم البلورات ربما يعود إلى طريقة تحضير المتبعة وأيضا إلى الكمية المضافة من الألومين، هذه الأخيرة تعمل على امتصاص الحرارة من البوتقة ومنصهر السبيكة وبالتالي تمنع زيادة الحجم البلوري [24]، وبالتالي زيادة في صلادة المادة المركبة وربما يتوضع الألومين بشكل أساسي في الحدود الحبيبية ويزيد من قيمة صلادة المادة وهذا ما يجعله لا يظهر في مخططات الأشعة السينية وربما هذا ما يؤكد لنا التحليل بواسطة المجهر الضوئي وهذا بعد المعالجات الكيميائية للسطوح العينات حيث نلاحظ أنه بزيادة نسبة الألومين تزيد الحدود الحبيبية الشكل (5.III).



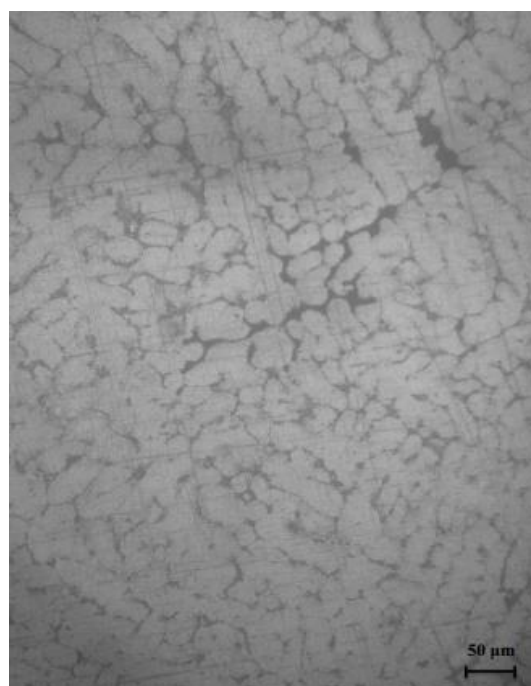
Al-7%Mg/3%Al₂O₃



Al-7%Mg/0%Al₂O₃



Al-7%Mg/10%Al₂O₃



Al-7%Mg/7%Al₂O₃

الشكل (5.III): صور بالمجهر الضوئي لمختلف العينات بعد عملية المعالجة الكيميائية.

الخلاصة:

في هذا الفصل قمنا كمرحلة أولى بدراسة الخصائص البنيوية المجهرية والخصائص الميكانيكية للعينات من $Al-7\%Mg/x\%Al_2O_3$ حيث ($x = 0, 3, 5, 7, 10\%$) وزناً. ومن خلال النتائج المتحصل عليها يمكن أن نستنتج ما يلي:

- تتشكل في المرحلة الأولى من تحضير العينات طور وحيد وهو $\alpha-Al(Mg)$.
- وجدنا أن شدات قمم الأشعة السينية تزيد بزيادة الألومين وهو ما فسرناه على أن جزء من ألومنيوم الألومين يهاجر إلى حبيبات الألومنيوم الأصلي.
- يرافق تشكل الطور تغيرات معتبرة في الخصائص الفيزيائية للمادة مع زيادة نسب الألومين.
- عدم ظهور الألومين قد يكون تموضع في الحدود الحبيبية ولم يظهر في منحنيات انعراج الأشعة السينية.
- يعمل الألومين على التصدي للإنخلاعات المسلطة على المادة ويؤدي إلى تقويتها.

قائمة المراجع:

- [1] منال حميد جاسم "دراسة تأثير المعاملات الحرارية الميكانيكية في الخواص الميكانيكية لمواد مترابطة ذات أساس معدني من سبيكة Al-Mg-Si. والمقويات بدقائق من الألومينا Al_2O_3 . أطروحة ماجستير قسم هندسة المواد، الجامعة التكنولوجية (2006).
- [2] عدنان إبراهيم الجرجري تأثير إضافة الألومينا على قابلية التصليد بالتشتيت لسبائك الألمنيوم- نحاس رسالة ماجستير . قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية، (2001).
- [3] ASM Metals handbook, Vol 2 Properties and Selection Nonferrous Alloys, 1990, ASM International..
- [4] علي منذر مصطفى، 2001 "دراسة الأطوار الناتجة لمتراكب الألمنيوم كربيد السليكون بعد تليده بالحالة الصلبة والسائلة". رسالة ماجستير . قسم هندسة الإنتاج والمعادن. الجامعة التكنولوجية.
- [5] ASM Metals handbook, Vol 21 Composites, 2001, ASM International.
- [6] د. محمد حسين باقر، 1987، "مبادئ هندسة المعادن".
- [7] Polmear I.J.1989, "Light alloys Metallurgy of the light metals", second edition, department of materials engineering, monash university.
- [8] Lucky agrawal, Rakesh yadav and Abhishek sexena, "Effect of magnesium content on the mechanical properties of Al-Zn-Mg alloys", International journal on emerging technologyies , pp.137-140.2012
- [9] Raymond .A.H., 1973 , "engineering metallurgy applied physical metallurgy", the English universities press, aston chain and hook co. Ltd.
- [10] Polmear I.J.1989, " Light alloys Metallurgy of the light metals", second edition, department of materials engineering, monash university.
- [11] TOMA Cristian Marius Maîtrise des interfaces hétérogènes lors d'une opération de soudo-brasage: application au couple aluminium – magnésium (2012).
- [12] الخزرجي، خلفان قحط محمد الألمنيوم وسبائكه الطبعة الأولى، دار دجلة، بغداد، 2009.
- [13] P.Dubostet Sainford. T.I.M240, 1991.

- [14] ABDELKEBIR Djamel, Contribution à la détermination expérimentale des contributions au durcissement de l'alliage Al-Zn (2012).
- [15] Callister William D., "Materials Science and Engineering an Introduction", 7Th Edition, 2007, John Wiley & Sons, Inc.
- [16] Karl U. Kainer "Metal Matrix Composites Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering", 2006, WILEY-VCH.
- [17] Nikhilesh Chawla, Krishan K. Chawla, "Metal Matrix Composites", 2nd edition, 2013, Springer.
- [18] Lutterotti, L., Maud: a Rietveld analysis program designed for the internet and experiment integration. Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Crystallogr, 2000. 56: p. S54.
- [19] Bish, D.L. and S. Howard, Quantitative phase analysis using the Rietveld method. Journal of applied crystallography, 1988. 21(2): p. 86-91.
- [20] SCUDINOS, SAKALIYSKAM, SURREDDIKB, ECKERT J. Mechanical alloying and milling of Al-Mg alloys [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 483: 2-7.
- [21] Cvijovic I, Vilotijevic M, and Milan T J, Mater Charact 57 (2006) 94.
- [22] P. Scherrer (1918), "Nachr. Ges. Wiss. Goettingen", Math.-Phys. Kl. 2; 98-100.
- [23] Tafzeelul k, Evaluation of Mustard Husk Ask as Reinforcement for Aluminium Matrix Composite, MRX-107685.R2.
- [24] B.F.Schultz , Microstructure and hardness of Al₂O₃ nanoparticle reinforced Al-Mg composites fabricated by reactive wetting and stir mixing, Materials Science and Engineering A530 (2011)87-97.

الملخص:

تم تحضير مادة مركبة ذات أساس معدني، من سبيكة (Al -7%.Wt Mg) باستعمال طريقة السباكة بالمرزج و التحريك، بتشتيت دقائق أكسيد الألومين بنسب مختلفة (0، 3، 5، 7، 10 وزنا. %).

أظهرت نتيجة الاختبار تحسنا في قيمة الصلابة ، حيث تؤدي الزيادة في الوزن من مادة التسليح (Al_2O_3) إلى زيادة الصلابة ، مقارنة مع سبيكة الأساس. يتم توزيع الجزيئات (Al_2O_3) في سبيكة الأساس، على الحدود الحبيبية، كما هو موضح بواسطة المجهر الضوئي. حيث يعمل أكسيد الألومنيوم كعائق يقيد حركة الخلع، مما يؤدي إلى زيادة صلابة المادة المركبة.

وتتشكل في المرحلة الأولى من تحضير العينات طور وحيد هو $\alpha-Al (Mg)$ ، كما لاحظنا أن شدات قمم الأشعة السينية تزيد بزيادة نسبة الألومين المضافة وهو ما يفسر، على أن جزء من الألمنيوم (Al) الموجود في دقائق أكسيد الألومين (Al_2O_3) تزيد في كمية الألمنيوم الأصلي الموجود في السبيكة الأساس.

الكلمات المفتاحية:

المادة المركبة، سبيكة (Al -7%.Wt Mg)، السباكة بالمرزج (Technique Stir Casting)، أكسيد الألومين (Al_2O_3)، الصلادة H_v ، الأشعة السينية، المجهر الضوئي.

Abstract:

A composite material with a metallic basis, of alloy (Al-7%.Wt Mg), is prepared by using stir casting technique, reinforced with (Al_2O_3) particles at various percentages (0 ,3 ,5 ,7 ,and 10 Wt. %).

The result of test have shown an improvement in the value of hardness, the increasing in weight percentage of the reinforcement material (Al_2O_3) lead to increase the hardness, compared to the base alloy. The particles (Al_2O_3) are distributed in the base alloy, on the granular boundary, as shown by the optical microscope. Where the aluminum oxide, act as obstacle which restricts the movement of the dislocation, which leads to increased hardness of the composite material.

In the first stage of the preparation of samples, the phase is formed $\alpha-Al(Mg)$. We also observed that x-ray peaks increase with the addition of alumina oxide particles. This explains that part of aluminum, existing in alumina particles, increases the quantity of aluminum existing, in the base alloy.

Key words: Composite material, (Al-7%.Wt Mg), (Technique Stir Casting), Alumina oxide (Al_2O_3), hardness H_v , x-ray, optical microscopy.