

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي- تبسة
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة والحياة
القسم: علوم المادة



مذكرة ماستر
الميدان: علوم المادة
الشعبة: فيزياء
الاختصاص: فيزياء المواد

الموضوع

تأثير عملية الدرفلة على البارد على البنية المجهرية و الخصائص الميكانيكية لسبيكة
Al-Mg-Si

مقدمة من طرف:

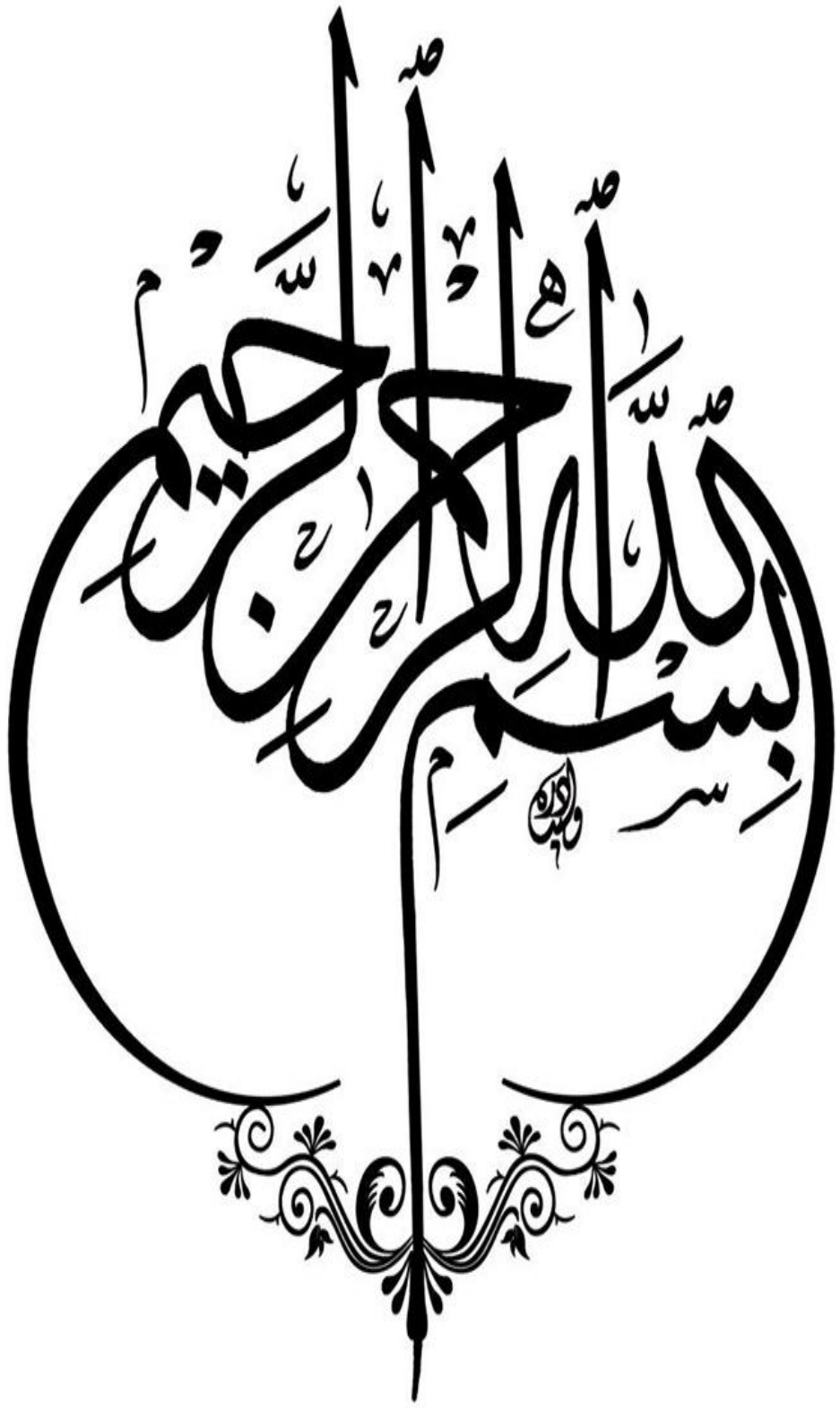
❖ مناصرية لبنى
❖ شعباني أميرة

أمام لجنة المناقشة:

رئيس	جامعة العربي التبسي-تبسة	أستاذ محاضر (ب)	هريسي لعبيدي
مؤطر	جامعة العربي التبسي-تبسة	أستاذ محاضر (أ)	فرح هشام
ممتحن	جامعة العربي التبسي-تبسة	أستاذ مساعد (أ)	منصور محمد الهادي

تاريخ المناقشة: 2018/05/26

النقطة: الملاحظة:



شكر وتقدير

الحمد لله الذي أثار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا على انجاز هذا العمل وأداء هذا الواجب حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وخاتم الأنبياء سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

نتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساعدنا في تذليل ما واجهناه من صعوبات، ونختص بالذكر الأستاذ الفاضل فرح هشام الذي علمنا التفاؤل والمضي إلى الأمام، ووقف إلى جانبنا عندما ضللنا الطريق ولم ييخل علينا بتوجيهاته ونصائحه القيمة التي كانت عوناً لنا في انجاز هذا العمل.

شكراً.. لأعضاء لجنة المناقشة الأفاضل تقديراً وعرفاناً لهم بالجهد.

شكراً... محملاً بالتقدير والاحترام والمحبة للزملاء والزميلات ولكل من وقف معنا وشجعنا وساندنا.

كما نقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير لكل أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهوداً كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد

والله ولي التوفيق

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لك حتى ترضى، و الحمد لك إذا رضيت، و الحمد لك بعد الرضا أن وفقتني
لإتمام هذا العمل المتواضع الذي أهدي ثمرته إلى : إلى الصدر ، الشمعة التي أنارت
دربي و فتحت لي أبواب العلم و المعرفة و ، الحنون و القلب الرفيق إلي أعز ما أملك
في الدنيا الحبيبة الطاهرة الوفية الملاك الصافي القريب لله سبحانه و تعالي، ومعلمتي
في الحياة، التي يهواها القلب وأسأل الله أن يرعاها، أمي الحبيبة . من ناضل من
أجلي لأرتاح وهيا لي أسباب النجاح الذي سعى جاهدا إلى تربيتي و تعليمي أبي
العزیز أسأل الله أن يحفظه ويرعاه إلى النجوم التي أهتدي بها وأسعد برويتهم إخوتي
عبد الجليل، حمزة، جيهان . أخي الحبيب صبري، إلى أعمامي وعماتي وأخوالي
وخالاتي وكل من تجمعني معهم صلة الرحم و القرابة. وإلى كافة الأساتذة الذين
حرصوا على تعليمي إلى من هم كالنور للعين زملائي و أصدقائي الذين كانوا لي نعم
الصحبة رانية، نعيمة، خوله ،زينة، أميرة، نور، إلى من شاركني هذا الجهد صديقتي
وأختي العزيزة الغالية لبنة. وإلى كل من ملأ قلبي ولم يسعه قلبي، إلى قارئ الأسطر
وكل من أعرفهم

شعبانبي أميرة

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

اللهم أسألك إيماناً دائماً وقلبا خاشعا، علما نافعا وبقينا صادقا ودينا قيما.
بادئ ذي بدء الحمد لله الذي وفقنا وسدد خطانا ومنحنا الدافع القوي والعزيمة لإتمام هذا
العمل.

الحمد لله الذي خلق كل شيء فقدره، وصلى الله على من لا نبي بعده وعلى آله و صحبه.
إلى نبض قلبي وبحر الحنان، إلى العين التي سهرت لنام، إلى نبع الأمل والأمان
إليك أمي الغالية.

إليك أبي تاج الصفاء يا شمسا تشع ضياء منك تعلمنا الوفاء، مصدر قوتي أنت ورمز
العطاء.

إلى أخوي وقرتا عيني حسين وهشام.
إلى أختاي العزيزتين سارة و دعاء.
إليك يا رفيقة دربي وزميلتي أميرة.
إلى الشمعة التي رافقتني وأنارت دربي: الغالية زهيرة.
إليك يا ذات القلب الطيب و الجميل : سناء .
إلى الوردة الجميلة سمية.
إلى ذوات الإحساس المرهف كوثر و حسيبة.
إلى من شد على يدي ومنحني الدافع: كمال.
إلى نور الهدى ودنيا زاد من كانتا لي سنداً.
إلى صديقتاي: صبرين و نوال.
إليكم زملائي و زميلاتي.

إلى جميع اساتذة قسم علوم المادة ولا أنسى أن أخص بالذكر الأستاذة القديرة زواي سهيلة
من كانت لنا عوناً لإتمام هذا العمل .

مناصرة لبناني

Résumé

La présente étude est faite sur les alliages Al-Mg-Si faisant partie de la classe des alliages à durcissement par précipitation. Ce travail a pour but essentiel de l'étude de l'influence de laminage à froid avec différents taux de déformation sur la microstructure, la dureté et la séquence de précipitation. Différentes techniques ont été utilisées à cet égard pour le suivi de l'évolution microstructurale et des propriétés mécaniques lors des différents taux de déformation. Nous avons utilisé principalement la microscopie optique, la micro dureté, l'analyse calorimétrique différentielle (DSC) et la diffraction des rayons X (DRX).

L'étude a montré que le laminage à froid des alliages d'aluminium Al-Mg-Si a les effets suivants:

- Certaines grosses particules présentes dans l'alliage sont brisées pendant la déformation par laminage.
- La dureté de l'alliage augmente avec l'augmentation du taux de déformation, Ceci est dû à la formation des dislocations lors de la déformation plastique par laminage.
- Le laminage accélère la précipitation dans l'alliage étudié.

Mots Clés: Précipitation, Laminage, Alliages Al-Mg-Si, Analyse calorimétrique e différentielle à balayage (DSC), la micro dureté.

Abstract

The present work is performed on Heat treatable Al-Mg-Si aluminium alloys. The principal purpose of this study is to understand the effect of the influence of cold rolling with different deformation level on the microstructure, the hardness and the precipitation sequence. Different technical have been used in order to study the evolution of the microstructure and mechanical properties after different deformation level. We have used the optical microscopy, the hardness test, the differential scanning calorimetry (DSC) and the X-ray diffraction (XRD).

The study showed that the cold rolling of Al-Mg-Si aluminium alloys has the following effects:

- *Some of coarse particles present in the alloy are broken during the rolling.*
- *The hardness of the alloy increases with the increasing of deformation level. This is due to the formation of dislocations during the plastic deformation by rolling.*
- *The rolling technique accelerates the precipitation in the studied alloy.*

Key Words: *Precipitation, cold rolling, Al-Mg-Si alloy, Differential scanning calorimetry (DSC), micro hardness.*

ملخص

أجريت هذه الدراسة على سبائك Al-Mg-Si المصنفة ضمن سبائك الألمنيوم ذات التصليد البنيوي. يهدف هذا العمل أساساً إلى دراسة تأثير عملية الدرفلة على البارود بمعدلات تشوه مختلفة على البنية المجهرية، الصلادة وحركية الترسيبات. لهذا الصدد استعملت عدة تقنيات لمتابعة التغيرات المجهرية للبنية المجهرية والخصائص الميكانيكية أثناء مختلف معدلات التشوه. استعملنا أساساً المجهر الضوئي، قياس الصلادة، الماسح التفاضلي الكالوريميتر (DSC) وانعراج الأشعة السينية (XRD).

ولقد أظهرت الدراسة أن عملية الدرفلة على البارود لسبائك الألمنيوم Al-Mg-Si لها التأثيرات التالية :

✓ حدوث انكسارات لبعض الجسيمات الخشنة المتواجدة في السبيكة أثناء عملية التشويه بالدرفلة.

✓ صلادة السبيكة ازدادت مع زيادة معدل التشوه، وهذا راجع إلى ارتفاع كثافة الانخلاعات المتولدة أثناء تشوه السبيكة عند درفلتها.

✓ عملية الدرفلة سرعت مراحل الترسيبات في السبيكة المدروسة.

كلمات البحث: الترسيبات، الدرفلة، سبائك Al-Mg-Si، الماسح التفاضلي الكالوريميتر (DSC)، الصلادة.

الفهرس

الفهرس

ملخص

01	.....مقدمة عامة.....
	الفصل الأول: عموميات حول الألمنيوم وسبائكه
02	.....1.I مقدمة.....
02	.....2.I تاريخ الألمنيوم.....
03	.....3.I إنتاج الألمنيوم.....
04	.....4.I الدول المنتجة للألمنيوم.....
05	.....5.I خصائص الألمنيوم.....
05	.....1.5.I الخفة.....
06	.....2.5.I الناقلية الكهربائية والحرارية.....
06	.....3.5.I مقاومة التآكل.....
06	.....6.I استخدامات الألمنيوم.....
07	.....7. I وجود الألمنيوم في الطبيعة.....
07	.....8.I تشكيل الألمنيوم.....
07	.....9.I سبائك الألمنيوم.....
08	.....1.9.I السلسلة الرئيسية والتسمية العددية.....
09	.....2.9.I تصنيف سبائك الألمنيوم.....
09	.....10.I سبائك الألمنيوم-مغنيسيوم-سليكون.....
10	.....1.10.I خصائص سبائك الألمنيوم-مغنيسيوم-سليكون.....
10	.....2.10. I استخدامات سبائك الألمنيوم-مغنيسيوم-سليكون.....
10	.....11.I تأثير العناصر الإضافية على سبيكة ألمنيوم-مغنيسيوم-سليكون.....
10	.....1.11. I تأثير النحاس.....
11	.....2.11. I تأثير المغنيسيوم.....

الفصل الثاني: طرق تشكيل المواد

12	.....1.II.مقدمة
12	.....2.II. عمليات التشكيل على البارد
13	.....3.II. عمليات التشكيل على الساخن
13	.....4.II. العوامل المؤثرة في عمليات تشكيل المواد
13	.....1.4.II. تأثير خواص المعادن في اقتصاديات الشكل
13	.....2.4.II. تأثير القوة الخارجية على التشكيل الذري
14	.....3.4.II. سطح انتقال الذرات
14	.....5.II. عمليات التشكيل المختلفة
15	.....1.5.II. الحدادة
16	.....2.5.II. الكبس
19	.....3.5.II. السحب
22	.....4.5.II. الدرفلة
25	.....6.II. المعالجات الحرارية
25	.....1.6.II. معالجات التجانس
25	.....2.6.II. معالجات التلدين
26	.....3.6.II. معالجات التصلب البنيوي
27	.....7.II. الترسيبات في سبائك Al-Mg-Si

الفصل الثالث: مواد وطرق البحث

28	.....1.III. مقدمة
28	.....2.III. اختيار المادة المدروسة
29	.....3.III. المعالجات الحرارية
30	.....4.III. تحضير العينات
30	.....1.4.III. التشكيل على البارد باستعمال الدرفلة
31	.....2.4.III. الصقل
31	.....3.4.III. التتميش الكيميائي

33	.....III.5. الطرق التجريبية.
33	.....III.5.1 المجهر الضوئي.
33	.....III.5.2 اختبار الصلادة.
36	.....III.5.3. التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية.
38	.....III.5.4. التحليل بواسطة المسح التفاضلي الكالوريميترى (DSC).

الفصل الرابع: تحليل النتائج

40	.....IV.1. الدراسة باستعمال المجهر الضوئي.
40	.....IV.2. اختبار الصلادة.
42	.....IV.3. التحليل الحراري التفاضلي DSC.
42	.....IV.3.1. حالة السبيكة غير المدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$).
44	.....IV.3.2. حالة السبيكة المدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$).
45	.....IV.4. التحليل بواسطة الأشعة السينية.
47	.....خاتمة عامة.

المراجع

الملحق

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
04	إنتاج الألمنيوم	الشكل 1
07	البوكسيت	الشكل 2
11	بيان ائزان الألمنيوم- نحاس	الشكل 3
11	بيان ائزان الألمنيوم- مغنيسيوم	الشكل 4
15	قطع حدادة تعود للقرن العشرين	الشكل 5
16	عينات ألمنيوم مشكّلة بعمليات الكبس	الشكل 6
18	كبس مباشر	الشكل 7
18	كبس غير مباشر	الشكل 8
19	رسم توضيحي لأهم مراحل عملية السحب	الشكل 9
20	سحب عميق	الشكل 10
21	عملية سحب أسلاك	الشكل 11
22	رسم توضيحي لآلة السحب العادية	الشكل 12
22	رسم توضيحي لآلة السحب المتعددة الخطوات	الشكل 13
23	مبدأ عملية الدرفلة على الساخن	الشكل 14
24	مبدأ الدرفلة على البارد	الشكل 15
27	تطور الخواص الميكانيكية للشد للألمنيوم A1050 أثناء التبلور الصلب عند 310 درجة مئوية	الشكل 16
30	فرن المعالجات الحرارية نابيرثرم NABERTHERM	الشكل 17
31	يوضح ماكينة الدرفلة (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي).	الشكل 18
32	الورق الكاشط و ماكينة الصقل الميكانيكي (FORCIPOL 2) (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي)	الشكل 19
32	سطح العينة بعد الصقل	الشكل 20
32	سطح العينة قبل الصقل	الشكل 21
33	مجهر ضوئي نوع EUROMEX (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي)	الشكل 22

34	أداة اختبار بريزل	الشكل 23
34	أداة اختبار ركوال	الشكل 24
35	أداة اختبار فيكرز	الشكل 25
35	اختبار فيكرز للصلادة (وضعية الاختبار وشكل الأثر)	الشكل 26
36	جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي)	الشكل 27
37	حيود براج	الشكل 28
38	جهاز انعراج الأشعة السينية نوع PAN alytical X' Pert PRO	الشكل 29
39	جهاز (SETARAM DSC- 131) (مختبر اعداد وتحليل المواد بجامعة عنابة)	الشكل 30
41	يمثل البنية المجهرية لعينات من سبيكة الألمنيوم لمختلف معدلات التشوه	الشكل 31
42	يمثل تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه لعينات من سبيكة الألمنيوم المعالجة حراريا عند 550°C لمدة ساعة و غير المعالجة حراريا	الشكل 32
43	يمثل منحنى DSC للسبيكة الغير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$)	الشكل 33
45	يمثل منحنى DSC للسبيكة المدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$)	الشكل 34
46	يمثل أطياف حيود الأشعة السينية لعينتين من السبيكة (سبيكة غير مدرفلة $\epsilon_0 = 0\%$ و سبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$)	الشكل 35

قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
03	الإنتاج العالمي للألمنيوم (بالكيلو طن)	الجدول 1
05	البلدان الرئيسية المنتجة للألمنيوم	الجدول 2
09	التعيين العددي والمراحل الرئيسية للسبائك القائمة على الألمنيوم	الجدول 3
28	التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة	الجدول 4
29	معدلات التشوه لأسلاك الألمنيوم (E)	الجدول 5
41	نتائج اختبار الصلادة	الجدول 6

مقدمة عامة

مقدمة عامة

يعتبر الألمنيوم من أهم المعادن وأكثرها استعمالاً في الحياة اليومية، وتتعد استعمالاته في البناء وصناعة السيارات، بدأ استخدامه في القرن العشرين بشكل واسع إلى أن تطورت الدراسات حول خواصه الميكانيكية و الفيزيائية، وعموماً فإن الخصائص الميكانيكية للألمنيوم ضعيفة ولتحسينها أضيفت له بعض العناصر كالحاس و السليسيوم وهذا ما يعرف بسبائك الألمنيوم وهي تنقسم إلى فئتين: سبائك قابلة للمعالجة الحرارية وسبائك غير قابلة للمعالجة الحرارية وتتعدد طرق التشكيل إذ تعتبر عملية الدرفلة على البارد من بين هذه الطرق و تجرى هذه الأخيرة عند درجة حرارة الغرفة.

عملية الدرفلة من العمليات الإنتاجية المهمة في تقنيات تشكيل المعادن والهدف منها هو تقليل مساحة مقطع الصفيحة التي تستخدم لإنتاج العديد من المنتجات والأجزاء في التصاميم الهندسية. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير التشوه بواسطة الدرفلة على البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم - مغنسيوم - سيلسيوم، مع العلم انه تم الحصول على هذه السبيكة من جامعة منشستر ببريطانيا على شكل صفيحة حيث درفلت هذه الأخيرة بنسب مختلفة ومحددة. ولهذا الغرض قمنا بتقسيم الدراسة إلى أربعة فصول أساسية وخاتمة:

- الفصل الأول: يهتم بالدراسة المرجعية للألمنيوم وسبائكه وتحديد مختلف الخواص والمميزات البنيوية لكليهما وقد خصصنا جزء لدراسة سبائك السلسلة 6000 والتي تعرف بسبائك (الألمنيوم - مغنسيوم - سيلسيوم) ودراسة تأثير إضافة عناصر أخرى لهذه السبائك بنسب مختلفة.
- الفصل الثاني: يتناول مختلف طرق التشكيل على المواد وأنواعها ومبدأ كل طريقة.
- الفصل الثالث: يتناول هذا الفصل التعريف بمختلف التقنيات التجريبية والمعالجات الحرارية التي استعملت لإنجاز هذا العمل، و نقدم نتائج البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية للسبائك في الحالة الابتدائية وبعد التصنيع (الحالة المشوهة) أي بعد الدرفلة.
- الفصل الرابع: خصصنا هذا الفصل لمناقشة النتائج المتحصل عليها ومقارنتها مع الدراسات السابقة التي أجريت على هذا النوع من السبائك.

الفصل الأول

عموميات حول الأملنيوم وسبائكه

1.I مقدمة :

يحتل عنصر الألمنيوم (Al) المرتبة الثالثة من حيث وفرة على سطح الأرض ذلك بعد عنصري الأكسجين والسليكون وهو يعتبر المعدن الأكثر استعمالاً بعد الحديد وال فولاذ [1].

وقد بدأ إنتاجه الصناعي في بداية القرن العشرين فقط. وهو يتميز بلون أبيض فضي من مجموعة البرون من العناصر الكيميائية وهو معدن مطيلي أي قابل للسحب له كثافة حجمية $2.7(g/cm^3)$ ودرجات انصهاره وغلوانه في حدود $660^\circ C$ و $2467^\circ C$ على التوالي. ويعد البوكسيت مصدره الرئيسي وهو المعدن الأكثر استخداماً في إنتاج الألمين (Al_2O_3) وهي مادة من الضروري توفرها لأجل صناعة الألمنيوم، ويتشكل البوكسيت من خلال عملية التحويل السريع للصخور الغرانيتية في وسط حار ورطب. في حين فصل الألمنيوم عن هذا المعدن هو عملية دقيقة. وفي الصناعة يتم استخدام طريقة «Hall-Héroult»، وهي طريقة تنقية كهروتحليلية.

الألمنيوم الناتج يخضع بسهولة للمعالجة السطحية وإلى جميع طرق التلحيم. عند التسخين تُظهر الحبيبات تضخماً وهذا يؤدي إلى تغيير لدونته.

يعرف الألمنيوم على أنه ناقل جيد للكهرباء وهو مادة غير مغناطيسية ومقاوم جيد للتآكسد الهوائي بشكل طبيعي بفضل تشكل طبقة سطحية من الألمين (Al_2O_3) والتي تحميه من التلف بفعل الهواء، الحرارة، الرطوبة والتفاعل الكيميائي، الألمين هو مركب صلب جداً، لكن في درجة حرارة الغرفة يصبح غير قابل للذوبان في جميع المركبات الكيميائية شائعة الاستعمال وكذلك تلك التي تكون ناقلاتها الكهربائية ضعيفة.

2.I تاريخ الألمنيوم

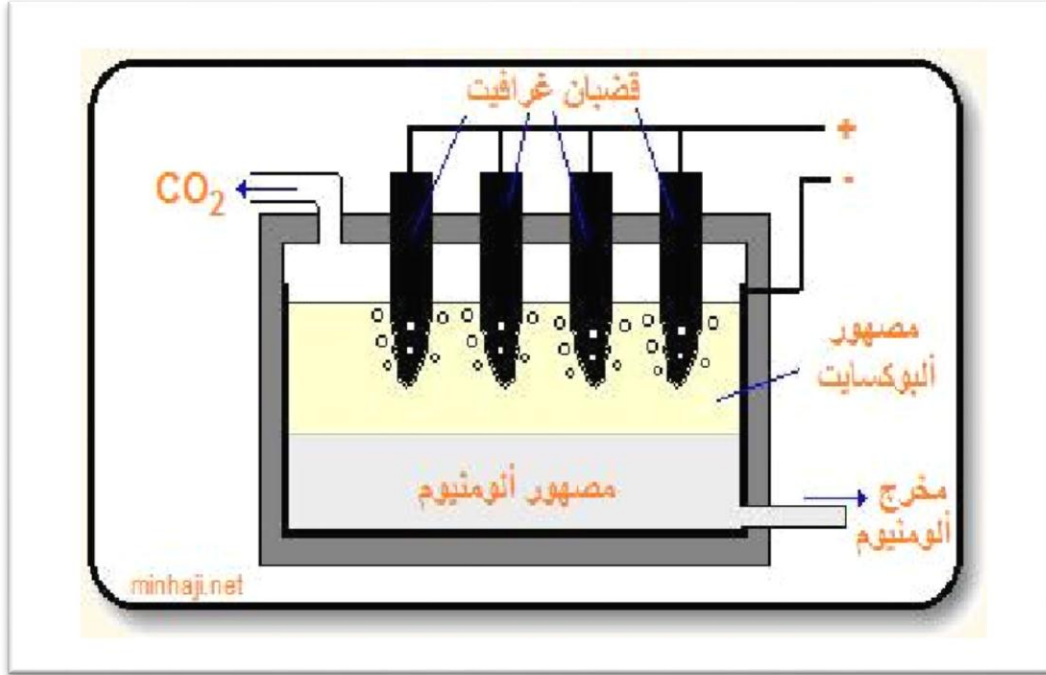
شهد الألمنيوم تطوراً مذهلاً منذ اكتشافه عام 1854، من قبل الكيميائي الفرنسي سانت كلير ديفيل (Sainte-Claire Deville) الذي قدم سبيكة صغيرة مصنوعة بطريقة كيميائية من قبل أكاديمية العلوم}. لكن البداية الحقيقية لتصنيع الألمنيوم وسبائكه كانت في عام 1886 مع اختراع عملية التحليل الكهربائي للألمنيوم بواسطة بول هرولت (Paul Héroult) في فرنسا وقاعة تشارلز مارتن (Charles Martin Hall) في الولايات المتحدة الأمريكية. ويعتبر إنتاج الألمنيوم اليوم هو الأكثر أهمية (الجدول 1).

Année	Production (kT)
1900	5,7
1910	44
1930	269
1940	780
1950	1500
1960	4500
1970	10000
1980	16700
1990	19400
2000	22000
2005	32500
2010	41400

الجدول 1. الإنتاج العالمي للألمنيوم (بالكيلو طن) [2].

3.I إنتاج الألمنيوم

يتم إنتاج الألمنيوم حاليا في جميع أنحاء العالم من خلال الطريقة التي وضعها "Hall Héroult" في عام 1886، والذي يتكون من التحليل الكهربائي للألمين المذابة في الكريوليت المنصهر في حوالي 1000°C، حيث يستخدم وعاء من الحديد الصلب مبطن بالجرافيت كقطب سالب، بينما يكون القطب الموجب مكون من قضبان كبيرة من الجرافيت تتدلى داخل مصهور ($Al_2O_3_Na_3AlFe_6$) ويتكون الألمنيوم النقي على القطب السالب ويهبط إلى أسفل الإناء ويسحب من مخرج خاص حيث يتشكل الألمنيوم من رواسب التحليل الكهربائي في الجزء السفلي من الإناء، ويتفاعل أكسجين الألمين مع كربون الأنود لتشكيل أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون.



الشكل 1. إنتاج الألمنيوم [2].

4.I. الدول المنتجة للألمنيوم

دام تطوير الألمنيوم عن طريق التحليل الكهربائي للألمين القريبة من مصادر الطاقة الكهربائية مدة قرن.

منذ عام 1980 تم تركيب وحدات إنتاج جديدة في البلدان ذات موارد الطاقة الكبيرة من الأصل الهيدروليكي أو الحفريات. يتم عرض المنتجين الرئيسيين للألمنيوم في (الجدول 2).

Pays	Production (kT)	
	2002	2005
Afrique du Sud	700	850
Egypte	195	240
Mozambique	270	550
Argentine	270	270
Brésil	1320	1500
Canada	2700	2900
Etats Unis	2700	2480
Venezuela	600	620
Bahreïn	520	740
Chine	4320	7800
Dubaï	540	750
Inde	670	940
Indonésie	160	250
Tadjikistan	310	380
Allemagne	650	650
Espagne	380	400
France	460	440
Grèce	160	160
Italie	190	190
Pays Bas	280	330
Royaume Uni	340	370
Iceland	260	270
Norvège	1040	1380
Roumanie	190	240
Russie	3350	3650
Australie	1840	1900
Nouvelle Zélande	330	350
Total Monde	26000	32500

الجدول 2. البلدان الرئيسية المنتجة للألمنيوم [2].

5.I. خصائص الألمنيوم

1.5.I الخفة

يعتبر الألمنيوم من المعادن الأخف وزناً، ويمتلك خصائص ميكانيكية جيدة حيث يستخدم على نطاق واسع في النقل البري السريع وصناعة هياكل المركبات، و بينت نتائج الدراسات السابقة أن السبائك المتكونة من الألمنيوم أخف وزناً بنسبة 50% مقارنة مع السبائك المكافئة المتكونة من الفولاذ المقاوم للصدأ [3].

2.5.I الناقلية الكهربائية والحرارية

الألمنيوم هو موصل جيد للكهرباء والحرارة حيث يوفر الألمنيوم مأخذ كهربائي ممتاز، وأصبح يستعمل شيئاً فشيئاً من أجل الخطوط ذات التوتر العالي لأنه أخف وزناً من النحاس ولديه قدرة كبيرة في النقل الحراري مثل استعماله في أجهزة التبريد [4].

3.5.I مقاومة التآكل

تعود قدرة الألمنيوم الممتازة على مقاومة التآكل إلى الطبقة السطحية الرقيقة المتماسكة من أكسيد الألمنيوم التي تتشكل عندما يتعرض الفلز للهواء، إن تحويل الألمنيوم يتطلب الكثير من الصيانة والمقاومة مع مرور الوقت وقد مكنت هذه المقاومة الجيدة للتآكل إضافة إلى كثافة الألمنيوم المنخفضة من تطوير تطبيقات الألمنيوم في المباني. المستخدمون يعملون أيضاً على:

- زيادة عمر المعدات (عقود عديدة من العمر) [3، 5].

6.I إستخدامات الألمنيوم

يستخدم الألمنيوم في العديد من القطاعات والمجالات سواء النقل أو البناء أو في الصناعة الكهربائية، صناعة الأجهزة المنزلية، كذلك التعبئة، التغليف والديكور.... الخ. النقل: (السيارات، الطائرات، الشاحنات، عربات السكك الحديدية، السفن البحرية، الدراجات وغيرها)

- التعبئة والتغليف: (مثل العلب).
- البناء: (النوافذ، الأبواب والأسلاك...).
- مجموعة واسعة من الأدوات المنزلية، مثل أواني الطبخ.
- أعمدة إنارة الشارع وأعمدة المشي.
- معدات التصوير الفوتوغرافي.
- خطوط نقل كهربائية لتوزيع الطاقة الكهربائية.

7.I. وجود الألمنيوم في الطبيعة

يشكل الألمنيوم حوالي 8% من القشرة الأرضية، وهو يوجد على شكل سيليكات والتي تحتوي على نسب متفاوتة من الألمين حيث تختلف من منطقة إلى أخرى، حيث تحتوي السيليكات في بعض المناطق التي يكون ترسبها قديم جدا على نسبة كبيرة من الألمين (45 إلى 60٪)، وهي تمثل البوكسيت الذي يشكل حاليا المصدر الأساسي للألمنيوم [6].



الشكل 2. البوكسيت [7].

8.I. تشكيل الألمنيوم

يمتلك الألمنيوم وسبائكه درجة حرارة انصهار منخفضة نسبيا، حيث أن سبائك الألمنيوم من السهل طرقها ولفها [8]. وتعتبر هذه الأخيرة مناسبة جدا لعمليات التشكيل على البارد والساخن كالسحب، الدرفلة والكبس.

9.I. سبائك الألمنيوم

يعد الألمنيوم وسبائكه من أهم المواد التي لها استخدامات صناعية واسعة النطاق وهذه الاستخدامات تزداد مع مرور الوقت بصورة كبيرة وذلك للحاجة الملحة إلى منتجات ذات خواص ثلاث متطلبات التقدم التكنولوجي. ونظرا لارتفاع أسعار المعادن والسبائك الأخرى المستخدمة في الصناعات المعدنية والهندسية اتجه معظم الباحثين نحو البحث عن مواد لها خواص تؤهلها للاستخدام في المجالات

التطبيقية المختلفة فكانت سبائك الألمنيوم كبديل عن معظم المواد وذلك لما تتمتع به من خواص من حيث خفة الوزن ودرجة انصهار منخفضة وخواص ميكانيكية مختلفة. سبائك الألمنيوم هي مواد تتكون من الألمنيوم وبعض المواد الأخرى للحصول على خصائص جديدة تجمع بين مميزات المواد الداخلة في تكوين السبيكة.

1.9.I. السلسلة الرئيسية والتسمية العددية

يتم تعيين سبائك الألمنيوم باستخدام نظام رقمي عددي بأربعة أرقام [7]، وتدل هذه الأرقام على:

الرقم الأول من اليسار: يعين سلسلة السبائك وفقا لعنصر الخلط الأساسي وهي ثمانية سلاسل:

1xxx : 99 .00% Al	✓
2xxx : Cu	✓
3xxx : Mn	✓
4xxx : Si	✓
5xxx : Mg	✓
6xxx : (Mg + Si)	✓
7xxx : Zn	✓
8xxx : (Others)	✓

الرقم الثاني من اليسار: يعين درجة ضبط الشوائب بالنسبة لسلسلة 1xxx أو التغير في تركيب السبيكة الأساسي بالنسبة للسلاسل الأخرى فالرقم صفر يعني التركيب الأساسي دون تعديل، ثم يرمز للتعديلات المدخلة بالأرقام من واحد إلى تسعة.

الرقم الثالث والرابع: بالنسبة لسبائك السلسلة 1 يعينان الرقمين التاليين لنقطة الكسر العشري مثلا 1050 سبيكة انابيب تحتوي على 99.50 من الألمنيوم كحد أدنى، و 1199 سبيكة رقيقة تحتوي على 99.99 من الألمنيوم كحد أدنى.

Série	Désignation	Elément d'alliage principal	Phase principale présente dans l'alliage
Série 1000	1XXX	99% d'aluminium au mini.	////////////////
Série 2000	2XXX	Cuivre (Cu)	Al ₂ Cu - Al ₂ CuMg
Série 3000	3XXX	Manganèse (Mn)	Al ₆ Mn
Série 4000	4XXX	Silicium (Si)	////////////////
Série 5000	5XXX	Magnésium (Mg)	Al ₃ Mg ₂
Série 6000	6XXX	Magnésium (Mg) et Silicium (Si)	Mg ₂ Si
Série 7000	7XXX	Zinc (Zn)	MgZn ₂
Série 8000	8XXX	Autres éléments	////////////////

الجدول 3. التعيين العددي والمراحل الرئيسية للسبائك القائمة على الألمنيوم [9].

2.9.I. تصنيف سبائك الألمنيوم

يمكن تصنيف هذه السبائك إلى فئتين [10]:

- سبائك غير قابلة للمعالجة الحرارية: تتمثل في السلاسل 1000، 3000، 5000.
- سبائك قابلة للمعالجة الحرارية: تتمثل في السلاسل 2000، 4000، 6000، 7000.

10.I. سبائك الألمنيوم-المغنيسيوم - سليكون

تحتوي على إضافات من السيليسيوم والمغنيسيوم تصل إلى 1,7 % و 1,2 % على التوالي.

تستخدم على نطاق واسع في جميع المجالات بكل الأشكال والأحجام.

تمثل السلسلة 6000 جزء لفئة السبائك القابلة للمعالجة الحرارية، وعادة ما يتم تسليم هذه السبائك

بعد التجانس والتبريد والتقدم الطبيعي.

وتصنف إلى مجموعتين [9]:

• مجموعة يكون تركيبها غني بالمغنيسيوم والسليكون مثل السبائك 6061 و6082، وهي تستخدم للتطبيقات الهيكلية.

• المجموعة الثانية تحتوي على كمية منخفضة من السليكون، وبالتالي تكون خصائصها الميكانيكية أقل مثل السبيكة 6060 التي تتميز بسرعتها العالية في الغزل، ولكن خصائصها الميكانيكية ضعيفة [11].

I.10.1. خصائص سبائك الألمنيوم-مغنيسيوم-سليكون

الخصائص الأساسية لهذه السلسلة:

- ✓ قابلة للمعالجة الحرارية.
- ✓ مقاومة عالية ضد التآكل.
- ✓ قابلية عالية للسحب.

I.10.2. استخدامات سبائك الألمنيوم-مغنيسيوم-سليكون

تستخدم على نطاق واسع في العديد من القطاعات:

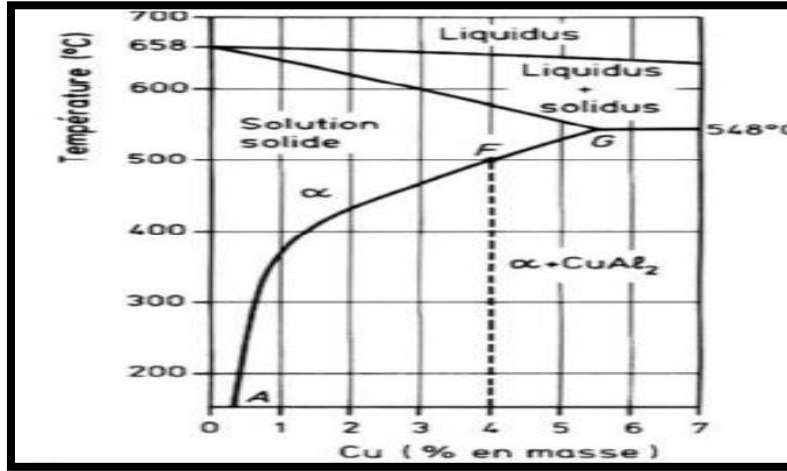
- ✓ بناء الجسر.
- ✓ إطارات الشاحنات والسفن.
- ✓ السكك الحديدية.
- ✓ الحافلات الكهربائية عالية القوة.
- ✓ الأسلاك والموصلات الكهربائية.

I.11. تأثير العناصر الإضافية على سبيكة ألمنيوم-مغنيزيوم-سليكون

I.11.1. تأثير النحاس (Cu)

النحاس (Cu) هو واحد من عناصر السبائك الرئيسية لسبائك الألمنيوم، ويساهم بشكل كبير في تحسين الخواص الميكانيكية والصلابة من خلال المعالجة الحرارية [12،13]. سبائك الألمنيوم الأكثر استخداماً على نطاق واسع هي تلك التي تحتوي على 4 إلى 10% من النحاس.

يظهر ذلك في بيان الإتزان لسبيكة الألمنيوم-نحاس Al-Cu

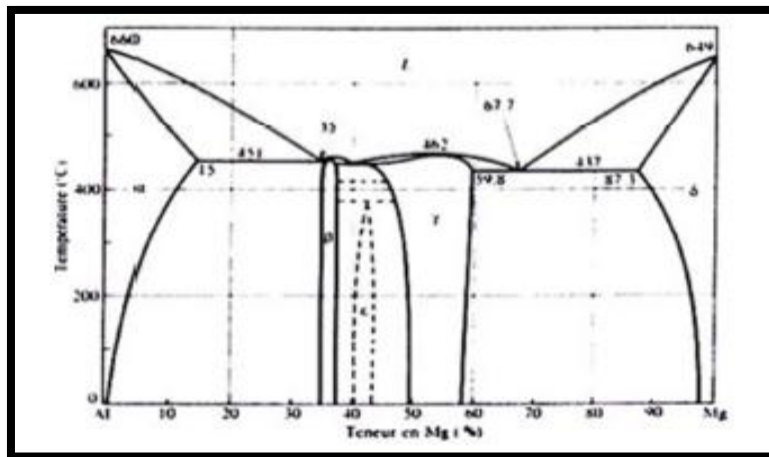


الشكل 3. بيان إتزان الألمنيوم-نحاس [16].

2.11.I. تأثير المغنيسيوم (Mg)

المغنيسيوم (Mg) هو عنصر تعزيز هيكلي أقوى من النحاس، وخاصة في النطاق 0 إلى 0.4%. من إضافات السبائك. ويوجد بصفة عامة في شكل مركب Mg_2Si ، حد الذوبان للمغنيسيوم مرتفع نسبياً حوالي 17.4% عند درجة حرارة $450^{\circ}C$ [16].

تؤدي الزيادة في تركيز المغنيسيوم إلى زيادة في القوة الميكانيكية وانخفاض في الليونة، في حين أن الزيادة في تركيز السليكون له التأثير الرئيسي للحد من الليونة [14، 15].



الشكل 4. بيان إتزان الألمنيوم-مغنيسيوم [16].

الفصل الثاني

طرق تشكيل المواد

1.II. مقدمة

عمليات التشكيل الميكانيكي تشمل جميع عمليات التشكيل التي تجرى على المعادن والسبائك في الحالة الجامدة أي دون صهرها.

وتجرى جميع هذه العمليات تحت تأثير قوى ميكانيكية وباستعمال معدات وأجهزة خاصة تقوم بتأمين هذه القوى وإحداث التغيير المطلوب في أشكال أو هيئات المعادن والسبائك وبالإمكان إجراء هذه العمليات إما على البارد (في درجة حرارة الغرفة) أو على الساخن (في درجات الحرارة المرتفعة).
إن قابلية المعادن والسبائك على تقبل أي تغيير في الشكل بتأثير القوى الميكانيكية لها علاقة بالبنية أو الشبكة البلورية لذلك نلاحظ أن هنالك تباين كبير في قابلية المعادن أو السبائك على تقبل التشكيل الميكانيكي.

ويجرى التشكيل الميكانيكي تحت قوى أو جهود تتجاوز مقاومة خضوع المعادن أو السبائك قيد التشكيل بحيث أن التغيير أو التشوه الحاصل في الشكل سوف يكون لدنا أي دائما ويكون التغيير في الشكل مصحوبا عادة بتغييرات في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمعادن المشكولة .

تصنف عمليات التشكيل الميكانيكي استنادا على درجة الحرارة التي يجرى فيها التشكيل إلى مجموعتين أساسيتين من العمليات:

1- التشكيل على الساخن.

2- التشكيل على البارد.

نهدف من خلال هذا الفصل إلى التعرف على مختلف عمليات التشكيل.

2.II. عمليات التشكيل على البارد

يجرى التشكيل على البارد في درجة حرارة الغرفة أو في درجة حرارة قريبة منها. وبصورة عامة فإنه بالإمكان تشكيل المعادن على البارد في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة، حيث أن الحد الفاصل بين التشكيل على البارد والتشكيل على الساخن هو في درجة حرارة إعادة التبلور التي تكون ولمعظم المعادن أعلى من درجة حرارة الغرفة.

3.II. عمليات التشكيل على الساخن

إن أي زيادة في درجة حرارة المعدن تؤدي إلى زيادة في المسافات بين الذرات مما يسبب انخفاض في قوة الترابط بينها بالإضافة إلى ذلك فإن الإنخلاقات سوف تكون أكثر حرية في الحركة داخل البلورة وبالتالي فإن مطيلية المعدن تتخفض بارتفاع درجة الحرارة وتتم عمليات التشكيل على الساخن عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور للمعدن أو السبيكة وسبب ذلك واضح ومعروف وهو إن التشكيل وإعادة التبلور يتمان في آن واحد مما يؤدي إلى زيادة سرعة العملية وإلى عدم الحاجة إلى مراحل التخمير المتوسطة كما هو الحال في التشكيل على البارد.

بالإضافة إلى ذلك فإن معظم السبائك تزداد لدونتها وقابليتها للتشكيل كثيرا عند درجات الحرارة المرتفعة فتقل بذلك القوة المطلوبة لإحداث التشكيل كذلك فإنه في بعض الأحوال توجد سبائك هشة وصلدة مما يتعذر تشكيلها على البارد بسبب وجود بعض مكوناتها الصلدة والتي تذوب عند درجات الحرارة العالية فيسهل تشكيلها على الساخن.

4.II. العوامل المؤثرة في عمليات تشكيل المواد

1.4.II. تأثير خواص المعادن في اقتصاديات الشكل

المطلوب في اقتصاديات الإنتاج هو إتمام عملية تشكيل قطع معدنية بأقل قوة ممكنة وفي أقل وقت ممكن بشرط ألا ينهار المعدن ويقطع أثناء تشكيله، لذلك نجد أن أنسب المعادن الذي يحقق ذلك هو المعدن الذي تكون فيه قيمة قوة خضوعه أصغر ما يمكن.

2.4.II. تأثير القوة الخارجية على التشكيل الذري

عند التأثير على المعدن بقوى خارجية أكبر من قوى تماسك جزيئاته، نجد أن الجزيئات تنتزح وتصل إلى الجزيئات الأخرى القريبة منها في اتجاه تأثير القوة، وتظل الجزيئات في مكانها الجديد بعد زوال القوة المؤثرة إذا تم تخطي نقطة الخضوع ويتسبب عن ذلك استطالة أو انضغاط دائم نظرا لأن القوة المؤثرة وصلت بالجزيئات إلى مرحلة اللدونة، كما أن الزحزحة تحدث عند مستويات تسمى مستويات إنتقال الذرات.

3.4.II. سطح انتقال الذرات

هو السطح الذي يقع فيه أكبر كثافة من الذرات وفيه يكون توزيع الذرات منتظما، وعند عملية التشكيل تحدث مستويات عديدة من الانزلاق وتكون في اتجاهات مختلفة. والتشكيل عبارة عن مجموعة من الانزلاقات المتتالية التي تحدث لجزيئات وذرات المعدن بحيث تظل هذه الذرات متشابكة ومتماسكة، ويحتمل حدوث أكثر من مستوى للانزلاق في الشبكة البلورية أيضا.

5.II. عمليات التشكيل المختلفة

إن تشكيل المواد من أهم طرق الإنتاج المستعملة في الصناعات الميكانيكية وقد تجرى على الساخن أو على البارد، وعمليات التشكيل هذه متنوعة ومتباينة، نذكر منها:

- عمليات الحدادة.
- عمليات الكبس.
- عمليات السحب.
- عمليات الدرفلة.

1.5.II. الحدادة

تعد الحدادة من أقدم عمليات التشكيل التي بقيت حتى يومنا هذا، وهي عبارة عن مجموعة من التقنيات المستخدمة للحصول على قطع ميكانيكية مختلفة من خلال تطبيق قوة كبيرة على شريط معدني، على البارد أو الساخن، للحصول على الشكل المطلوب في النهاية [17]، ويعمل الحدادون من خلال تسخين قطع من الحديد المطاوع أو الصلب حتى يصبح المعدن ليناً بما يكفي لتشكيله باستخدام الأدوات اليدوية مثل المطرقة و السندان.



الشكل 5. قطع حدادة تعود للقرن العشرين [18].

الحدادة على الساخن

عملية الحدادة على الساخن هي عملية من عمليات تشكيل المعادن والتي تعتمد في مبدأها على تسخين المعدن المراد تشكيله عند درجات حرارة عالية تصل إلى $T_f \geq 0.6 T_F$

حيث T_F هي درجة حرارة الذوبان و T_f هي درجة حرارة الحدادة، ثم تشكيل هذا المعدن الساخن حسب الشكل المراد الحصول عليه و ذلك بوضعه على مسند وتطبيق قوة يدوية كالمطرقة [17].

الحدادة على البارد

إن عملية التشكيل على البارد هي العملية التي يتم من خلالها الحصول على تشوه في درجة حرارة الغرفة. ومبدأ الحدادة على البارد هو نفس مبدأ الحدادة على الساخن غير أن الحدادة على البارد تتم في درجة حرارة الغرفة والمواد التي تشكل عن طريق هذه الأخيرة يجب أن تكون لدنة [17].

2.5.II. عملية الكبس

هي عملية تشكيل للمعدن تستخدم لإنتاج أعمدة بمقاطع ثابتة الشكل، حيث يتم ضغط المادة المعدنية أو البلاستيكية خلال فوهة الكبس (قالب الكبس) لها نفس الشكل المقطعي المطلوب، من أهم مميزات عملية الكبس عن العمليات الأخرى قدرتها على إنتاج أشكال مقطعية غاية في التعقيد، كما أنها تنتج منتجات نهائية ذات جودة سطح عالية [18]. تبدأ عملية التشكيل بتسخين الخام ليصبح طريا ثم يتم تحميله في الوعاء المكبس حيث يُكبس لينفذ من قالب الكبس، وقد يتم معالجة المنتج النهائي لتحسين خواصه بالتشكيل على البارد أو التشكيل على الساخن.



شكل 6. عينات ألومنيوم مشكّلة بعمليات الكبس [18]

○ الكبس على الساخن

تتم عملية الكبس في الوعاء المسخن للحفاظ على المعدن من التصلب أثناء التشكيل، ولتسهيل خروج المعدن من قالب الكبس. تتم معظم عمليات الكبس على الساخن في مكابس أفقية لها قوة تحميل من 250 إلى 12000 طن. يتراوح الضغط المؤثر على المكبس من 5000 إلى 100,000، وبالتالي تحتاج هذه العملية إلى التبريد باستعمال الزيت أو الماء. المواد المشكلة بهذه الطريقة تحتاج إلى عملية تشطيب نهائي للحصول على شكل مقبول [18].

○ الكبس على البارد

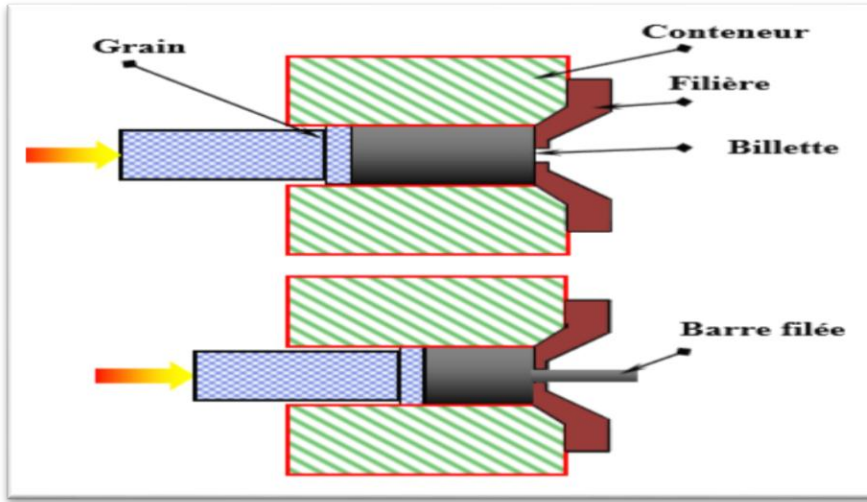
يتم الكبس على البارد في درجة حرارة الغرفة، يتميز الكبس على البارد مقارنة بالكبس على الساخن بقلة عملية الأكسدة، متانة أعلى نتيجة للتشكيل على البارد، الحصول على أبعاد بسمحات مقاربة جدا للنهائية، جودة سطح عالية وبعد الكبس على البارد إحدى آليات تقوية المواد [18].

المعادن التي غالبا ما يتم كبسها على البارد هي: الرصاص، القصدير، الألمنيوم والنحاس والزركونيوم والصلب.

○ أنواع الكبس

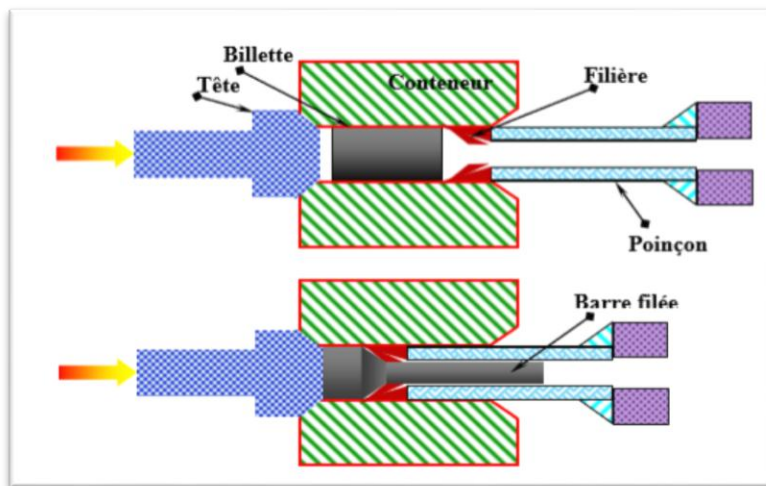
يوجد نوعين رئيسيين لعملية الكبس:

1. كبس مباشر



شكل 7. كبس مباشر [17]

2. كبس غير مباشر

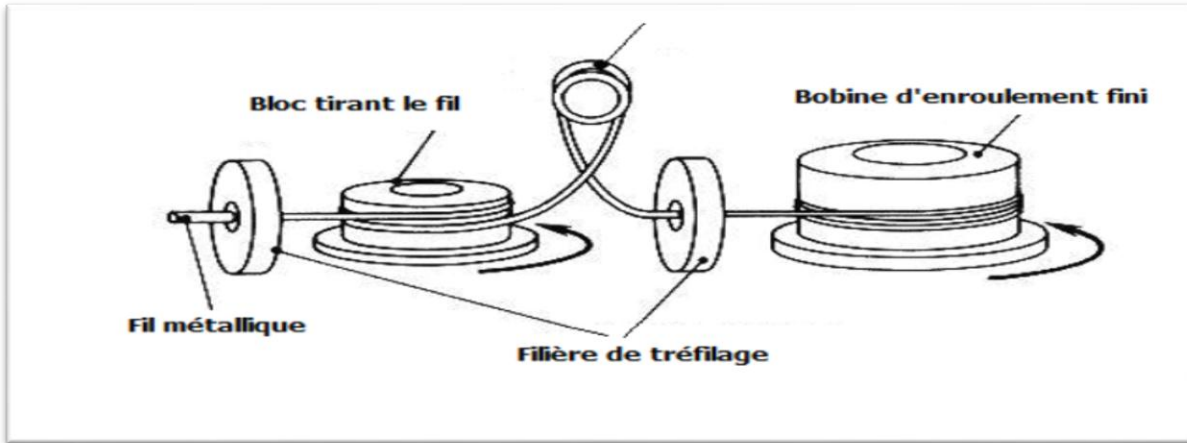


شكل 8. كبس غير مباشر [17]

5.II. السحب

تعتبر عمليات السحب بمختلف أنواعها سواء سحب الأسلاك والأنابيب أو القضبان أو عمليات السحب العميق من أهم عمليات التشكيل اللدن وخصوصا عمليات التشكيل بالسحب العميق، وتعد عمليات سحب الأسلاك والقضبان أبسطها حيث يجرى تخفيض القطر بالسحب في قوالب ذات مقاسات أصغر من مقاسات القضبان والأسلاك وقد تحتاج عملية السحب إلى عدة مراحل لإتمامها.

تصاحب عملية سحب الأسلاك على البارد وخاصة في معدلات التشوه الكبير ارتفاع ملحوظ في صلادة الأسلاك [19]، مما يستلزم القيام بمعالجات حرارية كالتخمير في التشوهات الكبيرة جدا (حالة التخفيض الكبير في المقطع) [20].



شكل 9. رسم توضيحي لأهم مراحل عملية السحب [19]

عمليات سحب الأنابيب

عملية سحب الأنابيب على البارد تتمثل في الحصول على أنابيب ذات أسطح جيدة ومقاطع صغيرة ودقيقة مقارنة بعمليات سحب الأنابيب على الساخن.

تسحب الأنابيب بواسطة قوالب مع الاستعانة بعمود موجود داخل الأنابيب لتحديد قطرها الداخلي وتجرى عملية السحب لإحداث تصغير في قطر الأنابيب أو في عرض جدارها أو في كليهما معا وتتوالى

عمليات السحب في قوالب متعاقبة للوصول إلى القطر والعرض المطلوبين ويمكن التوصل إلى إنتاج أنابيب دقيقة الأبعاد.

يمكننا أيضا تصغير قطر الأنبوبة بالضغط عليها بدلا من سحبها وتسمى هذه الطريقة بطريقة تشكيل الأنابيب بالغطس.

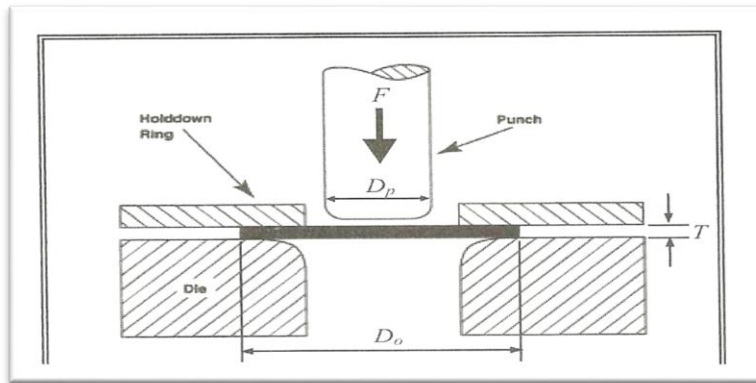
عمليات السحب العميق

هي عملية تشكيل الألواح المعدنية عن طريق التأثير عليها بقوة ضغط كبيرة من جهة مع وجود فراغ في الجهة المقابلة.

تتم تلك العملية في وجود ضاغط عبارة عن قالب قوى يحيط بالفراغ المراد ضغط المعدن خلاله، والغرض منه منع تموج اللوح المضغوط في أي اتجاه آخر أثناء السحب، ويتم التأثير بقوة عن طريق مكبس قوى يسمى سنبل السحب يقوم بالضغط على القرص لأسفل، ويتم صنعه غالباً من صلب مقصي أو من كربيد التنغستان أو من الحديد الزهر، نظراً لارتفاع صلادة تلك المعادن.

تستخدم هذه العملية لإنتاج الأشكال الأسطوانية أو الصندوقية (أي أشكال تحتوي على فراغ منتظم بداخلها) مثل أواني الطهي وأحواض المطابخ والطلاقات وأسطوانات الغاز وغيرها.

تتخلل عملية السحب العميق أحياناً عمليات معالجات حرارية لإكساب المعدن الليونة اللازمة للتشكيل، وكذلك يجب استخدام الزيوت أثناء عملية السحب لتقليل الاحتكاك.

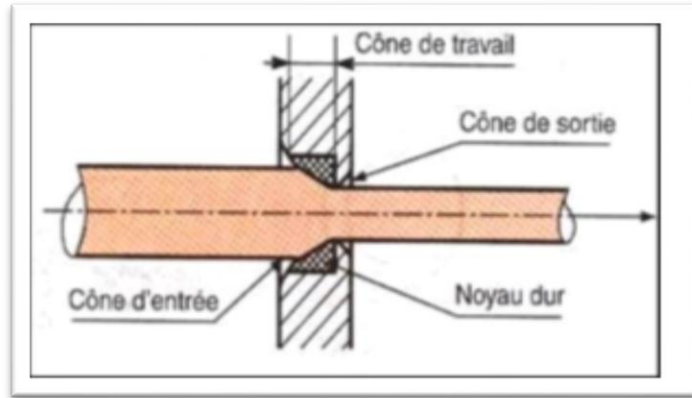


شكل 10. سحب عميق [21]

سحب الأسلاك

سحب الأسلاك هو عملية تشكيل المعدن على البارد بسحبه خلال فتحة أصغر من مقطع الخامة المشغلة ويستعمل أسلوب السحب لإنتاج أسلاك بأقطار مختلفة.

وتصنع الأسلاك من معادن مختلفة كالصلب مثلاً حيث تدلفن كتلة من الصلب على الساخن وذلك بتمريرها عدة مرات بين الدلافين حتى تصير أسلاك بقطر حوالي 5mm، بعد تخميرها وتنظيفها من قشور الأكسدة ثم يوضع في الثقب قالب السحب ويشد بقوة ليسحب السلك خلال الثقب الذي يقل قطره عن قطر السلك حيث يصغر قطر الأخير ليصل إلى القطر الأدنى للثقب. و تتوالي عملية السحب في قوالب ذات ثقوب متدرجة في الصغر وقد يحتاج الأمر إلى تخمير السلك حسب معدنه وعدد مرات السحب التي يتعرض لها وذلك للتقليل من التصلدات الانفعالية الناتجة أثناء عمليات السحب المتتالية [22،21].

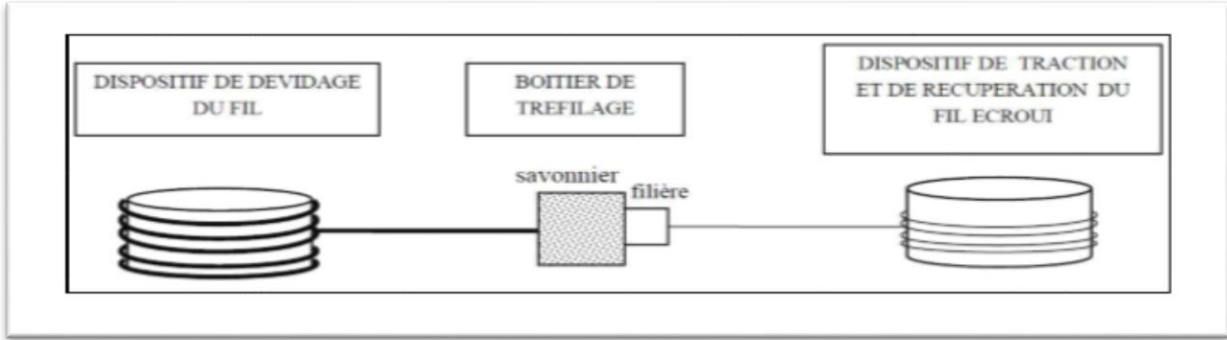


شكل 11. عملية سحب أسلاك [23].

أنواع آلات السحب

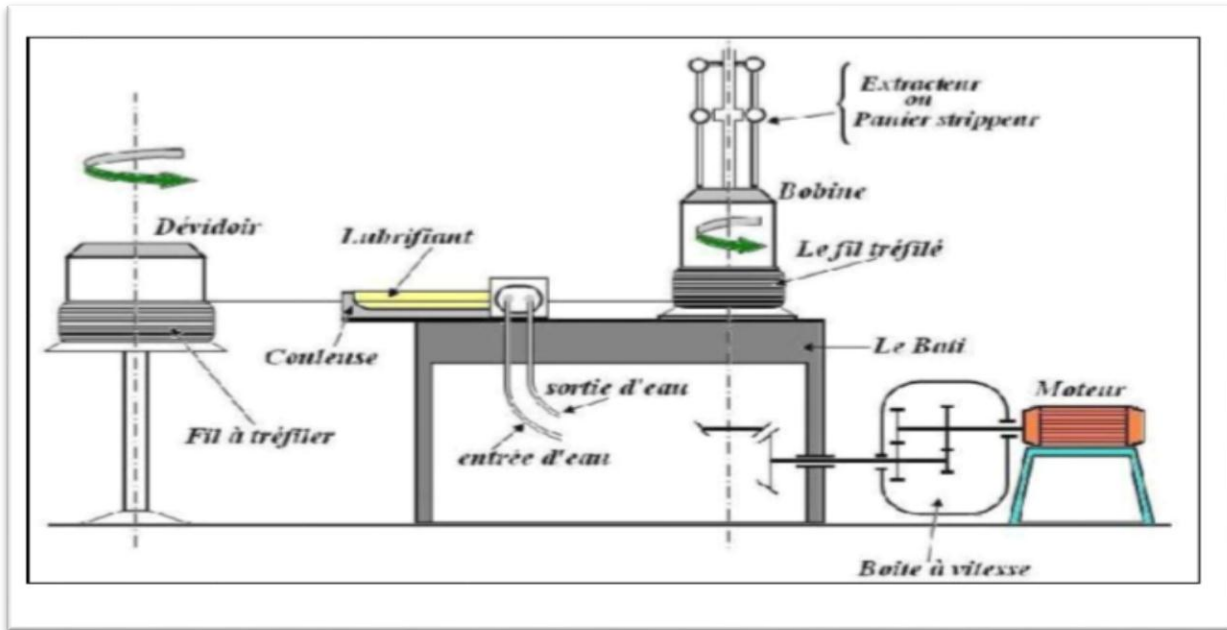
يوجد نوعين رئيسيين وهما:

• آلات أحادية الخطوة.



شكل 12. رسم توضيحي لآلة السحب العادية (أحادية الخطوة) [24].

• آلات متعددة الخطوات.



شكل 13. رسم توضيحي لآلة السحب المتعددة الخطوات [25].

4.5.II. الدرفلة

هي إحدى طرق التشكيل اللدن للمعدن، إذ يتم فيها مط المعادن وتسطيحها وسحبها طولياً أو عرضياً بالشكل المطلوب، بحسب الطريقة المستخدمة وقوالب السحب الدوارة بحيث تتشكل المعادن إلى ألواح أو قضبان أو أي أشكال مسطحة الوجوه.

ببساطه فإن عملية الدرفلة هي أشبه بعملية الطباعة إذ ينزلق المعدن بين معدنين مضغوطين، فهي تعتمد على بكرات وأسطوانات تقوم بضغط المعدن وكبسه ومطه.

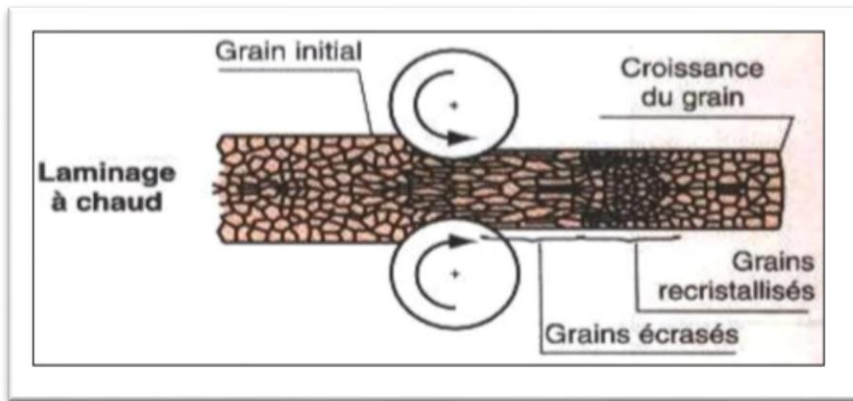
مبدأ عملية الدرفلة

تعتمد عملية الدرفلة على تمرير الصفائح المعدنية المراد درفلتها بين اسطوانات ذات صلادة عالية تدعى درافيل وذلك بهدف تقليل سمك هذه الصفائح، وتتم هذه العملية إما على البارد أو الساخن [26].

أنواع الدرفلة

• الدرفلة على الساخن

تتميز الدرفلة على الساخن بارتفاع درجة حرارة المعدن للوصول إلى درجة الليونة اللازمة لتشكيل الصفائح، وهذا النوع من الدرفلة مستخدم في معامل صهر الحديد والنيحاس والزرنيخ وغيرها من المعادن حيث يتم توظيف عامل درفلة على الساخن يقوم بتشغيل ومراقبة وحدة الدرفلة الأسطوانية الشكل لتسوية كتل المعادن الساخنة وتشكيلها إلى صفائح ثم تحويلها إلى قطع نصف مصنعة أو تشكيلها في شكلها النهائي.



الشكل 14. مبدأ عملية الدرفلة على الساخن [23].

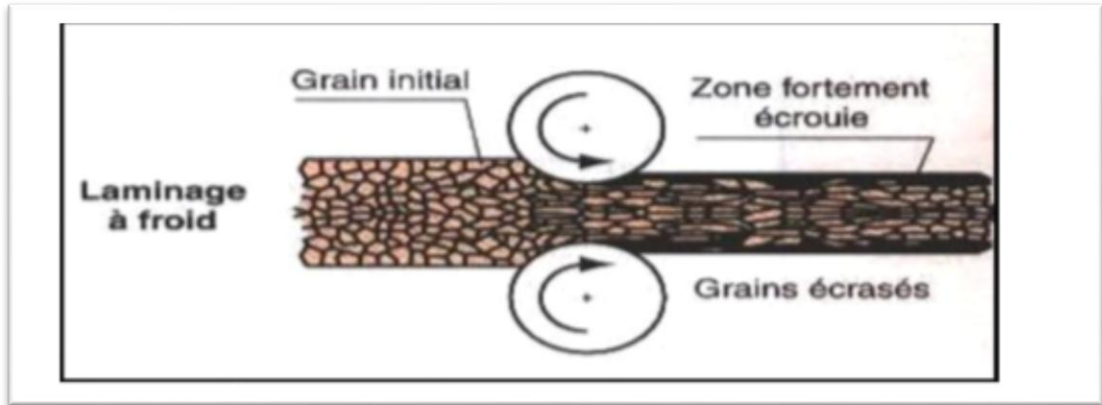
• الدرفلة على البارد

تجرى الدرفلة على البارد في درجة حرارة الغرفة ومن المعادن التي من الممكن درفلتها على البارد هي النحاس والألمنيوم أما الفولاذ فيتم درفله على الساخن، عند درفلة صفائح ذات حجم كبير على البارد تستعمل قوة تشكيل كبيرة تتجم عنها اهتزازات معتبرة مما يستوجب إستعمال درافيل إسناد وتؤدي الدرفلة على البارد المهام التالية :

1- ضبط الأبعاد والمقاسات إلى حد بعيد.

2- تحسين المظهر الخارجي وإزالة الطبقات المتأكسدة.

3- تحسين بعض الخواص الميكانيكية مثل الصلادة ومقاومة الشد.



الشكل 15 . مبدأ الدرفلة على البارد [27].

6.II. المعالجة الحرارية

يقصد بالمعالجة الحرارية تسخين المعدن إلى درجات حرارة معينة وفقاً للهدف النهائي للمعالجة الحرارية ثم التبريد بمعدلات معينة وتهدف المعالجة الحرارية إلى رفع المقاومة الميكانيكية للمادة فالمعالجة الحرارية تعد أهم وسيلة في معالجة السبائك وزيادة قساوتها [28].

المعالجة الحرارية لسبائك الألمنيوم

تصنف المعالجات الحرارية لسبائك الألمنيوم عموماً إلى ثلاث فئات رئيسية وهي:

1.6.II. معالجات التجانس

تتمثل هذه المعالجة في تسخين المعدن في درجات حرارة مرتفعة نسبياً خلال فترات زمنية تقدر ببعض الساعات وتكمن أهمية معالجات التجانس في الحفاظ على المنتجات (في الحالة الخام أو بعد التشوه) لفترة أطول من الوقت من أجل تسهيل التحولات اللاحقة، كما يمكنها أيضاً تقليل تدرجات التركيبية التي تم الحصول عليها أثناء عملية الترسيب، تتراوح درجة حرارة التجانس عادة من 450°C إلى 500°C بالنسبة للألمنيوم ومن 450°C إلى 590°C بالنسبة لسبائك الألمنيوم [29،30].

2.6.II. معالجات التلدين

تهدف هذه المعالجة إلى تلدين السبائك التي حدث لها تصلد بفعل عمليات التشكيل أو بفعل التبريد السريع جداً (السقاية). يتم إجراء معالجات تلدين في ظل ظروف دقيقة من درجة الحرارة والمدة، حيث يرتبط هذان العاملان الأخيران ارتباطاً وثيقاً ويوفران مجموعة متنوعة من الخصائص. ومن بين هذا النوع من المعالجات نذكر على سبيل المثال المعالجة لإعادة الهيكلة (ترميم)، والتي تستعمل في حالة تعرض المعدن إلى التشوه بواسطة الدرفلة أو السحب.... الخ. وهذه المعالجة تتمثل في تسخين المعدن لفترات زمنية طويلة تحت درجات حرارة مرتفعة، بغرض تلدين السبيكة وخاصة السبائك التي تحتوي على الترسبات بشكل كبير [31].

3.6.II. معالجات التصلب البنيوي

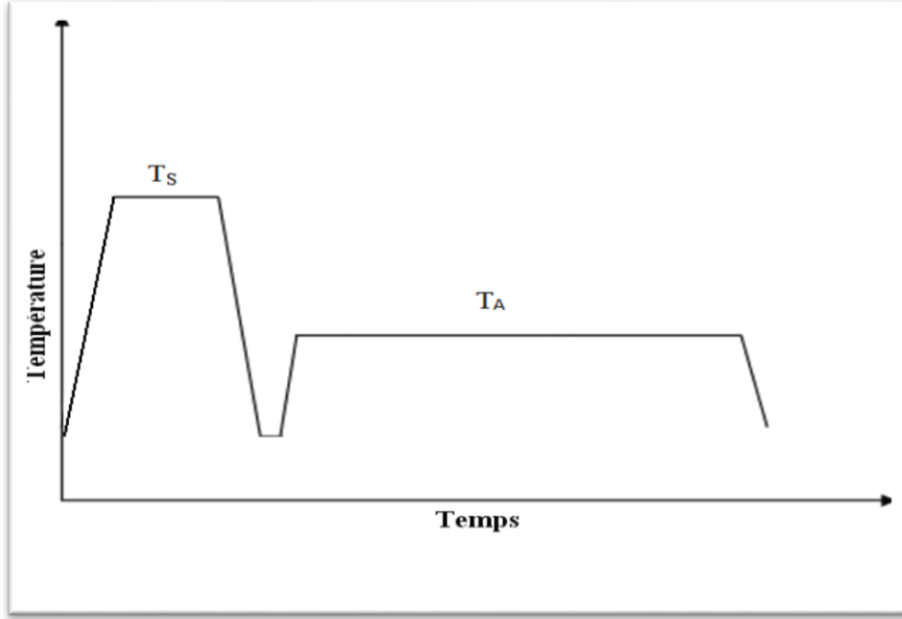
- يعتبر التصلب البنيوي ذو أهمية قصوى في تعدين سبائك الألمنيوم لأنه يعمل على تحسين الخواص الميكانيكية، هذا النوع من المعالجات مخصص لسبائك صلبة بنيويا والتي تتضمن ثلاث مراحل:
- 1- المعالجة الحرارية للمعدن تحت درجات حرارة مرتفعة نسبيا كالمعالجة بالتجانس أو بالتلدين .
 - 2- التبريد السريع جدا لهذا المعدن المعروف بالسقاية لهدف الحفاظ على الحالة البنيوية المحصل عليها من عملية التجانس.
 - 3- التعقيم وتوجد نوعان من هذه المعالجة :

- 1- التعقيم الطبيعي: السبائك المعالجة حراريا تتغير خصائصها الميكانيكية عند تواجدها في درجة حرارة الغرفة لمدة تتعدى بعض الأيام وقد تصل إلى بعض السنين.
- حيث نلاحظ أن بعض سبائك ألمنيوم السلسلة 6000 تصل صلابتها إلى قيمة العظمى بعد شهر من تعيقها.

التعقيم الطبيعي هدفه الرئيسي هو الرفع من الصلادة [34].

- 2- التعقيم الاصطناعي: يتمثل في التسخين إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة خلال مدة زمنية وتغيير درجة الحرارة التعقيم الاصطناعي في المجال حسب الغرض المطلوب في دالة:

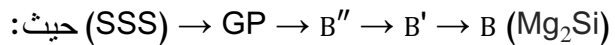
.(240-100) Al-Mg-Si



الشكل 16. بيان يوضح تغير درجة حرارة المعالجة الحرارية بدلالة الزمن للتصلب البنيوي [31].

7.II. الترسيبات في سبائك Al-Mg-Si

لقد أجريت العديد من الدراسات حول ظاهرة الترسيبات في سبائك Al-Mg-Si باستخدام أساليب تجريبية مختلفة حيث أوضحت هذه الأخيرة أن الترسيبات في سبائك الألمنيوم يعد معقدا نوعا ما نتيجة وجود أطوار شبه مستقرة، [20،26] ويعطى التسلسل العام لهذه السبائك كما يلي:



- (SSS) تمثل طور محلول جامد فوق مشبع.
- GP تمثل مناطق غير بريستون تأخذ أشكال كروية و بنيتها غير معروف.
- B'' تمثل طور مترسب يمتاز بصلادة عالية يكون على شكل إبر وفق الاتجاه <100> بنيتها أحادية.
- B' تمثل طور مترسب في شكل قضبان ممدودة وفق طول الاتجاه <100> بنيتها البلورية سداسية (C=0.405nm و A=0.705nm) [32].

- B (Mg₂Si) وهي تمثل الطور الأكثر استقرارا، تكون على شكل صفائح صغيرة وفق المستوى {100} بنيتها البلورية ممرزة الوجوه CFC [33].

الفصل الثالث

مواد وطرق البحث

1.III. مقدمة

يهدف هذا الفصل إلى التعريف بمختلف التقنيات التجريبية والمعالجات الحرارية التي استعملت لإنجاز هذا العمل.

التقنيات التجريبية التي استخدمت في هذا البحث من أجل تحديد تطور البنية المجهرية بدلالة مختلف التشوهات عن طريق التشكيل بالدرفلة وقياس نتائج الخصائص الميكانيكية والكهربائية هي:

- المجهر الضوئي والإلكتروني.
- حيود الأشعة السينية.
- اختبار الصلادة.
- الماسح التفاضلي الكالوريميتري (DSC).

2.III. اختيار المادة المدروسة

يتم توفير المواد المدروسة من قبل مختبر قسم فيزياء المعادن بجامعة مانشستر (بريطانيا)، فهي عبارة عن صفائح من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si (سلسلة 6000)، طولها 30cm وعرضها 4cm وسمكها 3 mm تركيبها الكيميائي مبين في الجدول 4.

Mg%	Si%	Cu%	Fe%	Mn%	Cr%	Zn%	Ti%	B%	Al%
0.49	0.37	0.1	0.17	0.030	0.001	0.003	0.010	0.001	المتبقي

الجدول 4. التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة.

ولتحقيق هذه الدراسة يتم تعريض السبيكة لمعدلات تشوه مختلفة بالدرفلة (الجدول 5). وتحسب

$$\varepsilon = \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right) \cdot 100\%$$

حيث:

✓ h_0 هو السمك الابتدائي للسبيكة

✓ h هو السمك النهائي بعد درفلة السبيكة

✓ ε هو معدل التشوه

في هذه الدراسة ستهتم بدراسة الصفائح المدرفلة ذات معدلات التشوه التالية :

$$\varepsilon_0 = 0\% \quad \checkmark$$

$$\varepsilon_1 = 15.25\% \quad \checkmark$$

$$\varepsilon_2 = 35.48\% \quad \checkmark$$

$$\varepsilon_3 = 64\% \quad \checkmark$$

$$\varepsilon_4 = 75.3\% \quad \checkmark$$

سمك الصفيحة (mm)		معدل التشوه (%) ε
الصفحة الأولى	3	0
الدفلة 2	2.54	15.25
الدفلة 3	1.93	35.48
الدفلة 4	1.08	64
الدفلة 5	0.74	75.33

الجدول 5. معدلات التشوه (ε) لأسلاك الألمنيوم.

3.III. المعالجات الحرارية

أجريت المعالجات الحرارية في فرن من نوع نابيرثرم NABERTHERM. حيث خضعت السبائك لمعالجات حرارية بمعدل تسخين قدره $5^\circ\text{C}/\text{min}$. تم اختيار هذا المعدل البطيء في ارتفاع درجة الحرارة لجعل العناصر المضافة أكثر انحلال في البنية البلورية. خضعت عينات السبيكة المدروسة إلى عملية تجانس حراري عند درجة حرارة 550°C لمدة ساعة، ثم يتم تبريدها تبريدا سريعا بواسطة الماء.



الشكل 17 . فرن المعالجات الحرارية نابيرثرم NABERTHERM.

4.III. تحضير العينات

تم تقطيع العينات على شكل صفائح صغيرة طولها 1 cm، عرضها 0.5 cm وسمكها 3 mm. يتم القطع ببطء بواسطة منشار حديدي يدوي وتحت تدفق الماء البارد لتجنب التصليد الانفعالي للعينات.

1.4.III. التشكيل على البارد باستعمال الدرفلة

يتم تحضير قطع صغيرة من السبيكة بالأبعاد التالية تقريبا (طولها 1 cm و عرضها 0.5 cm وسمكها 3 mm) وذلك من أجل إجراء عملية الدرفلة بمعدلات التشوه المبينة في الجدول 5 وتتم هذه العملية باستخدام ماكينة درفلة تحتوي على درفيلين، حيث تم تقليص السمك الأولي للصفحة والمقدر بـ 3mm إلى:

(0.74mm، 1.08mm ، 1.93mm،2.54mm) على التوالي، علما أن عملية تقليص السمك

قد تمت بمرحلة واحدة لجميع العينات لكل معدل تشوه.



الشكل 18. يوضح ماكينة الدرفلة (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي).

III.4.2. الصقل

في عملية الصقل الميكانيكي استخدمنا الورق الكاشط الخشن الذي يتكوّن أساساً من حبيبات كربونات السليسيوم (SiC). حيث يُستعمل الورق الكاشط تدريجياً من الرّم الصناعي 100 إلى 1200 كعملية أولية (استقراب + نصف تشطيب) يسمح هذا الأخير بالتّحسين التّدرجي لاستواء السّطح ثم يُتبع الصقل الخشن بعملية التشطيب النهائي وهو عبارة عن صقل ناعم حيث يستخدم قماش رطب ويضاف إليه عجينة الألماس ذات جسيمات دقيقة حجمها $6\mu\text{m}$ و $3\mu\text{m}$. عند نهاية الصقل الخشن والناعم يكون سطح العيّنة شبيه بمرآة.

III.4.3. التّمشيش الكيميائي

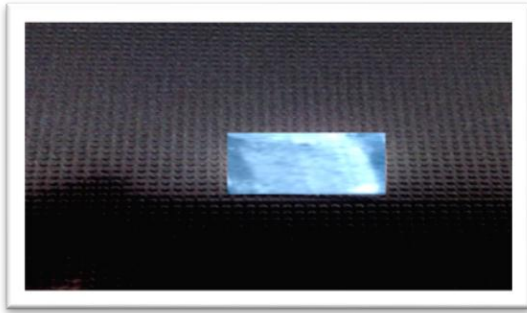
من المعروف أن الفحص المجهرى لسطح العينات المصقولة لا يبين لنا حدود الحبيبات للمكوّنات الطورية، لذا وجب علينا أن نقوم بعملية تمشيش كيميائي لأسطح العينات وذلك باستخدام محلول كيميائي. أجريت عدة تجارب التّمشيش الكيميائي على عيناتنا المصقولة باستخدام تراكيب كيميائية مختلفة غير أن النتائج المتحصل عليها كانت أكثر فعالية باستخدام كاشف كيلر.

يتم تنظيف العينات من أي بقايا موجودة باستعمال الماء المقطر ثم تجفف بالهواء بعد كل عملية تمشيش بواسطة الكاشف الكيميائي (كيلر).

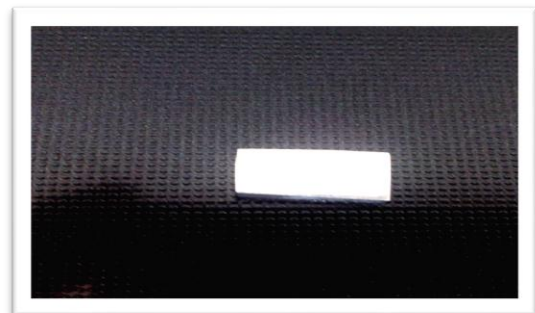
يحتوي المحلول الكيميائي (كيلر) المستعمل على 17ml من حمض النيتريك (HNO_3)، 5ml من حمض الهيدروفلوريك (HF)، 9ml من حمض الهيدروكلوريك HCl^2 و 78ml من الماء المقطر. وقت التتميش الكيميائي للكشف عن الحدود الحبيبية لا يتجاوز 15S.



الشكل 19. الورق الكاشط و ماكينة الصقل الميكانيكي (FORCIPOL 2) (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي) .



الشكل 21. سطح العينة قبل الصقل.

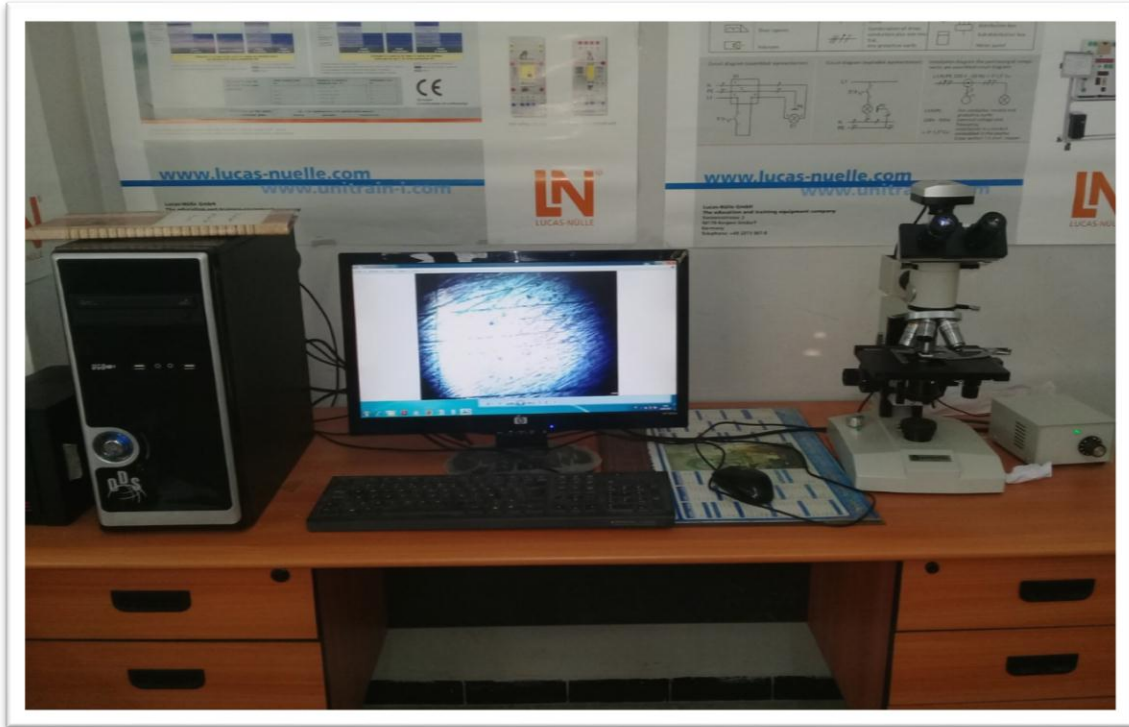


الشكل 20. سطح العينة بعد الصقل.

III.5. الطرق التجريبية

III.5.1. المجهر الضوئي (MO) Microscope optique

أجريت عملية المراقبة الميكروسكوبية في مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي، باستخدام مجهر ضوئي نوع أورو ماكس EUROMEX (شكل 22) بتكبيرات مختلفة (500 و 600 و 1000) ومجهز بكاميرا رقمية. هذه التقنية تمكننا من تسليط الضوء على مختلف التغييرات التي تطرأ على البنية المجهرية أثناء مختلف عمليات تشكيل الصفائح بالدرفلة.



الشكل 22. مجهر ضوئي نوع EUROMEX (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي).

III.5.2. اختبار الصلادة

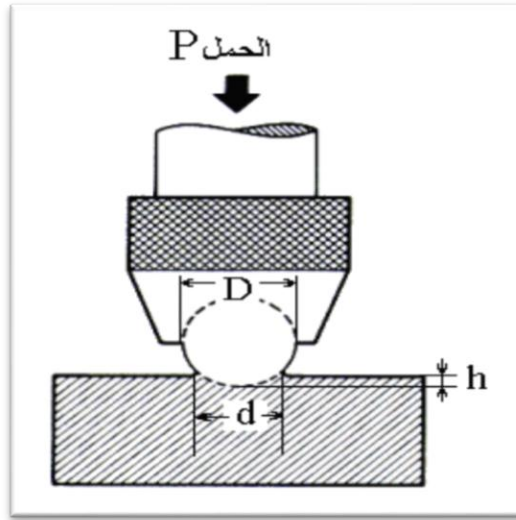
يعرف اختبار الصلادة على أنه تقنية يتم استخدامها على المواد قصد معرفة خاصية صلابتها. والصلادة هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها وإبقائه متماسكا تحت تأثير الأحمال.

يتم اختبار الصلادة بالضغط على العينة المراد قياس صلابتها باستعمال جسم قاسٍ ذي شكل هندسي محدد (كرة فولاذية، مخروط من الألماس)، بعد إزالة القوة الضاغطة يترك هذا الجسم أثر إنغراسه

في العينة المدروسة، وبغض النظر عن نوع الاختبار، يتم التعبير عن القساوة بعدد يتناسب عكساً مع عمق الأثر الذي يتركه الجسم المستخدم للانغراس على سطح العينة. يتم استخدام عدة أنواع من هذه الاختبارات لها نفس المبدأ، غير أنها تختلف في شكل الأداة المستخدمة.

والتقنيات الثلاثة الأكثر شيوعاً هي اختبار برينل، اختبار فيكرز و اختبار ركوال.

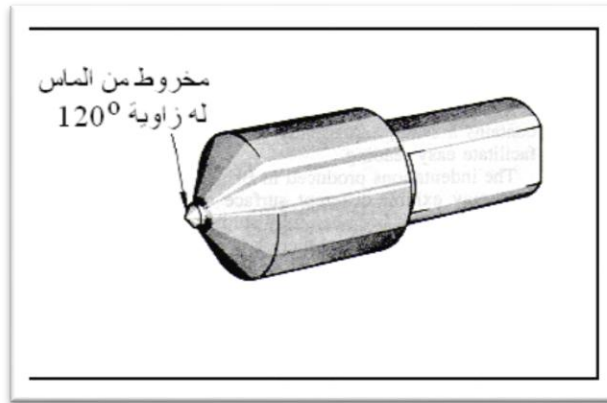
1. اختبار برينل : شكل الأداة عبارة عن كرات من الصلب المصلد (شكل 23).



شكل 23. أداة اختبار برينل.

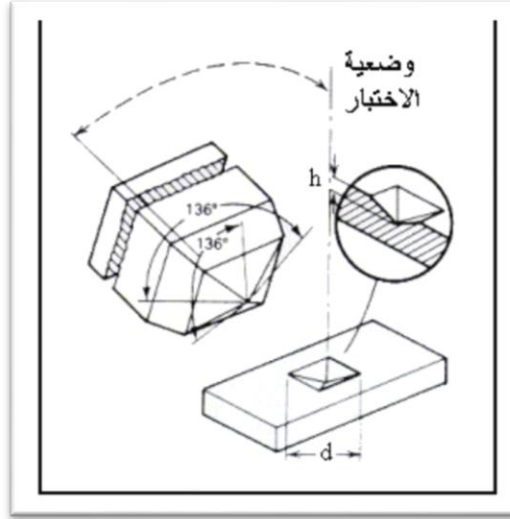
2. اختبار ركوال: شكل الأداة عبارة عن مخروط من الماس له زاوية 120° وحرف مستدير ويسمى

البرايل (شكل 24).



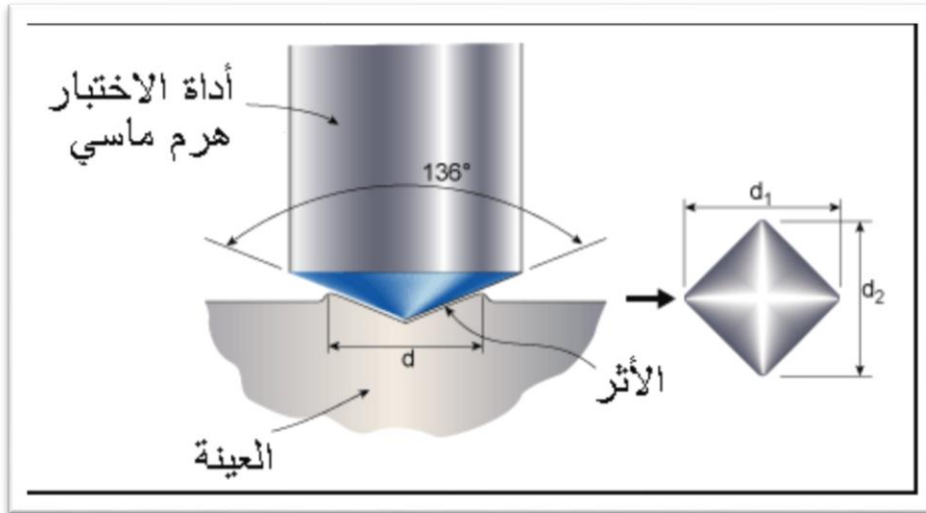
شكل 24. أداة اختبار ركوال.

3. اختبار فيكرز: شكل الأداة عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة وتتقاطع مستوياته عند الحروف بزاوية θ قدرها 136° (شكل 25).



شكل 25. أداة اختبار فيكرز.

بما أن شكل الأداة عبارة عن هرم من الماس فان الأثر على سطح عينة الاختبار سيكون مربعاً وذو عمق معين وبالتالي تقاس الصلادة بقياس قطر الأثر (d).



شكل 26. اختبار فيكرز للصلادة (وضعية الاختبار وشكل الأثر)

يتم حساب صلابة فيكرز (HV) باستخدام العلاقة التالية: $Hv = \frac{1.854F}{D^2}$ أين:

✓ F حمل الاختبار (Kg)

✓ D قطر الأثر (mm)

في هذه الدراسة تم استخدام جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (الشكل 27)، حيث تم تحضير العينات المراد قياس صلابتها وذلك بصقلها باستعمال الورق الكاشط تدريجيا من الرّم الصناعي 100 إلى 1200. أجريت القياسات تحت حمولة مقدارها 300g لمدة 15S، ولكل عينة تمثل قيمة الصلادة متوسط خمسة قياسات.



الشكل 27. جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي).

III.3.5. التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية

يعتبر حيود الأشعة السينية طريقة مهمة جدا تستعمل في تحديد طبيعة وبنية الأجسام المتبلورة بحيث لا يمكن تطبيق هذه الطريقة إلا على المواد المتبلورة كالمعادن والصخور، فعند تعرض العينة المتبلورة لحزمة أحادية الموجه من الأشعة السينية فإن الطبقات الذرية لهذه المادة تتسبب في حيود هذه الأشعة الساقطة عن مسارها الأصلي طبقا لقانون براج وبمعرفة شدة الإنعكاسات وزوايا الإنعكاس من نمط حيود الأشعة السينية يمكن تحديد المسافات البينية للمسطحات الذرية (d) والذي يكون مميز للمادة التي يتم فحصها، وبالرجوع إلى الجداول القياسية يمكن التعرف على المركبات المكونة للعينة .

عندما تتداخل الموجات المنعكسة تداخلا بناء، يظل الطور بينهم ثابتا حيث أن مسار كل موجة يساوي عددا كاملا n من طول الموجة λ . ويخضع فارق المسار بين موجتين تداخلا تداخلا بناء لقانون براغ :

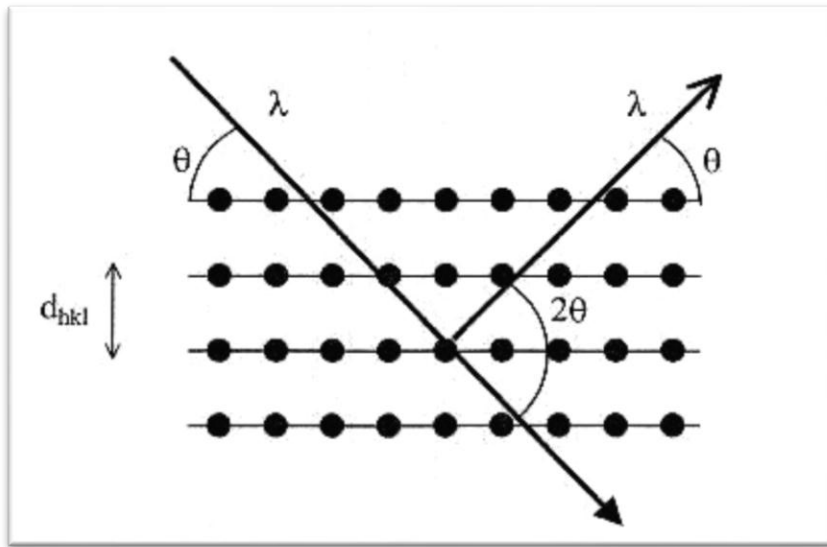
$$2 d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$$

تربط هذه العلاقة بين:

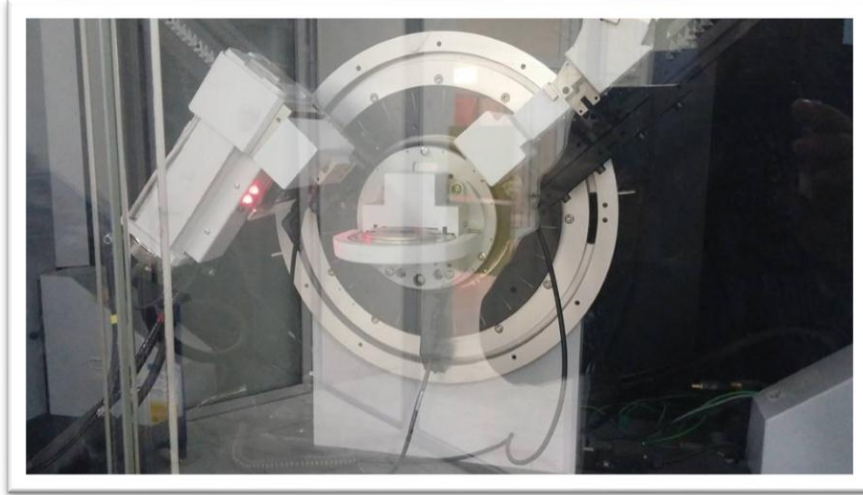
- المسافة d بين طبقات الذرات.
- طول موجة الأشعة λ .
- الزاوية θ بين الشعاع الساقط و مستوي الطبقة البلورية.
- n عدد صحيح يحدد درجة الحيود.

في هذه الدراسة استعملنا جهاز انعراج الأشعة السينية نوع : PAN alytical X' Pert PRO

(مختبر قسم المعادن بجامعة بسكرة)



الشكل 28. حيود براغ.



الشكل 29. جهاز انعراج الأشعة السينية نوع PAN alytical X' Pert PRO

III.4.5. التحليل بواسطة المسح التفاضلي الكالوريميترى (DSC)

تعتمد طريقة المسح التفاضلي الكالوريميترى على جعل العينة والمادة القياسية (المادة المرجعية) عند نفس درجة الحرارة عند تطبيق طاقة حرارية وذلك أثناء تسخينها أو تبريدها بسرعة منتظمة.

يتكون جهاز المسح التفاضلي الكالوريميترى من وعاءين، الأول مخصص للعينة المراد دراستها والثاني يترك فارغاً وهو الوعاء المرجعي. يسخن الوعاءين في فرن بمعدل 10 درجات في الدقيقة مثلاً يحتوي كل وعاء على لاقط حراري موصول إلى حاسب آلي يسجل التغير في درجات الحرارة اللازمة لوصول العينة لنفس درجة حرارة العينة المرجعية. وينشأ هذا الفرق في درجات الحرارة لأن أحد الوعاءين يحتوي على المادة في حين أن الوعاء الثاني يكون فارغاً. فبوجود المادة الإضافية يحدث فرق في درجة الحرارة بين الوعاءين. وتسجل درجات الحرارة وترسم بيانياً، ومن الرسوم البيانية يمكن معرفة نسبة التبلور في المادة ومن معرفة أنتالبي الانصهار. يحسب الحاسب الآلي الفرق في درجة الحرارة بين العينة والوعاء المرجعي وبحولها إلى تدفق حراري. تسمح لنا هذه التقنية بتحديد الظواهر الحرارية المرافقة لتحول ما كتطور بنية المادة مثلاً. استخدمنا في هذه الدراسة جهاز SETARAM DSC- 131 مؤلف من فرنين يحتوي الأول على العينة والثاني على المرجع. حيث يتم قياس الفرق بين التدفق الحراري بين العينة والمرجع ومن ثم يحدد الفرق بين السعة الحرارية النوعية بين العينة والمرجع من خلال المنحني الحراري لجهاز DSC .



الشكل 30. جهاز SETARAM DSC- 131 (مختبر إعداد وتحليل المواد بجامعة عنابه).

الفصل الرابع

تحليل النتائج

1.IV. الدراسة باستعمال المجهر الضوئي

يبين الشكل 31 البنية المجهرية لعينات من سبيكة الألمنيوم المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه (0%، 15.25%، 35.48%، 64%، 75.33%) نلاحظ تمدد واستطالة الحبوب على طول اتجاه الدرفلة لجميع معدلات التشوه وهذا ناتج عن ضغط الدرافيل على عينات السبيكة المدرفلة [35،36]. كما أظهرت الصور عدد قليل من الجسيمات الخشنة الغير قابلة للذوبان والتي نشأت أثناء عملية التصنيع تصبح مرئية شيئاً فشيئاً أي تدريجياً من معدلات التشوه الصغرى إلى معدلات التشوه الكبرى على طول اتجاه الدرفلة. ونلاحظ أيضاً أن الجسيمات الخشنة المتواجدة على طول اتجاه الدرفلة تبدو وكأنها كسرت أثناء درفلة السبيكة. ونجد أن هذه النتيجة في اتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [19،37].

2. IV. اختبار الصلادة

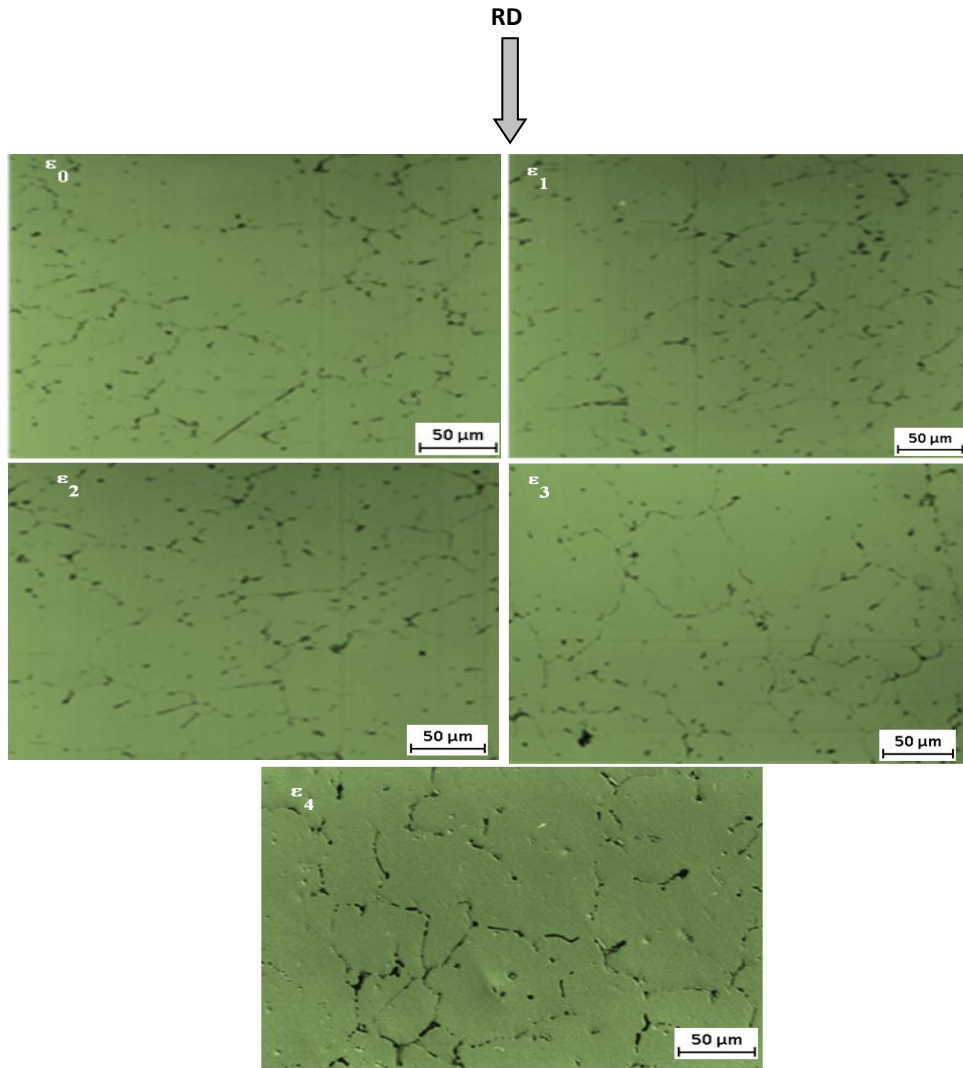
يبين (الشكل 32) تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه :

(0%، 15.25%، 35.48%، 64%، 75.33%) لعينات من سبيكة الألمنيوم غير معالجة حرارياً والمعالجة حرارياً عند 550 درجة مئوية لمدة ساعة، حيث تم اخذ أربعة قراءات لكل عينة واعتمد المعدل لجميع العينات و الجدول 6 يبين قيم الصلادة لتلك العينات. حيث نلاحظ أن الصلادة تزداد مع زيادة معدل التشوه [19،20،38]. وهذه الزيادة المعتبرة في الصلادة سببها هو ارتفاع في كثافة الانخلاعات المتولدة أثناء تشوه السبيكة عند تشكيلها على البارد. وهذه النتيجة تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [19،20].

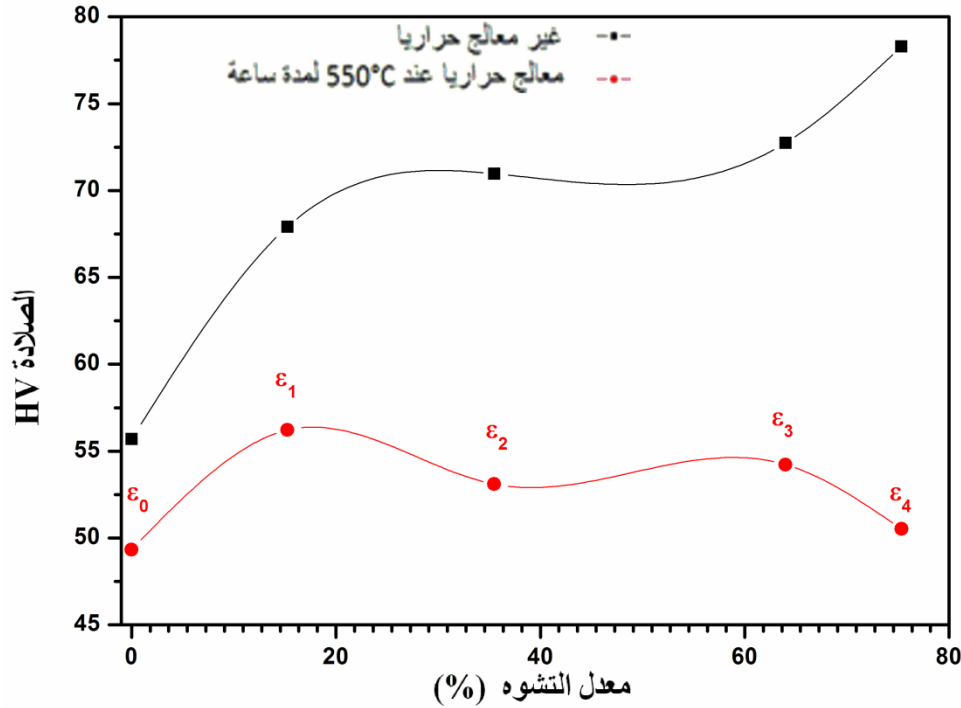
بعد عملية درفلة الصفيحة بمختلف معدلات التشوه أجريت عملية المعالجة الحرارية) معالجة بالتلدين عند 550 درجة مئوية لمدة ساعة) لهذه الصفائح. هذه الأخيرة أثرت بشكل كبير على صلادة الصفائح المدرفلة حيث انخفضت الصلادة لكل حالات معدلات التشوه وهذا راجع إلى إعادة البلورة (إعادة الترميم) الناتج عن ظاهرة تليين صفائح سبيكة الألمنيوم أي الزيادة في لدونتها.

عدد الاختبارات	ε معدل التشوه (%)				
	ε ₄	ε ₃	ε ₂	ε ₁	ε ₀
1	78.2	72.4	70.6	67.4	55.4
2	78.6	73.1	71.2	67.7	55.8
3	77.9	72.9	71.3	68.4	56.1
4	78.5	72.6	70.8	68.2	55.5
(HV)	78.3	72.75	70.97	67.92	55.7

الجدول 6. نتائج اختبار الصلادة.



الشكل 31. يمثل البنية المجهرية لعينات من سبيكة الألمنيوم لمختلف معدلات التشوه.



الشكل 32. يمثل تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه لعينات من سبيكة الألمنيوم المعالجة حراريا عند 550°C لمدة ساعة وغير المعالجة حراريا.

3.IV. التحليل الحراري التفاضلي DSC

باستعمال جهاز التحليل الحراري التفاضلي DSC تم تحليل العينات في المجال الحراري 50°C إلى 515°C وذلك بمعدل تسخين 10 °C/min.

IV. 1.3. حالة السبيكة الغير مدرفلة (ε₀ = 0%)

الشكل 33 يمثل منحنى DSC لسبيكة Al-Mg-Si غير مدرفلة، حيث نلاحظ بوضوح وجود ستة قمم. ثلاثة قمم طاردة للحرارة (exothermiques) معينة ب: III، V، و I وثلاثة قمم ماصة للحرارة (endothermiques) معينة ب: IV، VI، و II.

يمكننا تفسير القمم المرصودة كما يلي:

✓ ترجع القمة الطاردة للحرارة (I) الواقعة عند 115°C إلى تكوين مناطق GP وتجمعات ذرات كل من Mg و Si. هذه النتيجة في اتفاق جيد مع بعض الدراسات السابقة [40، 41].

✓ القمة الماصة للحرارة (II) الواقعة عند 175°C تدل على انحلال مناطق GP.

✓ القمة الطاردة للحرارة (III) الواقعة عند 276°C تدل على تكوين الطورين الشبه مستقرين β' و β''

الليذان تشكلا على حساب المناطق GP وتجمعات ذرات Mg و Si [41،40].

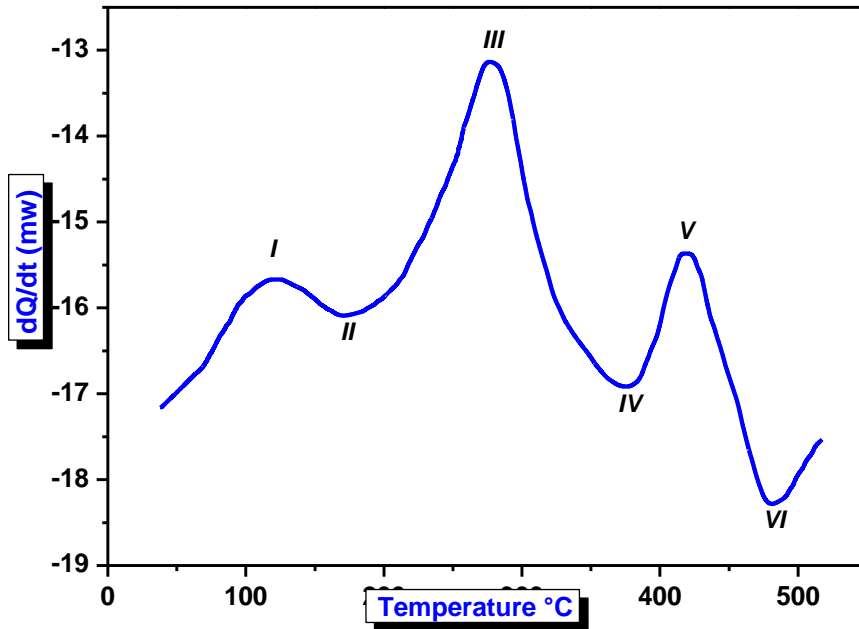
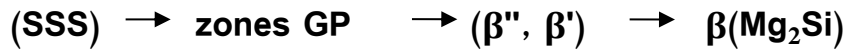
✓ فيما يخص القمة الماصة للحرارة (IV) الواقعة عند 375°C تدل على انحلال الطورين الشبه

مستقرين β' و β'' .

✓ القمة الطاردة للحرارة (V) الواقعة عند 420°C والقمة الماصة للحرارة (VI) الواقعة عند 482°C

تدلان على التوالي على تكوين وانحلال الطور المستقر $\beta(\text{Mg}_2\text{Si})$.

وبالتالي يمكن القول أن مراحل الترسيبات في السبيكة المدروسة الغير مدرفلة هي كالتالي :



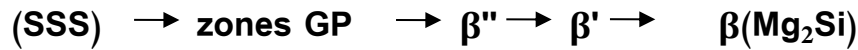
الشكل 33. يمثل منحنى DSC للسبيكة الغير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$).

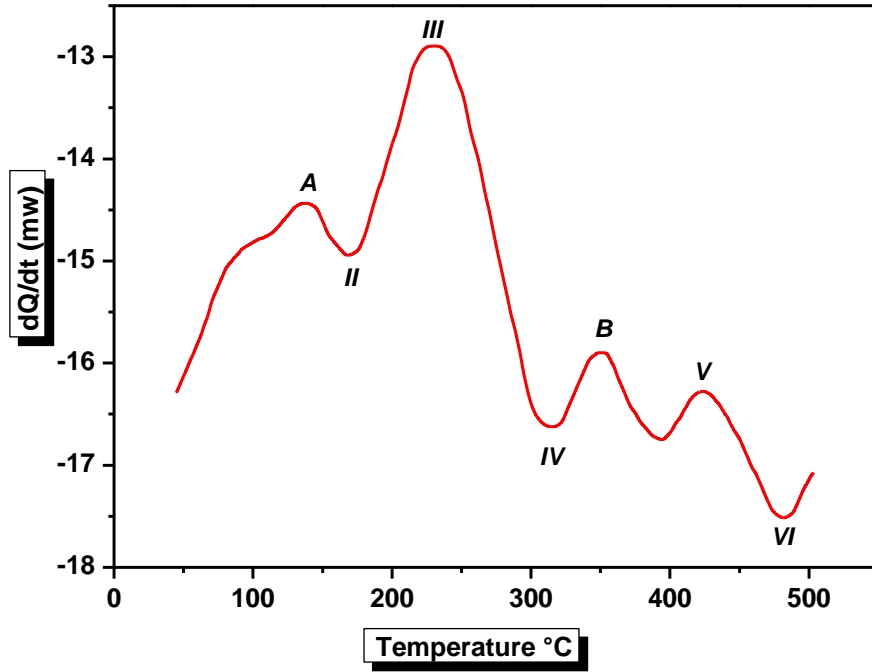
IV 2.3 حالة السبيكة المدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$)

يوضح الشكل 34 منحنى DSC لسبيكة Al-Mg-Si مشوهة بمعدل $\epsilon_4 = 75.33\%$. القمم الطاردة والماصة للحرارة III، II، IV، V و VI التي سبق وأن رأيناها في حالة السبيكة الغير مدرفلة هي موجودة أيضا في هذه الحالة غير أن ومع ذلك نلاحظ اختفاء القمة I الطاردة للحرارة المتعلقة بتكوين تجمعات ذرات كل من Mg و Si. وبالإضافة إلى ذلك، ظهور قمة جديدة B طاردة للحرارة عند 350°C . ان اختفاء القمة I الطاردة للحرارة يشير الى أن التشوه اللدن يمنع أو يقلل من تكون تجمعات ذرات كل من Mg و Si. هذه الظاهرة تم التطرق اليها من قبل كل من Serizawa et al [42] و H.Nemour[43]. وفيما يخص القمة الطاردة للحرارة A ترجع الى تكوين مناطق GP.

ظهور القمة الطاردة للحرارة B ناتج عن تشكل العيوب وبصفة خاصة العيوب الخطية المتمثلة في الانخلاعات المتولدة بسبب عملية التشكيل على البارد (عملية الدرفلة)، وتشكل هذه العيوب الموجودة بأعداد كبيرة، تشكل مواقع تفضيلية لتتوي ونمو الأطوار، مما يسرع من حركية الترسبات. في هذه الحالة نستطيع القول أن ظهور القمة الطاردة للحرارة B راجع الى تكون الطور الشبه مستقر β' بصفة انفرادية.

في حالة السبيكة المدروسة المدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$) مراحل الترسبات تكون كالتالي :





الشكل 34. يمثل منحنى DSC للسبيكة المدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$).

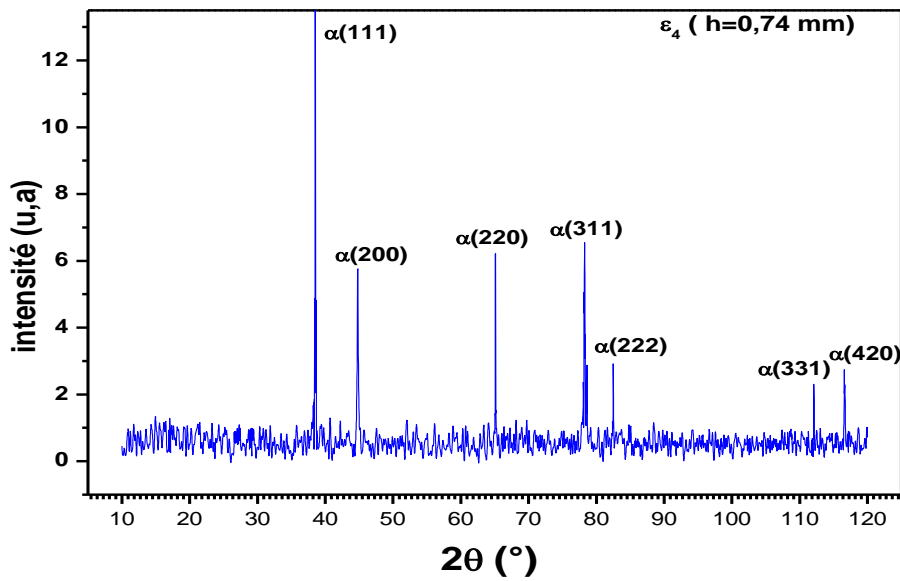
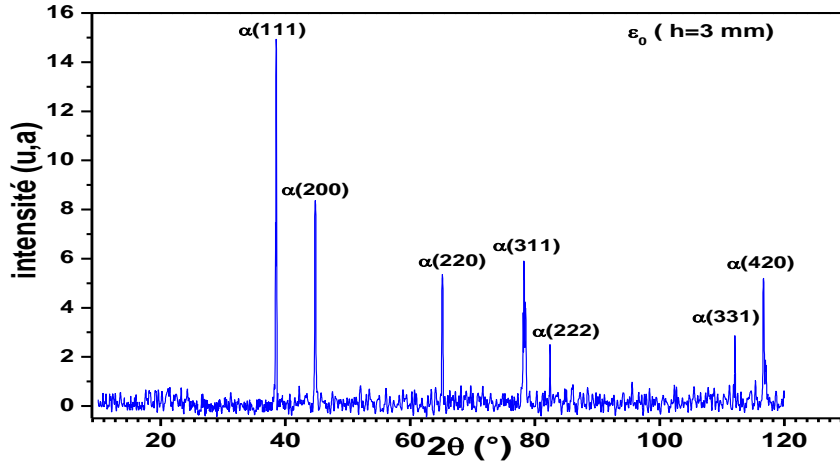
4.IV. التحليل بواسطة الأشعة السينية

يعد استخدام طريقة حيود الأشعة السينية (XRD) من الطرق الجيدة لتحديد البنية البلورية. حيث تستخدم تقريبا في جميع مجالات فيزياء الحالة الصلبة.

درسنا تطور البنية المجهرية لعينتين من السبيكة المدروسة (سبيكة غير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$) وسبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$) من خلال تحليل أطيف الحيود التي تم الحصول عليها بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية نوع PAN alytical X' Pert PRO باستخدام حزمة أحادية اللون من طيف النحاس ذات الطول الموجي 0.15406 nm عند التشغيل بفولتية 30 kV وتيار 20 mA وسرعة المسح 0.02 °C /s وضمن المدى الزاوي $2\theta = 10^\circ \text{---} 120^\circ$.

يمثل الشكل 35 أطيف حيود الأشعة السينية لعينتين من السبيكة (سبيكة غير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$) وسبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 75.33\%$))، وفقاً لصحائف بيانات ASTM (أنظر الملحق)، فإن حالات الانعراج المسجلة تتوافق مع بنية C.F.C لمصفوفة الألمنيوم في كلتا الحالتين أي السبيكة المدرفلة والغير

مدرفلة. نلاحظ أيضا أن حالات الانعراج لم تتغير بعد عملية درفلة السبيكة. هذه النتيجة تم الحصول عليها من قبل wang et al [44] الذي درس سبائك الألمونيوم AA 5052 المدرفلة.



الشكل 35. يمثل أطراف حيود الأشعة السينية لعينتين من السبيكة (سبيكة غير مدرفلة ($\epsilon_0=0\%$) و سبيكة مدرفلة ($\epsilon_4=75.33\%$).)

خاتمة عامة

خاتمة عامة

يهدف هذا البحث الى فهم تأثير التشوه على البارد باستعمال الدرفلة على البنية المجهرية والصلادة لصفحة من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si. ولقد استخدمنا عدة طرق تجريبية في هذا البحث لتحديد تطور البنية المجهرية بدلالة معدل التشوه وقياس الخصائص الميكانيكية مثل المجهر الضوئي، حيود الأشعة السينية، اختبار الصلادة و التحليل بواسطة الماسح التفاضلي الكالوريميترى (DSC).
من خلال هذا البحث تم التوصل إلى ما يلي:

- ✓ عملية الدرفلة تسببت في انكسار الجسيمات الخشنة المتواجدة في السبيكة والتي نشأت أثناء عملية التصنيع.
- ✓ ارتفاع كثافة الإنخلاعات المتولدة أثناء تشوه السبيكة عند درفلتها أدى إلى الزيادة في صلابتها أي أنها تزداد مع زيادة معدل التشوه
- ✓ مراحل الترسيبات في السبيكة المدروسة هي كالتالي :

السبيكة غير المدرفلة: $\beta(\text{Mg}_2\text{Si}) \rightarrow (\beta'', \beta') \rightarrow \text{zones GP} \rightarrow (\text{SSS})$

السبيكة المدرفلة: $\beta(\text{Mg}_2\text{Si}) \rightarrow \beta' \rightarrow \beta'' \rightarrow \text{zones GP} \rightarrow (\text{SSS})$

المراجع

المراجع

- [1] L.F.Mondolfo,AluminiumAlloys, structures and proprietes ,Butterworth ,1st edition ,London 1976.
- [2] D. Albert, M. Bonin, G. Gardès, D. Robert, C. Vargel; Matériaux Métalliques; Michel Colombié et coll. 2eme edition Dunod, Paris, 2001, (2008) 347-349.
- [3] Elena DIN-STIRBU, thèse de doctorat Université de Pitesti Roumanie. (2005).
- [4] J. Barralis, G. Maeder, *Précis de métallurgie*, Communications actives 5eme édition (Paris,1975), pp. 11-14.
- [5] J.P. Bailon et J. M. Dorlot, Des Matériaux, par presses internationalesPolytechniques,pp. 227-242 et 512-520, réimpression, automne,2004, Canada.
- [6] T. Abid. Mémoire de magister. Université de Constantine (2007).
- [7] : Michel Colombié et Coll, Matériaux industriels, Matériaux Métallique, DUNOD, Paris 2000).
- [8] M. Nicolas, Thèse de doctorat, Laboratoire de Thermodynamique et de Physico-Chimie Métallurgiques GRENOBLE, 2002.
- [9] W.F. Miao, D.E. Laughlin, *J. Mater. Sci. Lett.*, 19, 2000, pp. 201-203.
- [10] W. Kurz, J.P. Mercier, G. Zambelli, *Introduction à la Science Des Matériaux*, 2eme édition, Presse Polytechnique et universitaires Romandes. Suisse (Lausanne,1995), pp. 191-203.
- [11] Marc- Jan de Haas. Université de Groningen (2002).
- [12] M. Murayama, K. Hono, W.F. Miao et D.E. Laughlin, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 32A, 2001, 239–246.
- [13] M.A. Moustafa, F.H. Samuel, H.W. Doty et S. Valtierra, *International Journal of Cast Metals Research*, 2002, vol. 14, 235–253.
- [14] J.E. Gruzleski et B.M. Closset, *The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys*, American Foundrymen's Society Inc, Des Plaines, IL, 1990, 142–164.
- [15] John E. Hatch (éd.), *Aluminum - Properties and Physical Metallurgy*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1984, 84–115.
- [16] Carle Lepage thèse, Université du Québec à chicoutimi 2003.
- [17]] Chenafi messaud. mémoire de master .université de Beskra (2014).
- [18] Machinery's handbook.(1996).E.oberg p 1348-1349.
- [19] H. Farh, R. Guemini, F. Serradj, K. Djemmal, *Turkish Journal of Physics*, 34 (2010), p.

- [20] M. Zidani , L. Bessais , H. Farh , M.D. Hadid, S. Messaoudi , D. Miroud, M.K. Loudjani , A.L. Helbert and T. Baudin, *Steel and Composite Structures*, 22, No. 4 (2016), p,745.
- [21] W.A.J Chapman,"work shop technology (part 1, 2, 3)" Edward.arnold.
- [22] C.R.Shotbolt, work shop technology for mechanical engineering book 1, 2, casswill , London (1977).
- [23] J.kesler, R, Bourgeois, H.chauvel memothech, Génie des matériaux, Edisition casteila, novembre paris (2001).
- [24] C, levrau, “compréhension et modélisation des mécanisme de lubrification lors du tréfilage des aciers Inoxydables avec les savans sacs ” thèse de doctorat en sciences et génie des matériaux”, Ensm (2006).
- [25] J.Bonwel, ande, sielb, neuere untersuchungen uber den frost -Tausalz-widerstand von Beton, *Betonechnische Berichte*, vol, (1977).
- [26] Molimard, Etude expérimentale du régime de lubrifiante en filme mince – application aux fluides de laminage, thèse INSA de Lyon, (1999).
- [27] R. Develay, "mise en forme de l aluminium –Filage ou extrusion ", *Technique de l ingénieur M651*(1997).
- [28] Al-Dahshan, M. Ezz (1999), *Fer et acier: traitements thermiques et de surface*, Université King Saud, Riyad.
- [29] Burg, T, Crosky, A. (2001). *School of Material Science and Engineering University of New South Wales*.
- [30] ASM handbook; *Nonferrous alloys and special purpose materials*, 2 (1992).
- [31] W.A. Anderson; *Work Hardening, Recovery, Recrystallization and Grain Growth*, American Society for Metals; 1 (1967) 79-80.
- [32] S. Esmaeili, D. J. Lloyd. W. J. Poole, *Acta. Mater*, 51 (2003) 3467-3481.
- [33] D. Lassance. Thèse de doctorat : Université Catholique de Louvain, (2006).
- [34] A.I.Morley, M.W.Zandbergen, A.Cerezo, G.D.W.Smith, *Materials Science Forum.*, 519-521, (2006), p 543.
- [35] Kuo-Tsung Huang, Truan-Sheng Lui, Li-Hui Chen , *Journal Of Alloys And Compounds*. 470 (2010), p, 278.
- [36] Waldemar A. Monteiro, Iara M. Esposito, Ricardo B. Ferrari, Sidnei J. Buso, *Materials Sciences and Applications*, 2 (2011), p, 1529.
- [37] B. WANG, X. H CHEN, F.S. PAN, j.J. MAO,Y. FANG, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25 (2015), p. 2481.

-
- [38] F. Baira, M. Zidani, H. Farh, S. Messaoudi, T. Ziar, A.L. Helbert and T. Baudin, International Journal of Engineering Research in Africa, 31(2017), p, 20.
- [39] Lakhdar Bessais, Thèse doctorat, Université de Biskra, Algérie. (2017).
- [40] K. Djabri, Mémoire de master, Université de Tébessa, Algérie. (2016).
- [41] A. Chaouaf et I. Trabelssi, Mémoire de master, Université de Tébessa, Algérie. (2017).
- [42] A.Serizawa, T.Sato, M.K.Miller, Mater. Sci. Eng. , A561 (2013), p 492.
- [43] H. Nemour, Thèse doctorat, Université Badji Mokhtar- ANNABA, Algérie. (2017).
- [44] B. WANG, X. H CHEN, F.S. PAN, J.J. MAO, Y. FANG, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 25 (2015), p. 2481.

الملحق

الملحق

Fiche A.S.T.M de l'aluminium

Name and formula

Reference code: 00-004-0787
 Mineral name: Aluminum, syn
 PDF index name: Aluminum
 Empirical formula: Al
 Chemical formula: Al

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: Fm-3m
 Space group number: 225

a (Å): 4,0494
 b (Å): 4,0494
 c (Å): 4,0494
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 90,0000
 Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 2,70
 Volume of cell (10⁶ pm³): 66,40
 Z: 4,00
 RIR: 3,62

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Educational pattern
 Explosive
 Forensic
 NBS pattern
 Pigment/Dye
 Quality: Star (S)

Comments

Color: Light gray metallic
 General comments: Mineral species of doubtful validity, *Am. Mineral.*, **65** 205 (1980).
 Sample preparation: The material used for the NBS sample was a melting point standard sample of aluminum prepared at NBS, Gaithersburg, Maryland, USA.
 Analysis: The chemical analysis (%): Si 0.011, Cu 0.006, Fe 0.007, Ti 0.0001, Zr 0.003, Ga 0.004, Mo 0.00002, S 0.0001, Al 99.9+ (by difference).
 Additional pattern: See ICSD 64700 (PDF 01-085-1327).
 Temperature: Pattern taken at 25 C.

References

Primary reference: Swanson, Tatge., *Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, I*, 11, (1953)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	2,33800	38,473	100,0
2	2	0	0	2,02400	44,740	47,0
3	2	2	0	1,43100	65,135	22,0
4	3	1	1	1,22100	78,230	24,0
5	2	2	2	1,16900	82,438	7,0
6	4	0	0	1,01240	99,081	2,0
7	3	3	1	0,92890	112,046	8,0
8	4	2	0	0,90550	116,574	8,0
9	4	2	2	0,82660	137,463	8,0

Stick Pattern