

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 التعقيم الاصطناعي على خصائص سبيكة ألومنيوم
Al-Mg-Si مدرفلة على البارد

مقدمة من طرف:

❖ جدي عواطف

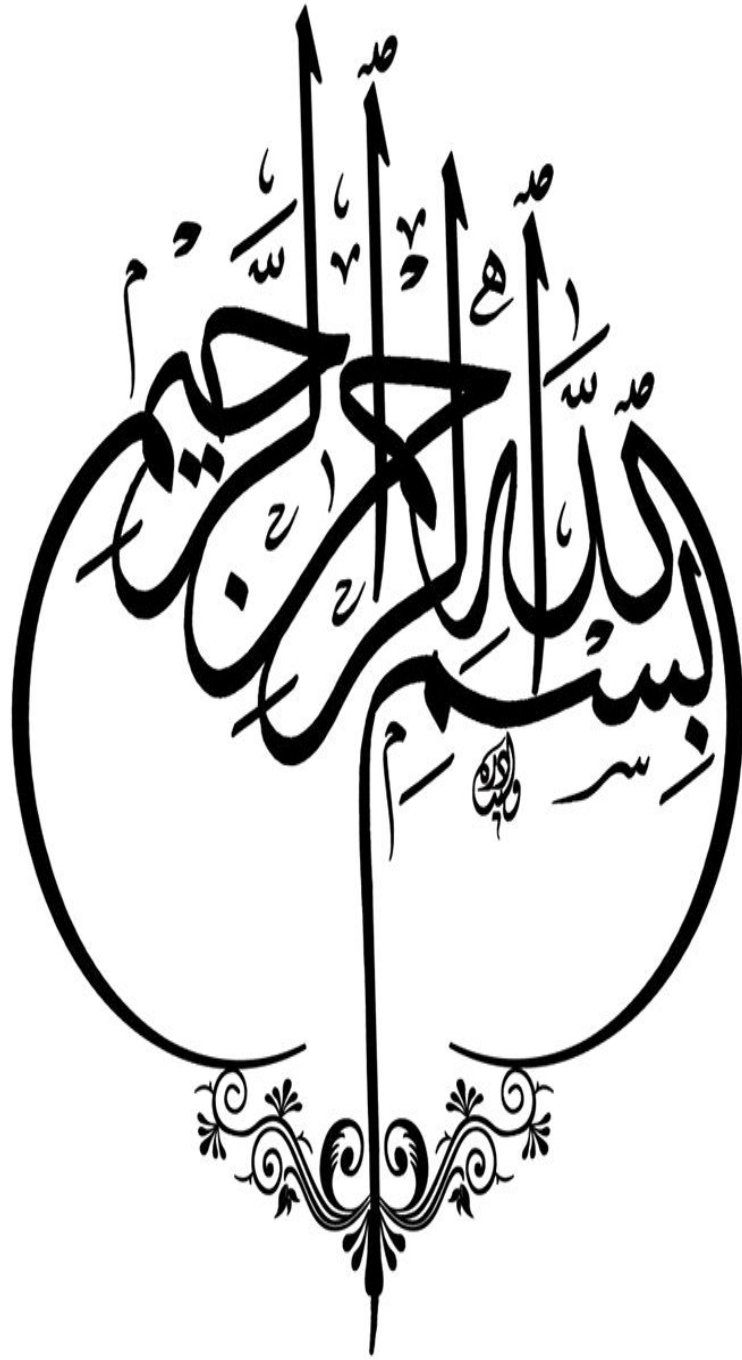
❖ حاجي شيماء

أمام لجنة المناقشة:

رئيس	أستاذ محاضر (أ)	جامعة العربي التبسي-تبسة	حفظ الله عبد القادر
مؤطر	أستاذ محاضر (أ)	جامعة العربي التبسي-تبسة	فرح هشام
ممتحن	أستاذ محاضر (ب)	جامعة العربي التبسي-تبسة	خشبة مراد

تاريخ المناقشة: 2020/06/15

النقطة: 18 /20 الملاحظة: ممتاز



شكر و تقدير

الحمد لله كله والشكر لله كله أن وفقنا وألهمنا الصبر على المشاق وأعاننا على انجاز هذا العمل حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وخاتم الأنبياء سيدنا محمد وعلى اله وصحبه أجمعين.

نتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى كل أساتذتنا من الابتدائي إلى الجامعة اعترافا بالود و حفظا للجميل و تقديرا للامتنان، نتقدم بجزيل الشكر للدكتور فرح هشام الذي علمنا التفاؤل والمضي إلى الأمام كل الشكر والمحبة للزميلات و الزملاء ولكل من وقف معنا وشجعنا وساندنا في تذليل ما واجهناه من صعوبات،من قريب أو بعيد بكتاب أو معلومة أو نصيحة .
شكرا ..لأعضاء لجنة المناقشة الأفاضل تقديرا و عرفانا لهم بالجميل.

والله ولي التوفيق



الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى وعلى أهله وصحبه ومن وفى أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتتمة هذه الخطوة المهمة في مسيرتنا الدراسية

هانحن اليوم نطوي تعب الأيام وسهر الليالي نطوي 18 عشر سنة من الجهد والنجاحات ، كم
بكينا ومن ضحكنا، مرة نخطئ ومرة نصيب

اهدي هذا العمل إلى نبع الحنان والأمان من سهرت لنام أمي: جدي فاطمة

إلى أبي تاج النقاء منك تعلمنا الوفاء رمز العطاء: جدي يزيد

إلى إخوتي مصدر قوتي: صلاح الدين ، شعيب ، يوسف

إلى أخواتي قوة عيني ودفئ قلبي: وردة، زكية، منية، كوثر، خلود ، شهلة

إلى البراعم الصغار في عائلتنا : جدي* رونق، أسامة ،رندة ، إسلام الدين ، رنيم * ،حركات
أيوب* ، سليمان* أكرم ، أماني ، ادم ، انس* ، قواسمية * سميحة ، ميرال ، تاج الدين * ،
جدي* زياد و ريتاج *

إلى رفيقة دربي اميمة إلى صديقاتي الأقرب إلى قلبي لمياء ومنيرة و هناء ، ايمان

إلى رفيقاتي في السكن لمياء، اميرة وملاك وكل من في قلبي ولم يذكرهم قلبي

إلى من قاسمتي عناء هذه المذكرة حاجي شيماء

عواطف جدي





الإهداء

ها نحن اليوم و الحمد لله نطوي سهر الليالي و تعب الأيام و خلاصة مشوارنا
الجامعي بين دفتي هذا العمل المتواضع الذي يشرفني أن أهديها:
إلى منبع الحب الصافي إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء إلى من حاكت سعادتني
بخيوط منسوجة من قلبها.....إلى **أمي فاطمة** أدامها الله تاجا فوق رؤوسنا.
إلى من سعى و شقى لأنعم بالراحة و الهناء إلى الذي لم يبخل بشيء من أجل دفعي

في طريق النجاح.....إلى أبي العزيز **عبد المجيد**

إلى قرّتا عيني إلى من حبهما يجري في عروقي إلى من هما أملي و سندي في هذه الحياة

إلى أخوي **زكريا وتقي الدين**.

إلى أختي الحبيبتين **نجلاء و إسراء** رعاهما الله.

إلى نبع الحنان إلى الحضن الدافئ جدتي الحبيبة **حاجي وريدة** حفظها الله و أطال عمرها و كل عائلة
حاجي

إلى من تحلّوا بالإخاء و تميزوا بالوفاء و العطاء إلى ينباع الصدق الصافي إلى من معهم سعدت و
برفقتهم في دروب الحياة الحلوة و الحزينة سرت إلى من عرفت كيف أجدهم و علموني أن لا أضيعهم
صديقاتي إيمان أمينة شيماء أمال نور سارة صورية خولة هيبه مباركة أسماء بثينة

إلى من قاسمتني عناء و تعب إنجاز هذه المذكرة :

جدي عواطف

حاجي شيماء



الفهرس

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

01.....مقدمة عامة.

الفصل I: عموميات حول الألمنيوم وسبائكه

03..... 1.I مقدمة

03..... 2.I تاريخ الألمنيو

03..... 3.I وجود الألمنيوم في الطبيعة

03..... 4.I خصائص الألمنيوم النقي

04..... 5.I إنتاج الألمنيوم.

05..... 6.I الإنتاج العالمي للألمنيوم.

06..... 7.I مجالات استخدام الألمنيوم.

06..... 8.I سبائك الألمنيوم.

06..... 1.8.I تعريف السبيكة.

07..... 2.8.I كيفية تكون السبائك.

07..... 3.8.I تعيين سبائك الألمنيوم المختلفة.

09..... 4.8. I تصنيف سبائك الألمنيوم.

- 09.....5.8.I المعالجات الحرارية لسبائك الألمنيوم.
- 09.....1.5.8.I مبدأ المعالجات الحرارية.
- 09.....2.5.8.I أنواع المعالجات الحرارية.
- 10.....1- معالجة التجانس.
- 10.....2- التلدين (معالجة الليونة).
- 10.....3- التصلد البنيوي.
- 11.....6.8.I سبائك $Al-Mg-Si$ (السلسلة 6000).
- 11.....1.6.8.I خصائص سبائك $Al-Mg-Si$.
- 11.....2.6.8.I استخدامات سبائك الألمنيوم $Al-Mg-Si$.
- 12.....3.6.8.I تأثير العناصر الإضافية على سبيكة $Al-Mg-Si$.
- 12.....1- تأثير إضافة النحاس (Cu).
- 12.....2- تأثير إضافة المغنيزيوم (Mg).
- 12.....3- تأثير إضافة السليسيوم (Si).

الفصل II: ظاهرة الترسبات في السبائك $Al-Mg-Si$ وطرق تشكيل المعادن

الجزء الأول: ظاهرة الترسبات في السبائك $Al-Mg-Si$

- 13.....1.II مقدمة.
- 13.....2.II ظاهرة الترسيب.
- 13.....1.2.II آليات الترسيب.
- 13.....1- التتوي.
- 15.....أ- التتوي المتجانس.
- 16.....ب- التتوي غير المتجانس.
- 16.....2- النمو.

- 18.....الإلتحام. 3- الإلتحام
- 18.....أنواع الترسبات. 2.2.II
- 18.....الترسبات المستمرة. 1.2.2.II
- 18.....الترسبات غير المستمرة. 2.2.2.II
- 19.....تأثير الترسبات على الخواص الميكانيكية. 3.2.II
- 20.....الأطوار المتشكلة خلال الترسبات في سبائك **Al-Mg-Si**. 4.2.II
- 21.....المناطق **Gp**. 1- المناطق **Gp**
- 21.....الطور " β ". 2- الطور " β "
- 22.....الطور " β' ". 3- الطور " β' "
- 23.....الطور (Mg_2Si) " β ". 4- الطور (Mg_2Si) " β "
- 23.....الطور " Q' ". 5- الطور " Q' "
- 24.....الطور " Q ". 6- الطور " Q "

الجزء الثاني: طرق تشكيل المعادن

- 24.....عمليات تشكيل المعادن. 3.II
- 24.....التشكيل على البارد. 1.3.II
- 25.....التشكيل على الساخن. 2.3.II
- 25.....طرق تشكيل المعادن. 4.II
- 25.....الحدادة. 1.4.II
- 25.....مفهوم الحدادة. 1.1.4.II

25.....	2.1.4.II. أنواع الحدادة.....
25.....	1- الحدادة على الساخن.....
25.....	2- الحدادة على البارد.....
26.....	2.4.II. الكبس.....
26.....	1.2.4.II. مفهوم الكبس.....
27.....	2.2.4.II. أنواع الكبس.....
27.....	1- الكبس على الساخن.....
27.....	2- الكبس على البارد.....
27.....	3.4.II. السحب.....
28.....	4.4.II. البثق.....
28.....	1.4.4.II. مفهوم البثق.....
29.....	2.4.4.II. أنواع البثق.....
29.....	1- البثق على الساخن.....
29.....	2- البثق على البارد (البثق الصدمي).....
29.....	5.4.II. الدرفلة.....
29.....	1.5.4.II. مفهوم الدرفلة.....
30.....	2.5.4.II. الخصائص العامة للدرفلة.....
30.....	3.5.4.II. مبدأ عملية الدرفلة.....
31.....	4.5.4.II. أنواع عملية الدرفلة.....

1- الدرفلة على البارد.....31

2- الدرفلة على الساخن.....32

الفصل III: التقنيات التجريبية والأجهزة المستعملة

1.III مقدمة.....34

2.III اختيار المادة المدروسة.....34

3.III المعالجات الحرارية.....35

4.III تحضير العينات.....36

1.4.III التشكيل على البارد باستعمال الدرفلة.....36

2.4.III الصقل.....37

3.4.III التتميش الكيميائي.....38

5.III الطرق التجريبية.....39

1.5.III اختبار الصلادة.....39

1- اختبار برينل39

2- اختبار ركوال.....40

3- اختبار فيكرز.....40

6.III التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية.....42

7.III التحليل بواسطة المجهر الالكتروني الماسح (MEB).....44

الفصل IV: مناقشة النتائج

46.....	1. IV	مقدمة
46.....	2. IV	الدراسة باستعمال المجهر الالكتروني الماسح
49.....	3. IV	الدراسة باستعمال اختبار الصلادة
50.....	4. IV	التحليل بواسطة الأشعة السينية
53.....		خاتمة
54.....		قائمة المراجع
56.....		قائمة الملاحق
58.....		الملخص
59.....		Résumé
60.....		Abstract

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
05	إنتاج الألمنيوم بالتحليل الكهربائي	الشكل I. 1
14	التغير في الأنتالبي الحر لتشكل نوي كروي ΔG بدلالة نصف قطر هذا النوي	الشكل II. 1
16	رسم تخطيطي لأشكال الترسبات	الشكل II. 2
19	رسم تخطيطي لنوعي الترسبات	الشكل II. 3
20	التطور التخطيطي للصلادة والقوة الميكانيكية لسبائك التصلد البنيوي أثناء التعقيب	الشكل II. 4
22	صورة للطور β'' تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني النافذ (MET)	الشكل II. 5
22	ترسب الطور β' لسبيكة Al-Mg-Si	الشكل II. 6
23	ترسب الطور β لسبيكة Al-Mg-Si وشكل بنيته	الشكل II. 7
26	عملية تشكيل المعادن بالحدادة	الشكل II. 8
27	عينات ألمنيوم مشكلة بعمليات الكبس	الشكل II. 9

28	رسم توضيحي لعملية السحب	الشكل II. 10
28	عملية البثق	الشكل II. 11
29	عملية الدفلة بواسطة الدرافيل	الشكل II. 12
30	مبدأ عمل الدرافيل	الشكل II. 13
31	تأثير عملية الدفلة الباردة على سلوك البلورات	الشكل II. 14
32	تأثير عملية الدفلة على الساخن على سلوك البلورات	الشكل II. 15
34	صفيحة سبيكة الألمنيوم المدروسة	الشكل III. 1
34	عينات السبيكة المدروسة	الشكل III. 2
36	فرن المعالجات الحرارية نابيرثرم Nabertherm	الشكل III. 3
37	ماكينة الدفلة (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي)	الشكل III. 4
37	الورق الكاشط (FORCIPOL 2) مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي	الشكل III. 5
38	ماكينة الصقل الميكانيكي (FORCIPOL 2) مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي .	الشكل III. 6
39	سطح العينة قبل الصقل	a
	سطح العينة بعد الصقل	b
		الشكل III. 7

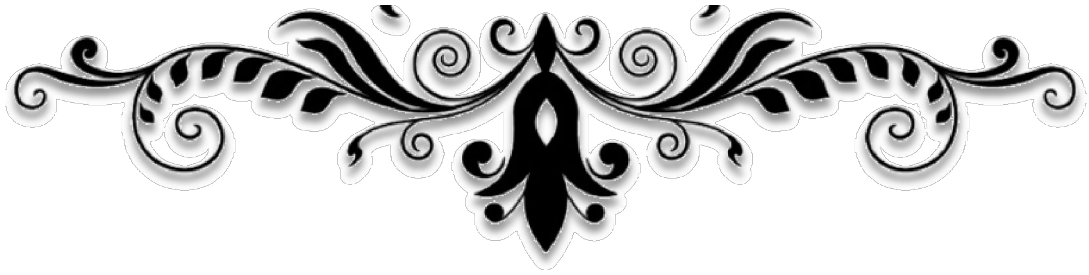
40	أداة اختبار برينل	الشكل III. 8
40	أداة اختبار ركوال	الشكل III. 9
41	أداة اختبار فيكرز	الشكل III. 10
41	اختبار فيكرز للصلادة (وضعية الاختبار وشكل الأثر).	الشكل III. 11
42	جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهدي أم البواقي)	الشكل III. 12
43	حيود براغ	الشكل III. 13
44	جهاز انعراج الأشعة السينية نوع EQUINOX 100	الشكل III. 14
45	المجهر الالكتروني الماسح نوع Jeol JSM 6360LV وحدة الأبحاث لتطوير الأغشية الرقيقة سطيف	الشكل III. 15
47	البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الالكتروني الماسح للسييكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه	الشكل IV. 1
48	البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الالكتروني الماسح للسييكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه	تابع
49	تغير الصلادة بدلالة مختلف معدلات التشوه	الشكل IV. 2
50	تغير الصلادة بدلالة زمن التعقيم الاصطناعي 180 °C	الشكل IV. 3
51	أطياف حيود الأشعة السينية لعينة من سبيكة غير مدرفلة	الشكل IV. 4

الشكل 5.IV أطياف حيود الأشعة السينية لعينتين من السبيكة -سبيكة غير
مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$) و سبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 70\%$) .

قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
05	الإنتاج العالمي للألمنيوم بالكيلو طن (KT)	الجدول 1. I
08	التعيين العددي والمراحل الرئيسية للسبائك القائمة على الألمنيوم	الجدول 2. I
33	التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة	الجدول 1. III
35	معدلات التشوه (ε) لسبائك الألمنيوم	الجدول 2. III

المقدمة



ربما يستغرب كثير من الناس أن الألمنيوم ذلك المعدن القديم كان في يوم من الأيام أعلى من الذهب، الفضة والبلاطين إذ كان يستخدم لصناعة الحلي، إلى أن تطورت الدراسات حول خواصه الميكانيكية و الفيزيائية. في العموم نجد أن الخصائص الميكانيكية للألمنيوم النقي ضعيفة لذلك تمت إضافة بعض العناصر له كالنحاس، السليسيوم والمغنزيوم.... لتحسين هذه الخواص لنتحصل بذلك على سبائك الألمنيوم المستخدمة حالياً في الصناعة. تعتبر السلسلة **6000** من سبائك الألمنيوم من بين أكثر السبائك المستعملة في الصناعة (كالنقل، البناء، الهندسة الميكانيكية، التغليف، الكهرباء)، وذلك لأنها ذات خصائص ميكانيكية جيدة (زيادة الصلادة، زيادة المطيلية، المقاومة الجيدة ضد التآكل، قابلية التشكيل، إزالة أثار الاجتهادات) كما أنه من السهل تشكيلها عن طريق الدرفلة.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير التعيق الإصطناعي على خصائص سبيكة $Al-Mg-Si$ المدرفلة على البارد، حيث تم الحصول على هذه السبيكة من جامعة منشستر ببريطانيا على شكل صفيحة حيث درفلت هذه الأخيرة على البارد لعدة معدلات تشوه. ولهذا الغرض تم استخدام عدت تقنيات تجريبية مثل: المجهر الالكتروني الماسح (MEB)، قياس الصلادة فايكرز Hv وحيود الأشعة السينية (DRX).

وعليه احتوت هذه المذكرة على مقدمة عامة وأربعة فصول أساسية، حيث يمثل الفصلين الأول والثاني الجزء النظري أما الفصلين الثالث والرابع يمثلان الجزء التطبيقي والذي تم إنجازه في جامعة العربي بن مهدي بأم البواقي.

❖ **الفصل الأول:** تطرقنا إلى عموميات حول الألمنيوم وسبائكه، تطبيقاته والمعالجات الحرارية

المطبقة على سبائك الألمنيوم ودراسة سبائك السلسلة **6000** والتي تعرف بسبائك ($Al-Mg-Si$)

ودراسة تأثير العناصر الإضافية لهذه السبائك بنسب مختلفة.

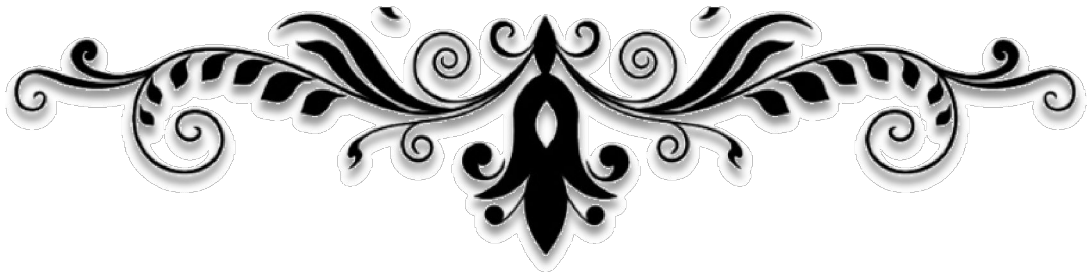
❖ **الفصل الثاني:** يتكون من جزئين حيث يهتم الجزء الأول بدراسة ظاهرة الترسبات في السبائك (Al-Mg-Si) مع شرح مفصل لآلياتها ، أنواعها، الأطوار المتشكلة خلالها وتأثيرها على الخواص الميكانيكية للسبيكة، أما الجزء الثاني يهتم بمختلف طرق تشكيل المعادن ،خصائصها ومبدأ عمل كل طريقة.

❖ **الفصل الثالث:** في هذا الفصل تناولنا مختلف التقنيات التجريبية والمعالجات الحرارية التي استعملت لإنجاز هذا العمل، والمادة المدروسة التي تم درفلتها على البارد لمختلف معدلات التشوه.

❖ **الفصل الرابع:** تم خلاله عرض ومناقشة النتائج التجريبية المتحصل عليها ومقارنتها مع الدراسات السابقة التي أجريت على هذا النوع من السبائك.
نختم هذا العمل بخاتمة عامة

الفصل الأول

عمومات حول الأمل يوم وسبب



1.I. مقدمة:

الألمنيوم هو عنصر كيميائي يرمز له بالرمز **Al** رقمه الذري **13**، يتبلور في شبكة مكعبة متمركزة الأوجه **C.F.C**، وهو عنصر من عناصر المجموعة الثالثة من تصنيف مندليف [1]. حيث يعتبر الألمنيوم المعدن الأكثر استعمالاً بعد الحديد والفلوذاذ [2]، وكما هو معروف أن الخصائص الميكانيكية للألمنيوم ضعيفة، ولتحسين هذه الخصائص تم إضافة عدة عناصر بطريقة مدروسة وبذلك يتم الحصول على ما يسمى بسبائك الألمنيوم.

2.I. تاريخ الألمنيوم:

أصل التسمية يرجع إلى الكلمة اليونانية **Alumen**، وقد أكتشف الألمنيوم عام **1825** من طرف العالم هانز كريستيم أورستيد (**Hans Kristem Orsted**) وظل حتى نهاية القرن التاسع عشر معدناً غريباً و ثميناً، يستخدم لصناعة الحلبي على الرغم من أنه أكثر المعادن وفرة في القشرة الأرضية إلا أنه لم يبدأ استخدامه على نطاق واسع إلا بعد مطلع القرن العشرين.

3.I. وجود الألمنيوم في الطبيعة:

يشكل الألمنيوم حوالي **8%** من القشرة الأرضية، وهو يوجد على شكل سيليكات والتي تحتوي على نسب متفاوتة من الألومين، تحتوي السيليكات في بعض المناطق التي يكون ترسبها قديماً جداً على نسبة كبيرة من الألومين (من **45** إلى **60%**).

4.I. خصائص الألمنيوم النقي:

* ثابت الشبكة: 0.405 nm عند 25°C .

* الكتلة الحجمية: 2.698 g/cm^3 عند 25°C .

* درجة الإنصهار: 660°C .

* درجة حرارة الغليان: 2270°C .

* معامل التمدد المتوسط : بين 20°C و 300°C : $2.55 * 10^{-5} \text{C}^{-1}$.

* الناقلية الحرارية: $\lambda = 217.6 \text{w/m.k}$ عند 20°C .

* المقاومة الكهربائية: $\rho = 2.63 \mu\Omega\text{cm}$ عند 20°C .

* معامل المرونة: 68000 MPa .

* الوزن النوعي: منخفض لا يتجاوز (2.71g/cm^3) وهو أخف 50% مقارنة مع السبائك الأخرى.

* مقاومة الشد: من 65N/mm^2 إلى 90N/mm^2 .

* المطيلية: جيدة حيث يتم تشكيله على البارد بسهولة.

* مقاومة التآكل: جيدة وهذا راجع إلى الطبقة السطحية الرقيقة المتماسكة من أكسيد

الألمنيوم (Al_2O_3) التي تتشكل عندما يتعرض الألمنيوم للهواء، الرطوبة أو الحرارة.

* إنعكاس الأشعة الساقطة: بين 60% إلى 90% من الضوء المرئي.

5.1. إنتاج الألمنيوم:

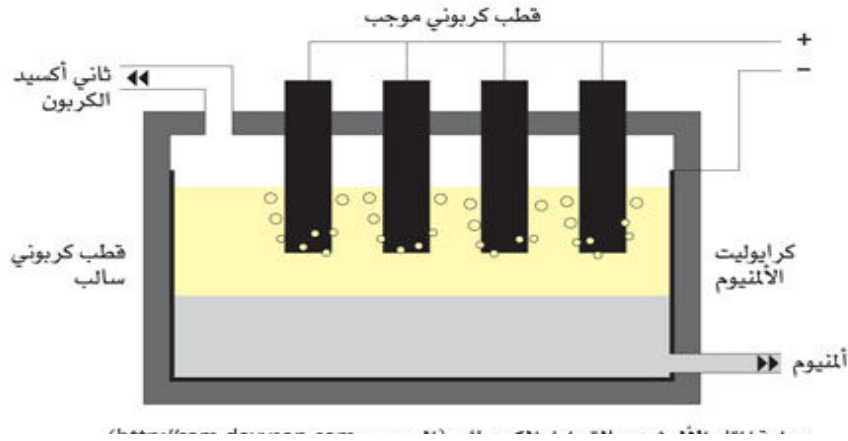
في عام **1886م** تم إنتاج الألمنيوم من خلال الطريقة التي وضعها كل من بول هيرولت

(**Paul Herolt**) وشارل هول (**Charles Hall**) بالتحليل الكهربائي للبوكسيت النقي في مصهورة

الكربوليت عند 1000°C . حيث يستخدم وعاء من الحديد الصلب مبطن بالجرافيت كقطب سالب،

بينما يكون القطب الموجب عبارة عن قضبان كبيرة من الجرافيت ويتكون الألمنيوم النقي على القطب

السالب ويسحب من مخرج خاص في أسفل الإناء. كما هو موضح في الشكل أدناه الشكل (1.1):



الشكل (1.I): إنتاج الألمنيوم بالتحليل الكهربائي.

6.I. الإنتاج العالمي للألمنيوم:

يمثل الجدول الموضح أدناه الإنتاج العالمي للألمنيوم بالكيلو طن (KT):

العام	الإنتاج (KT)
1900	5.7
1910	4.4
1930	269
1940	700
1950	1500
1960	4500
1970	10000
1980	16700
1990	19400
2000	22000
2005	32500
2010	41400

الجدول (1.I): الإنتاج العالمي للألمنيوم بالكيلو طن (KT) [3].

7.I. مجالات استخدام الألمنيوم:

يستخدم الألمنيوم في العديد من المجالات نذكر منها: [4]

- ❖ في مجال النقل: في صناعة السيارات و القطارات ذات السرعات العالية، العجلات، في النقل البحري نجد أن سبائك الألمنيوم تتحمل التآكل بسبب المياه المالحة.
- ❖ في مجال البناء والهندسة المعمارية: يمكننا أن نذكر إطارات الأبواب و النوافذ أو حتى الأسطح التي يتم تصنيعها من الألمنيوم و لوحات الواجهات والستائر الحائطية، الشرفات، في الهياكل والمعدات المستعملة في البناء، علاوة على ذلك فإنه يتمتع بقابلية التشكيل الجيد وخفة وزنه و مقاومته الجيدة للتآكل وجانبها الزخرفي اللامع يجعله جذاب للبناء.
- ❖ في مجال الهندسة الكيميائية: مثل معدات التصنيع وخزانات الغاز الطبيعي السائل.
- ❖ في مجال الصناعات الغذائية : يستعمل مثلاً في تصنيع علب الحفظ وأوراق التغليف.
- ❖ في المجال الكهربائي: كالأسلاك الكهربائية للنقل والتوزيع الخارجي.

8.I. سبائك الألمنيوم:

الألمنيوم النقي له عدة عيوب من حيث خصائصه الميكانيكية، من أجل تحسين هذه الخصائص تم إضافة عدة عناصر مثل: **Mg ، Mn ، Cu ، Si** هذه الأخيرة تسمى عناصر السبك فهي تضمن مقاومة ميكانيكية جيدة، في الوقت نفسه تحافظ على خفة السبيكة لتكون قابلة للتشوه بسهولة [5].

1.8.I. تعريف السبيكة:

السبيكة هي ناتج إتحاد كلي أو جزئي بين عنصرين كيميائيين أو أكثر، بشرط أن يكون أحدهما معدن؛ فالمعدن هو المكوّن الأساسي للسبيكة ويمثل 90% منها، وهناك مكونات أخرى يُطلق عليها العناصر المضافة وهي متواجدة بكميات صغيرة جداً وتكون معدنية مثل السيليكون والنحاس أو غير

معدنية كالكربون، يطلق على العنصر الأساسي في السبيكة بالمذيب حيث يكون تركيز هذا العنصر هو الأعلى في السبيكة، وتعرف هذه السبيكة باسم ذلك العنصر، فعلى سبيل المثال: إذا كانت نسبة الألمنيوم الأكبر تكون هذه السبيكة **سبيكة الألمنيوم** وباقي العناصر تعرف بالعناصر المذابة أو تعرف باسم العناصر السبائكية، تنقسم إلى الشوائب و العناصر المضافة.

في معظم الحالات تذوب العناصر في بعضها إذابة تامة في الحالة الجامدة، وهذا ما يسمى بالسبائك وحيدة الطور بحيث يكون التركيز متجانس في جميع أجزائه. أما النوع الثاني هو الذي تختلف ذوبانيته حسب درجة الحرارة حيث تتفصل الأطوار أثناء التجمد، وتعرف هذه السبائك بالسبائك متعددة الأطوار.

2.8.I. كيفية تكون السبائك:

بما أن السبيكة عبارة عن خليط من المعادن. وأغلب المعادن تكون في حالة صلبة، كيف يمكن خلطها لتكوين السبيكة؟ في هذه الحالة:

الطريقة التقليدية لصناعة السبيكة هي تسخين وإذابة المكونات للحصول على كل سائل على حدى، ثم خلطها معاً بصورة متجانسة وتركها لتبرد تماماً فيما يطلق عليه محلول صلب.

وهناك طريقة بديلة وهي تحويل جميع المكونات إلى مسحوق، وخلطها مع بعض جيداً ومن ثم تعريضها إلى ضغط مرتفع وحرارة مرتفعة حتى تمام التجانس. ويُطلق عليها طريقة المسحوق.

أما الطريقة الثالثة هي غرس الأيونات، وهي طريقة دقيقة جداً في تصنيع السبائك. يمكن استخدامها في تصنيع أنصاف النواقل.

3.8.I. تعيين سبائك الألمنيوم المختلفة:

إستناداً إلى الرابطة الأمريكية للألمنيوم (USA_DCWashington)، يتم تعيين سبائك

الألمنيوم بإستخدام نظام مكون من أربعة أرقام [6] كما هو موضح بالجدول (2.I).

الفصل I: عموميات حول الألمنيوم وسبائكه

الرقم الأول من 1 إلى 9 يشير إلى عائلة السبائك، يتم تحديده بواسطة عنصر السبيكة الرئيسي. الرقم الثاني من اليسار: يعين درجة ضبط الشوائب بالنسبة للسلسلة 1xxx أو التغير في تركيب السبيكة الأساسي بالنسبة للسلسلة الأخرى، فالرقم صفر يعني التركيب الأساسي دون تعديل، ثم يرمز للتعديلات المدخلة بالأرقام من واحد إلى تسعة.

آخر رقمين هما رقمي الترتيب ويتم استخدامهما لتحديد السبائك. الإستثناء الوحيد هو السلسلة 1000 حيث يشير هذين الرقمين إلى النسبة المئوية لنقاوة للألمنيوم.

الطور الرئيسي	عنصر السبيكة الأساسي	السلسلة
	99% من الألمنيوم	1xxx
$Al_2Cu- Al_2CuMg$	Cu	2xxx
Al_6Mn	Mn	3xxx
-	Si	4xxx
Al_3Mg_2	Mg	5xxx
Mg_2Si	Si و Mg	6xxx
$MgZn_2$	Zn و Mg	7xxx
-	Li	8xxx
-	غير مستعملة	9xxx

الجدول (2.1): التعيين العددي والمراحل الرئيسية للسبائك القائمة على الألمنيوم.

I.4.8. تصنيف سبائك الألمنيوم:

تصنف سبائك الألمنيوم إلى فئتين [5]:

I.4.8.1. سبائك غير قابلة للمعالجة الحرارية:

تشمل السلاسل (1xxx ، 3xxx ، 5xxx). لتحسين الخصائص الميكانيكية لهذا النوع من

السبائك نستخدم عدة تقنيات نذكر منها: التقسية بالتشوه اللدن، السحب، الثني، الدرفلة.

I.4.8.2. سبائك قابلة للمعالجة الحرارية:

تشمل السلاسل (2xxx ، 4xxx ، 6xxx ، 7xxx). لتحسين الخصائص الميكانيكية لهذه السبائك يتم

إجراء المعالجة الحرارية في ثلاث مراحل: التسخين، التبريد، ثم التعقيم.

I.5.8. المعالجة الحرارية لسبائك الألمنيوم:

I.5.8.1. مبدأ المعالجات الحرارية:

المعالجة الحرارية تتم عن طريق التسخين إلى درجات حرارة معينة، ثم التبريد بمعدل متحكم به،

الهدف الرئيسي من المعالجات الحرارية هو تحسين خصائص المادة من أجل تكييفها مع استخدامها

وفق مجال تطبيقها، عموما المعالجات الحرارية في المعادن هي: التصلب البنيوي، السقاية، التلدين

والتعقيم.

تجرى عمليات المعالجة الحرارية لتغيير خواص المعدن نذكر منها: زيادة الصلادة، زيادة المطيلية،

زيادة قابلية المعدن لعمليات التشكيل، إزالة الإجهادات الناتجة من عمليات التشكيل، إزالة تأثيرات

عمليات التشكيل على البارد.

I.5.8.2. أنواع المعالجات الحرارية:

المعالجات الحرارية المطبقة على سبائك الألومنيوم بشكل عام تنقسم إلى أربعة أنواع هي: معالجة

التجانس، معالجة الليونة، معالجة التصلب البنيوي، معالجة التعقيم.

1- معالجة التجانس:

تعتمد عملية المعالجة بالتجانس على تسخين المواد إلى درجة حرارة مرتفعة نسبيًا، عادة ما تكون من 450°C إلى 500°C للألمنيوم و من 450°C إلى 590°C لسبائكه، خلال مدة زمنية (عادة بضع ساعات)، من أجل تسهيل تشكيلها، كما يمكنها أيضًا تقليل الترسبات المتحصل عليها أثناء عملية الترسيب.

2- التلدين (معالجة الليونة):

عملية التلدين هي عبارة عن تسخين السبائك خاصة تلك التي تحتوي على ترسبات، مدة زمنية طويلة تحت درجات حرارة مرتفعة.

3- التصلد البنيوي:

هذا النوع من المعالجات الحرارية يحتوي على ثلاثة مراحل هي:

- ✓ معالجة المعدن تحت درجات حرارة مرتفعة نسبيًا.
- ✓ التبريد السريع للمعدن و المعروف بالسقاية الغرض منه الحفاظ على الحالة البنيوية المتحصل عليها من عملية التجانس.
- ✓ التعقيم: هذه المعالجة لها نوعين، تعقيم طبيعي وتعقيم اصطناعي والهدف منهما تسهيل العودة جزئيًا إلى شروط التوازن.

• التعقيم الطبيعي:

السبائك المعالجة حراريا تتغير خصائصها الميكانيكية عند تواجدها في درجة حرارة الغرفة لمدة تتعدى بضع أيام وقد تصل إلى بضع سنوات وهذا ما يعرف بالتعقيم الطبيعي، حيث يتغير معدل التعقيم وفق نوع السبائك، بعض سبائك الألمنيوم للسلسلة 6000 تصل صلابتها إلى قيمة عظمى بعد شهر من تعقيمها، التعقيم الطبيعي هدفه الرئيسي هو الرفع من الصلادة.

• التعقيم الإصطناعي:

يتمثل في التسخين إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة خلال مدة زمنية حسب الغرض المطلوب، في حالة سبائك الألمنيوم **Al-Mg-Si** تتغير درجة حرارة التعقيم الإصطناعي ما بين 100°C إلى 240°C [4].

6.8.I. سبائك **Al-Mg-Si** (السلسلة 6000):

هي سبائك ذات محاليل صلبة من النوع **Al-Mg₂Si** [7] تحتوي على إضافات من السيليسيوم والمغنيزيوم تصل إلى 1,7% و 1,2% على التوالي.

1.6.8.I. خصائص سبائك **Al-Mg-Si**:

السبائك **Al-Mg-Si** تجمع المزايا التالية: القابلية للتشكيل الجيد، قابلية اللحام الجيد، مقاومة التآكل، خصائصها الميكانيكية متوسطة ويمكن تحسينها عن طريق إضافة السيليكون الذي يشكل مع المغنيزيوم راسب صلب **Mg₂Si** لديه مقاومة جيدة للتآكل.

وتصنف إلى مجموعتين [8]:

* مجموعة يكون تركيبها غني بالمغنيزيوم والسليكون مثل السبائك 6061 و 6082، 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.

2.6.8.I. استخدامات سبائك الألمنيوم **Al-Mg-Si**:

تستخدم على نطاق واسع في العديد من القطاعات مثل: بناء الجسور، إطارات الشاحنات والسفن والسكك الحديدية، الحافلات الكهربائية عالية القوة، الأسلاك والموصلات الكهربائية.

3.6.8.I. تأثير العناصر الإضافية على سبيكة Al-Mg-Si :

1- تأثير إضافة النحاس Cu:

النحاس (Cu) هو واحد من عناصر السبائك الرئيسية لسبائك الألمنيوم، حيث يحسن إلى حد كبير مقاومة وصلادة السبائك عندما تخضع لعمليات التشكيل والمعالجة الحرارية. إن إضافة Cu في الغالب تقلل من مقاومة التآكل ومقاومة التكسير على الساخن و الليونة. [46]

سبائك الألمنيوم الأكثر استخداما على نطاق واسع هي تلك التي تحتوي على % 4 إلى % 10 من النحاس [9 ، 10].

2- تأثير إضافة المغنيزيوم (Mg)

تؤدي الزيادة في تركيز المغنيزيوم إلى زيادة في المطيلية. ينتمي المغنيزيوم إلى المعادن الخفيفة، حيث أن إضافة حوالي 0.1 % إلى 4.4 % منه إلى سبيكة من الألمنيوم يساعد و يحسن من عملية الإلتحام كما أنه يتواجد على شكل الطور Mg_2Si [10, 12-13].

3- تأثير إضافة السليسيوم:

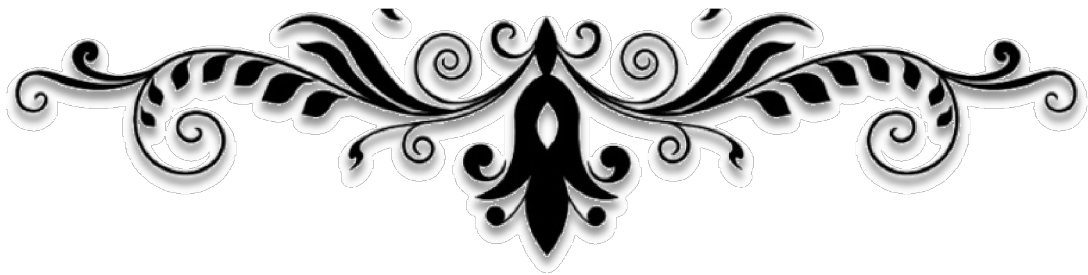
التأثير الملحوظ للسليسيوم في سبائك الألمنيوم هو تحسين الخصائص الميكانيكية، مثل الصلادة و الإفراط في إضافته للسبائك يعمل على تسريع عملية الترسيبات.

الفصل الثاني

الترسيبات في سبائك

Al_Mg_Si

وعمليات تشكيل المعادن



1.1.II. مقدمة:

هناك عدة عوامل تتحكم في حركية الترسيب لمحلول صلب مفرط التشبع، ونستطيع ذكر على الخصوص نوع التحول، ووجود عيوب الشبكة مع توزيعها في السبائك، وقد اهتم الباحثون في دراسة الترسيبات بتعديل الخواص الميكانيكية للسبائك في منطقة وجودها (أي التشوهات). هذه التغيرات تتمثل عموماً في الزيادة في حد المرونة والصلادة، هذه الأخيرة تتطور مع درجة الحرارة والأطوار البنيوية للمادة.

2.II. ظاهرة الترسيب:

يمكن وصف ظاهرة الترسيب من خلال 3 مراحل: التتوي، النمو والإلتحام.

1.2.II. آليات الترسيب:

1- التتوي:

يعرف التتوي على أنه زيادة في عدد الترسيبات خلال التشبع في المحلول الصلب. حيث تبدأ الترسيبات الموجودة في الزيادة فيزداد نصف قطر الجسيمات المشكلة بينما يبقى عدد الرواسب ثابتاً ويقترب التشبع من الصفر، و يسمح هذا بالتطور لأن مساحة الرواسب تقل عندما يصبح حد التتوي عالياً.

وخلال عملية التجميد هو عبارة عن تكون بلورة صغيرة الحجم (نوي) في الطور السائل بحيث

يمكنه النمو ولقد تم تقسيمه إلى نوعين: التتوي المتجانس وغير المتجانس.

أ- التئوي المتجانس:

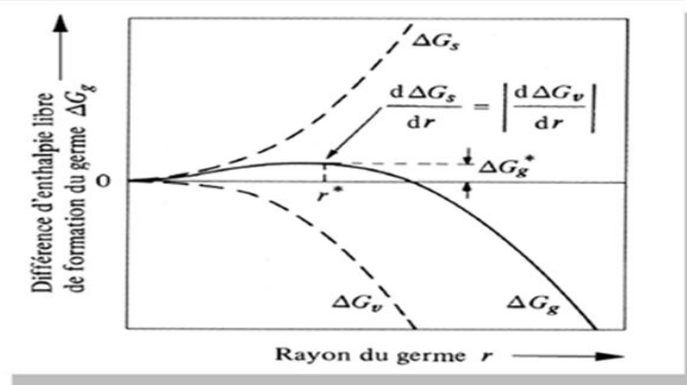
نعتبر أن α طور متجانس، يسخن إلى درجة حرارة T فيصبح غير مستقرا ويبدأ في التحول إلى الطور الجديد β ، بفرض أنه تكون نوي كروي نصف قطره r ، فالتفاعل الفيزيوكيميائي عند درجة حرارة T تختلف عن درجة حرارة إتزان الطورين $T \neq T_{eq}$ هو:

$$\Delta G = \frac{4}{3\pi r^3} \cdot \Delta G_v \cdot 4\pi r^2 \gamma \dots\dots\dots(1.II)$$

حيث:

$\Delta G_v = G_\beta - G_\alpha$: تغير الطاقة الحرة الحجمية الخاصة بالتحول أي أنه يرتبط بتكوين الطور الجديد β الناشئ عن الطور الأم α وهو مقدار سالب.
 γ : الطاقة السطحية البينية.

ليتحقق التفاعل من أجل $T_{eq} > T$ تكون $\Delta G_v < 0$ ، بينما يكون المقدار $4\pi r^2 \gamma$ دوما موجبا:



الشكل (1.II): التغير في الأنتالبي الحر لتشكل نوي كروي ΔG بدلالة نصف قطر هذا النوي [14].

يمثل الشكل (1.II) الموضح أعلاه منحنى تغير ΔG بدلالة r و يظهر على هذا المنحنى ذروة عظمية

عند r^* توافق (ΔG^*) وعندما يكون:

$r > r^*$: ظهور النوي β مرفقا بارتفاع في الطاقة الحرة وبالتالي فإن النوي يزول.

* $r < r^*$: ظهور النوي β مرفقا بانخفاض في الطاقة الحرة وبالتالي فإن النوي يبقى مستقرا.

إن مصدر الطاقة اللازمة لتكوين أني للنوي هو مصدر حراري ويمكن تقديره عندما:

$$\frac{\partial \Delta G}{\partial r} \Big|_{r=r^*} = 0 \dots \dots \dots (2.II)$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi^3 \gamma}{3(\Delta G_v)^2} \dots \dots \dots (3.II)$$

$$r^* = \frac{-2\gamma}{\Delta G_v} \dots \dots \dots (4.II)$$

ب- التنوي غير المتجانس:

يظهر التنوي غير المتجانس عند تجميد المواد المنصهرة حيث يوفر الوعاء الذي يحتوي على

سوائل المواد المنصهرة سطحاً محفزاً لتجميد المواد.

تتكون المناطق المفضلة للتنوي غير المتجانس من كل المناطق التي فقدت إستمرارية ترتيبها

البلوري حيث تكون طاقتها السطحية منخفضة، ومهما يكن موقع التنوي فلا بد من إنخفاض درجة

الحرارة لتحقيق التنوي الغير متجانس أي يكون ΔT أقل منه في حالة التنوي المتجانس، وهذا راجع

للدور الذي تلعبه جزيئات سطح الوعاء الذي يحتوي على المادة المنصهرة في تسريع عملية التنوي.

يعبر عن الطاقة السطحية في أبسط حالات التجميد $\alpha \rightarrow L$ بالعلاقة النظرية التالية:

$$\gamma_{sl} = \gamma_{sg} + \gamma \cos \theta \dots \dots \dots (5.II)$$

γ_{sl} : الطاقة السطحية بين السطح المحفز (s) والسائل (L).

γ_{sg} : الطاقة السطحية بين السطح النووي المتجمد (α) والسطح المحفز .

γ : الطاقة السطحية بين سطح النووي والسائل .

θ : زاوية الإلتحام بين مماس سطح النووي ومماس السطح المحفز .

تعطى الطاقة الحرة للحاجز الطاقوي بالعلاقة:

$$\Delta G^* = \frac{16 \pi \gamma^3 f(\theta)}{3(\Delta G_V)^2}$$

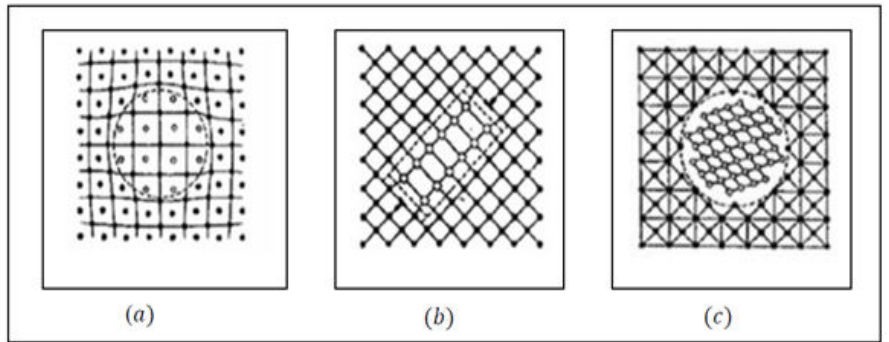
$$f(\theta) = (2 + \cos \theta) \frac{(1 - \cos \theta)^2}{4} \dots\dots\dots(6.II)$$

2- النمو :

يمثل النمو سرعة التحول بواسطة الإنتشار (أي يتم تحريضه حراريا)، يكون النمو في الحد

الفاصل بين الطور الأم والطور المتشكل ويتحدد هذا الأخير بواسطة عاملين أساسيين:

- سرعة إنتقال الذرات نحو السطح البيني الفاصل بين الطور الأم والطور الجديد.
- قدرة الذرات القادمة على إجتياز السطح الفاصل بين الطور الأم والطور الجديد.



الشكل (2.II): رسم تخطيطي لأشكال الترسيبات [15].

(a): حد فاصل متماسك، (b) : حد فاصل شبه متماسك، (c) : حد فاصل غير متماسك.

أ- الترسيبات المتماسكة:

يكون للسطوح البينية المتجاورة نفس الترتيب الذري، بمعنى آخر تترتب بعض المستويات والإتجاهات البلورية للطورين بنفس الصورة، أي أنه توجد علاقات الإلتحام البلورية بين الطورين وكذلك تطابق في المستويات البلورية للطورين. إن الإستمرارية في الترتيب الذري لا تعني تساوي في البعد الذري بين الطورين (الشكل II.2.a).

يمكن مرور الإنخلاعات عبر الطور الثاني تاركة وراءها إزاحة. غير أن السطح البيني لا يحتوي على انخلاعات بل يظهر تشوه للبلورة في جوار الطور الثاني وهذا ما يعرف بحقول الإجهادات والتي تم مشاهدتها بواسطة المجهر الإلكتروني النافذ.

ب- الترسيبات شبه المتماسكة:

يتكون هذا النوع من السطوح في مناطق متماسكة كلياً ومفصولة بانخلاعات عند الحدود الفاصلة بين الطورين نلاحظ أنه يوجد التحام بين الطورين من جهة ووجود إنخلاعات من جهة أخرى (الشكل II.2.b).

ج- الترسيبات غير المتماسكة:

لا توجد إستمرارية للترتيب الذري بين شبكتي الطورين، ويتكون السطح الفاصل بينهما من ترتيب للإنخلاعات من جهتي الطورين. إذن يوجد حجم مهم للشبكتين البلورتين حيث يكون مشوها ويمتاز هذا النوع من السطوح بحركة بطيئة.

يظهر هذا النوع من العيوب كذلك في حالة ترسيب مكثف كطور ثاني. لا يمكن للإنخلاعات خلال حركتها إختراق السطح البيني بسبب عدم إستمراريته مع شبكة الطور الأم لذا تلتف خطوط الإنخلاعات حول هذا النوع من الترسيبات (الشكل II.2.c).

3- الإلتحام:

عندما يوضع نظام معين لطور مشنت عند درجة حرارة مرتفعة نسبيًا، فإن عدد جسيمات الطور المشنت يتناقص بينما يزيد متوسط حجم الجسيمات خلال هذا الإلتحام، تنمو الجسيمات الكبيرة على حساب الجسيمات الصغيرة [16].

تتطلب هذه العملية تدفق ذرات المذاب من مناطق المجاورة للحبيبات الصغيرة إلى المناطق المحيطة بالحبيبات الضخمة، مما يعني أن تركيز هذا المذاب في محلول الإلتحام مرتفع بالنسبة لترسيبات الجسيمات الصغيرة.

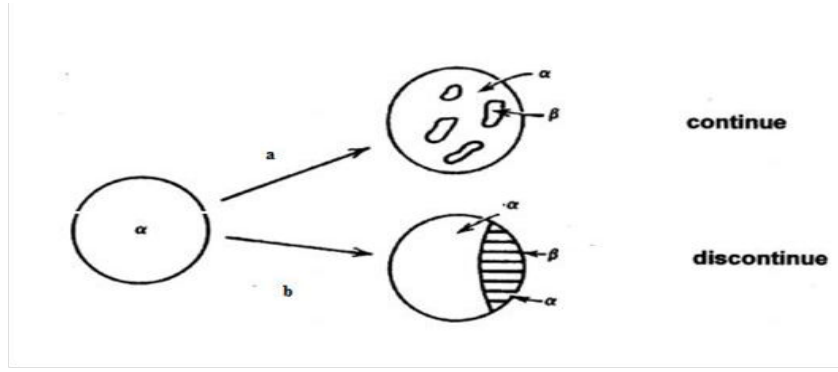
II.2.2. أنواع الترسيبات:

II.2.2.1. الترسيبات المستمرة:

يسمى أي تحول يتغير فيه تركيز المادة المذابة في الطور الأم باستمرار حتى قيمة الإلتحام بالترسيب المستمر، يكون تفكك المحلول الصلب الفائق التشبع متبوع بتغير في ثوابت الشبكة. يؤدي الترسيب المستمر إلى تكون ترسيبات معزولة مكبرة بواسطة تصريف ذرات المذاب .

II.2.2.2. الترسيبات غير المستمرة:

يعرّف الترسيب غير مستمر أو المتقطع بأنه تحول طور يقسم المادة إلى منطقتين: منطقة أين يكون التحول تام ومنطقة لا يزال محلول صلب مفرط التشبع. أثناء التعقيق يتغير ثابت الشبكة بصفة غير مستمرة (تؤدي هذه العملية إلى ظهور طورين: طور إبتدائي و طور جديد).



الشكل (3.II): رسم تخطيطي لنوعي الترسيبات [5].

3.2.II. تأثير الترسيبات على الخواص الميكانيكية:

أثناء نمو الترسيبات لتشكيل سبيكة، فإنه من الضروري التحدث عن الخصائص الميكانيكية للمواد.

يتم الحصول على حالة توازن محلول صلب مفرط التشبع من خلال تكون ترسيبات، مما يزيد

من مقاومتها للتشوه.

تزيد سرعة الترسيب كلما زادت درجة الحرارة ويعتمد ذلك على التركيبة الكيميائية. نميز نوعان

من السبائك التي تتشكل على البارد والتي تتشكل على الساخن. يعرف التصلد البنيوي على أنه ارتفاع

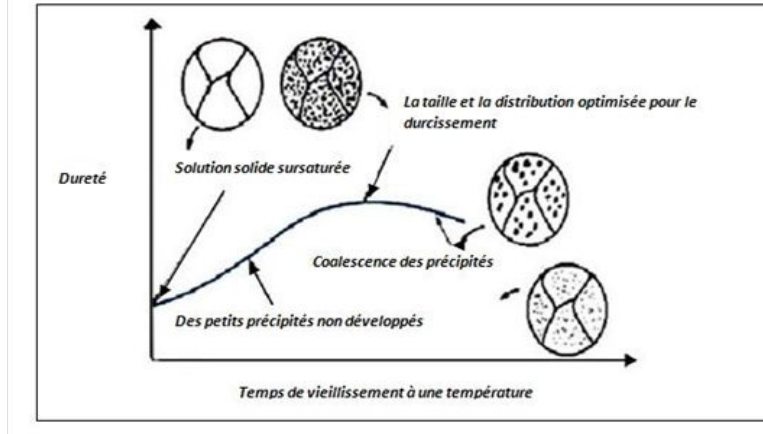
في الصلادة بعد التبريد مع إطالة زمن التعيق. لا يمكن ملاحظة هذا إلا إذا كانت قابلية الذوبان في

المذيب تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة. تتم ملاحظة هذه الظاهرة في بعض سبائك الألمنيوم، أين تكمن

الفائدة في الحصول على معدن خفيف ويمتلك خصائص ميكانيكية محسنة.

إن تطور الخواص الميكانيكية لسبائك الألمنيوم مرتبط عمليا بنفس خطوات التصلد البنيوي كما

هو موضح في الشكل (4.II).



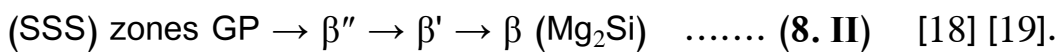
الشكل (4.II): التطور التخطيطي للصلادة والقوة الميكانيكية لسبائك التصلد البنيوي أثناء التعقيق [13].

4.2.II. الأطوار المتشكلة خلال الترسيبات في سبائك Al-Mg-Si:

بشكل عام أظهرت التجربة في حالة سبائك الألمنيوم أننا خلال التتوي نتعامل فقط مع الترسيبات، أي تشكيل المناطق GP التي تختلف في عدد، حجم، شكل وحركية النمو من سبيكة إلى أخرى، في حين أنه بسبب صعوبات التتوي، فإن الطور المستقر أو الأطوار الأخرى الثابتة لها بنية بلورية مختلفة عن بنية الألمنيوم لا يمكن أن تظهر على الرغم من إمكانية ظهور مناطق GP في البداية، إلا أنها تستبدل عادة بطور واحد ثابت أو أكثر.

تمت دراسة حركية الترسيبات في سبيكة ألمنيوم السلسلة 6000 خلال دورة التسخين من حالة الصلب الخام إلى درجة حرارة التجانس بواسطة تقنيات تجريبية مختلفة [14،17]. التحليلات التي أجريت في درجة حرارة ثابتة [12،15] مكنت من تحديد التغيرات المتتالية التي حدثت خلال دورة التسخين قبل التجانس، وكذلك تأثير معدل التسخين على حركيات التحول.

عندما تكون النسبة الذرية Mg / Si تساوي 2، فإن تسلسل حركية الترسيبات لهذه السبائك يكون كما يلي :



حيث:

(SSS): هو المحلول الصلب المشبع لمصفوفة الألمنيوم.

(GP): يمثل مناطق غينيريريستون وهي كروية الشكل ذات بنية غير معروفة.

(β''): تترسب في شكل إبر ممدودة على طول الاتجاه $\langle 100 \rangle$ [20]، [21].

(β'): تترسب في شكل قضبان ممدودة على طول الاتجاه $\langle 100 \rangle$ ، ذو بنية بلورية سداسية

($a=0.705\text{nm}$ و $c=0.405\text{nm}$) [20].

(β): طور التوازن (Mg_2Si) يترسب على شكل صفائح صغيرة على المستوى {100} من المصفوفة

$\alpha\text{-Al}$ ذات البنية المكعبة ممرزة الأوجه من النوع CaF_2 ($a=0.636\text{nm}$) [22].

1- المناطق Gp:

من الصعب مراقبة تشكل هذه المناطق تجريبيا بالرغم من أنها تظهر بطريقة غير مباشرة من خلال

زيادة صلادة السبيكة.

2- الطور " β ":

هو طور شبه مستقر يكون على شكل إبر (الشكل II.5)، يمتد على طول الإتجاه

$\langle 100 \rangle$ [23]، تم إعتبره في السابق طور GP إستنادا إلى النتائج الظاهرة على شريط الحيود

الإلكتروني [24]، ثم تمت تسمية هذا الطور " β " بالإعتماد على دراسة بواسطة الأشعة السينية لسبيكة

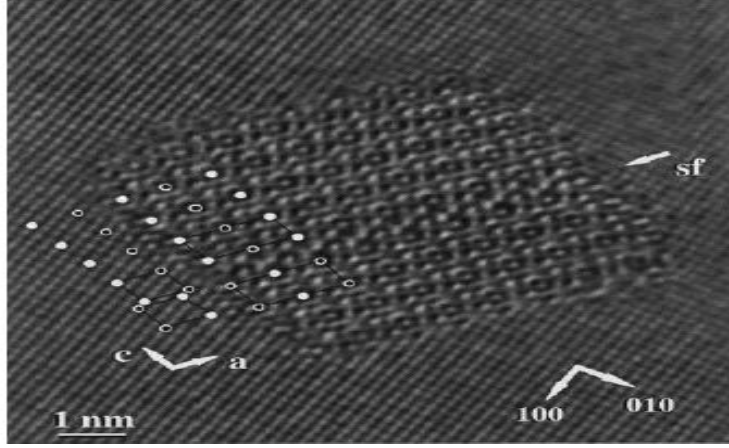
Al-Mg-Si، تمكن أبحاث كل من Cayron et al [21] و Esmaeili et al [21] من تحديد

بنية الطور " β " و هي أحادي الميل ذات الثوابت:

$$a=b=0.616\text{nm} \text{ و } c=0.71\text{nm} \text{ و } \gamma=82^\circ \text{ [21,22]}$$

هذه المرحلة المتماسكة هي المسؤولة عن البنية المجهرية المقابلة لذروة الصلابة في سبائك Al-

Mg-Si(Cu) مع انخفاض محتوى النحاس [23].



الشكل (5.II): صورة للطور β'' تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني النافذ (MET).

3- الطور (β'):

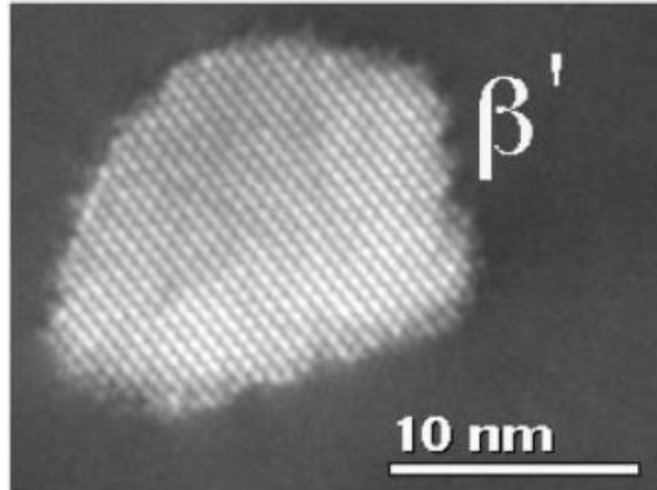
النسبة Mg/Si في الطور المتوسط أضعف مما كانت عليه في طور التوازن. يترسب هذا

الطور على شكل قضبان يتراوح قطرها بين 5 و 15nm (الشكل 6.II)، حيث تم تحديد بنية هذا

الأخير بواسطة حيود الأشعة السينية وهي شبكة سداسية ذات الثوابت [23]:

$$[23] a=0.705\text{nm}, c=0.405\text{nm}, \text{Mg/Si}=1.73$$

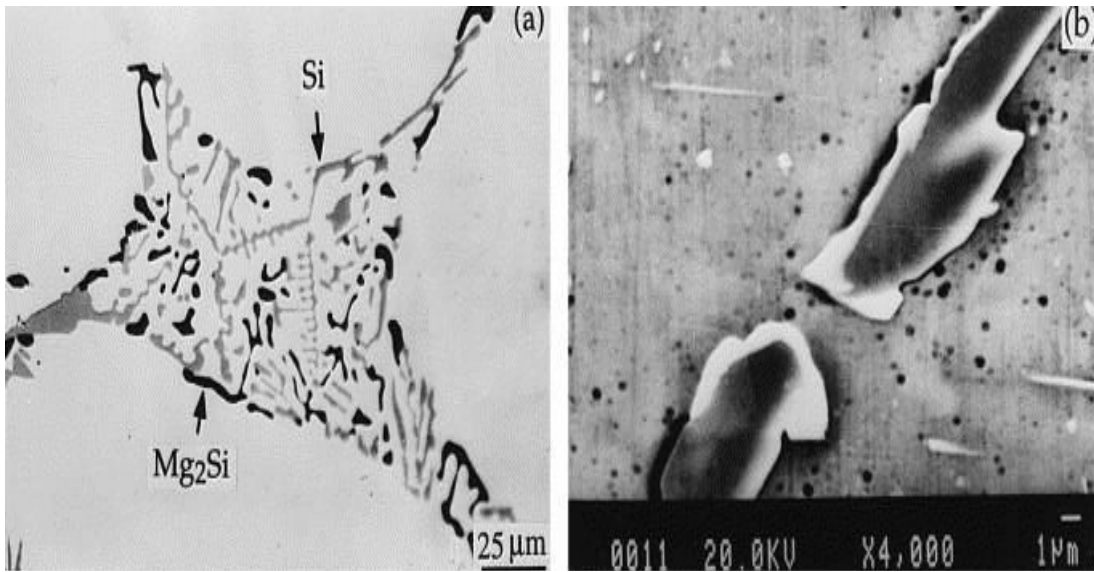
$$[23] a=b=0.407\text{nm}, c=0.405\text{nm}, \text{Mg/Si}=1.54$$



الشكل (6.II): ترسب الطور β' لسبيكة Al-Mg-Si [24].

4-الطور (Mg_2Si) β :

الطور المستقر (Mg_2Si) β هو أكثر طور معروف يترسب على شكل صفائح مربعة ذات سمك قريب من 10 nm بنيته مكعب ممرکز الوجوه لا يحتوي على الألمنيوم (الشكل 7.II). هذا الطور غير متماسك مع المصفوفة.



الشكل (7.II): ترسب الطور β لسبيكة Al-Mg-Si وشكل بنيته [26].

5- الطور Q :

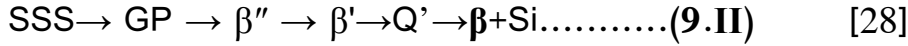
تتشكل سبائك Al-Mg-Si(Cu) عند إضافة النحاس إلى السلسلة 6000، أو عند إضافة السليسيوم إلى السلسلة 2000 [32].

النتيجة الأساسية لإضافة النحاس لسبائك Al-Mg-Si هو تشكل الطور الرباعي $Q(Al_5Cu_2Mg_8Si_6)$ ، هذا الطور مستقر جدا، ويمكن أن يميز في السبائك Al-Mg-Si زيادة نسبة

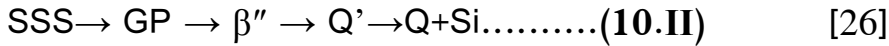
السليسيوم فيه مع إضافات قليلة من النحاس 0.25% تتشكل هذه المرحلة أثناء التصلب وهي في حالة توازن مع الألومنيوم.

بعد التجانس و التبريد، تكون حركية تسلسل الترسيبات كالتالي:

* ترسب السبيكة مع فرط في السليسيوم و نسبة قليلة من النحاس (0.07%) من الوزن.



* ترسب السبيكة مع فرط في السليسيوم ونسبة كبيرة من النحاس (0.91%) من الوزن.



6- الطور Q :

هو الطور المستقر في سبائك Al-Mg-Si-Cu، يعرف باسم [21] Q أو W أو [22] [29] h

تم تحديد بنيته بواسطة الأشعة السينية و هي سداسية حيث:

$$a=1.03932nm , c=0.40173nm$$

3.II. عمليات تشكيل المعادن:

تعتبر عمليات تشكيل المعادن من أهم الطرق في الصناعة الميكانيكية تعرف أيضاً باسم عمليات العمل الميكانيكية و هي عمليات تشكيل أولية تتعرض فيها كتلة من المعدن أو السبائك لقوى ميكانيكية، حيث تحت تأثير هذه القوى يخضع شكل وحجم القطعة المعدنية للتغيير باستعمال معدات وأجهزة خاصة تحت تأثير قوى ميكانيكية و تصنف عمليات التشكيل بالاعتماد على درجة الحرارة إلى مجموعتين أساسيتين هما: التشكيل على الساخن والتشكيل على البارد.

1.3.II. التشكيل على البارد:

يعرف التشكيل على البارد بأنه التشوه اللدن للمعادن والسبائك عند 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.

II.2.3. التثكيل على الساخن:

يعرف التثكيل على الساخن بأنه التثويه اللدن في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة، حيث تزيد المسافات بين الذرات بزيادة درجة الحرارة مما يسبب انخفاض في قوة الترابط بينها بالإضافة إلى ذلك فإن الإنخلاعات تكون أكثر حرية في الحركة داخل البلورة، يتميز هذا النوع من التثكيل بزيادة سرعة العملية و عدم الحاجة إلى مراحل التخمير كما هو الحال في التثكيل على البارد.

II.4. طرق تشكيل المعادن:

توجد العديد من طرق تشكيل المعادن نذكر منها:

II.1.4. الحدادة:

II.1.1.4. مفهوم الحدادة:

الحدادة واحدة من أقدم وأهم عمليات تشكيل المعادن المستخدمة في صنع المجوهرات والعملات المعدنية والأدوات المختلفة، تتم هذه العملية بتسخين قطع من الحديد الصلب حتى تصبح لينة بما يكفي لتشكيلها وذلك باستخدام أدوات يدوية مثل: المطرقة و السندان والقوالب المعدنية.

II.2.1.4. أنواع الحدادة:

1- الحدادة على الساخن:

وهي عملية تعتمد على تسخين المعدن المراد تشكيله عند درجات حرارة عالية تصل إلى $T \geq 0.6 T_F$ ، 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 طرق يدوية كالمطرقة [30].

2- الحدادة على البارد:

مبدأ الحدادة على البارد هو نفس مبدأ الحدادة على الساخن غير أن الحدادة على البارد تتم في درجة حرارة الغرفة. تتطلب الحدادة على البارد قوى أعلى بسبب القوة العالية للمواد المراد تصنيعها، ويجب أن تكون هذه المواد لينة في درجة حرارة الغرفة للخضوع للتشوه الضروري دون التشقق، تتميز الأجزاء المطروقة على البارد بإنهاء سطح جيد ودقة الأبعاد [31].

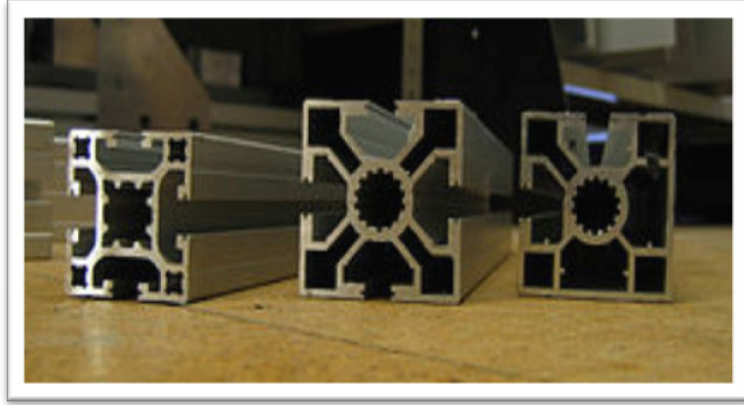


الشكل (8.II): عملية تشكيل المعادن بالحدادة.

II.2.4. الكبس:

II.2.4.1. مفهوم الكبس:

الكبس هو عملية التشكيل المستخدمة على نطاق واسع في الصناعة كإنتاج أعمدة بمقاطع ثابتة الشكل، تقوم هذه العملية على مبدأ التشوه للمعادن، إذ أن التشوه يكون عبارة عن استطالة في السطح أو العنق للحصول على الشكل المطلوب، حيث يتم ضغط المعدن 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 (شكل 9.II)، كما أنها تنتج منتجات نهائية ذات جودة سطح عالية [30].



الشكل (9.II): عينات ألمنيوم مشكلة بعمليات الكبس.

II.2.2.4. أنواع الكبس:

1- الكبس على الساخن:

يتم الكبس على الساخن في وعاء مسخن للحفاظ على المعدن من التصلب أثناء التشكيل، ولتسهيل خروج المعدن من قالب الكبس. المواد المشكلة بهذه الطريقة تحتاج إلى عملية تشطيب نهائي للحصول على شكل مقبول [32].

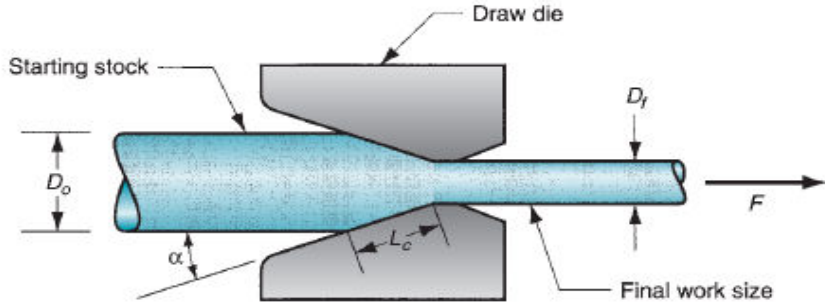
2- الكبس على البارد:

يتم الكبس على البارد في درجة حرارة الغرفة، يتميز الكبس على البارد مقارنة بالكبس على الساخن بقلّة عملية الأكسدة، متانة أعلى نتيجة للتشكيل على البارد، الحصول على أبعاد بمساحات مقاربة جداً للنهائية، جودة عالية للسطح ويعد الكبس على البارد إحدى آليات تقوية المواد [32]. المعادن التي غالباً ما يتم كبسها على البارد هي: الرصاص، القصدير، الألمنيوم والنحاس.

II.3.4. السحب:

عمليات السحب بأنواعها سواء سحب الأسلاك والأنابيب أو القضبان أو عمليات من أهم عمليات التشكيل اللدن، يجري 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 [33]، مما يستلزم القيام بمعالجات حرارية كالتخمير في التشوهات الكبيرة جدا (حالة التخفيض الكبير في المقطع) [34].

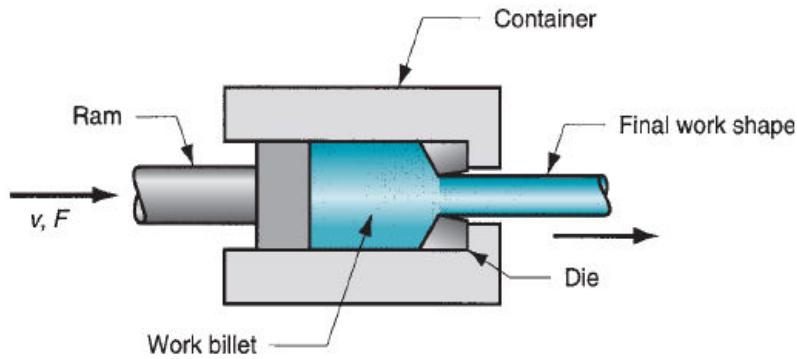


الشكل (10.II): رسم توضيحي لعملية السحب [40].

4.4.II. عملية البثق:

1.4.4.II. مفهوم عملية البثق:

تستخدم عملية البثق بشكل أكثر شيوعاً لتصنيع المقاطع الصلبة والمجوفة من المعادن والسبائك غير الحديدية، مثل الألومنيوم وسبائكه والمغنيزيوم وسبائكه والنحاس والبرونز وما إلى ذلك. ومع ذلك يتم أيضاً تصنيع بعض منتجات الصلب عن طريق البثق. يكون المخزون أو المادة المراد بثقها على شكل سبائك مصبوبة أو كتل، قد يتم البثق ساخناً أو بارداً و تختلف المقاطع العرضية للمنتجات المبنوقة بشكل كبير.



الشكل (11.II): عملية البثق [40].

II.2.4.4. أنواع عملية البثق:

1- البثق على الساخن:

عملية البثق عبارة عن تشكيل كتلة معدنية مسخنة إلى درجات حرارة عالية نسبياً، داخل وعاء يتحرك فيه مكبس يضغط على الكتلة المعدنية ويجبرها على الخروج من فتحة في نهاية الوعاء، فينسب المعدن خلال الفتحة متخذاً شكلها فالفتحة هنا تقوم مقام قالب التشكيل.

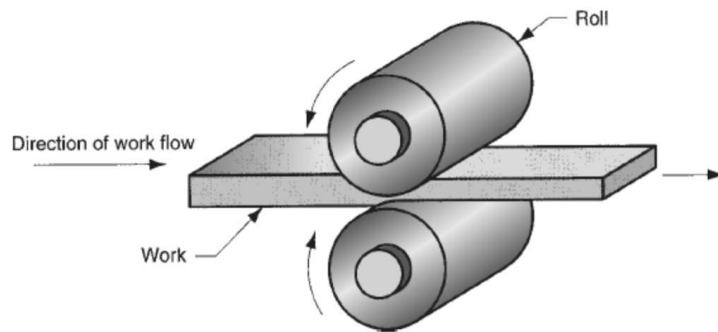
2- البثق على البارد (البثق الصدمي):

تتلخص عملية البثق الصدمي بتشكيل كتلة معدنية على شكل قرص موضوع داخل قالب قليل العمق بواسطة مكبس، يتم إسقاطه على القرص بقوة كبيرة نسبياً، ينسب معدن القرص محيطاً بالمكبس وتتخذ شكله ويتم التشكيل بصدمة واحدة، حيث يكون سمك القطعة المشكلة مساوياً للفرق بين قطر القالب و القطر الخارجي للمكبس.

II.5.4. الدرفلة:

II.1.5.4. مفهوم الدرفلة:

الدرفلة هي عملية تشكيل المعدن للحصول على منتجات نصف نهائية أو تامة من خلال الضغط بين لفتين متناوبتين (دراويل) (الشكل II.12)، من أجل الحصول على الشكل والحجم المطلوبين، تتضمن هذه العملية نقصان في السمك وزيادة في الطول وقد تتم على الساخن أو على البارد.



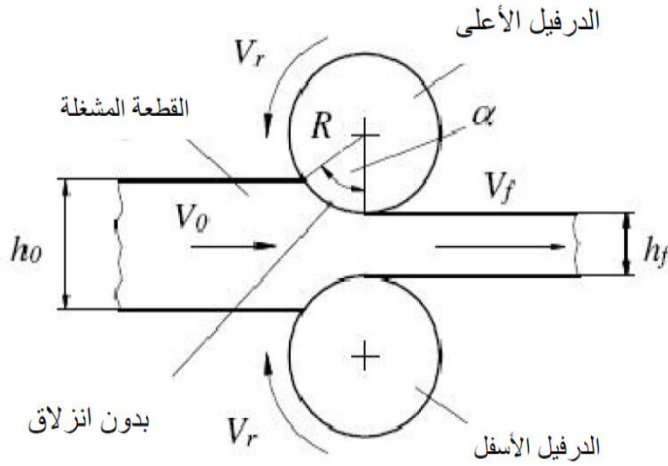
الشكل (II.12): عملية الدرفلة بواسطة الدراويل [40].

II.2.5.4. الخصائص العامة للدرفلة:

- ❖ عادة الدرفلة هي الأولى في تحويل المواد المسبوكة إلى منتجات مشكلة نهائيا.
- ❖ تعد عملية الدرفلة من ناحية الإنتاج الكمي الأكثر شيوعا من بين عمليات التشكيل.
- ❖ الدرافيل مكلفة عادة وباهضة.

II.3.5.4. مبدأ عملية الدرفلة :

يعتمد مبدؤها على تمرير المعدن بين درفيلين يدوران في اتجاه معاكس، ويكون الفراغ بين الدرفيلين أقل من سمك المعدن الأصلي، يدخل المعدن بسمك h_0 ويخرج بسمك h ، يعمل كل درفيل بمحركات كهربائية وتدور بسرعة سطحية V_r ، هذه السرعة أعلى من السرعة الابتدائية للمعدن V_0 لذلك يحدث انزلاق نسبي بين سطح الدرفيل والمعدن المدرفل، سرعة القطعة تزداد أثناء حركتها فتخرج بسرعة V_f وعند نقطه معينة على طول سطح التماس بزوايه α حيث تصبح سرعتها مساوية لسرعة الدرافيل.



الشكل (II.13): مبدأ عمل الدرافيل .

II.4.5.4. أنواع عملية الدرفلة :

1- الدرفلة على البارد:

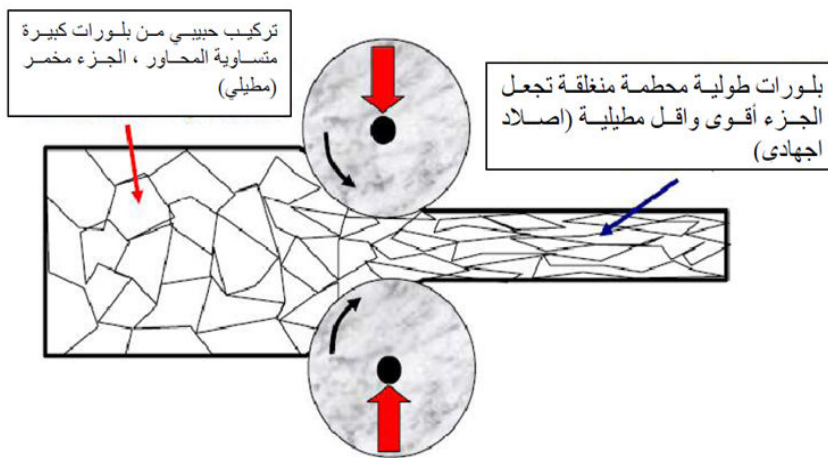
يتم تقليل سمك السبائك والأسطح المعدنية عن طريق الدرفلة على البارد لتقوية المعدن والتحسين من خصائصه الميكانيكية، هذه الطريقة لها ميزة مهمة هي أن سطح الورقة المدرفلة على البارد لا يحتوي على قشور ويتفوق بشكل عام على المنتج المدرفل على الساخن [35]. من المعادن التي من الممكن درفلتها على البارد هي: النحاس والألمنيوم 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.

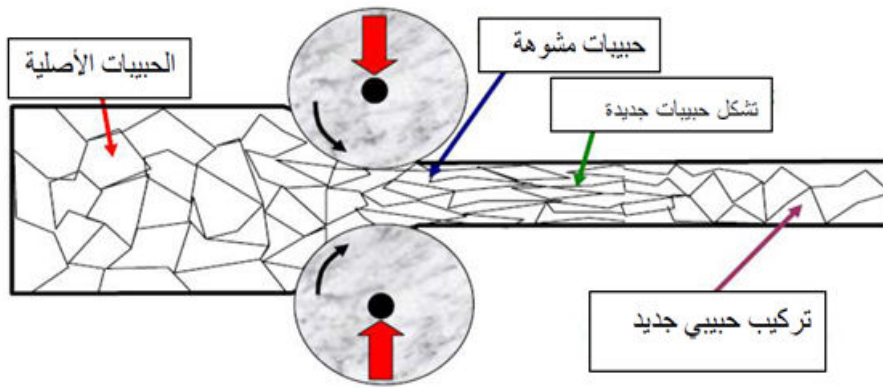
تعتبر الصفائح المعدنية الرقيقة جدا ذات سمك (0.002mm) من أهم منتجات هذه الطريقة. هناك خواص مهمة يجب توفرها في المعادن المدرفلة مثل: قابلية الإنسياب نتيجة الضغط المسلط عليه دون أن ينكسر، كذلك يجب أن تكون له قوة تحمل كبيرة حتى لا تتلف تحت الضغوط الكبيرة.



الشكل (II.14): تأثير عملية الدرفلة الباردة على سلوك البلورات.

2- الدرفلة على الساخن:

تتميز الدرفلة على الساخن بارتفاع درجة حرارة المعدن للوصول إلى الليونة اللازمة لتشكيل الصفائح، وهذا النوع من الدرفلة مستخدم في معال صهر الحديد والنحاس والزجاج وغيرها من المعادن.

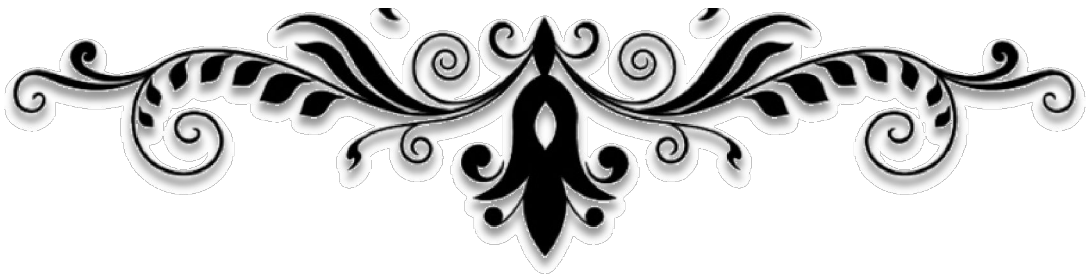


الشكل (15.11): تأثير عملية الدرفلة على الساخن على سلوك البلورات.

الفصل الثالث

التقنيات الجريية

والأجهزة المستعملة



1.III. مقدمة:

في هذا الفصل سنتعرف إلى التقنيات التجريبية والمعالجات الحرارية التي استعملت لإنجاز هذا العمل. التقنيات التجريبية التي استخدمت في هذا البحث من أجل تحديد تطور البنية المجهرية لمختلف السبائك بدلالة معدل التشوه عن طريق التشكيل بالدفلة على البارد وقياس نتائج الخصائص الميكانيكية هي:

❖ حيود الأشعة السينية (DRX).

❖ اختبار الصلادة (Hv).

❖ المجهر الإلكتروني الماسح (MEB).

2.III. اختيار المادة المدروسة:

تم توفير العينات المدروسة (سبائك الألمنيوم **Al-Mg-Si** السلسلة 6000) من قبل مختبر قسم فيزياء المعادن بجامعة مانشستر (بريطانيا)، وهي عبارة عن صفيحة من سبيكة الألمنيوم طولها 30cm ، عرضها 4 cm وسمكها 3 mm. تركيبها الكيميائي موضحة في الجدول أدناه (الجدول

1.III):

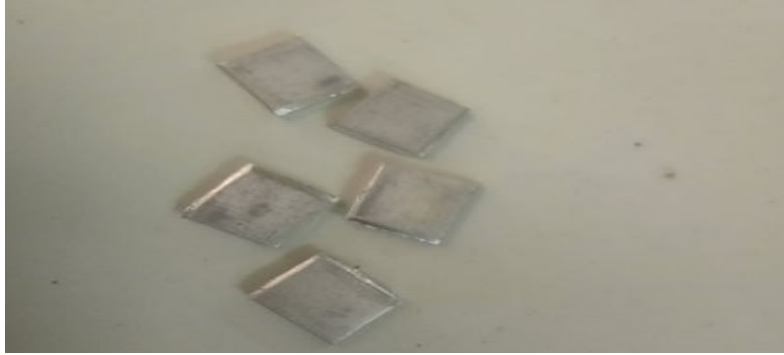
Mg%	Si%	Cu%	Fe%	Mn%	Cr%	Zn%	Ti%	B%	Al%
0,20	0,20	0,001	0.17	0.030	0.001	0.003	0.011	0.0013	المتبقي

الجدول (1.III) : التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة.



الشكل (1.III): صفيحة سبيكة الألمنيوم المدروسة.

بواسطة منشار حديدي يدوي وتحت تدفق الماء البارد لتجنب التصليد الانفعالي للعينات، تم تقطيع الصفيحة على شكل عينات صغيرة بالأبعاد التالية: (الطول 1cm، العرض 0.5cm، السمك mm (3).



الشكل (2.III): عينات السبيكة المدروسة.

في هذه الدراسة تم درفلة السبيكة على البارد لعدة معدلات التشوه (الجدول 2.III)، ويتم حساب

معدلات التشوه المختلفة باستعمال المعادلة التالية:

$$\varepsilon = \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right) \cdot 100 \% \dots\dots\dots 1.III$$

حيث:

✓ h_0 : السمك الابتدائي للسبيكة.

✓ h : السمك النهائي بعد درفلة السبيكة.

✓ ε: معدل التشوه.

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

معدل التشوه(%) ε	سمك الصفيحة (mm)	الصفحة الأولى
0	3	الصفحة الأولى
10	2.70	الدرفلة 1
20	2.40	الدرفلة 2
35	1.95	الدرفلة 3
50	1.50	الدرفلة 4
70	0.90	الدرفلة 5

الجدول(2.III): معدلات التشوه (ε) لسبائك الألمنيوم.

3.III. المعالجات الحرارية :

أجريت المعالجات الحرارية في فرن من نوع نابيرثرم NABERTHERM، حيث خضعت السبائك لمعالجات حرارية بمعدل تسخين قدره $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. 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 (السقاية)، للحصول على بنية متجانسة وفي الأخير

عرضت لتعقيم اصطناعي عند 180°C لفترات زمنية محددة
(.30min.60min.120min.180min.240min.300min)



الشكل (3.III) : فرن المعالجات الحرارية نابيرثرم Nabertherm.

4.III. تحضير العينات:

1.4.III. التشكيل على البارد باستعمال الدرفلة:

أثناء عملية الدرفلة على البارد تم تحضير قطع صغيرة من السبيكة بالأبعاد التالية:

(الطول 1cm ، العرض 0.5cm والسماك 3mm). تمت الدرفلة باستخدام ماكينة درفلة تحتوي

على درفيلين (الشكل 4.III) حيث تم تقليص السمك الأولي للصفحة والمقدر بـ : 3mm إلى)

2.70mm ، 2.40mm ، 1.95mm ، 1.50mm ، 0.90mm) على التوالي، علماً أن عملية

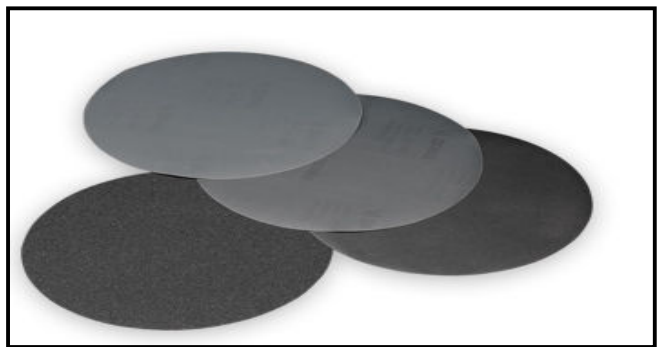
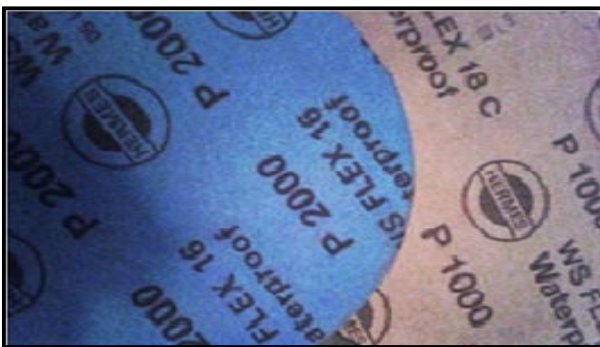
تقليص السمك قد تمت بمرحلة واحدة لجميع العينات لكل معدل تشوه.



الشكل (4.III) : ماكينة الدرفلة (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي).

III.4.2. الصقل:

استخدمت أوراق كاشطة خشنة والتي تتكوّن أساساً من حُبيبات كربونات السّليسيوم (Si) في عملية الصقل الميكانيكي، حيث استعمل الورق الكاشط تدريجياً من الرّقم الصناعي 100 إلى 2000 كعملية أولية (استقراب + نصف تشطيب)، حيث يسمح لنا هذا الأخير بالتّحسين التّدرجي لاستواء سطح العينات ثم يُتبع هذا الصقل الخشن بعملية التشطيب النهائي، وهي عبارة عن صقل ناعم حيث يستخدم قماش رطب ويضاف إليه عجينة مرصعة بالألماس ذات جسيمات دقيقة حجمها $6 \mu\text{m}$ و $3 \mu\text{m}$. عند نهاية الصقل الخشن والناعم يكون سطح العيّنة شبيهاً الى حد كبير بمرآة.



الشكل (5.III): الورق الكاشط (FORCIPOL 2) مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن

مهدي أم البواقي).



الشكل (III.6): ماكينة الصقل الميكانيكي (FORCIPOL 2) مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة

العربي بن مهدي) .

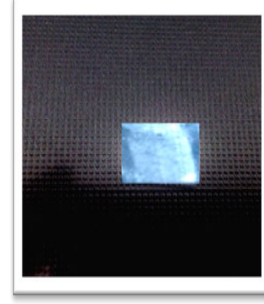
III.4.3. التتميش الكيميائي:

نعلم أن الفحص المجهرى لسطح العينات المصقولة لا يظهر لنا الحدود الحبيبية، ومن أجل إظهار هاته الحدود الحبيبية قمنا بعملية تتميش كيميائي لأسطح العينات المدروسة باستخدام محلول كيميائي. بحيث أجرينا عدة تجارب لعملية التتميش الكيميائي على عيناتنا المصقولة باستخدام تراكيب كيميائية مختلفة، غير أن النتائج المتحصل عليها كانت أكثر فعالية باستخدام كاشف كيلر. يتم تنظيف العينات من أي مخلفات بالماء المقطر ثم تجفف بالهواء بعد كل عملية تتميش بواسطة الكاشف الكيميائي (كيلر) .

يتكون المحلول الكيميائي (كيلر) المستعمل في هذه الدراسة على 17mL من حمض النيتريك (HNO₃)، 5mL من حمض الهيدروفلوريك (HF)، 9mL من حمض الهيدروكلوريك (HCl) و 78mL من الماء المقطر. وقت التتميش الكيميائي للكشف عن الحدود الحبيبية لا يتجاوز 15 ثانية.



الشكل (III.7.b): سطح العينة بعد الصقل



الشكل (III.7.a): سطح العينة قبل الصقل.

III.5. الطرق التجريبية:

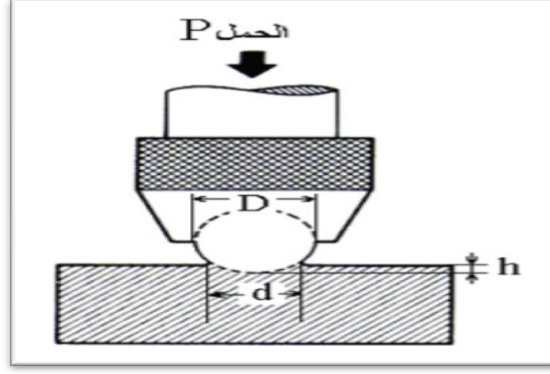
III.5.1. اختبار الصلادة:

اختبار الصلادة هي تقنية يتم استخدامها على المواد قصد معرفة خاصية صلابتها و مقاومتها. والصلادة هي قابلية الخدش و هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها وإبقاءه متماسكا تحت تأثير الأحمال.

يستخدم في اختبار الصلادة جسم قاس ذو شكل هندسي محدد (مخروط من الألماس ، كرة فلادية)، يتم الضغط به على السطح بعد إزالة القوة الضاغطة يترك أثر انغراسه على العينة. تقاس صلادة المعدن بقياس عرض الأثر فكلما زادت قيمته قلت صلادة المعدن. 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 ركوال واختبار فيكرز.

1. اختبار برينل :

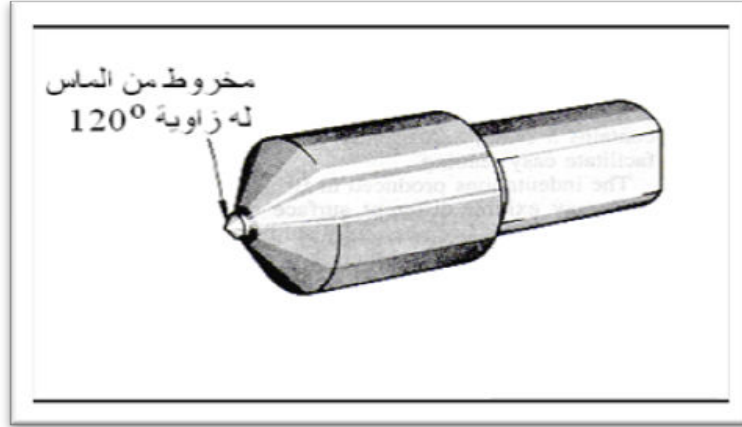
هو أحد الطرق المستخدمة لقياس صلادة مادة، ابتكره المهندس السويدي جون أغسطس برينل. تتلخص طريقة الاختبار في ضغط كرة من الفولاذ على عينة نظيفة مستوية من المادة المراد اختبار صلابتها حيث شكل الأداة عبارة عن كرات من الصلب المصلد (الشكل III.8).



الشكل (III.8): أداة اختبار برينل.

2- اختبار ركوال:

يعتبر اختبار ركوال الطريقة الأكثر شيوعاً المستخدمة لقياس الصلابة والمقبولة بشكل عام بسبب سرعته و القدرة على تمييز فرق الصلادة الصغير كما أنها بسيطة للغاية شكل الأداة المستخدمة عبارة عن مخروط من الماس له زاوية 120° وحرف مستدير ويسمى البرايل (الشكل III.9):



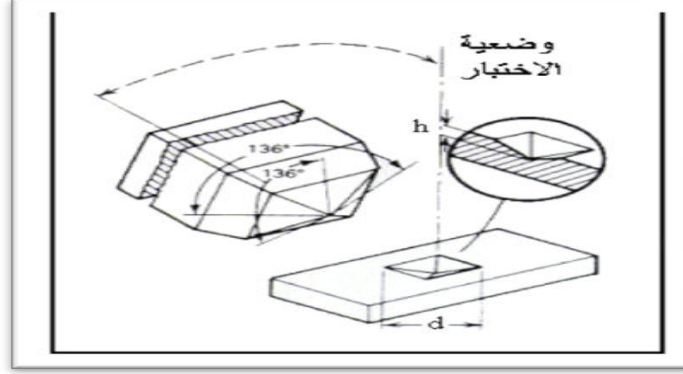
الشكل (III.9): أداة اختبار ركوال .

3- اختبار فيكرز:

يمكن بواسطة هذا الاختبار تحديد صلادة المعادن شديدة الصلادة نظراً لاستخدام الهرم الماسي، و تكون الأحمال المؤثرة صغيرة جداً إذا ما قورنت بالأحمال المؤثرة في اختبار برينل

للصلادة. شكل الأداة عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة وتتقاطع مستوياته عند الحروف بزوايا

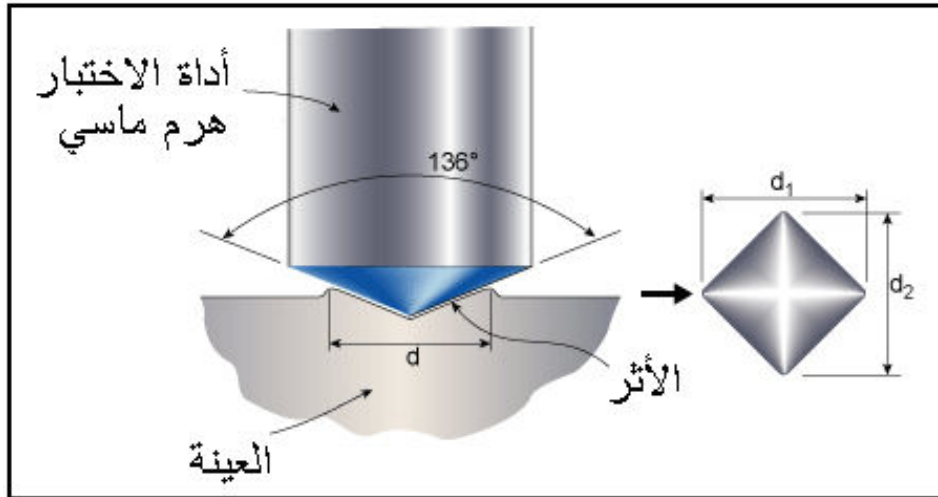
θ قدرها 136 (الشكل III.10):



الشكل (III.10): أداة اختبار فيكرز.

بما أن شكل الأداة عبارة عن هرم من الماس فإن الأثر على سطح عينة الاختبار سيكون مربعاً

و ذو عمق معين وبالتالي تقاس الصلادة بقياس قطر الأثر (d) كما هو موضح بالشكل (III.11):



الشكل (III.11): اختبار فيكرز للصلادة (وضعية الإختبار وشكل الأثر).

يتم حساب صلادة فيكرز (HV) بإستخدام العلاقة التالية

$$Hv = \frac{1.854 F}{D^2} \dots\dots\dots 2.III$$

حيث :

✓ F : حمل الإختبار (Kg).

✓ D : قطر الأثر (mm).

في هذه الدراسة تم إستخدام جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (الشكل 12.III)، حيث تم تحضير العينات المراد قياس صلابتها وذلك بصقلها باستعمال الورق الكاشط تدريجيا من الرّقم الصناعي 100 إلى 1200. أجريت القياسات تحت حمولة مقدارها 300g لمدة 15 ثانية، ولكل عينة تمثّل قيمة صلابتها متوسط خمس قياسات.



الشكل(12.III): جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة

العربي بن مهدي أم البواقي)

III.6. التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية:

يستخدم حيود الأشعة السينية بشكل أساسي لتحديد الطبيعة البنيوية و المراحل البلورية الموجودة في المادة ودراسة ظاهرة الترسبات، حيث تعتمد هذه الطريقة أساسا على الترتيب البلوري المنتظم للعينة فيجب أن تكون العينة من مادة متبلورة، عند تسليط حزمة من الأشعة السينية أحادية طول

الموجة على العينة المتبلورة 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 للطبقات الذرية (d) والذي يكون مميز للمادة التي يتم فحصها، وبالرجوع إلى الجداول القياسية يمكن التعرف على المركبات المكونة للعينة .

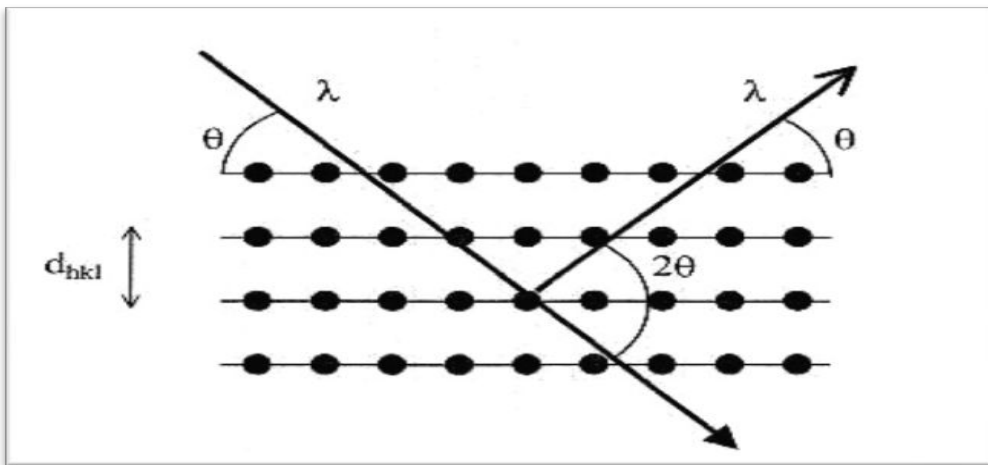
عندما تتداخل الموجات المنعكسة تداخلا بناء، يظل الطور بينهم ثابتا حيث أن مسار كل موجة يساوي عددا كاملا n من طول الموجة λ ويخضع فارق المسار بين موجتين تداخلتا تداخلا بناء لقانون براغ :

$$2 d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \dots\dots\dots 3.III$$

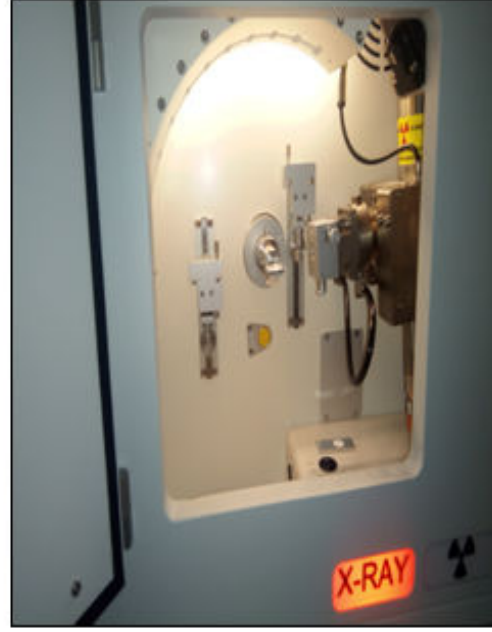
تربط هذه العلاقة بين :

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

استعملنا في هذه الدراسة جهاز انعراج الأشعة السينية نوع EQUINOX 100 : (الشكل III.14):



الشكل (III.13): حيود براغ.



الشكل(III.14): جهاز انعراج الأشعة السينية نوع EQUINOX 100.

III.7. التحليل بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) :

المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) هو نوع من أنواع المجاهر الإلكترونية التي تنتج صور لسطح عينة ذات دقة عالية ، حيث تتمثل الوظيفة الرئيسية لهذا الجهاز في إنتاج إشارات مختلفة تحتوي على معلومات حول تضاريس السطح وتكوينه. وفحص الخواص التركيبية للمواد المدروسة.

التحليل بواسطة MEB تقنية مجهرية إلكترونية تعتمد على إستخدام حزمة إلكترونية عالية الطاقة تصطدم عموديا بسطح العينة المدروسة، و من ثم جمع الإشارات المنعكسة و الصادرة من العينة باستخدام الكواشف المختلفة، حيث تستخدم العدسات الكهرومغناطيسية لتوجيه شعاع حزمة الإلكترونات على العينة. يتسبب التفاعل بين الإلكترونات والعينة في تكوين إلكترونات ثانوية منخفضة الطاقة.

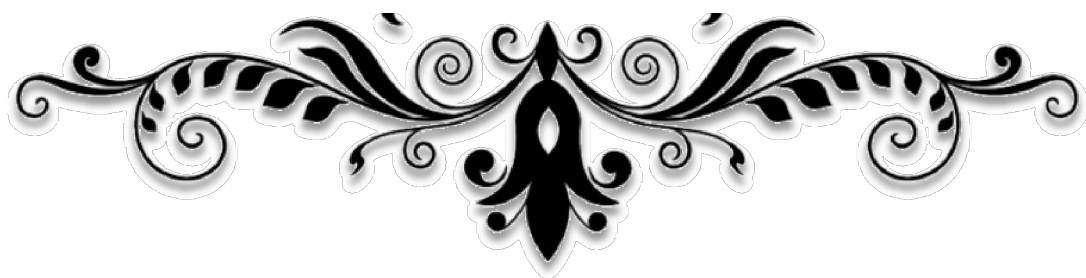


الشكل (15.III): المجهر الإلكتروني الماسح نوع Jeol JSM 6360LV (وحدة الأبحاث لتطوير

الأغشية الرقيقة سطيف).

الفصل الرابع

التأنيج و مناقستها

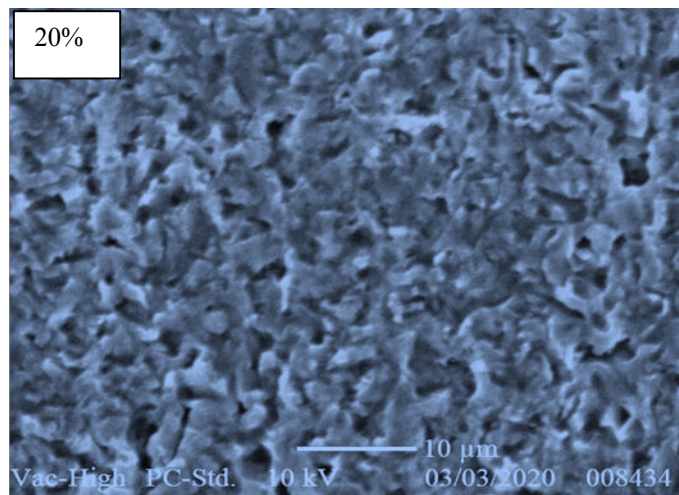
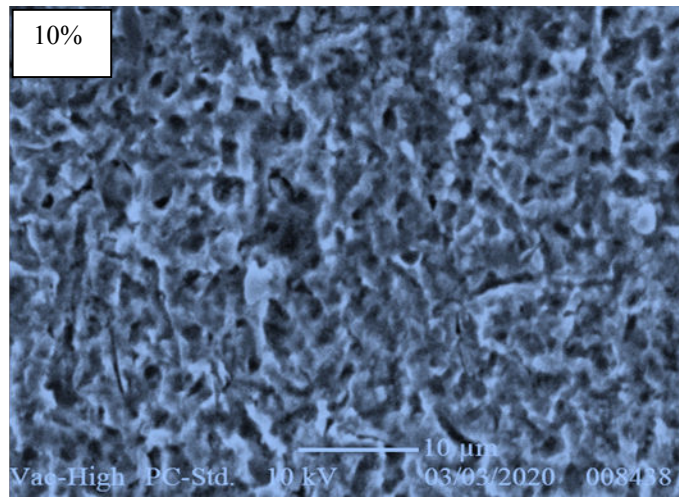
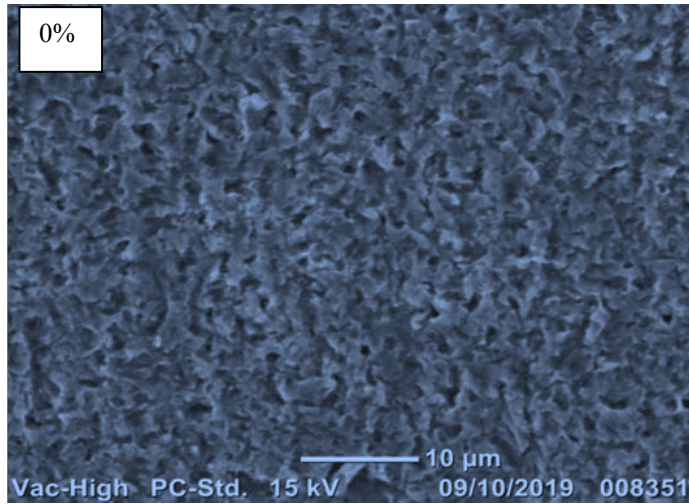


IV. 1. مقدمة:

سننظر في هذا الفصل إلى النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها باستعمال عدة تقنيات تجريبية. بدايةً من نتائج الفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح لعينات سبائك الألمنيوم Al-Mg-Si المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه التالية: 0%، 10%، 20%، 35%، 50%، 70%. ثم نتائج اختبار الصلادة و حيود الأشعة السينية.

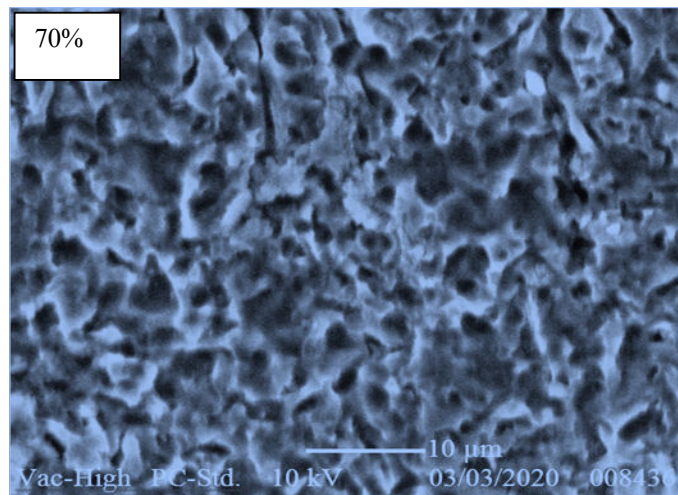
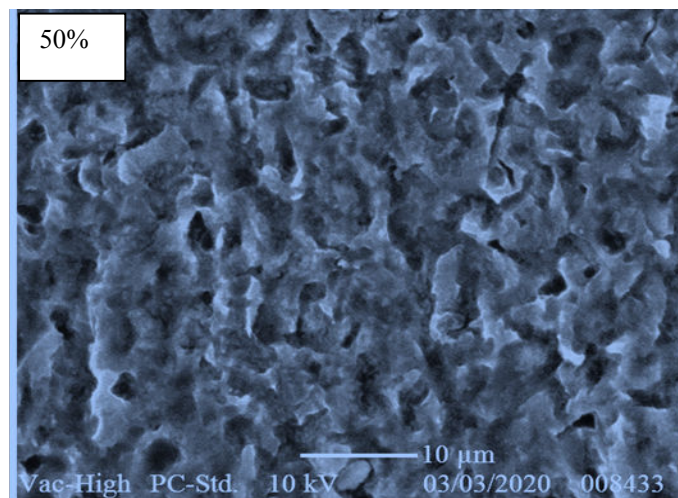
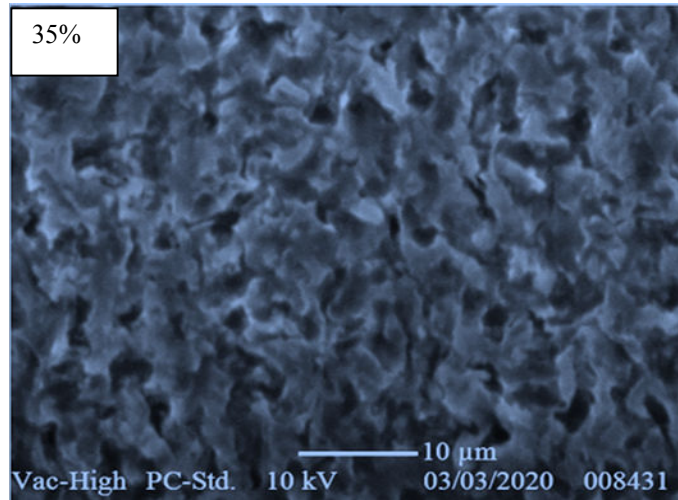
IV. 2. الدراسة باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح:

يبين الشكل (1.IV) البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح لعينات سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si المدرفلة على البارد بمختلف معدلات التشوه 0%، 10%، 20%، 35%، 50%، 70%. نلاحظ وجود ترسبات وجسيمات كبيرة منتشرة عشوائياً داخل الحبوب وهذه الجسيمات يزداد حجمها تدريجياً مع زيادة معدل التشوه، ويرجع ذلك إلى الانتشار القوي للشوائب داخل الإنخلاعات المتولدة من خلال التشوهات الناتجة عن عملية الدرفلة، هذا الانتشار للشوائب يساعد على نمو وتراكم الرواسب. نلاحظ أيضاً وجود بنية مجهرية نسيجية والتي تثبت أن العينات المدروسة درفلت على البارد. هذه النتيجة في اتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [41-43].



الشكل (IV . 1) : البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح للسبيكة

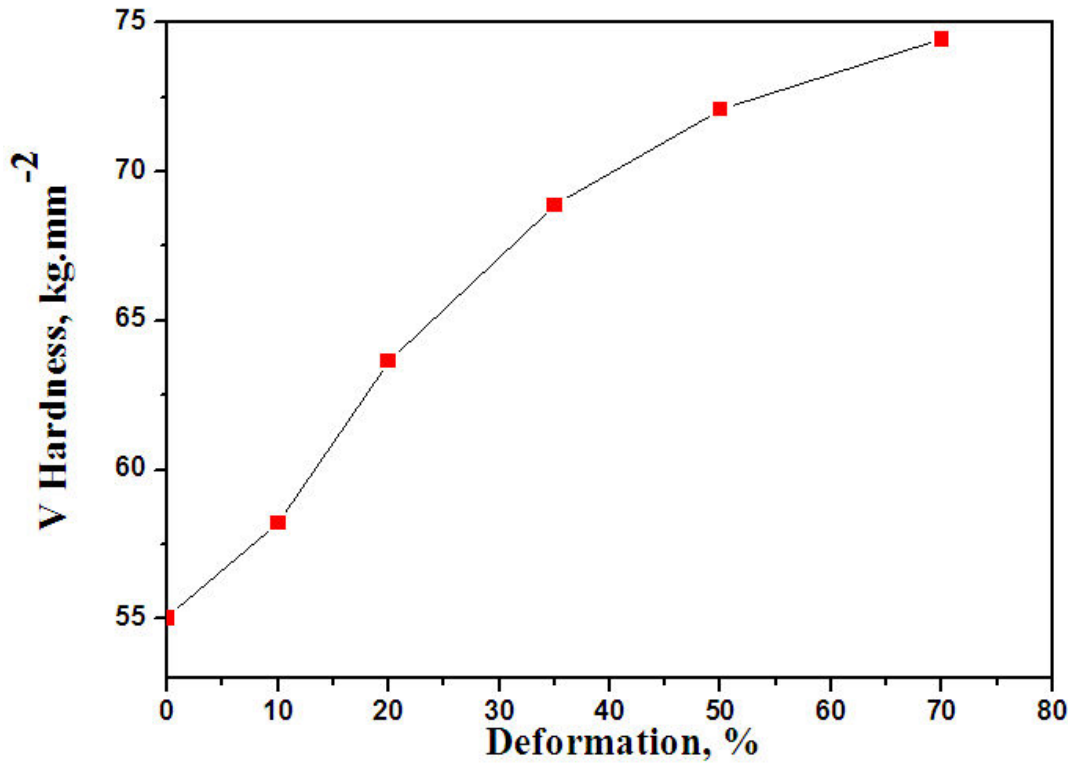
المدرفة على البارد لمختلف معدلات التشوه 0% [41]؛ 10% ؛ 20% ؛ 35% ؛ 50% ؛ 70%



الشكل (IV . 1) (تابع): البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح للسبيكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه 0% [41]؛ 10%؛ 20%؛ 35%؛ 50%؛ 70%.

IV.3. الدراسة باستعمال اختبار الصلادة:

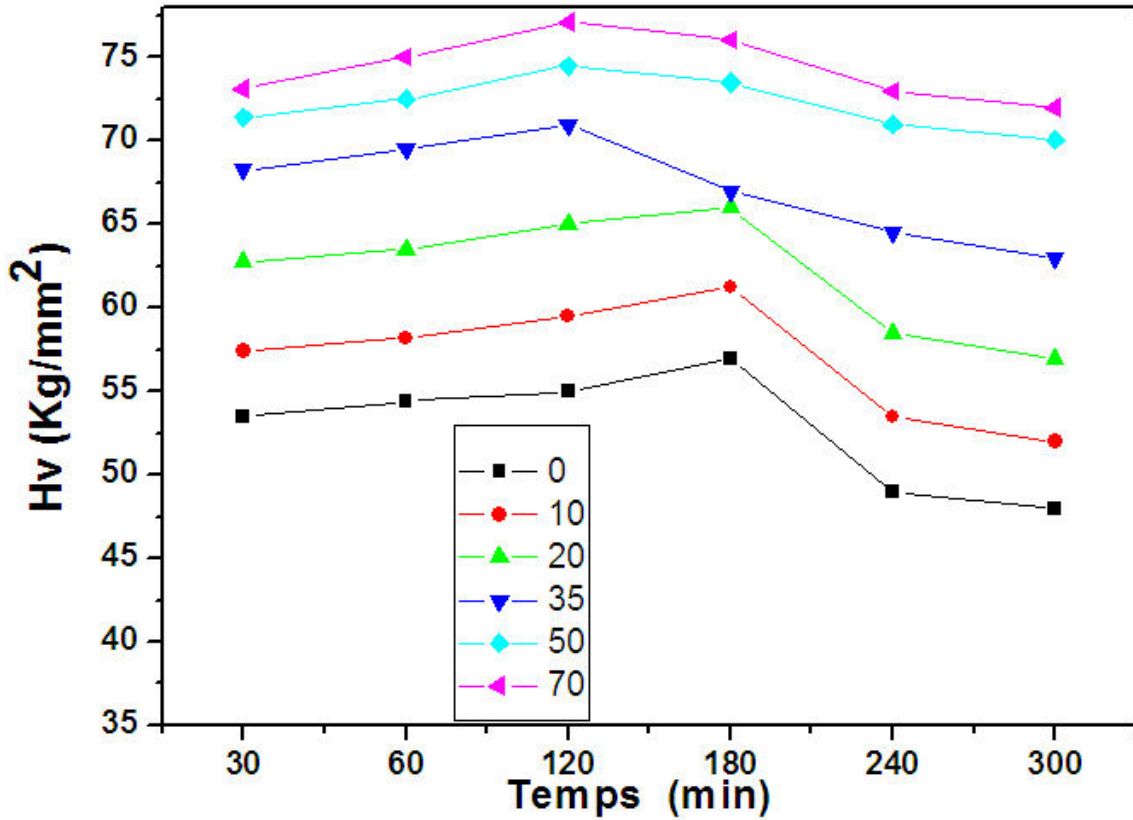
يوضح الشكل (IV.2) منحنى تغير الصلادة بدلالة مختلف معدلات التشوه بالدرفلة على البارد لسبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si. نلاحظ من هذا المنحنى أن الصلادة تزداد تدريجياً مع الزيادة في معدل التشوه، هذه الزيادة ناتجة عن الكثافة الكبيرة للإنخلاعات المتولدة عن تشوه السبيكة على البارد. هذه النتيجة في اتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [45،44،42،41]. نلاحظ أيضاً أن الزيادة في الصلادة من القيمة الأولية البالغة HV55 إلى القيمة القصوى HV74 تم الحصول عليها عند أعلى معدل تشوه 70%.



الشكل (IV.2) : تغير الصلادة بدلالة مختلف معدلات التشوه.

يوضح الشكل (IV.3) النتائج التي تم الحصول عليها لتغير الصلادة بدلالة مختلف التشوهات (0، 10، 20، 35، 50، 70%) بالدرفلة على البارد لسبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si عند درجة

حرارة التعقيم الاصطناعي المساوية إلى 180°C . تظهر لنا المنحنيات أن الصلادة تزداد مع زيادة معدل التشوه. تزداد الصلادة تدريجياً لتصل إلى قيمة عظمى (HV_{\max}) ثم تنخفض تدريجياً، هذه القيم تدل على تكون الطور الأكثر صلادة β . يمكن أيضاً ملاحظة أن الحد الأقصى للصلادة في حالة معدلات التشوهات الكبيرة (35%، 50% و 70%) تكون في الأزمنة الأولى للتعقيم الاصطناعي عند 180°C ، و هذه النتيجة توافق ما تحصل عليه من قبل الباحثين على أن التشوه يزيد من صلادة سبائك الألمنيوم ويسرع في ظهور مختلف الأطوار والترسبات [41, 42, 44, 46].



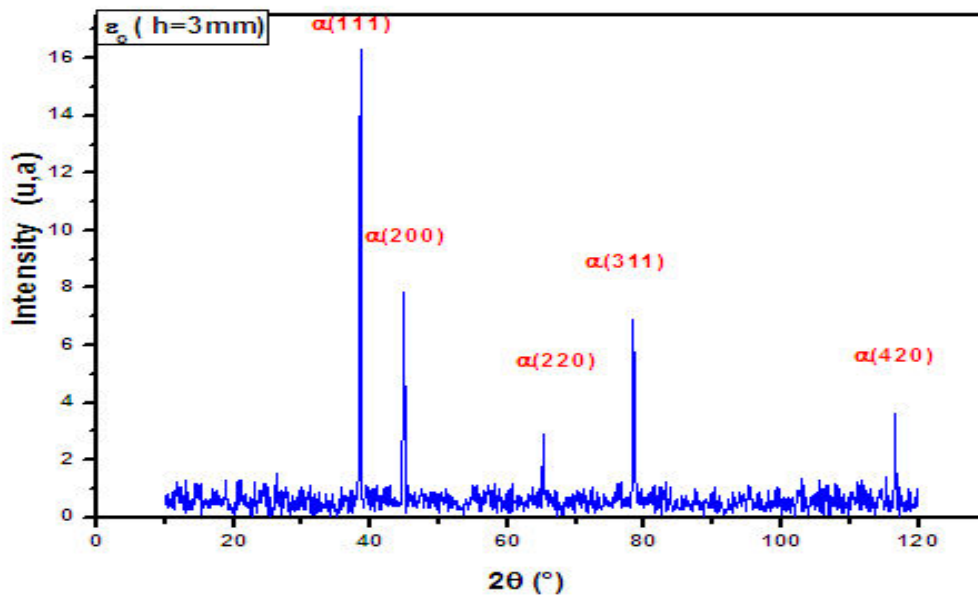
الشكل (3.IV): تغير الصلادة بدلالة زمن التعقيم الاصطناعي 180°C مئوية.

4.IV. التحليل بواسطة الأشعة السينية:

يعتبر استخدام تقنية حيود الأشعة السينية (DRX) من التقنيات الجيدة التي يتم من خلالها تحديد البنية البلورية. حيث يتم استعمالها في جميع مجالات فيزياء الجسم الصلبة.

في هذه الدراسة قمنا بمقارنة نتيجة تحليل أطيف الحيود لبحث سابق لعينة غير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$) على نفس السبيكة المدروسة مع العينة المدروسة لسبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 70\%$) 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 deg. /s وضمن المدى الزاوي $2\theta = 10^\circ$ الى 120° .

يمثل الشكل (4.IV) أطيف حيود الأشعة السينية لعينة من سبيكة غير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$) [41] وفقاً لصحائف بيانات ASTM، فإن حالات الانعراج المسجلة تتوافق مع بنية C.F.C لمصفوفة الألمنيوم.



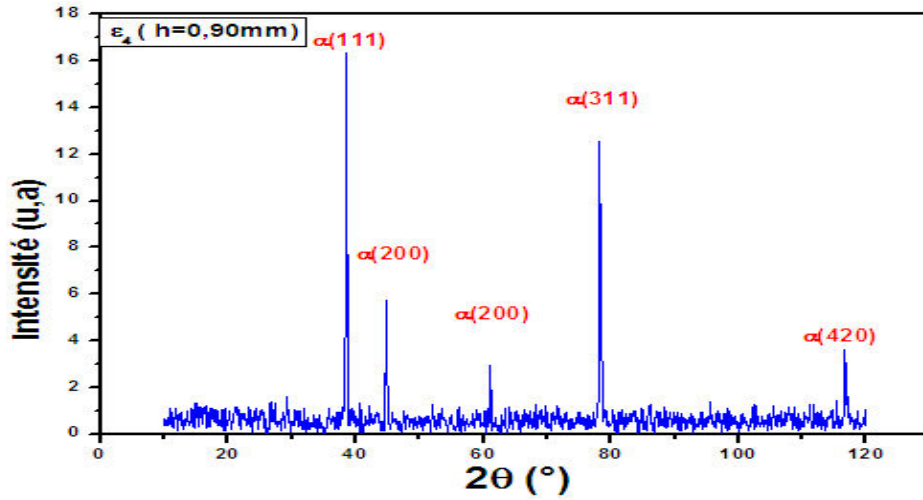
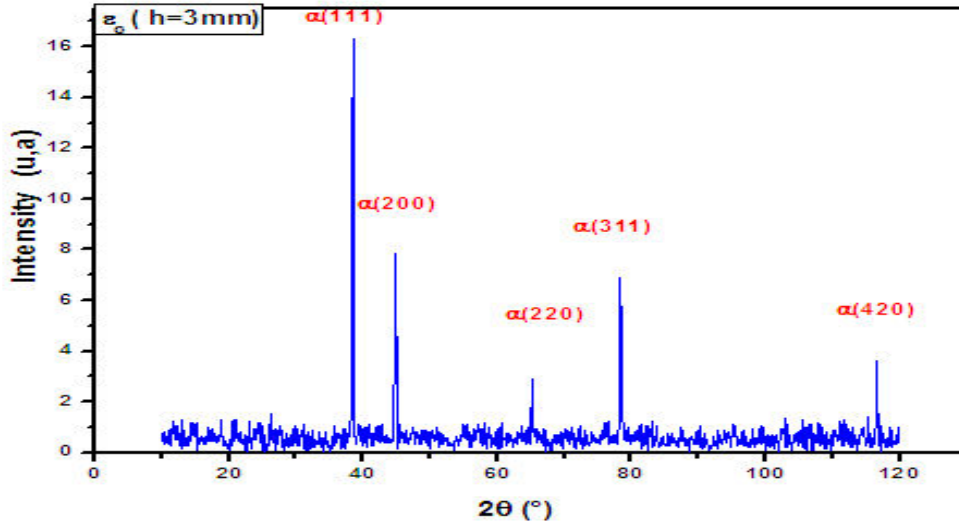
الشكل (4.IV): أطيف حيود الأشعة السينية لعينة من سبيكة غير مدرفلة [41] ($\epsilon_0 = 0\%$)

يمثل الشكل (5.IV) مقارنة أطيف حيود الأشعة السينية لعينتين من السبيكة (سبيكة غير مدرفلة ($\epsilon_0 = 0\%$) وسبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 70\%$). نلاحظ أن حالات الانعراج المتحصل عليها لم تتغير

بعد عملية درفلة السبيكة بمعدل تشوه كبير. ($\epsilon_4 = 70\%$) هذه النتيجة تم التوصل اليها من قبل wang

[41] Hanna BELGHIT et al [43]، الذي درس سبائك الألومنيوم AA 5052 المدرفلة ومن قبل

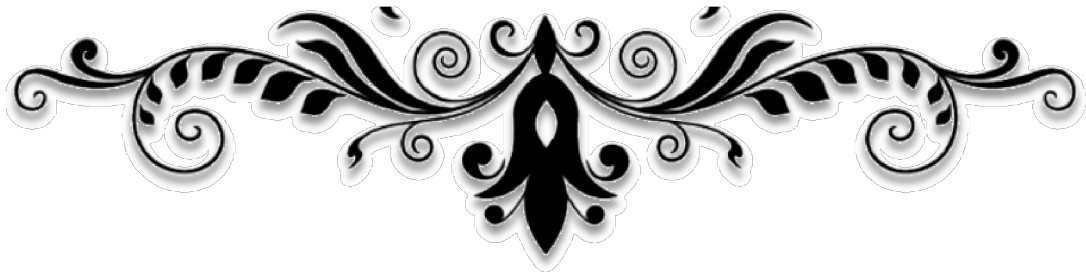
التي درست نفس سبيكة الألومنيوم المدروسة في هذه المذكرة.



الشكل (5.IV): أطياف حيود الأشعة السينية لعينتين من السبيكة (سبيكة غير مدرفلة ϵ_0 [41])

(0% و سبيكة مدرفلة ($\epsilon_4 = 70\%$)).

الختمة



الخاتمة:

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة تأثير التعقيم الاصطناعي على خصائص البنية المجهرية و صلادة سبيكة من الألمنيوم $Al-Mg-Si$ مدرفلة على البارد بمعدلات تشوه مختلفة. من أجل انجاز هذه الدراسة استخدمنا العديد من التقنيات التجريبية مثل:المجهر الإلكتروني الماسح (MEB)،اختبار الصلادة (HV) وحيود الأشعة السينية(DRX).

النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها بينت تأثير التشوه على البارد والتعقيم الاصطناعي على سبيكة $Al-Mg-Si$ ، هذه النتائج في اتفاق جيد مع نتائج دراسات سابقة لمثل هذه السبائك.

يمكن تلخيص النتائج الرئيسة للمذكرة على النحو التالي:

❖ الإنتشار القوي للشوائب داخل الانخلاعات يساعد على نمو وتراكم الرواسب التي يزداد حجمها تدريجيًا مع زيادة معدل التشوه.

❖ الدرفلة على البارد أدت إلى تشكل البنية المجهرية النسيجية وسرعت في تكوين الأطوار والرواسب.

❖ يؤدي تكون الإنخلاعات أثناء التشوه بالدرفلة على البارد إلى زيادة معتبرة في صلادة سبائك $Al-Mg-Si$.

❖ حالات الانعراج المتحصل عليها لم تتغير قبل وبعد عملية الدرفلة على البارد لسبيكة $Al-Mg-Si$.

قائمة المراجع

- [1] K. Djabri, Mémoire de master, Université Larbi Tébessi, Tébessa (2016).
- [2] L.F.Mondolfo, Aluminium Alloys, structures and proprietes ,Butterworth ,1st editio,London
- [3]D. Albert, M. Bonin, G. Gardès, D. Robert, C. Vargel; Matériaux Métalliques; Michel
- [4] H.Farh, Thèse de doctorat, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi 2012
- [5] W. Kurz, J. P. Mercier, G. Zambelli, 2eme édition, Presse Polytechnique et universitaires Romandes. Suisse p191-203 (1995).
- [6] M. Nicolas, Thèse de doctorat, GRENBLE, (2002).
- [7] H. Leiris, Métaux et alliages autres que les aciers et les fontes, Tome II, Masson et c^{ie}éditeurs, (1971) ,71-92.
- [8] W.F. Miao, D.E. Laughlin, *J. Mater. Sci. Lett.*, 19, 2000, pp. 201-203
- [9] M. Murayama, K. Hono, W.F. Miao et D.E. Laughlin, Metallurgical and Materials Transactions A, **32** (2001), p.239.
- [10] M.A. Moustafa, F.H. Samuel, H.W. Doty et S. Valtierra, International Journal of Cast Metals Research, **14**(2002),p. 235.
- [11] Carle Lepage thèse, Université du Québec à chicoutimi 2003.
- [12] 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.
- [13] John E. Hatch (éd.), Aluminum - Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1984, 84–115.
- [14] DJ. Chakrabarti, D.E. Laughlin, *Progress Mater. Set*, (2004) 49, 389-410.
- [15] E. Hornbgen, Nucleation; M. Becker, Inc New-york p309-378 , (1969).
- [16] Y. Ohmori, L.C. Doan, Y. Matsuda, S. Kobayashi, K. Naki, *Mater. Trans*, (2001) 42(12), 2476-2583.
- [17] V. Laaksonen, D. W.talanquer; *Ann. Rev. Phys. Chim* 46, (1995), p 489.
- [18] A. Azizi, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Constantine, Algérie, (2012).
- [19] X. Wang, W. J. Poole, S. Esmaili, D. J. Lloyd, J. D. Embury, *Met. Mater. Trans*, (2003)**34(A)**, 2913-2918
- [20] Y. Aoubdia, Thèse doctorat, Université de Constantine, Algérie, (2011).
- [21] S. Esmaili, D. J. Lloyd et W. J. Poole, *Acta. Mater.* (2003) 51, 3467–3481.
- [22] C. Cayron, L. Sagalowicz, O. Beffort, P. A. Buffat, *Phil. Mag*, (1999) 79(11), 2833-2851.
- [28] A. Fattah, N. Afify, High Temp - High Press, 31 613- 625(1999).
- [29] C. Cayron, P. A. Buffat, *Acta Mater*, 48 p 2639-2653(2000).

- [30] M. H. Jacobs, Precipitation hardening, TALAT lecture 1204 (1999) .
- [31] S. Esmaeli, L. M. Cheng, A. Deschamps, D. J. Lloyd, W. J. Poole, *Mater. Sci.Eng. A*, (2001) A 319-321, 461-465.
- [32] T. Abid, Thèse Doctorat, Université Constantine 1, Algérie, (2014).
- [33] D. Vaumousse, A. Cerezo, P. J. Warren, S. A. Court, *Mater. Sci. Forum*, (2002) 396-402, 693-998.
- [34] F. Dimier, Thèse Doctorat, L'école nationale supérieure Des Mines, Paris, (2003).
- [35] Chenafimessaud. mémoire de master .université de Beskra (2014).
- [36] Lectures notes OnMETAL FORMING PROCESSES Prepared by
Dr. Pragyana Paramita Mohanty
- [37] Machinery's handbook.(1996).E.oberg p 1348-1349.
- [38] H.Farh, R. Guemini, F. Serradj, K. Djemmal, *Turkish Journal of Physics*, 34 (2010), p. 117.
- [39] 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.
- [40] Metal forming processes
- [41] H. BELGHIT, Thèse doctorat, université Oum El Bouaghi, Algérie (2020)
- [42] H. Farh, H. Belghit, T. Ziar, A. Noua, F.Serradj, *Diffusion Foundations*, 18 (2018)14-18.
- [43] B. WANG, X. H CHEN, F.S. PAN, j.J. MAO,Y. FANG, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25 (2015) 2481-2489.
- [44] H. Farh, R. Guemini, F. Serradj, K. Djemmal, *Turkish Journal of Physics*, 34 (2010), p. 117.
- [45] 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*, 4 (2016) 745.
- [46] H.Belghit , H.Farh, T.Ziar ,M.Aidan l , M .Gemini, *Arch. Metall. Mater*, 64(4) (2018) 1643-1648

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/cm ³):	2,70
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	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, <i>Am. Mineral.</i> , 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.

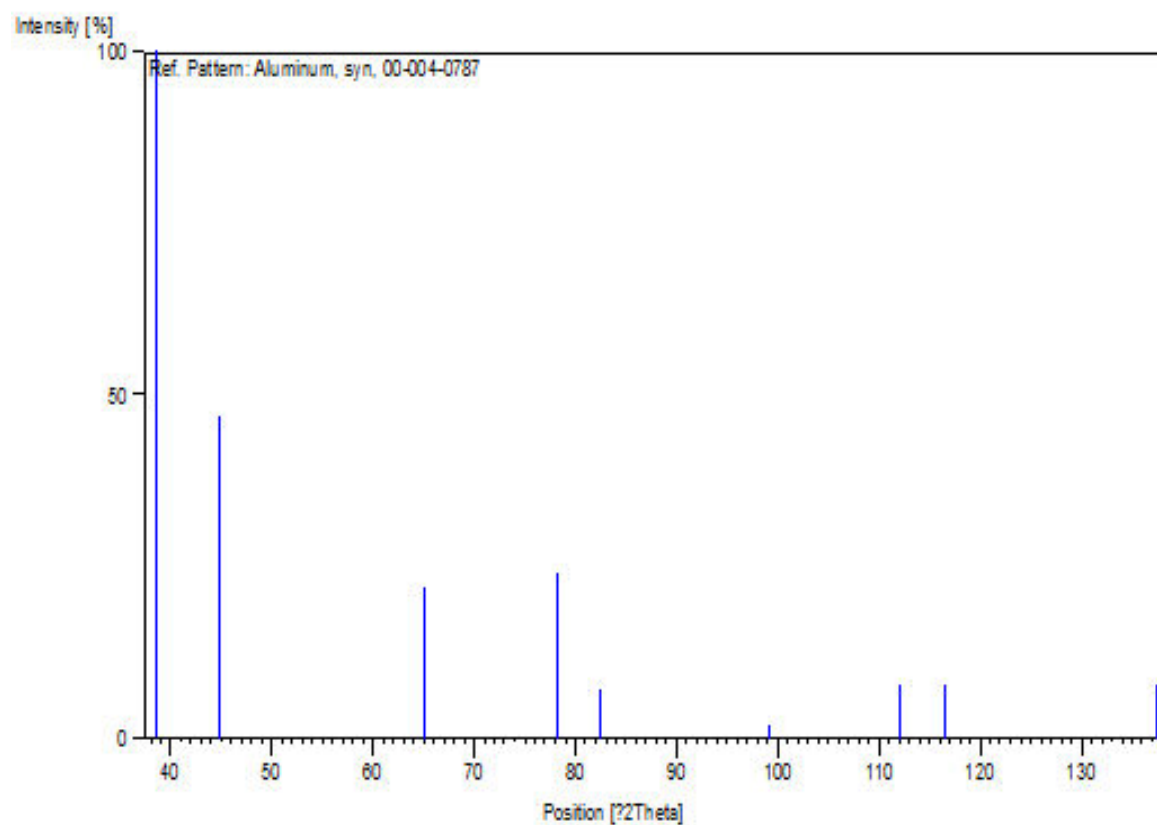
References

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



المخلص:

أجريت الدراسة الحالية على سبيكة من سلسلة 6000 (Al-Mg-Si) تنتمي إلى فئة سبائك ذات التصليد البنيوي. الغرض الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير التعقيم الاصطناعي على البنية والصلادة المجهرية لسبيكة من سلسلة 6000 (Al-Mg-Si) المشوهة عن طريق الدرفلة بمعدلات تشوه مختلفة. في هذا الصدد تم استخدام تقنيات تجريبية مختلفة مثل: المجهر الإلكتروني الماسح، اختبار الصلادة و حيود الأشعة السينية المجهرية (DRX) .

النتائج التي حصلنا عليها تتعلق بشكل رئيسي بتأثير التشوه على البارد بالدرفلة على البنية والصلادة المجهرية بدلالة درجة حرارة التعقيم الاصطناعي. التشوه على البارد يزيد من الصلادة ويسرع من تكوين الأطوار والترسبات. إن الانتشار العالي للشوائب في الانخلاعات الناتجة عن التشوه على البارد عن طريق الدرفلة يعزز التئوي ونمو الترسبات.

الكلمات المفتاحية: Al-Mg-Si ،التشوه بالدرفلة، المعالجات الحرارية، التعقيم الاصطناعي، التعقيم الطبيعي، الصلادة.

Résumé :

La présente étude est faite sur un alliage de la série 6000 (Al-Mg-Si) faisant partie de la classe des alliages à durcissement structurales. Ce travail a pour but essentiel d'étudier l'influence du vieillissement artificiel sur la microstructure et la microdureté d'un alliage de la série 6000 (Al-Mg-Si) déformé à froid par laminage avec différent taux de déformation. À cet égard, différentes techniques expérimentales ont été utilisées telles que : le microscope électronique à balayage, la microdureté et la diffraction des rayons X (**DRX**).

Les résultats que nous avons obtenus concernent essentiellement l'effet de déformation à froid par laminage sur la microstructure et la microdureté en fonction de la température de vieillissement artificiel. La déformation à froid augmente la microdureté et accélère la formation des phases et des précipités. La forte diffusivité des impuretés dans les dislocations générées par la déformation à froid par laminage, favorise la germination et la croissance des précipités.

Mots-Clés: Al-Mg-Si, Déformation par laminage, Traitement thermiques, vieillissement artificiel, Vieillissement naturel, Microdureté.

Abstract :

The present study is made on an alloy of the **6000** series (Al-Mg-Si) belonging to the class of structural hardening alloys. The main purpose of this work is to study the influence of artificial aging on the microstructure and microhardness of an alloy of the 6000 series (Al-Mg-Si) cold deformed by rolling with different deformation levels. In this regard, a various experimental techniques have been used such as: the scanning electron microscope, microhardness and X-ray diffraction (XRD).

The obtained results mainly relate to the effect of cold deformation by rolling on the microstructure and microhardness as a function of the artificial aging temperature. Cold deformation increases microhardness and accelerates the formation of phases and precipitates. The high diffusivity of impurities in the dislocations generated by cold deformation by rolling, promotes germination and growth of the precipitates.

Keywords: Al-Mg-Si, Deformation by lamination, Heat treatments, artificial aging, Natural aging, Microhardness.