



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة العربي التبسي - تبسة -  
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة



القسم: علوم المادة

## مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر



الميدان: علوم المادة  
الشعبة: فيزياء  
الاختصاص: فيزياء المواد

الموضوع:

تأثير التشوه بالدرفلة على البارد على خصائص  
سبيكة ألومنيوم السلسلة 6000

من طرف:

جابر مروي

شوقار ويزة هالة

أمام اللجنة المناقشة:

رئيس

جامعة تبسة

أستاذ محاضر - أ -

زيار توفيق

جامعة تبسة

أستاذ تعليم عالي

فرح هشام

جامعة تبسة

أستاذ محاضر - ب -

بلغيث هناء

تاريخ المناقشة : 2021/06/23

التقدير:

العلامة:





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة العربي التبسي - تبسة -  
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة



القسم: علوم المادة

## مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر

الميدان: علوم المادة  
الشعبة: فيزياء  
الاختصاص: فيزياء المواد

الموضوع:

تأثير التشوه بالدرفلة على البارد على خصائص  
سبيكة ألمنيوم السلسلة 6000

من طرف:

شوقار ويزة هالة  
جابري مروى

أمام اللجنة المناقشة:

رئيس	جامعة تبسة	أستاذ محاضر - أ -	زيار توفيق
مؤطر	جامعة تبسة	أستاذ تعليم عالي	فرح هشام
ممتحن	جامعة تبسة	أستاذ محاضر - ب -	بلغيث هناء

تاريخ المناقشة : 2021/06/23

التقدير:

العلامة:



Université Larbi Tébessi- Tébessa

Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie

Département ..... Sciences de la matière

Filière : ..... Physique

Spécialité : ..... Physique des matériaux

Année universitaire 2020/2021



### Formulaire de levée de réserves après soutenance d'un Mémoire de Master

Données d'identification du candidats(es) :

Nom et prénom du candidat : ..... Chougar Ouza Hala

..... Djabri Marwa

Intitulé du Sujet : ..... تأييد الترشح للريادة العلمية  
6000 كلمة

Données d'identification du membre de jury :

Nom et prénom : ..... Ziar Toufik

Grade : ..... MCA

Lieu d'exercice : Université Larbi Tébessi- Tébessa

Vu le procès-verbal de soutenance du Mémoire sus citée comportant les réserves suivantes :

..... Remarque de forme

Et après constatation des modifications et corrections suivantes :

..... remarques relevées

Je déclare en ma qualité de président de jury de soutenance que le mémoire cité remplit toutes les conditions exigées et permet au candidat de déposer son mémoire en vue de l'obtention de l'attestation de succès.

Le... 12/07/2021

Président de jury de soutenance : (Nom/Prénom et signature)

Ziar Toufik  
*[Signature]*



## Déclaration sur l'honneur de non-plagiat

(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)

Je soussigné(e),

Nom, Prénom : Chougar Ouiza Halou

Régulièrement inscrit(e) en **Master** au département : Science de la matière

N° de carte d'étudiant : 16 16 340 19 817

Année universitaire : 2020 / 2021

Domaine : Physique Science de la matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique des matériaux

Intitulé du mémoire : تأثير التردد على التوصيل الحراري للمواد العازلة

6000 الكلمات

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

### Sanctions en cas de plagiat prouvé :

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont :

- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent ;
- L'exclusion d'une année du master ;
- L'exclusion définitive.



12 2021

الجامعة الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
جامعة تبسة  
الكلية العلمية والعلوم الطبيعية والحياة  
والتكنولوجيا  
الجامعة الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
جامعة تبسة  
الكلية العلمية والعلوم الطبيعية والحياة  
والتكنولوجيا

Fait à Tébessa, le 12 2021

Signature de l'étudiant(e) :

Chougar



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

---

## شكر و تقدير

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ،

والحمد لله رب العالمين الذي وفقنا وأعاننا على إنهاء هذه المذكرة، نحمد الله عز وجل الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي، و الذي أهدانا الصحة والعافية والعزيمة.

فالحمد لله حمدا كثيرا.

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى أستاذ التعليم العالي المشرف - هشام فرح - على كل ما قدمه لنا من توجيهات وإرشادات ولم يبخل علينا بكل ما لديه من معلومات ومراجع، وعلى كل ما قدمه لنا من صنائع طيلة إنجاز هذه المذكرة.

أشكر أيضا أعضاء لجنة المناقشة الموقرة، على رأسها الأستاذ الدكتور - زيار توفيق - رئيسا للجنة المناقشة، الأستاذة الدكتورة - بلخير هذاء - عضوة ممتحنة في لجنة المناقشة. حفظهما الله لتفضلهما بقبول مناقشة هذه الدراسة.

كما لا ننسى تقديم الشكر إلى كل من ساهم في إنجاز هذه المذكرة من قريب أو بعيد ونخص بالذكر الأستاذ زيار توفيق .

# إهداء

أهدي هذا العمل إلى:

أمي العزيزة لدعمها وحبها حفظها الله

روح أبي رحمه الله وأسكنه فسيح جناته

إخوتي و سندي محمد و أنس

أخواتي شيماء و مصدر إلهامي نجلاء

براعم عائلتنا سهيل و جويرية

إلى أختي و صديقتي هالة و رفيقات الدراسة نور ، أسماء ، سندس ، خديجة

- روى -



# إهداء

أهدي هذا العمل إلى:

أمي العزيزة لدعمها وحبها حفظها الله

سندي أبي العزيز

إخوتي مصدر قوتي : زكرياء , محي الدين , إيهاب , عبد الباسط.

إلى صديقتي ومن دعمتني أسماء فارس.

إلى من أجدها سندي وقوتي استاذتي ناجية بن عرفة.

إلى أختي و صديقتي مروى ورفيقاتي فريال , نور.

- هـ ا ل ة -

## المخلص

أجريت هذه الدراسة على سبائك Al-Mg-Si سلسلة 6000 لفائدتها الكبيرة في الصناعة المتنوعة خاصة في صناعة وسائل النقل البري والجوي. يهدف هذا العمل أساسا إلى دراسة تأثير التشوه بالدرفلة على البارد بمعدلات تشوه مختلفة على خصائص السبيكة 6000. في هذا الصدد تم استخدام تقنيات تجريبية مختلفة مثل : المجهر الإلكتروني الماسح MEB، اختبار الصلادة.

و لقد أظهرت نتائج الدراسة أن عملية الدرفلة على البارد لسبائك الألمنيوم Al-Mg-Si ما يلي:

- ✓ الإنتشار القوي للشوائب داخل الانخلاعات الناتج عن التشوه عن طريق الدرفلة على البارد يساعد على نمو و تراكم الترسبات التي يزداد حجمها تدريجيا مع زيادة معدل التشوه.
- ✓ صلادة السبيكة إزدادت مع زيادة معدل التشوه، وهذا راجع إلى إرتفاع كثافة الإنخلاعات المتولدة أثناء تشوه السبيكة عند درفلتها.

**كلمات مفتاحية:** سبائك Al-Mg-Si ، التشوه الدرفلة على البارد، الترسبات، المجهر الإلكتروني

الماسح MEB، اختبار الصلادة.

**Résumé :**

La présente étude est faite sur les alliages Al-Mg-Si série 6000, qui ont une grande importance industrielle surtout dans l'industrie d'automobile et l'aéronautique. Ce travail a pour but d'étudier de l'influence de laminage à froid avec différents taux de déformation sur la microstructure. Au cours de ce travail, nous avons utilisé des techniques expérimentales telles que : les microscopies électroniques à balayage (MEB) et la microdureté Hv.

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

- ✓ **La forte diffusivité des impuretés dans les dislocations générées par la déformation à froid par laminage, favorise la germination et la croissance des précipités.**
- ✓ **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.**

**Mots Clés:** Alliages Al-Mg-Si , laminage à froid , Précipitation, les microscopies électroniques à balayage (MEB), la micro dureté.

## ***Abstract***

This study was conducted on Al-Mg-Si alloy 6000 series for its great benefit in various industries, especially in the road and air transportation industry. This work mainly aims to study the effect of cold rolling deformation with different deformation rates on the properties of Alloy 6000. In this regard, different experimental techniques were used such as: scanning electron microscope (SEM), hardness test.

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

- ✓ **The strong diffusion of impurities in dislocations helps the growth and accumulation of sediments, which gradually increase in size with the increase in the rate of deformation.**
- ✓ **The hardness of the alloy increased with the increase in the rate of deformation, and this is due to the high intensity of dislocations generated during the deformation of the alloy when it was rolled.**

**Keywords:** Alloy Al-Mg-Si, Cold deformation rolling, Precipitation, Scanning electron microscopes (SEM), Microhardness.

الملخص

Résume

Abstract

01 .....مقدمة عامة

## الفصل I : الإطار النظري و دراسات سابقة

03 .....1. I مقدمة

03 .....2. I الألمنيوم

04 .....1.2. I مصدر الألمنيوم

05 .....3. I خصائص الألمنيوم

05 .....1.3.I الخصائص الفيزيائية للألمنيوم

05 .....2.3.I الخصائص الميكانيكية للألمنيوم

07 .....3.3.I استخدامات الألمنيوم

08 .....4. I تعريف السبيكة

08 .....1.4. I سبائك الألمنيوم

09 .....2.4. I سلاسل سبائك الألمنيوم

11 .....3.4.I تصنيف سبائك الألمنيوم

12 .....5. I سبيكة الألمنيوم 6000

12 .....6. I المعالجة الحرارية

13 .....1.6. I المعالجة بالتجانس

13 .....2.6.I المعالجة بالتلدين

14	..... 3.6.I المعالجة بالتصلب البنيوي
14	..... 1.3.6.I الإذابة
15	..... 2.3.6.I التبريد السريع (السقاية)
15	..... 3.3.6.I المعالجة بالتعقيق
16	..... 7.I الترسبات في السبيكة 6000
17	..... 8.I تأثير العناصر الإضافية على سبيكة السلسلة 6000
17	..... 1.8.I تأثير النحاس (Cu)
18	..... 2.8.I تأثير المغنسيوم (Mg)
19	..... 3.8.I تأثير السليسيوم (Si)

## الفصل II : طرق تشكيل المواد

20	..... 1.II مقدمة
20	..... 2.II عمليات التشكيل على البارد
21	..... 3.II عمليات التشكيل على الساخن
21	..... 4.II عمليات التشكيل المختلفة
22	..... 1.4.II عملية الحدادة
23	..... 2.4.II عملية الكبس
25	..... 3.4.II عملية الدفلة
28	..... 4.4.II عملية السحب
31	..... 5.II زيوت التشحيم

## الفصل II: التقنيات التجريبية والأجهزة المستعملة

33	..... 1.III مقدمة
33	..... 2.III المادة المدروسة
34	..... 3.III تحضير العينات
34	..... 1.3.III الصقل
36	..... 2.3.III التتميش الكيميائي
37	..... 4.3.III التشكيل على البارد باستعمال الدفلة
38	..... 4.III المعالجات الحرارية
39	..... 5.III الطرق التجريبية
39	..... 1.5.III إختبار الصلادة
43	..... 2.5.III التحليل بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح

## الفصل IV: مناقشة النتائج

45	..... 1.VI مقدمة
45	..... 2.VI الدراسة باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح MEB
48	..... 3.VI إختبار الصلادة
52	..... خاتمة

## قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
4	شبكة أولية.	الشكل 1.I
6	سلك كهربائي من الألمنيوم (السلسلة 6000).	الشكل 2.I
14	رسم توضيحي لدراسة درجة حرارة المعالجات بدلالة الزمن للحصول على التصلب البنيوي.	الشكل 3.I
15	رسم يوضح طريقة الذوبان.	الشكل 4.I
18	بيان إتران الألمنيوم - نحاس.	الشكل 5.I
19	بيان إتران الألمنيوم - مغنيسيوم.	الشكل 6.I
22	عملية الحدادة.	الشكل 1.II
23	عينات ألمنيوم مشكلة بعملية الكبس.	الشكل 2.II
25	الكبس المباشر.	الشكل 3.II
25	الكبس الغير مباشر.	الشكل 4.II
26	عملية الدرفلة للصفائح المعدنية.	الشكل 5.II
27	مبدأ عملية الدرفلة على الساخن.	الشكل 6.II
28	مبدأ عملية الدرفلة على البارد.	الشكل 7.II
28	رسم توضيحي لأهم مراحل السحب.	الشكل 8.II
29	خطوات سحب الأسلاك.	الشكل 9.II
30	طرق سحب الأنابيب.	الشكل 10.II
31	طرق السحب العميق.	الشكل 11.II
33	صفيحة سبيكة الألمنيوم المدروسة.	الشكل 1.III
34	عينة من السبيكة المدروسة.	الشكل 2.III



35	الأوراق الكاشطة.	الشكل 3.III
35	سطح العينة قبل الصقل	الشكل 4.III
35	سطح العينة بعد الصقل	الشكل 5.III
35	ماكينة الصقل الميكانيكي النشطة FORCIPOL (مختبر العناصر والمواد جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي)	الشكل 6.III
38	ماكينة الدرفلة ( مختبر العناصر النشطة والمواد جامعة العربي بن مهيدي - أم البواقي - ).	الشكل 7.III
39	فرن المعالجات الحرارية NABERTHERM.	الشكل 8.III
40	أداة اختبار برينل.	الشكل 9.III
41	أداة اختبار ركوال.	الشكل 10.III
41	أداة اختبار فيكرز.	الشكل 11.III
42	اختبار فيكرز للصلادة (وضعية الاختبار وشكل الأثر).	الشكل 12.III
43	جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع النشطة AFFRI (مختبر العناصر والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي).	الشكل 13.III
44	المجهر الإلكتروني الماسح MEB .	الشكل 14.III
46	البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح للسبيكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه.	الشكل 1.VI
47	البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح للسبيكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه.	تابع
48	تغير الصلادة بدلالة مختلف معدلات التشوه.	الشكل 2.VI
50	تغير الصلادة بدلالة درجات الحرارة لسبيكة مدرفلة على البارد 0% و 80.33%.	الشكل 3.VI
51	تغير الصلادة بدلالة زمن التعقيم الاصطناعي 150 درجة الحرارة.	الشكل 4.VI

## قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	رقم الجدول
10	التعيين العددي والمراحل الرئيسية لسبائك القائمة على الألمنيوم.	الجدول 1.I
33	التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة.	الجدول 1.III
36	المحلول الكيميائي (كيلر).	الجدول 2.III
37	مختلف معدلات التشوه ( $\epsilon$ ) لصفحة سبيكة الألمنيوم.	الجدول 3.III
4	مراحل الحصول على الألمنيوم.	المخطط 1.I
11	أنواع سبائك الألمنيوم.	المخطط 2.I

# مقدمة عامة

---

## مقدمة عامة

تحتل المواد بشكل عام و المعادن بشكل خاص مكانة مهمة في المجالات الصناعية و التكنولوجية نظرا للمتطلبات الصناعية، وذلك راجع إلى خصائصها الفيزيائية و الميكانيكية التي يمكن تحسينها وتطويرها من خلال الأبحاث العلمية المتجددة، ومن بين هذه المعادن الألمنيوم.

أصبح الألمنيوم من أهم المعادن و أكثرها استعمالا في حياتنا اليومية، حيث تتعدد استعمالاته في مختلف القطاعات (كالنقل، الصناعة و الاتصالات) بالرغم من خصائصه الميكانيكية الرديئة، ولتحسين هذه الخصائص تتم اضافة عناصر كالحاس، السليسيوم و المغنسيوم للحصول على ما يعرف بسبائك الألمنيوم.

تتم الدراسة في هذا العمل على السبيكة (الألمنيوم- المغنسيوم- السليسيوم )، تتميز هذه السبائك بخصائص ميكانيكية متعددة كسهولة اللحام و مقاومة التآكل، ويمكن تشكيلها من خلال عمليات مختلفة من عمليات التشكيل ونخص بالذكر عملية الدرفلة.

تعتبر عملية الدرفلة من العمليات المهمة في تقنيات تشكيل المعادن، تهدف إلى تقليل مساحة اللوح المستخدم لإنتاج العديد من التصاميم الهندسية. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير التشوه على خصائص سبيكة (الألمنيوم-السليسيوم - المغنسيوم) المدرفلة على البارد.

ينقسم هذا العمل إلى أربعة فصول.

✓ **الفصل الأول:** يهتم بالإطار النظري و الدراسات السابقة على الألمنيوم و السبيكة 6000 و

تحديد مختلف خصائصه و مميزاته و تأثير عناصر الإضافة.

✓ **الفصل الثاني:** يهتم بمختلف طرق و أنواع التشكيل على المواد و مبدأ عمل كل طريقة.

✓ الفصل الثالث : يهتم بتعريف مختلف مواد و طرق البحث و التقنيات المستعملة لإنجاز هذا العمل.

✓ الفصل الرابع : خصصنا هذا الفصل لمناقشة النتائج المتحصل عليها و مقارنتها مع الدراسات السابقة التي أجريت على هذا النوع من السبائك.  
و أخيرا ننهي عملنا بخاتمة، مراجع و ملخص.

# الفصل الأول

---

الإطار النظري والدراسات السابقة

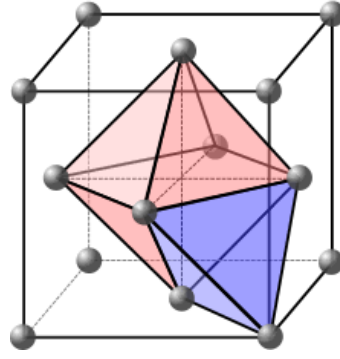
**1. I. مقدمة:**

يعتبر الألمنيوم من بين المعادن التي تحتل مكانة هامة في مجال الصناعات الحديثة، منذ أول ظهور له في عام 1854 من قبل العالم الفرنسي سانت كلير ديفيل، شهد الألمنيوم تطورا كبيرا خلال ظهوره كسبيكة في عام 1880 من خلال تجربة التحليل الكهربائي [1]. و قد بدأ استخدامه الصناعي في بداية القرن العشرين، وهكذا تم تطوير مجموعة متنوعة من سبائك الألمنيوم وذلك من أجل تحسين و زيادة خصائص هذا المعدن من ناحية الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و غيرها.

الألمنيوم وسبائكه من المعادن التي لها قابلية جيدة للتشكيل بمختلف العمليات (الدرفلة، السحب، الحدادة و ما إلى ذلك) المستعملة في تصنيع وتشكيل القطع الصناعية وهذا ما يفسر استخداماتها الواسعة في مجالات كثيرة كالنقل البري (القطارات ذات السرعة الفائقة TGV)، النقل البحري (الباخرات ذات السرعة الفائقة BGV) أو النقل الجوي (الطائرات) [2].

**2. I. الألمنيوم:**

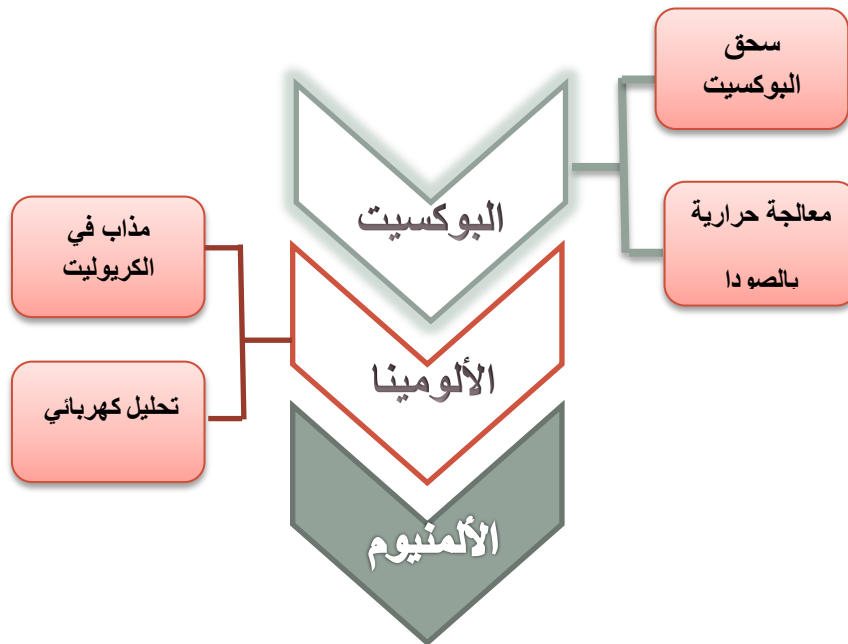
الألمنيوم من المعادن الأكثر وفرة في الطبيعة بنسبة 8% من القشرة الأرضية، و هو عنصر كيميائي فلزي برمز Al ورقم ذري 13 يتبلور في النظام المكعب المتمركز الوجوه CFC، يصنف من المجموعة الثالثة من تصنيف مندليف (Mendélifv) بعد السليسيوم و الأكسجين [3]. الألمنيوم أخف بثلاث مرات من الفولاذ و هو المعدن الأكثر استخداما بعد الحديد و الصلب [4]. للألمنيوم النقي خصائص ميكانيكية ضعيفة لذلك لا يمكن استخدامه في الكثير من التطبيقات الصناعية غير انه يمتاز بمرونة وخفة مقارنة بمعادن صناعية مكنته من اكتساح مجالات صناعية كثيرة.



الشكل 1.I: شبكة أولية.

### 1.2.I. مصدر الألمنيوم :

يتم استخراج الألمنيوم من صخور البوكسيت و التي تحتوي على نسبة كبيرة من الألمنيوم قد تصل إلى 60 % من الألمنيوم في بعض الصخور . حيث يستخرج الألومين ( $Al_2O_3$ ) من البوكسيت الخام، ومنه يتم استخلاص الألمنيوم عن طريق التحليل الكهربائي للألومين في مصهور الكبروليت ( $Na_3AlF_6$ ) عند حوالي 1000 درجة مئوية، في وعاء من الحديد الصلب المبطن بالكربون ليترسب بذلك الألمنيوم في القاع بنسبة 99.7% [1].



المخطط 1.I: مراحل الحصول على الألمنيوم.



**3.I. خصائص الألمنيوم :****1.3.I. الخصائص الفيزيائية للألمنيوم :**

هنالك العديد من الخصائص الفيزيائية الأساسية التي يمتاز بها الألمنيوم، نذكر منها ما يلي :

1. فضي، ذو مظهر لامع و جذاب.
2. الكتلة الحجمية :  $2698 \text{ kg/m}^3$  مقارنة ب  $7870 \text{ kg/m}^3$  للحديد و  $8960 \text{ kg/m}^3$  للنحاس.
3. ثابت شبكته عند درجة حرارة الغرفة:  $a=0.405 \text{ nm}$ .
4. درجة انصهاره منخفضة:  $660^\circ\text{C}$  مقارنة ب  $1540^\circ\text{C}$  للحديد و  $1080^\circ\text{C}$  للنحاس.
5. درجة غليانه:  $2270^\circ\text{C}$ .
6. السعة الحرارية الكتلية:  $C_p=897 \text{ j/kg.K}$ .
7. الناقلية الحرارية عند درجة حرارة  $T=20^\circ\text{C}$   $\lambda = 217.6 \text{ W/m.K}$ .
8. المقاومة الكهربائية عند درجة الحرارة  $T=20^\circ\text{C}$ :  $\rho = 2.63 \mu\Omega\text{cm}$ .
9. معامل مرونته:  $68000 \text{ MPa}$ .
10. معدن ذو استطالة جيدة و بالتالي قابل لعملية السحب.

**2.3.I. الخصائص الميكانيكية للألمنيوم :**

## • الناقلية الكهربائية والحرارية:

يعتبر الألمنيوم ناقل جيد للحرارة و الكهرباء وهذه الخاصية مكنته من استخدامه كناقل للطاقة الكهربائية خاصة في الخطوط ذات الجهد العالي، وهذا ما جعل منه مادة مهمة في مجالات التسخين و التبريد، ويتم تحسين الناقلية الكهربائية للألومنيوم عن طريق اضافة عناصر للسبيكة أو عن طريق المعالجات الحرارية [5-8].



الشكل I.2: سلك كهربائي من الألمنيوم (السلسلة 6000) [9].

#### • الخفة:

مقارنة بالمعادن الأخرى يعتبر الألمنيوم الأخف وزنا (أخف ب 50% من سبائك الفولاذ المقاومة للصدأ)، و تمتلك سبائكه خصائص ميكانيكية جيدة مكنته من إكتساح مجالات النقل السريع سواء البري كالقطارات ذات السرعة الفائقة و النقل البحري كالبواخر ذات السرعات الفائقة [10].

#### • الخصائص البصرية:

إن انعكاس الطاقة المشعة للألمنيوم المصقول ممتازة، ويتغير بتغير الطول الموجي في المجال المرئي 85% - 95% [2]، وحدها الفضة القادرة على تخطي الألمنيوم في خاصية الانعكاس. يتم تحسين هذه الخاصية عن طريق معالجة السطح بعدة طرق كالصقل و التلميع، أما انبعاثية الألمنيوم في درجة حرارة الغرفة تكون فقط 5% من تلك الموجودة في الجسم الأسود [3].

#### • مقاومة التآكل:

لألمنيوم قدرة ممتازة لمقاومة التآكل وهذا راجع لتكوين طبقة سطحية رقيقة واقية من أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) التي تتشكل عندما يتعرض المعدن للهواء، وقد مكنت هذه المقاومة الجيدة للتآكل مع كثافة الألمنيوم المنخفضة من تطوير العديد من التطبيقات الصناعية كالبناء والنقل [2].

- التشكيل:

للألومنيوم درجة إنصهار منخفضة مقارنة بالمعادن الأخرى جعلت منه معدن سهل تصنيعه بمختلف طرق السباكة [2]. إن المطيلية الجيدة للألمنيوم وسبائكه جعلت منه معدن سهل تشكيله سواء على البارد أو على الساخن بمختلف عمليات التشكيل كالسحب، الكبس، الثني... [11].

- إعادة التدوير:

إن إعادة تدوير الألومنيوم أكثر فعالية مقارنة بالمعادن الأخرى، حيث بينت الدراسات أن خردة الألومنيوم لها قيمة في السوق مقارنة بالمعادن الأخرى، فلا يفقد الألومنيوم خصائصه عند القيام بإعادة تدويره [12].

- مقاومة التعب:

الهدف من مقاومة التعب هو دراسة التشوهات والثقوب الموجودة في المعدن وهذا للمساعدة في عملية اللحام التي تتطلب عدم وجود العديد من التشوهات. يكون الهدف من حساب التعب هو الحصول على عدد الدورات إلى أن يحدث الكسر في المعدن، حيث تظهر قوة الإجهاد عند الدورة  $10^8$  لكل سبيكة من الألومنيوم، لا يُظهر منحنى WÖHLER انحناءً ملحوظًا ويتم الوصول إلى الخط المقارب الأفقي فقط في اتجاه  $10^8$  [13].

### 3.3.I. استخدامات الألومنيوم :

يتم تلخيص الاستخدامات الرئيسية للألمنيوم في ما يلي [14]:

- قطاع البناء: مثل ( الأبواب و النوافذ، الأسقف... ) لكون الألومنيوم معدن سهل التشكيل.
- التعبئة و التغليف: مثل (العلب الصغيرة و علب المشروبات...).

- المعدات الكهربائية: (الكابلات الكهربائية للنقل والتوزيع الخارجي للطاقة و كذلك معظم المعدات المستخدمة في المحولات ).
- المعدات الميكانيكية: مثل ( المسامير، البراغي و غطاء السيارات الخارجي ...).
- تطبيقات أخرى : مثل (أثاث المكاتب أو الشقق أو لافتات الطرق ...).

#### 4.I. تعريف السبيكة :

السبيكة هي عبارة عن خليط من معدنين أو أكثر تم صهرهما معا ثم تتم عملية تجميد المصهور [15]. يعرف اسم السبيكة على العنصر الأكثر تركيزا فيها وتسمى على اسمه فعلى سبيل المثال: إذا كانت نسبة الألمنيوم هي الأكبر تسمى بسبيكة الألمنيوم.

تتواجد عناصر السبيكة في الألمنيوم على نوعين [12]:

- إذا كانت عناصر الإضافة في السبيكة بكميات ضئيلة وذات أهمية يمكن إعتبارها كشوائب .
- إذا كانت عناصر الإضافة بكميات محدودة و معلومة من أجل تحسين الخواص تدعى بعناصر السبيكة.

#### 1.4.I. سبائك الألمنيوم:

سبائك الألمنيوم هي مواد تتكون من الألمنيوم وبعض المواد المضافة كالححاس، المغنيسيوم، السيليكون، الزنك والمنغنيز، و التي بدورها تساهم في تحسين بعض الخصائص مثل الخصائص الميكانيكية، الكهربائية ... [12،16].

يعتبر الألمنيوم وسبائكه من أهم المواد التي لها إستخدامات صناعية واسعة في مجالات كثيرة و متنوعة، وهذه الإستخدامات تزداد مع مرور الوقت نظرا للحاجة الملحة إلى منتجات ذات خواص ثلاث متطلبات التقدم التكنولوجي.

إتجه معظم الباحثين نحو البحث عن مواد لها خواص تؤهلها للإستخدام في المجالات التطبيقية المختلفة وذلك لإرتفاع أسعار المعادن والسبائك الأخرى، فكانت سبائك الألمنيوم مرشحة كبديل عن معظم المواد وذلك لما تتمتع به من خواص تميزها عن غيرها من المعادن الأخرى.

#### 2.4.I. سلاسل سبائك الالمنيوم :

تصنف سبائك الألمنيوم في سلاسل وفقا لعناصر الإضافة الرئيسية، كما هو مبين في (الجدول 2.I)

يتم تسمية سلاسل الألمنيوم وفقا لمعيار **Afnor NF EN 573** وهو عبارة عن نظام رقمي مكون

من أربعة أرقام [17]، وتدل هذه الأرقام على:

❖ الرقم الأول من اليسار:

يعين سلسلة السبائك وفقا لعنصر الخلط الأساسي وهي ثمانية سلاسل كما موضح في (الجدول 2.I).

❖ الرقم الثاني من اليسار:

يعين درجة ضبط الشوائب بالنسبة للسلسلة 1xxx أو التغير في تركيب السبيكة الأساسي بالنسبة

للسلاسل الأخرى، الرقم صفر يدل على التركيب الأساسي دون تعديل، ثم يرمز لتعديلات المدخلة بالأرقام

من واحد إلى تسعة.

❖ الرقمان الثالث والرابع:

بالنسبة لسبائك السلسلة 1 يعنيان الرقمين التاليين لنقطة الكسر العشري مثال 1050 سبيكة أنابيب تحتوي على 50.99 من الألمنيوم كحد أدنى، و 1199 سبيكة رقيقة تحتوي على 99.99 من الألمنيوم كحد أدنى.

الجدول 2.1: التعيين العددي والأطوار الرئيسية للسبائك القائمة على الألمنيوم.

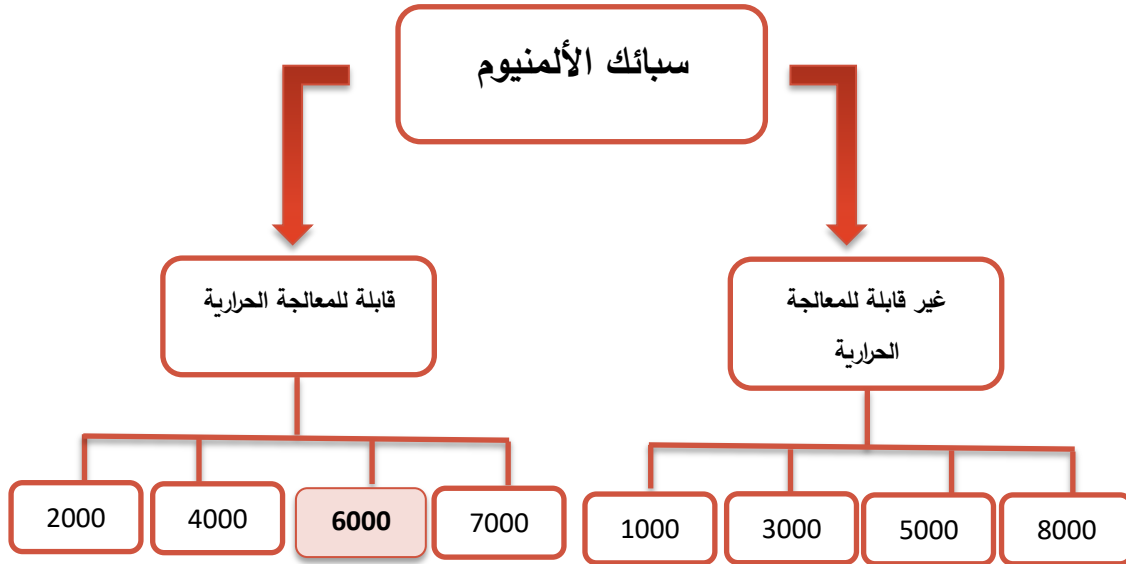
السلسلة	الوصف	عنصر السبائك الرئيسي	الأطوار الرئيسية الموجودة في السبيكة
السلسلة 1000	1XXX	99% ألمنيوم نقي	
السلسلة 2000	2XXX	النحاس (Cu)	Al <sub>2</sub> Cu Al <sub>2</sub> CuMg
السلسلة 3000	3XXX	المنغنيز (Mn)	Al <sub>6</sub> Mn
السلسلة 4000	4XXX	السليسيوم (Si)	
السلسلة 5000	5XXX	المنغنيزيوم (Mg)	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>
السلسلة 6000	6XXX	المنغنيزيوم (Mg) والسليسيوم (Si)	Mg <sub>2</sub> Si
السلسلة 7000	7XXX	الزنك (Zn)	MgZn <sub>2</sub>
السلسلة 8000	8XXX	الليثيوم (Li)	

### 3.4.I. تصنيف سبائك الألمنيوم:

تصنف سبائك الألمنيوم إلى فئتين:

- **السبائك القابلة للمعالجة الحرارية:** يتم الوصول إلى أقصى قدر من الخصائص الميكانيكية لهذه السبائك عن طريق المعالجة الحرارية على ثلاث مراحل : التسخين إلى درجات حرارة عالية قريبة من درجة الإنصهار ثم التبريد السريع (السقاية) تليها عمليات التعقيم بنوعيه الطبيعي و الاصطناعي.
- **السبائك الغير قابلة للمعالجة الحرارية:** تتم زيادة الخصائص الميكانيكية كالصلادة عن طريق تعريضها لتشوهات كالتسحب، الدرفلة، الكبس.

ونذكر هذه الأنواع في (المخطط 2-I) أدناه:



مخطط 2.I : أنواع سبائك الألمنيوم.

**5. I. سبيكة السلسلة 6000 :**

في هذا النوع من السبائك تكون العناصر الرئيسية المضافة هي السليسيوم و المغنيسيوم، وهذه السبائك لها مقاومة عالية ضد التآكل و قابلية سحب جيدة، حيث تنتمي إلى فئة السبائك القابلة للمعالجات الحرارية (التصليد البنيوي). مع اتحاد كل من ذرات Mg و Si يتشكل لنا الطور  $\beta$  ( $Mg_2Si$ ) وهو المسؤول على الزيادة في صلادة هذا النوع من السبائك.

خصائصها الميكانيكية متوسطة وأقل من خصائص السبائك 2000 و 7000 [18].

وتصنف هذه السبائك الى مجموعتين [19] :

- مجموعة تكون تركيبها غنية بالمغنيزيوم والسليسيوم مثل 6061 و 6082، تستخدم للتطبيقات الهيكلية (نوافذ، هياكل الطائرات والقطارات...).
- المجموعة الثانية لها محتوى منخفض من السليسيوم وبالتالي تكون لها خصائص ميكانيكية أقل مثل السبيكة 6060 وهي قابلة لعمليات التشكيل كالغزل والسحب.

**6. I. المعالجة الحرارية :**

يقصد بالمعالجة الحرارية كل عمليات التسخين عند درجات حرارة معينة ثم التبريد بمعدل يتحكم به، تهدف المعالجة الحرارية إلى تحسين وزيادة الخواص الميكانيكية و البنية المجهرية للمعدن، والغرض منها هو تعديل طبيعة المادة و توزيع مكوناتها اعتمادا على مجال تطبيقها.

يمكن تصنيف المعالجات الحرارية المطبقة على سبائك الألمنيوم إلى أربعة مجموعات مختلفة:

- المعالجة بالتجانس



- المعالجة بالتلدين
- المعالجة بالتصلب البنيوي
- المعالجة بالتعقيق

### I. 1.6. المعالجة بالتجانس:

تتمثل هذه المعالجة في تسخين المعدن عند درجات حرارة عالية نسبيا خلال فترات زمنية تقدر ببضع ساعات، وتكمن أهمية معالجات التجانس في الحفاظ على المنتجات (في الحالة الخام أو بعد التشوه) وفي الحفاظ على المواد لمدة أطول لتسهيل عمليات التشكيل.

تتراوح عادة درجة حرارة التجانس بالنسبة للألمنيوم من 450 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، ومن 450 درجة مئوية إلى 590 درجة مئوية بالنسبة لسبائك الألمنيوم. والهدف من هذا العلاج هو إذابة الأطوار المعدنية الزائدة و تحقيق التجانس في تركيبة المحلول الصلب [20].

### I. 2.6. المعالجة بالتلدين:

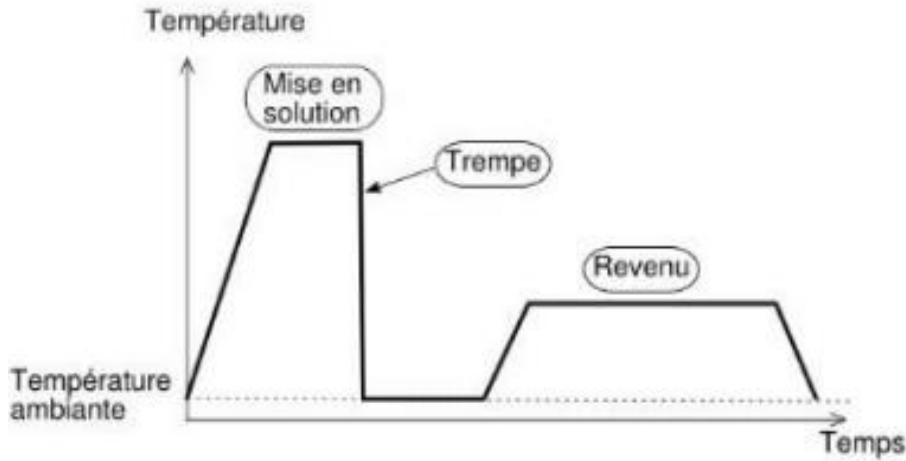
تتمثل هذه العملية في تسخين المعدن لمدة زمنية طويلة عند درجات حرارة عالية ومختلفة و ذلك من أجل تلدين السبيكة التي تم تصليدها بفعل عمليات التشكيل أو عملية التبريد السريع جدا (السقاية). هذا النوع من المعالجات الحرارية يشمل المعالجة بالترميم (إعادة الهيكلة) والتي تستعمل في حالة تعرض المعدن إلى التشوه أثناء عملية تشكيله (السحب، الدرفلة...).

عند هذه المعالجة يكون الألمنيوم أو سبائك الألمنيوم أقل قوة ميكانيكية ولكن أقصى مرونة [14].

## 3.6. I. المعالجة بالتصلب البنيوي:

للتصلب البنيوي أهمية كبيرة في تعدين سبائك الألمنيوم لأنه يعمل على تحسين الخواص

الميكانيكية، يتم ب3 مراحل متميزة تتمثل في [21]:



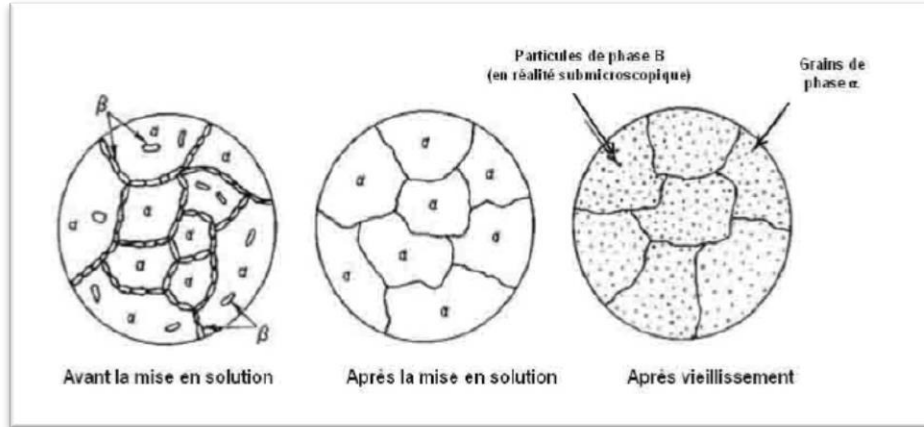
الشكل 3.I: رسم توضيحي لدراسة درجة حرارة المعالجات بدلالة الزمن للحصول على التصلب

البنيوي [23].

## 1.3.6.I. الإذابة :

يتم إجراء هذه المعالجة في درجات حرارة مختلفة و عالية نسبيا وفي فترات زمنية متفاوتة كالمعالجة

بالتجانس أو التلدين.



الشكل 4.I: رسم يوضح طريقة الذوبان [21].

### 2.3.6.I. التبريد السريع : (السقاية )

يهدف التبريد السريع إلى الحفاظ على الحالة البنيوية المتحصل عليها من عملية التجانس وتكوين المحلول القابل للذوبان عند درجة حرارة عالية. معدل التبريد يختلف من سبيكة إلى أخرى حيث تعتمد سرعة التبريد على سرعة انتشار العناصر المكونة للسبيكة [20].

### 3.3.6.I. المعالجة بالتعقيم :

بعد عملية التبريد تكون السبيكة مرنة للغاية وتبقى على هذه الحالة لبضع دقائق أو ساعات أو أيام حسب طبيعة السبيكة لتأتي عملية التشكيل [18].

هناك نوعان من التعقيم يتمثل في:

- **التعقيم الطبيعي:** تتغير خصائص السبائك المعالجة حرارياً عند وضعها في درجة حرارة الغرفة وهذا ما يسمى بالمعالجة الطبيعية، و يمكن أن تستمر فترة هذه المعالجة من بضعة أيام إلى عدة سنوات،

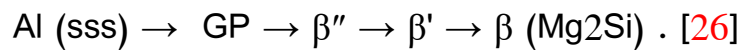
قد تصل سبائك الألمنيوم 6000 إلى أقصى درجة من الصلادة بعد شهر من تعقيتها عند درجة حرارة الغرفة ولذلك يمكن إعتبار أن التعقيم الطبيعي يزيد من خصائص السبيكة من ناحية الصلادة [24].

• **التعقيم الاصطناعي:** يتم هذا النوع من المعالجة في درجات حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة خلال فترة زمنية حسب الغرض المطلوب. تهدف هذه العملية إلى تسريع الترسيب و زيادة الصلادة مقارنة بالتعقيم الطبيعي [14].

في حالة سبائك الألمنيوم Al-Mg-Si تتراوح درجات حرارة من 100 درجة مئوية الى 240 درجة مئوية في التعقيم الاصطناعي [15].

### 7.I. الترسيبات في السبيكة 6000 :

يحدث تصلب بنيوي كبير بعد عملية ذوبان Mg و Si في المحلول الصلب عن طريق ظهور الرواسب على شكل أطوار شبه مستقرة  $\beta'$  و  $\beta''$  وأطوار مستقرة من  $\beta(\text{Mg}_2\text{Si})$ ، وذلك لزيادة الخصائص الميكانيكية للسبيكة 6000 [25]. ويعطى التسلسل العام لهذه السبائك كمايلي:



• **SSS :** يسمى محلول صلب مفرط التشبع وذلك في الحالة المستقرة عند الحفاظ على سبيكة الألمنيوم صلدة بنيويا في درجة حرارة الغرفة [14].

• **GP:** تمثل مناطق جينيز بريستون تظهر على شكل كروي مع بنية غير معروفة [18].

• **الطور  $\beta''$ :** عبارة عن مجموعات تحتوي على Mg و Si ثابتة ومتوافقة مع  $\alpha$ -Aluminium والتي تمتد على طول الإتجاه  $\langle 100 \rangle$  Al، تتواجد على شكل إبر وبنيتها أحادية [26].

- الطور  $\beta'$  : تترسب هذه المرحلة على شكل قضبان يتراوح قطرها ما بين 5 إلى 15 نانومتر، يتم تحديدها عن طريق الحيود الإلكتروني. تكون نسبة Mg/Si أقل من مرحلة التوازن أي مرحلة شبه مستقرة (تتراوح هذه النسبة بين 1 إلى 1,7)، ذات بنية بلورية سداسية تكون معاملاتها حسب هذه النسب [18]

Mg/Si : 1.73. النسبة  $a = 0,705 \text{ nm}$ ,  $c = 0,405 \text{ nm}$ .

Mg/Si : 1.54 النسبة  $a = b = 0,407 \text{ nm}$ ,  $c = 0,405 \text{ nm}$ .

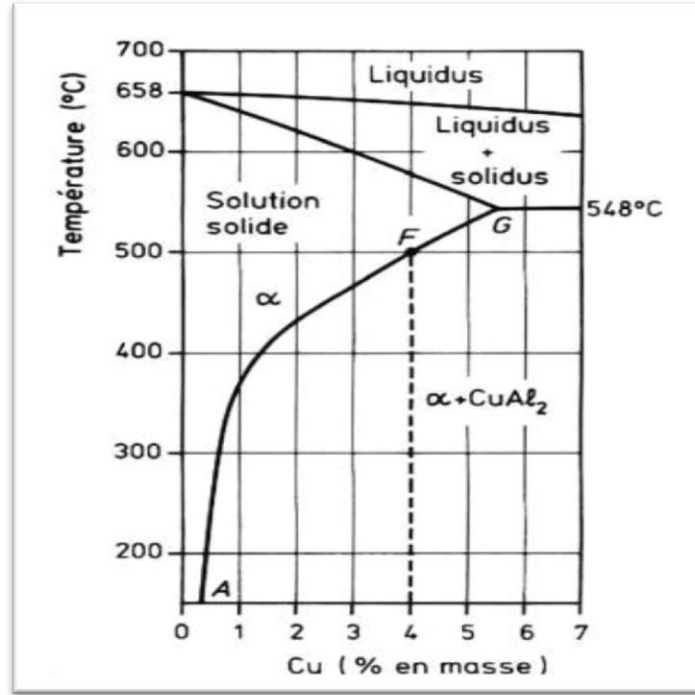
- طور التوازن  $\beta$  ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ ) : وهي تمثل الطور الأكثر استقراراً، تكون على شكل صفائح صغيرة على المستوي (100) من المصفوفة  $\alpha$ -Aluminium لبنية مكعب متمركز الأوجه بثابت شبكة  $a = 0,636 \text{ nm}$  [26]. يحدث تنوي هذه المرحلة بعد تفكك المرحلة  $\beta'$  [14].

المرحلتين  $\beta$  و  $\beta'$  لهما بنى بلورية مختلفة تماماً تترسب على شكل صفائح بسمك حوالي 10 نانومتر [18].

### 8.I تأثير العناصر الإضافية على سبيكة السلسلة 6000 :

#### 1.8.I تأثير النحاس (Cu):

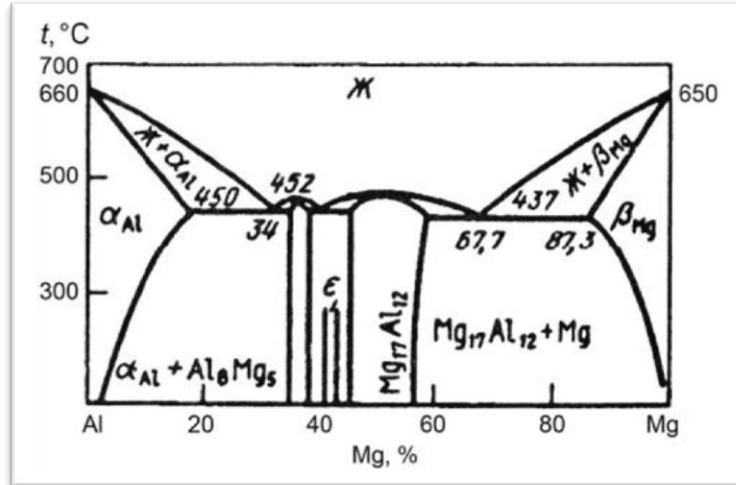
يعد النحاس من أهم العناصر التي تحسن الخصائص الميكانيكية، وجوده في سبائك Al-Mg-Si عادة ما يكون على شكل شوائب ولا يغير في نظام تسلسل السبيكة إذا كان وجوده في السبيكة كعنصر ثانوي، ويكون تأثيره منخفض بنسبة (0.1%) لتحسين الترسيب وزيادة الصلابة بعد خضوعها للمعالجة الحرارية. سبائك الألمنيوم الأكثر استخداماً على نطاق واسع هي تلك التي تحتوي على 4% إلى 10% من النحاس [14]. ويظهر ذلك في بيان الإتزان لسبيكة الألمنيوم نحاس Al-Cu .



الشكل 5.I: بيان إتران الألمنيوم-نحاس.

### 2.8.I. تأثير المغنسيوم (Mg):

يزيد المغنسيوم من قوة وصلادة السبيكة أثناء المعالجات الحرارية عند إضافته في حدود 0,07% إلى 0,4%، كما أنه يتواجد على شكل مركب  $Mg_2Si$ ، تؤدي إضافة المغنسيوم في السبيكة إلى تحسين الخصائص الميكانيكية خاصةً خاصية مقاومة التآكل مع انخفاض في الليونة، عموماً تتراوح نسبة الإضافة بين 4% إلى 10% [14].



الشكل 6.I: بيان إيزان الألمنيوم-مغنسيوم .

### 3.8.I. تأثير السليسيوم (Si):

يعتبر تأثير السليسيوم الأكثر بروزا في السبيكة لأنه يساهم في خصائص التشكيل والحد من الليونة [14].

## الفصل الثاني

---

### طرق تشكيل المواد



**1.II. مقدمة:**

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

تجرى هذه العمليات تحت تأثير قوى ميكانيكية كالشد والضغط من أجل تشكيل المعدن دون أي خسارة في حجم أو كمية المعدن المراد تشكيله، يتم إجراء هذه العمليات إما على البارد (في درجة حرارة الغرفة) أو على الساخن (في درجات حرارة مرتفعة).

إن القوى والجهود المطبقة على المعدن أثناء تشكيله يجب أن تكون كافية لإيصاله إلى حد اللدونة، مع الاحتفاظ بالشكل الذي اكتسبه بعد إزالة هذه القوى دون تحطيمه.

**2.II. عمليات التشكيل على البارد:**

تُجرى عمليات التشكيل على البارد في درجة حرارة الغرفة أو في درجة قريبة منها، ويمكن القول بأن التشكيل على البارد يجرى عادة تحت درجة حرارة إعادة التبلور حيث تعتبر الأخيرة الحد الفاصل بين عمليات التشكيل على البارد والساخن.

المعادن التي يمكن تشكيلها على البارد هي : الصلب ذو نسبة الكربون المنخفضة، الألمنيوم وسبائكه، النحاس و سبائكه و الرصاص [21].

يتميز التشكيل على البارد بعدد من المميزات من بينها [22] :

- رفع في الخواص الميكانيكية للمعدن كالصلادة ومقاومة الشد.
- التحكم في أبعاد و مقاسات المعادن المشكلة على البارد مما يعطي إنهاء سطحي ومظهر خارجي

جيد.

### 3.II. عمليات التشكيل على الساخن:

تجرى عمليات التشكيل على الساخن في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور، إن الزيادة في درجة حرارة المعدن ينتج عنها الزيادة في المسافة بين الذرات مما يؤدي إلى انخفاض قوة الترابط بينهما و سهولة الانخلاع داخل البلورة، تتراوح هذه الحرارة بين النصف أو الثلث من درجة انصهار هذه المعادن والسبائك، حيث أن  $T / T_f > 0.5$  [23].

- T درجة الحرارة المطلقة للمادة.

- T<sub>f</sub> درجة حرارة الانصهار المطلقة.

بالإضافة إلى ذلك يستهلك التشكيل على الساخن طاقة أقل من تلك المستهلكة على البارد، وتكون قابلية المعدن للتشكيل عالية حيث أن خاصية اللدونة تزداد بازدياد درجة الحرارة مع التحسين في التجانس داخل بنية المعدن.

### 4.II. عمليات التشكيل المختلفة:

عمليات تشكيل المواد عديدة ومتنوعة وتعتبر من أهم طرق الإنتاج المستعملة في الصناعات الميكانيكية سواء ما إذا كانت تنفذ على البارد أو على الساخن، تختلف هذه العمليات في مبدأ عملها، الماكينات المستخدمة فيها، نوعية الأشكال المنتجة والمعادن التي تعمل على تشكيلها، ونذكر منها ما يلي:

- عمليات الحدادة.

- عمليات الكبس.

- عمليات السحب.

- عمليات الدرفلة.

## 1.4.II. عملية الحدادة:

الحدادة عبارة عن مجموعة من التقنيات المستخدمة للحصول على قطع ميكانيكية مختلفة، وهي من أقدم طرق تشكيل المعادن التي بقيت إلى يومنا هذا. تتلخص هذه العملية في تسخين المعدن إلى درجة حرارة تجعله قابلاً للطرق من خلال تطبيق قوة كبيرة على شريط معدني للحصول على الشكل المطلوب في النهاية. تعتمد عملية الحدادة أساساً على جهاز الضرب (كالمطرقة) وجهاز الدعم (كمساند) [24].



الشكل II. 1: عملية الحدادة.

## • الحدادة على الساخن : (الطرق الحر)

وهي عملية من عمليات تشكيل المعادن على الساخن يعتمد مبدأها على تسخين المعدن في درجات

حرارة عالية تصل إلى  $T_f \geq 0.6T_F$  بغرض حدادتها. حيث :

•  $T_F$  هي درجة حرارة الإنصهار.

•  $T_f$  هي درجة حرارة الحدادة.

يمكن تطبيق العملية باستخدام أدوات قياسية و بسيطة غير مكلفة ولكنها في المقابل تتطلب مهارة

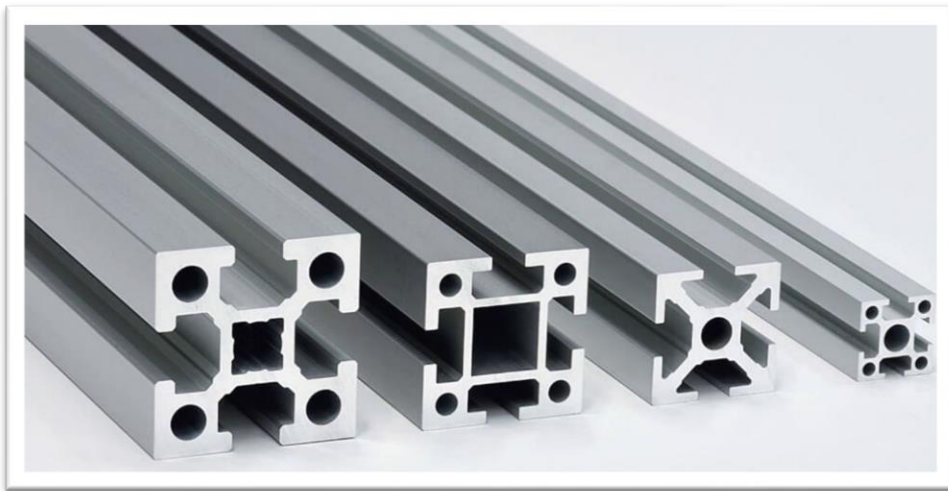
عالية، بحيث تكون القوة المطبقة موزعة بالتساوي على كافة مناطق المعدن.

- الحدادة على البارد : (الطرق المقفل )

تتم عملية الحدادة على البارد في درجة حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلور يتم من خلالها الحصول على التشوه في درجة حرارة الغرفة ، كما يجب أن تكون المواد المشكلة على البارد لدنة ، ومن العمليات التي تتم على البارد هي الطرق المقفل وهي عملية تستخدم للحصول على القطع الجاهزة [22].

## 2.4.II. عملية الكبس:

هي عملية كبس المعدن فوق حدود مرونته في وعاء و إخراجها من نهاية فتحة الوعاء من خلال الضغط على المعدن ليأخذ شكل الفتحة، لنتحصل على مقاطع غاية في التعقيد وذات جودة عالية. تستعمل عملية الكبس في المعادن اللاحديدية التي تمتاز بارتفاع ليونتها وانخفاض في درجة حرارة انصهارها مثل: الألومنيوم، النحاس، النحاس الأصفر، المغنيسيوم والرصاص [22]. و تستعمل بشكل محدود في المواد الحديدية كالفولاذ بسبب صعوبة تشكيله [14].



الشكل 2.II: عينات ألومنيوم مشكلة بعملية الكبس.

### • الكبس على الساخن:

تتم عملية الكبس على الساخن في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور للمعدن لمنعها من التصلب أثناء العمل وتسهيل خروجه من خلال الوعاء، تتم معظمها في مكابس أفقية لها قوة تحمل تتراوح من 230 إلى 11000 طن، ويتراوح الضغط المؤثر على المكبس من 30MPa إلى 700 MPa وبالتالي يجب تزيت أدوات الكبس لحمايتها والحفاظ عليها من درجات الحرارة العالية [26].

### • الكبس على البارد:

تتم عملية الكبس على البارد في درجة حرارة الغرفة ، ويوصف بالتشوه اللدن لأنه ينفذ في درجة حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلور مما يمنح المعدن مرونة أعلى ومطانة أقل، يتميز الكبس البارد مقارنة بالساخن بقلّة وجود الأكسدة، ومن المعادن التي غالبا ما يتم كبسها على البارد هي: الرصاص، القصدير، الألمنيوم والنحاس [26].

### • أنواع الكبس:

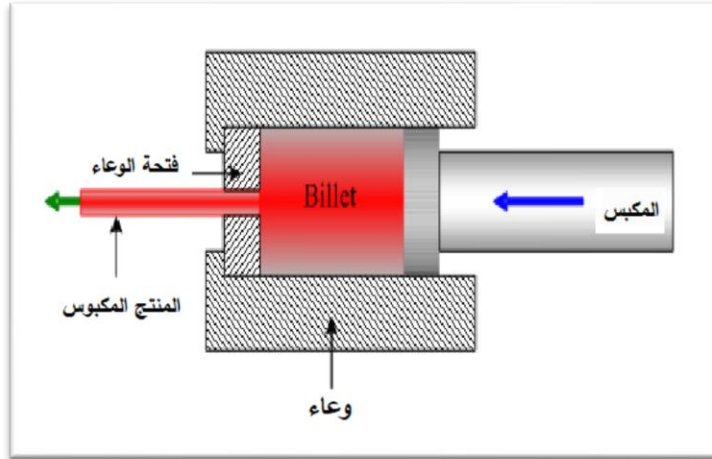
يوجد نوعين رئيسيين لعملية الكبس:

#### • الكبس المباشر: يعتمد هذا النوع من الكبس على ضغط المعدن بين الجدران الداخلية للوعاء

والمكبس، حيث يكون إتجاه إنسياب المعدن المكبوس بنفس إتجاه حركة المكبس.

يوجد كبس مباشر دون تشحيم خاص بالسبائك الخفيفة، وكبس بالتشحيم حيث يتم تشحيم الجزء

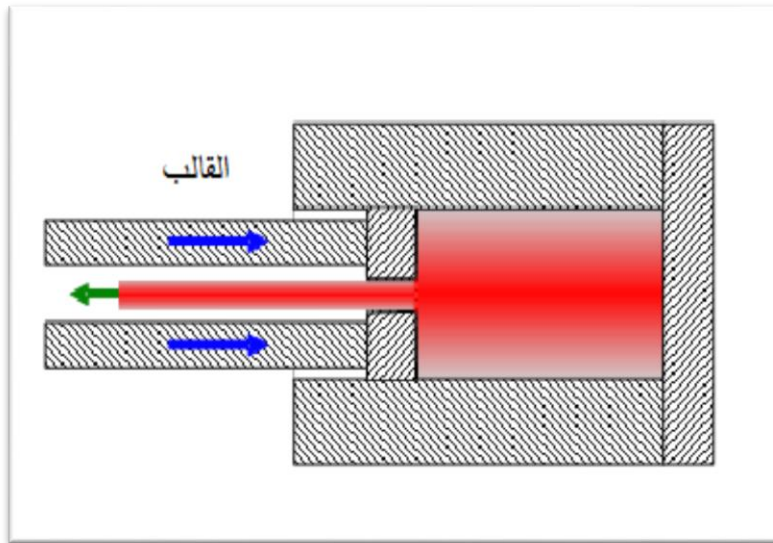
الداخلي أو الخارجي من الوعاء من عملية الإحتكاك [26].



الشكل II.3: الكبس المباشر.

• كبس غير مباشر: حيث تكون حركة المعدن بعكس حركة المكبس، تقلل هذه الطريقة من عملية

الإحتكاك بنسبة 25% الى 30% [26].



الشكل II.5: الكبس الغير مباشر.

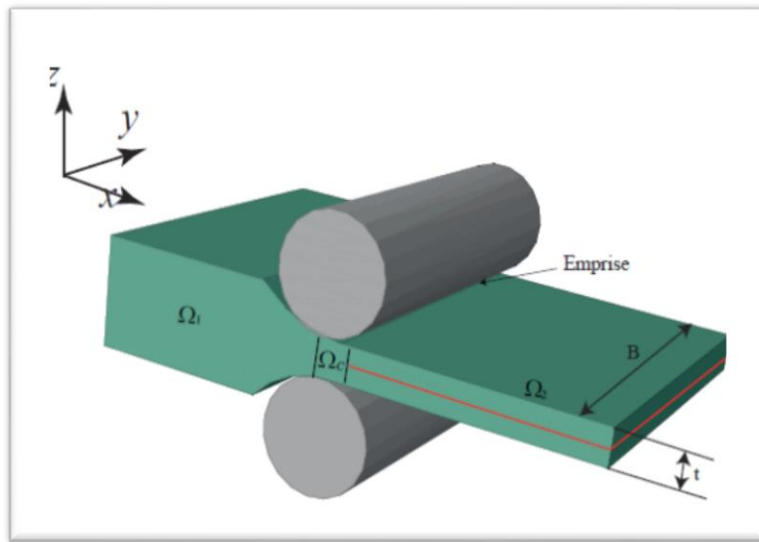
### II.3.4. عملية الدرفلة:

تعتبر الدرفلة إحدى طرق تشكيل المعادن الصناعية، ويعتمد مبدأها على تمرير الصفائح المعدنية

المراد درفلتها عبر أجسام أسطوانية ثقيلة و ذات صلادة عالية تسمى الدرافيل، وذلك من أجل الحصول

على الشكل والحجم المطلوبين مع النقصان في السمك و الزيادة في طول و عرض المعدن المتشكل، وتستخدم للحصول على الألواح، القضبان، البكرات، الأنابيب و الأشرطة المعدنية وغيرها من المنتجات و الأشكال ، و تتم إما على البارد أو الساخن.

يمكن أن تقسم عملية الدرفلة إلى خمسة أنواع رئيسية و التي تختلف فيما بينها من حيث آلية عمل الدرافيل و شكل المنتج هي : الدرفلة الطولية، الدرفلة العرضية، الدرفلة اللولبية، الدرفلة الحلقية، الدرفلة أحادية الاتجاه [22].



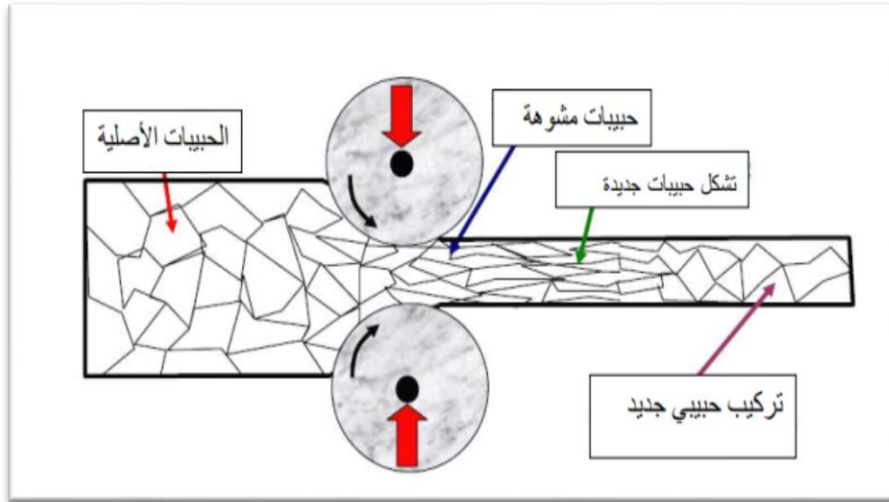
الشكل II 5: عملية الدرفلة للصفائح المعدنية.

#### • الدرفلة على الساخن:

الدرفلة على الساخن هي نوع من أنواع التشوه الساخن، والتي تحدث عند درجة حرارة إعادة التبلور وذلك بتحويل المواد المسبوكة إلى منتجات مشكلة نهائياً. تتميز العملية برفع درجة حرارة المعدن إلى درجة الليونة اللازمة لتشكيل الصفائح [27].

إن المحافظة على درجة حرارة المعدن أثناء العملية ضروري وقد يستوجب الأمر إعادة تسخين المعدن لغرض الاستمرار في العملية وذلك للتوصل إلى النتائج المرجوة من التشكيل على الساخن. يمكن

إستخدام الدرفلة على الساخن لإنتاج جميع فئات المنتجات الرئيسية مثل الألواح والأسلاك والعوارض وما إلى ذلك. هذا النوع من العملية مستخدم في معامل صهر الحديد، النحاس والزرنيخ وغيرها.



الشكل 6.ii: مبدأ عملية الدرفلة على الساخن.

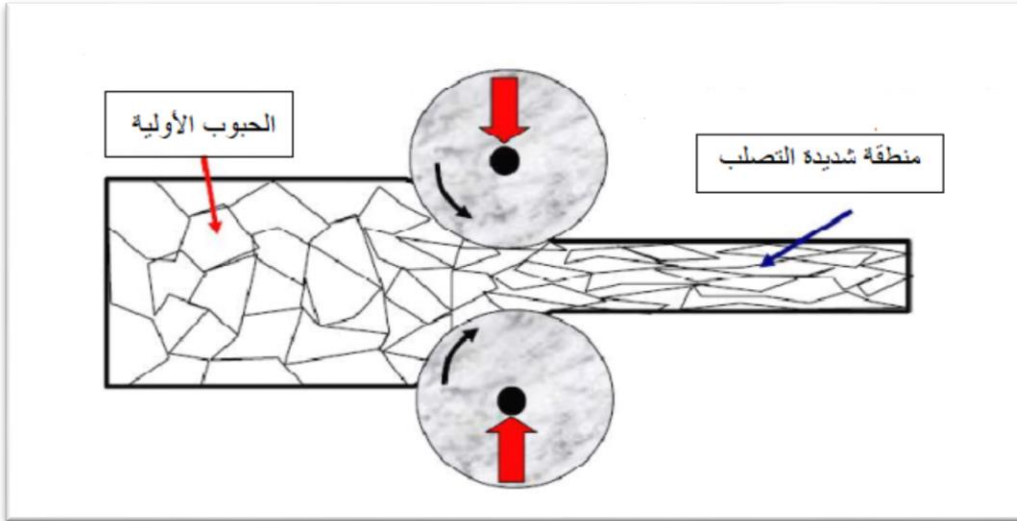
#### • الدرفلة على البارد

تسمح هذه العملية بتقليل في سمك الصفائح المدرفلة، وتجرى في درجة حرارة الغرفة وتحت درجة حرارة إعادة التبلور. ومن المعادن التي يمكن درفلتها على البارد هي النحاس و الألمنيوم، عكس الفولاذ الذي يتم بالدرفلة على الساخن.

تسبب عملية الدرفلة على البارد تصلب الإجهاد مما يؤدي إلى حدوث عيوب جديدة في المعدن وعلى وجه الخصوص كثافة خلع عالية، و تهدف هذه العملية إلى الزيادة في حد المرونة، قوة الشد و الصلابة

[26].

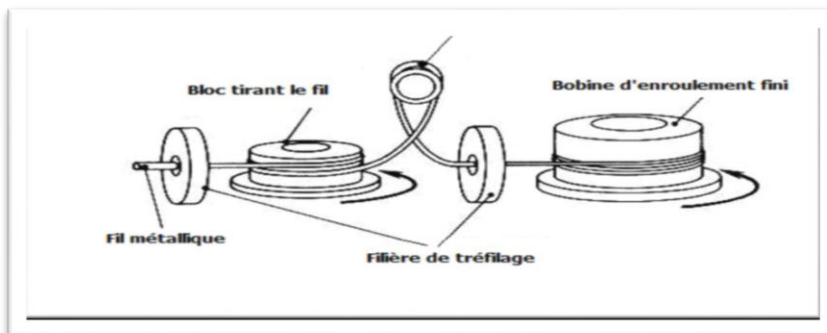




الشكل 7.11: مبدأ عملية الدرفلة على البارد.

#### 4.4.11. عملية السحب:

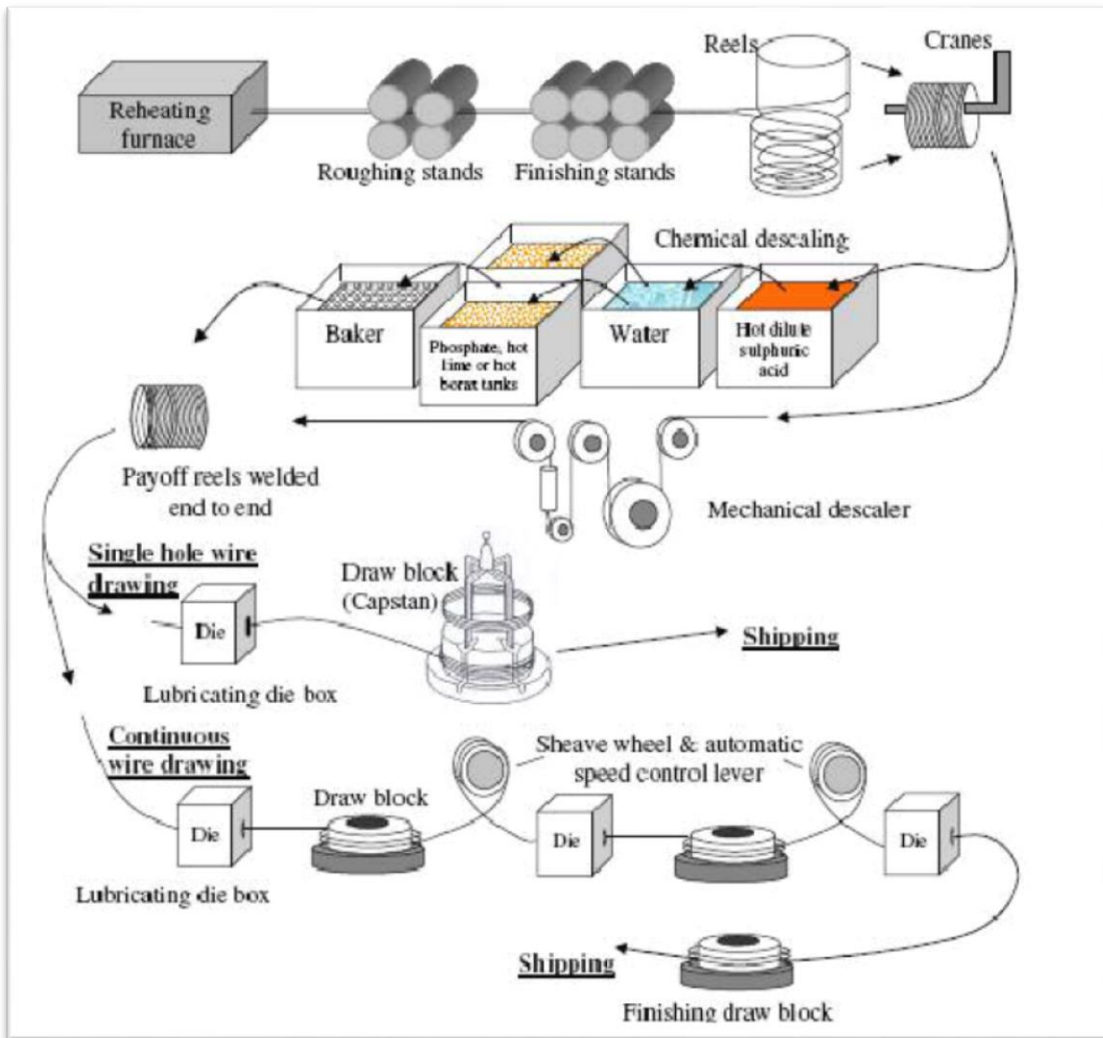
السحب هو عملية من عمليات التشكيل، يعتمد مبدأها على تمرير معدن من خلال قالب تحت تأثير السحب المستمر، غالبا ما تتطلب معادن ذات ليونة جيدة وخواص جيدة للتشوه. تعتبر عملية السحب بمختلف أنواعها من أهم عمليات التشكيل اللدن من بينها عملية السحب العميق، وتعد عمليات سحب الأسلاك وسحب الأنابيب من أبسطها حيث تكمن في تخفيض القطر بالسحب من خلال قوالب ذات مقاسات أصغر من مقاسات القضبان والأسلاك [28].



الشكل 8.11: رسم توضيحي لأهم مراحل السحب.

• عملية سحب الأسلاك:

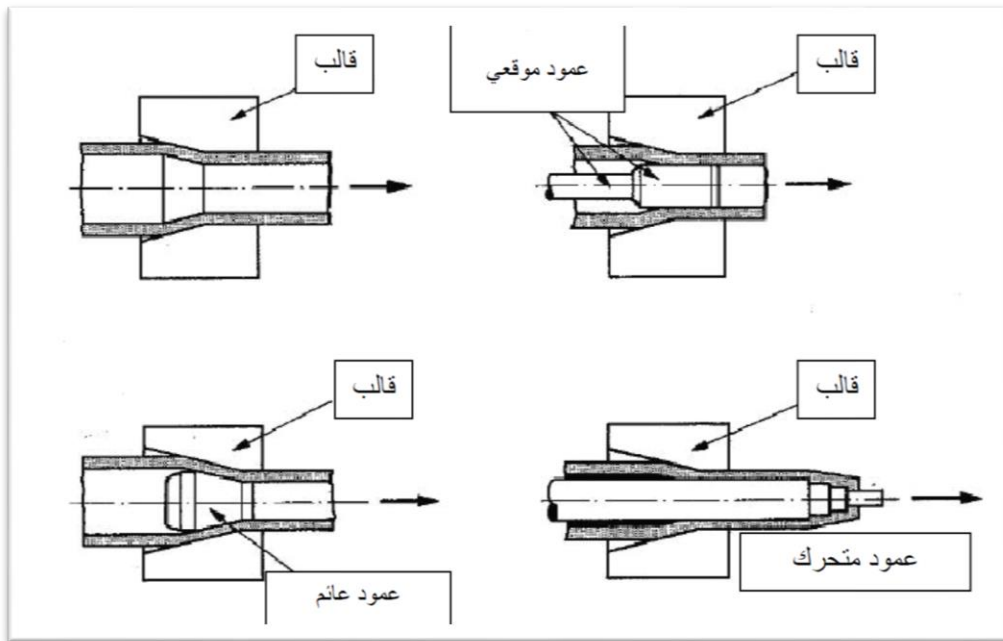
تصنع الأسلاك المسحوبة على البارد من معادن مختلفة وهذا عن طريق الدرفلة على الساخن، ويتم ذلك بتمريرها عدة مرات بين الدرافيل حتى تصبح أسلاك بقطر يقدر (6mm- 5mm). تنظف هذه المعادن قبل سحبها عن طريق التنظيف الكيميائي، ويتمثل في استخدام حمض الكبريتيك لإزالة الصدأ ثم طلي المعدن بمادة بوراكس الفوسفات لحماية الأسطح، و تعمل أيضا هذه المواد كمزيّيات في عملية السحب، أما التنظيف الميكانيكي يكون باستعمال فرش ميكانيكية.



الشكل 9.11: خطوات سحب الأسلاك.

- عملية سحب الأنابيب:

تسحب الأنابيب على البارد للحصول على أسطح جيدة ومقاطع صغيرة ودقيقة، وهذا بواسطة قوالب تتكون من ثلاثة أنواع: قوالب دون عمود ويكون فيها القطر الداخلي و الإنهاء السطحي غير مسيطر عليه، وقوالب مع عمود موقعي أي لا يتحرك العمود بالنسبة للقالب ويحدد سمك الأنبوب بالنسبة للفراغ بين العمود والقالب ونحصل على إنهاء سطحي جيد و قطر دقيق، وقوالب مع عمود متحرك حيث يكون فيه السمك غير دقيق وتستعمل هذه العملية في الأنابيب الطويلة [26].



الشكل 10.11: طرق سحب الأنابيب.

- السحب العميق:

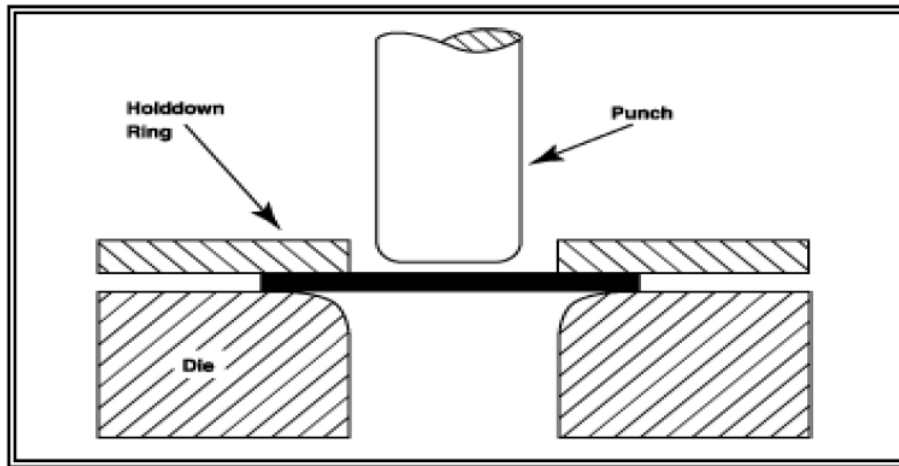
تتمثل العملية في تشكيل لوح معدني بسمك معين بواسطة مكبس دائري المقطع و غالبا ما يضغط على اللوح في قالب دائري المقطع، والشكل الناتج عبارة عن وعاء سمكه هو الفرق بين المكبس والقطر الداخلي للقالب [26].

يجب توفر بعض الشروط للحصول على نتائج جيدة من بينها توفر مطيلية ومقاومة شد عالية،

واستعمال مواد لتزيت القالب والمكبس لتسهيل عملية التشكيل وتقليل من عملية الإحتكاك [25].

تستخدم هذه العملية لإنتاج الأشكال الأسطوانية أو الصندوقية (أي أشكال تحتوي على فراغ منتظم

بداخلها) مثل أواني الطهي وأسطوانات الغاز وغيرها.



الشكل 11.11: طرق السحب العميق [26].

## 5.11. زيوت التشحيم:

يكون زيت التشحيم إما زيتا معدنيا نقياً أو شحما قابل للذوبان [28]. حيث يتطلب التشوه المفاجئ و

المستمر للمعدن في قالب التصنيع استخدام مواد تشحيم لكونها ضرورية خلال العملية من أجل تقليل

الاحتكاك و تحسين انسيابية المعدن و تجنب ارتفاع في درجة الحرارة بسرعة عالية، بهذا يطول عمر

المعدات المستعملة في التصنيع حيث أنها تشكل طبقة رقيقة على سطح الأسلاك وذلك لتجنب أي تفاعل

بين المعدن و الجهاز والتي يمكن أن تؤدي إلى تدهور حالة السطح.

و بشكل عام يمكننا القول ان دور زيوت التشحيم يتمثل في [7]:

- اختزال الجهد المستعمل في عملية السحب.

- ضمان نظام تزييت مستقر و مستمر .

- ضمان عدم ظهور العيوب على سطح السطح.
- يجب أن يتوفر زيت التشحيم على مجموعة من الخصائص نذكر منها ما يلي: [7]
- اللزوجة الكافية.
- مقاومة جيدة للضغط .
- مقاومة جيدة لدرجة الحرارة .
- إستقرار كيميائي جيد مع مرور الوقت.

## الفصل الثالث

---

الطرق التجريبية والأجهزة المستعملة

**1.III. مقدمة:**

عدة تقنيات تجريبية كالمجهر الإلكتروني الماسح و إختبار الصلادة تم إستخدامها في هذا العمل قصد تحديد تطور البنية المجهرية و الخصائص الميكانيكية لعينات من سبيكة Al-Mg-Si (سبيكة الألمنيوم السلسلة 6000 ) مدرفلة على البارد بمعدلات تشوه مختلفة.

**2.III. المادة المدروسة:**

جلبت المادة التي تم دراستها من مختبر قسم فيزياء المعادن بجامعة مانشستر (بريطانيا)، على شكل صفيحة من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si، طولها 30 cm و عرضها 4 cm وسمكها 3 mm، ذات التركيب الكيميائي المبين في (الجدول 1.III).

الجدول 1.III: التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة.

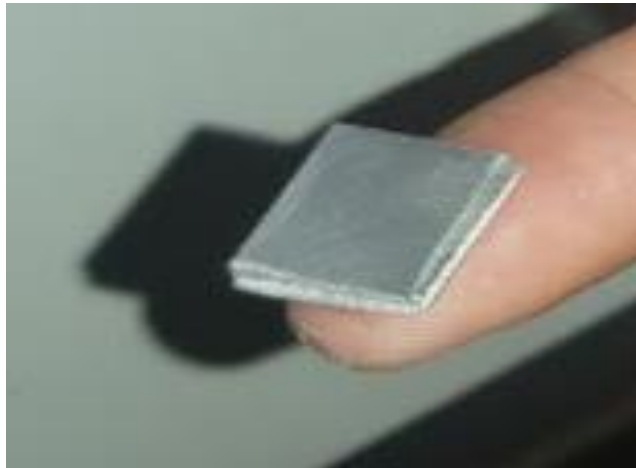
Mg%	Si%	Cu%	Fe%	Mn%	Cr%	Zn%	Ti%	B%	Al%
0,20	0,50	0,002	0.17	0.030	0.001	0.003	0.010	0.0012	المتبقي



الشكل 1.III: صفيحة سبيكة الألمنيوم المدروسة.

**3.III. تحضير العينات:**

تم الحصول على عينات السبيكة المستعملة في الدراسة من خلال تقطيع الصفيحة بواسطة منشار يدوي وتحت تدفق الماء البارد لتجنب التصليد الانفعالي، ومنه نتحصل على عينات صغيرة بالأبعاد التالية التالية ( طولها 1cm و عرضها 0.5cm وسمكها 3mm ).

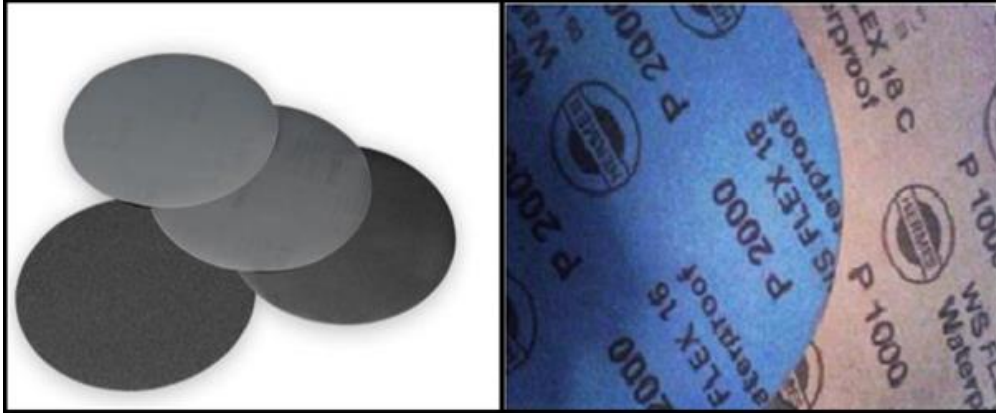


الشكل 2.III: عينة من السبيكة المدروسة.

**1.3.III. الصقل:**

في عملية الصقل الميكانيكي إستخدمنا الورق الكاشط الخشن الذي يمتاز بصلابته الشديدة، متكوّن أساسًا من حبيبات كربونات السليسيوم (SiC)، حيث يستعمل هذا الورق تدريجيا من الرّقم الصناعي 100 إلى 2000 كعملية أولية ( استقراب + نصف تشطيب )، يسمح لنا هذا الأخير بالتّحسين التدريجي لسطح العينات و إنشاء سطح خالي من العيوب، 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 العينة شبيها إلى حد كبير بمرآة.

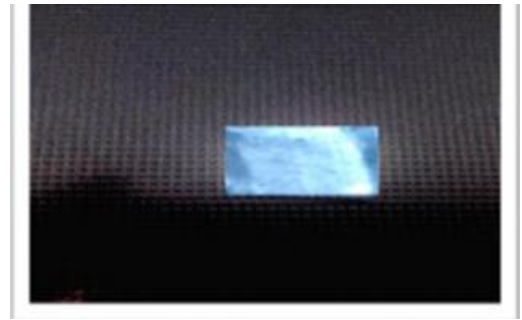




الشكل 3.III: الأوراق الكاشطة.



الشكل 5.III: سطح العينة بعد الصقل.



الشكل 4.III: سطح العينة قبل الصقل.



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

العربي بن مهدي أم البواقي).

## 2.3.III. التتميش الكيميائي :

من المعروف أن الفحص المجهرى لسطح العينات المصقولة لا يظهر لنا الحدود الحبيبية، ومن أجل إظهار هاته الحدود قمنا بعملية تتميش كيميائي لأسطح العينات المدروسة باستخدام محلول كيميائي. بحيث أجرينا عدت 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 بماء مقطر ثم تجفف بالهواء بعد كل عملية تتميش بواسطة الكاشف الكيميائي (كيلر). حيث يتكون المحلول الكيميائي (كيلر) المستعمل في هذه الدراسة على عدة أحماض كما هو موضح في (الجدول 3.III)، حيث أن وقت التتميش الكيميائي للكشف عن الحدود الحبيبية لا يتجاوز 15 ثانية.

الجدول 2.III: المحلول الكيميائي (كيلر).

الكمية (ml)	المركب
17	حمض النيتريك (HNO <sub>3</sub> )
5	حمض الهيدروفلوريك (HF)
9	حمض الهيدروكلوريك (HCl)
78	الماء المقطر

لدراسة تأثير التشوه تم درفلة السبيكة على البارد بمختلف معدلات التشوه (الجدول 1.III). حيث تم

حساب معدلات التشوه المختلفة باستعمال المعادلة التالية:

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

حيث :

- $h_0$  هو السمك الابتدائي للسبيكة.
- $h$  هو السمك النهائي بعد درفلة السبيكة.
- $\varepsilon$  هو معدل التشوه .

**الجدول 3.III:** مختلف معدلات التشوه ( $\varepsilon$ ) لصفحة سبيكة الألمنيوم.

سمك الصفحة (مم)	$\varepsilon$ معدل التشوه (%)	
الصفحة الأولى	3	0
الدرفلة 1	2.57	14.33
الدرفلة 2	2.08	30.66
الدرفلة 3	1.21	59.66
الدرفلة 4	1.01	66.33
الدرفلة 5	0.59	80.33

### 4.3.III. التشكيل على البارد باستعمال الدرفلة:

يتم تحضير قطع صغيرة من السبيكة بالأبعاد التالية ( طولها 1cm و عرضها 0.5cm وسمكها 3mm )، و ذلك من أجل درفلتها باستخدام ماكينة الدرفلة التي تحتوي على درفلين ( الشكل 4.III )، حيث تم تقليص السمك الأولي للصفحة والمقدر بـ : 3mm إلى ( 2.57mm ، 2.08mm ، 1.21mm ، 1.01mm ، 0.59mm ) على التوالي، علما أن عملية تقليص السمك قد تمت بمرحلة واحدة لجميع العينات لكل معدل تشوه.



الشكل III.7: ماكينة الدرفلة (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي).

#### III.4. المعالجات الحرارية:

تتم عملية المعالجة الحرارية للسبائك باستخدام فرن كهربائي من النوع (NABERTHERM) (الشكل III.1) و هو جهاز قابل للبرمجة. حيث تم إختيار 10 درجات مئوية/دقيقة كمعدل تسخين داخل الفرن لتصبح العناصر المضافة أكثر انحلال في المصفوفة الأم. إستعملنا عملية التجانس الحراري لمعالجة عينات السبيكة المدروسة عند درجة حرارة  $550^{\circ}\text{C}$  لمدة نصف ساعة، ليتم بعد ذلك تبريدها تبريدا سريعا بواسطة الماء للحصول على بنية متجانسة، و في الأخير عرضت للتعيق الإصطناعي عند  $150^{\circ}\text{C}$  لفترات زمنية محددة.



الشكل 8.III: فرن المعالجات الحرارية NABERTHERM

### 5.III. الطرق التجريبية:

#### 1.5.III. إختبار الصلادة:

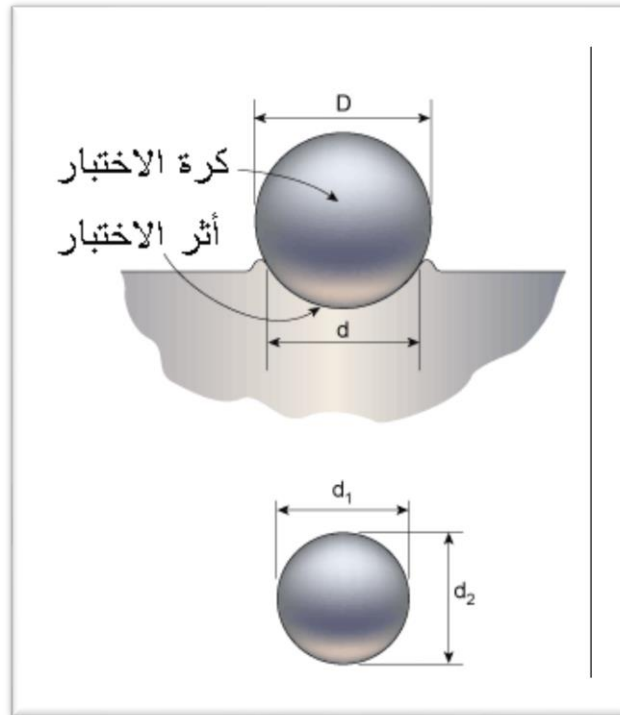
الصلادة هي مقاومة المعدن للخدوش وتغلغل الأجسام الأخرى فيها، أو هي الخاصية التي تمكن المعدن أو المادة من المحافظة على شكل سطحها سليماً متماسكاً تحت تأثير الأحمال. ويعرف إختبار الصلادة على أنه واحد من الاختبارات السهلة الغير تدميري له أهميه كبيره في مجال الصناعة، وأغلب المواصفات القياسية تنص على ضرورة إجرائها للمعادن كإختبار قبول وذلك لسهولة إجرائها.

يستخدم في إختبار الصلادة جسم قاس ذي شكل هندسي محدد (كرة فولاذية، مخروط من الألماس)، يتم الضغط بها حتى تترك أثر أو علامة على سطح المعدن بعد ازالة القوة الضاغطة، حيث تتراوح مدة الضغط من 15 إلى 30 ثانية. تقاس صلادة المعدن بقياس عرض الأثر أو عمقه فكلما زادت قيمته كلما

كان المعدن أقل صلادة. يتم استخدام عدة أنواع من هذه الاختبارات التي لها نفس المبدأ، غير أنها تختلف في شكل الأداة المستخدمة.

و التقنيات الثلاثة الأكثر شيوعا هي إختبار برينل، إختبار فيكرز و إختبار ركوال.

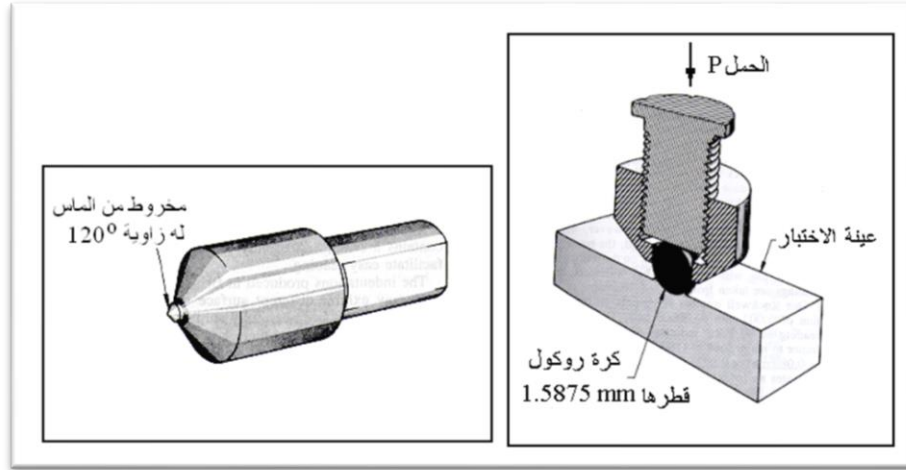
✓ إختبار برينل: شكل الأداة عبارة عن كرات من الصلب المصلد (الشكل 9.III).



الشكل 9.III : أداة اختبار برينل.

✓ إختبار ركوال: شكل الأداة عبارة عن مخروط من الماس له زاوية  $120^\circ$  وحرف مستدير يسمى

البرابل (الشكل 10.III).

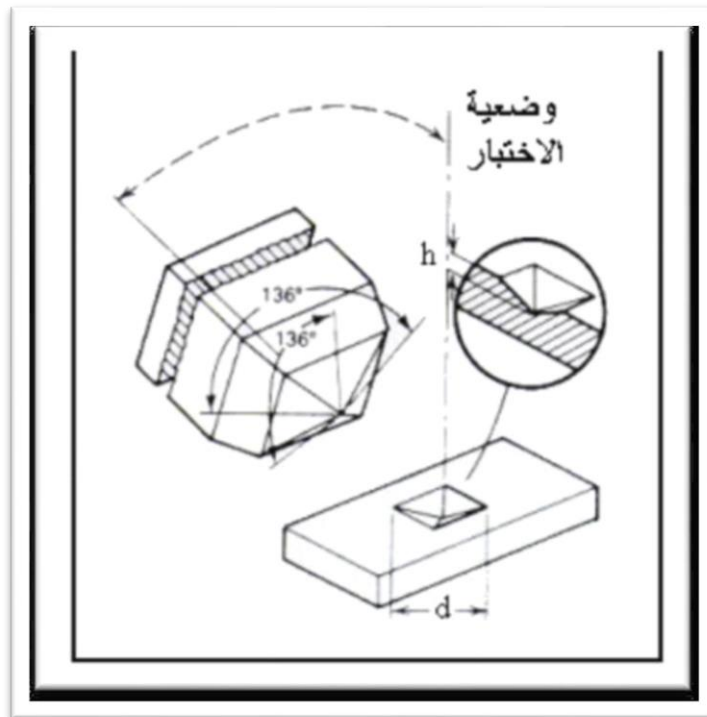


الشكل 10.III: أداة اختبار روكول.

✓ إختبار فيكرز:

الأداة المستخدمة لإجراء الاختبار هي عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة و تتقاطع مستوياته عند

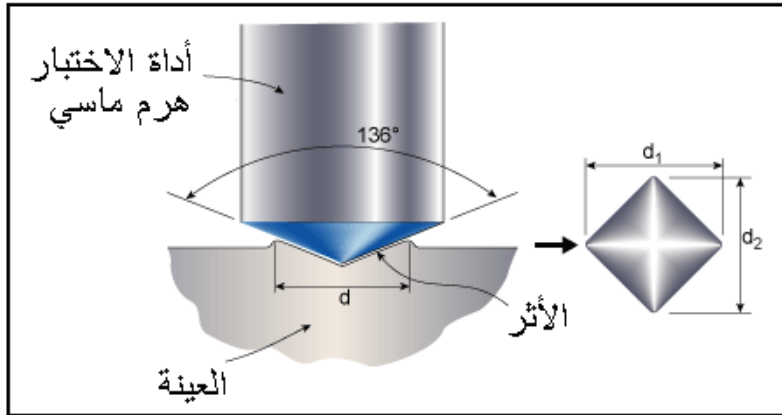
الحروف بزاوية  $\theta$  قدرها  $136^\circ$  كما هو مبين في (الشكل 11.III).



الشكل 11.III: أداة إختبار فيكرز.

بما أن شكل الأداة هرم من الماس فإن الأثر على سطح القطعة المختبرة و ذو عمق معين و بالتالي

تقاس الصلادة بقياس قطر الأثر (d) كما هو مبين في (الشكل.12.III).



الشكل.12.III: إختبار فيكرز للصلادة (وضعية الإختبار وشكل الأثر).

يتم حساب صلادة فيكرز ( $H_V$ ) باستخدام العلاقة التالية:

$$H_V = \frac{1.854F}{D^2} \dots\dots\dots 2-III$$

حيث:

- F حمل الإختبار (Kg).
- D قطر الأثر (mm).

في هذه الدراسة تم إستخدام جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (الشكل 13.III) ، حيث تم تحضير العينات المراد قياس صلابتها و ذلك بصقلها باستعمال الورق الكاشط تدريجيا من الرقم الصناعي 100 إلى 2000. أجريت القياسات تحت حمولة مقدارها 300g لمدة 15 ثانية، و لكل عينة تمثل قيمة الصلابتها متوسط خمسة قياسات.





الشكل 13.III: جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة

العربي بن مهدي أم البواقي)

### 2.5.III. التحليل بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح MEB :

المجهر الإلكتروني الماسح من أهم أجهزة التصوير المجهرية و التي لها الكثير من التطبيقات الرئيسية و المهمة في مجال علوم المواد، تظهر العينة في شكل ثلاثي الأبعاد حيث يتميز بقدرته التكبيرية.

يتم إستعمال تقنية التحليل باستعمال المجاهر الإلكترونية لدراسة أسطح العينات و تركيباتها الدقيقة و بنيتها المجهرية، و هذا بهدف متابعة تشكل الحبيبات أو الرواسب على سطح العينة، حيث تتركز هذه التقنية على مبدأ التفاعل إلكترون- مادة ( تتفاعل الإلكترونات مع الذرات في العينة )، فتصطدم هذه الحزمة عالية الطاقة عموديا بسطح العينة، و يتم بعد ذلك جمع مختلف الإشارات المنعكسة والصادرة من العينة باستخدام كواشف مختلفة للحصول على معلومات تخص العينة المدروسة. تم أخذ هذه الصور

باستعمال جهاز من نوع **Jeol JSM 6360LV**.



الشكل III.14 : المجهر الإلكتروني الماسح MEB.

## الفصل الرابع

---

### تحليل النتائج

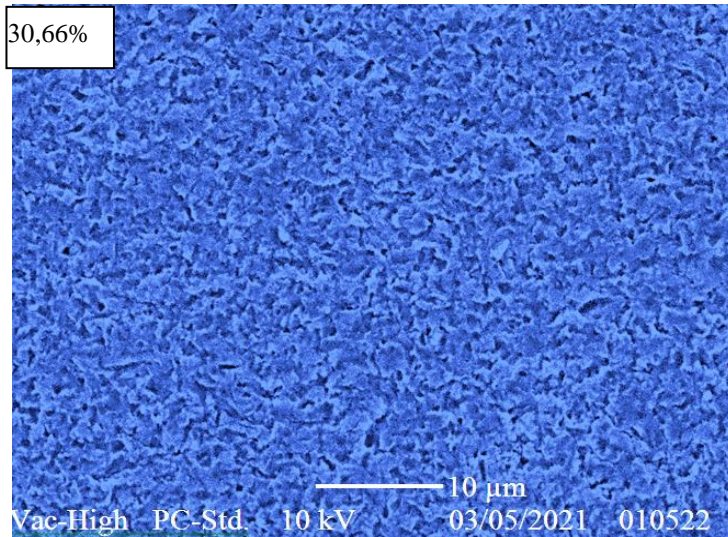
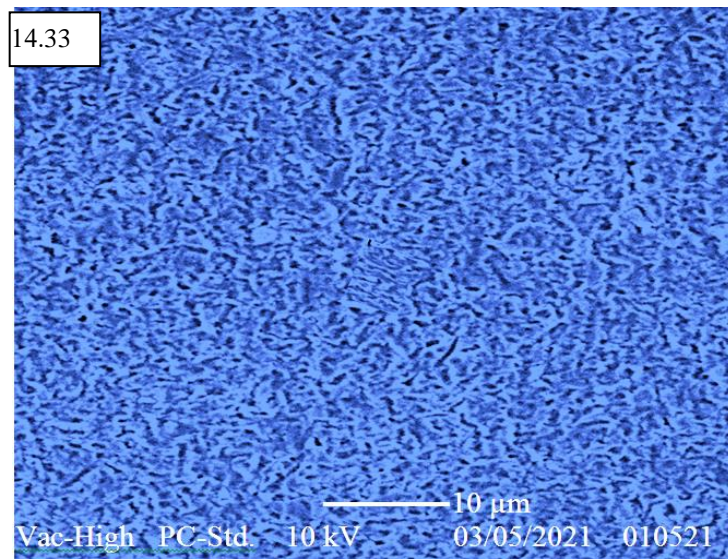
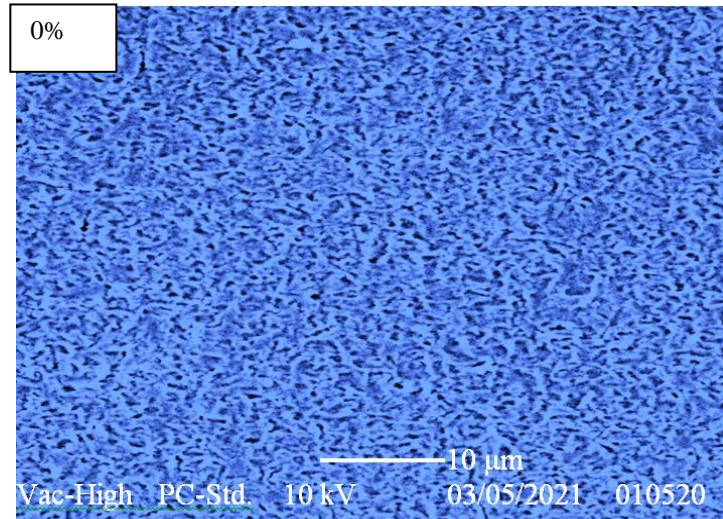
**1.VI. مقدمة:**

يعرض هذا الفصل النتائج التي تم الحصول عليها من تقنيات تجريبية مختلفة، بدايةً من نتائج التحليل البنية المجهرية لعينات سبائك الألومنيوم Al-Mg-Si التي تم الحصول عليها عن طريق الفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح، ثم النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة اختبارات الصلادة.

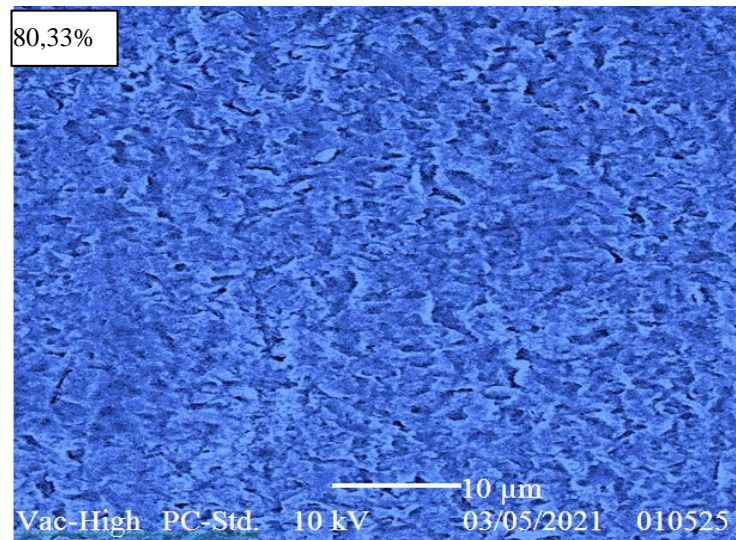
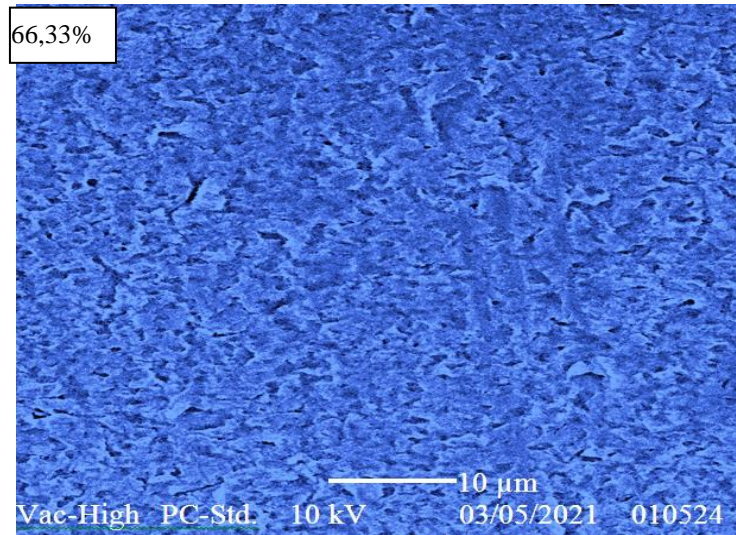
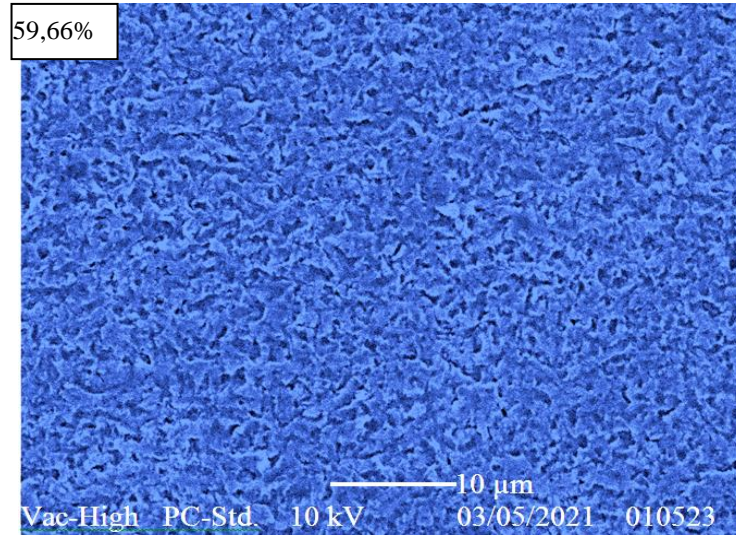
**2.VI. الدراسة باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح MEB:**

لإجراء دراسة دقيقة للبنية المجهرية لعينات سبيكة Al-Mg-Si تم إستعمال المجهر الإلكتروني الماسح.

البنية المجهرية التي تم الحصول عليها باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح لعينات سبيكة Al-Mg-Si المدرفلة على البارد بمعدلات تشوه مختلفة (الجدول 2.III)، موضحة في الشكل (1.VI). من السهل ملاحظة تواجد ترسبات وجزيئات كبير منتشرة بشكل عشوائي بجوار الحدود الحبيبية وداخل الإنخلاعات المتولدة عن عملية التشوه على البارد. نلاحظ أيضا أن هذه الترسبات تنتشر بقوة ويزداد حجمها تدريجيا مع الزيادة في معدل التشوه، وهذا راجع للانتشار القوي للشوائب داخل العيوب البلورية كالإنخلاعات و الفجوات المتولدة عن التشوهات على البارد. وهذا الانتشار القوي للشوائب يساهم وبصورة كبيرة في تسريع عمليات تنوي، نمو، تشكل الترسبات والأطوار. هذه النتائج في إتفاق جيد مع النتائج المتحصل عليها من طرف بعض الباحثين [25, 36, 37]. يمكننا أيضا ملاحظة وجود بعض البنى النسيجية التي تشكلت نتيجة التشوهات الكبيرة التي تعرضت لها العينات المدروسة [5, 38].



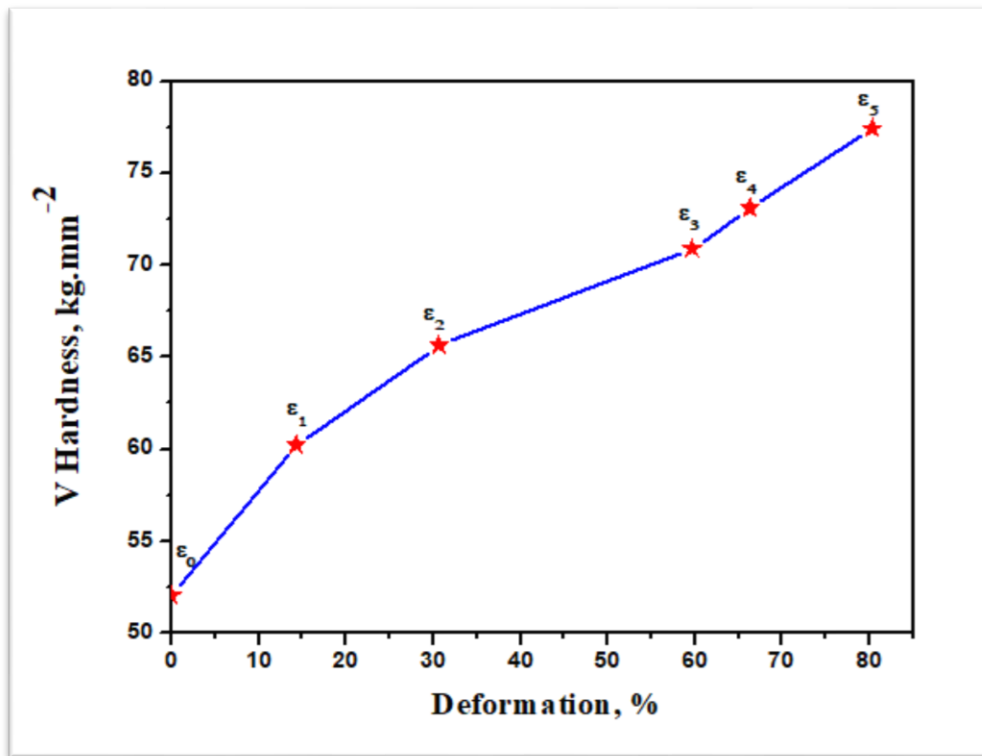
الشكل 1.VI: البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الالكتروني الماسح للسبيكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه.



الشكل 1.VI: (تابع) البنية المجهرية التي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الالكتروني الماسح للسبيكة المدرفلة على البارد لمختلف معدلات التشوه.

## 3.VI. إختبار الصلادة:

منحنى تغير الصلادة بدلالة مختلف معدلات التشوه بالدرفلة على البارد لسبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si المدروسة موضح بالشكل (IV. 2). نلاحظ أن الصلادة تزداد بشكل تدريجي بازدياد معدل التشوه على البارد، هذه الزيادة في الصلادة ناتجة عن وجود كثافة كبيرة للانخلاعات التي تكونت نتيجة تشوه السبيكة بالدرفلة على البارد، وكما هو معروف فالانخلاعات تعتبر أماكن مفضلة للترسبات و تشكل الأطوار. هذه النتيجة في إتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [25,26,37,39].



الشكل 2.VI: تغير الصلادة بدلالة مختلف معدلات التشوه.

يبين الشكل (3.VI) منحنى تغيير الصلادة بدلالة درجة الحرارة لسبيكة Al-Mg-Si مدرفلة على

البارد بمعدلي التشوه  $\epsilon_0=0\%$  و  $\epsilon_5=80,33\%$ . نلاحظ أن السبيكة في معدل التشوه  $\epsilon_5=80,33\%$  لها

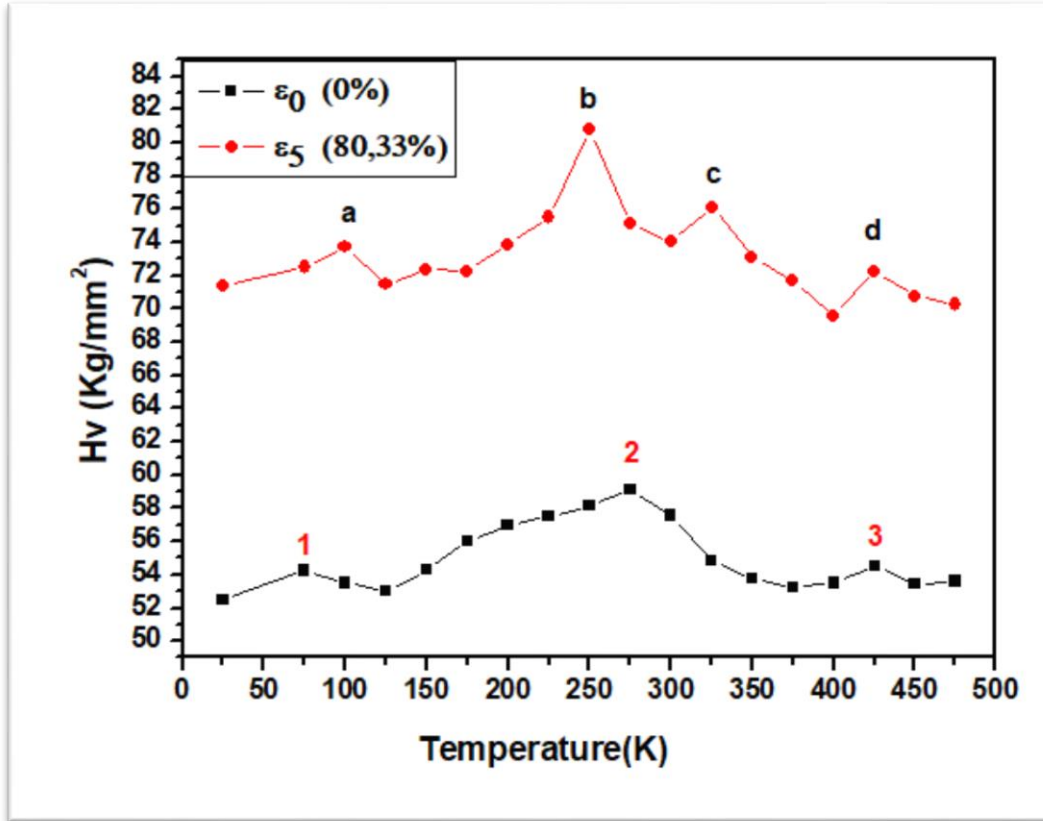
صلادة أعلى من تلك التي معدل تشوهها  $\varepsilon_0=0\%$ . من المنحنيين نلاحظ أيضا وجود ثلاثة قمم في السبيكة الغير مدرفلة و أربعة قمم في السبيكة المدرفلة بمعدل تشوه  $\varepsilon_5=80,33\%$ . هذه القمم تدل على:

✓ بالنسبة للسبيكة الغير مدرفلة  $\varepsilon_0=0\%$ ، القمة 1 تدل على تكون المناطق GP أما في ما يخص القمة 2 فهي تدل على تكون الطورين الغير مستقرين  $\beta'$  و  $\beta''$ . القمة الأخيرة 3 تدل على تكون الطور المستقر  $\beta$  ( $Mg_2Si$ ).

✓ بالنسبة للسبيكة المدرفلة بمعدل تشوه  $\varepsilon_5=80,33\%$ ، القمة a تدل على تكون المناطق GP أما في ما يخص القمة b فهي تدل على تكون الطور الصلب  $\beta''$  بينما القمة c فهي تدل على تشكل الطور الغير مستقر  $\beta'$ . القمة الأخيرة d تدل على تكون الطور المستقر  $\beta$  ( $Mg_2Si$ ).

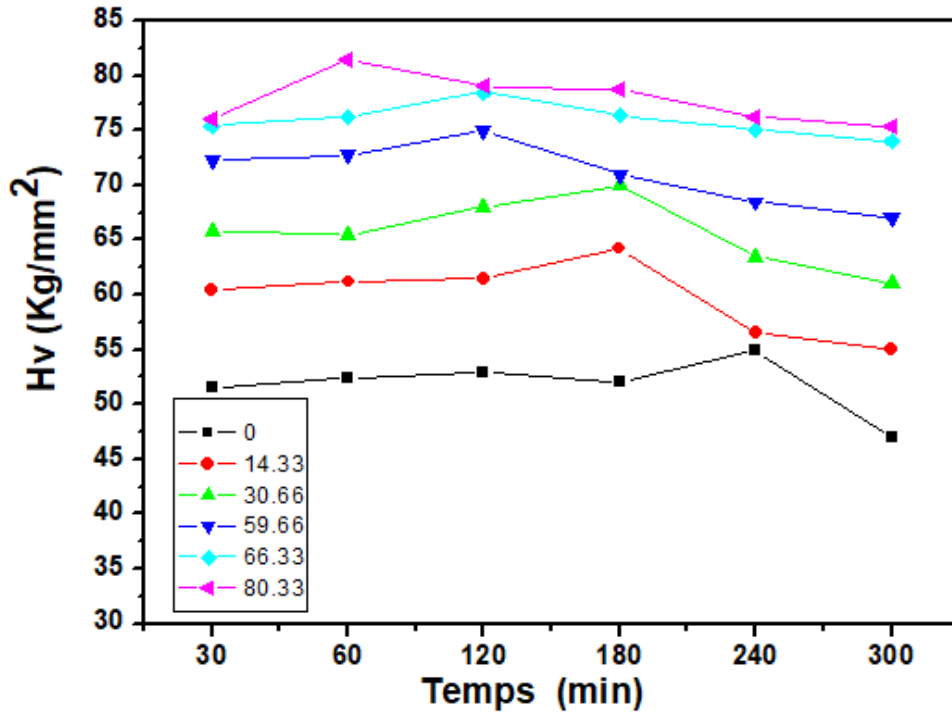
نلاحظ أن القمة التي دلت على تكون الطورين الغير مستقرين  $\beta'$  و  $\beta''$  في السبيكة الغير مدرفلة أظهرت وجود قمتين في السبيكة المدرفلة بمعدل تشوه  $\varepsilon_5=80,33\%$ ، كل منها يدل على تشكل وتكون الطورين الغير مستقرين  $\beta'$  و  $\beta''$ . وهذا يدل على أن عملية التشوه على البارد ساهمت في عملية تسريع الترسيبات والتي بدورها تسرع من مراحل تكون الأطوار. هذه النتيجة في إتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [12,25,39,40,41].





الشكل 3.VI : تغير الصلادة بدلالة درجات الحرارة لسبيكة مدرفلة على البارد 0% و 80.33%.

نتائج إختبار الصلادة التي تم الحصول عليها بدلالة زمن التعقيم الإصطناعي عند 150 درجة مئوية لسبيكة Al-Mg-Si مدرفلة على البارد بمعدلات تشوه مختلفة مبينة في (الشكل 4.VI). نلاحظ أن الصلادة تزداد بازدياد معدل التشوه. نلاحظ أيضا أن الصلادة في كل معدلات التشوه المختلفة تزداد تدريجيا حتى تصل إلى أقصى قيمة لها ( $HV_{max}$ ) والتي تدل على تشكل الطور الصلب والغير مستقر  $\beta''$ ، ثم تبدأ بالإنخفاض تدريجيا، ويمكن ملاحظة أيضا أن زمن التعقيم لتشكل وتكون الطور الصلب والغير مستقر  $\beta''$  يقل كلما زاد معدل التشوه، وهذا راجع إلى تأثير التشوه البارد في تسريع تكون وتشكل الأطوار. هذه النتيجة في إتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [25,36,41,42].



الشكل 4.VI: تغير الصلادة بدلالة زمن التعقيم الاصطناعي 150 درجة الحرارة.

# الخلاصة

---

## خاتمة

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة تأثير التشوه البارد باستعمال الدرفلة على خصائص البنية المجهرية لسبائك الألمنيوم السلسلة Al-Mg-Si 6000، وكذلك تأثير المعالجات الحرارية على الصلادة (HV). لهذا الغرض استخدمنا عدة تقنيات تجريبية لدراسة و تحديد ترسيب و تطور البنية المجهرية للسبيكة بدلالة معدل التشوه كالمجهر الإلكتروني الماسح MEB و قياس صلادة فيكرز، وكانت النتائج الرئيسية لهذه الدراسة كما يلي:

- الدرفلة على البارد أدت إلى تشكيل البنية المجهرية النسيجية وسرعت في تكوين الأطوار و الرواسب.

- الإنتشار القوي للشوائب داخل الانخلاعات يساعد على نمو وتراكم الرواسب التي يزداد حجمها تدريجيا مع زيادة معدل التشوه وهذا يساهم في زيادة صلادة السبيكة.

- مراحل الترسيبات في السبيكة المدروسة هي كالتالي :

سبيكة مدرفلة على البارد بمعدل تشوه  $\epsilon_0=0\%$  :

(sss)  $\rightarrow$  zones (GP)  $\rightarrow$  ( $\beta''$ ,  $\beta'$ )  $\rightarrow$   $\beta$ (Mg<sub>2</sub>Si)

سبيكة مدرفلة على البارد بمعدل تشوه  $\epsilon_5=80,33\%$  :

(sss)  $\rightarrow$  zones (GP)  $\rightarrow$  ( $\beta''$ )  $\rightarrow$  ( $\beta'$ )  $\rightarrow$   $\beta$ (Mg<sub>2</sub>Si)

# المراجع

---

## المراجع

- [1] M.Ouakal, S.Redjem, Mémoire de Master , Mohamed Boudiaf Université de m'sila, (2020).
- [2] L. Boudaoud, Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,(2015).
- [3] John E. Hatch (éd.), Aluminum - Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1984, 84–115.
- [4] L.F.Mondolfo, Aluminium Alloys, structures and proprietes , Butterworth ,1st edition, London 1976.
- [5] M. Bayarassou, M. ZIDANI, H. Farh, diffusion foundations, 18, (2018), 73-78.
- [6] F. Baira, M. Zidani, H. Farh, S. Messaoudi, T. Ziar, A.L. Helbert, T. Baudin, International Journal of Engineering Research in Africa, 1663-4144, 31, (2017), 20-28.
- [7] M. Zidani, L. Bessais, H. Farh, M.D. Hadid, S. Messaoudi, D. Miroud, M.K. Loudjani, A.L. Helbert, T. Baudin, teel and Composite Structures, 22, 4 (2016) 745-752.
- [8] M. Zidani, M.D. Hadid, T. Djimaoui, S. Messaoudi, L.Bessais, D. Miroud, H. Farh, M. H .Mathon, T.Baudin, International Journal of Engineering Research in Africa, 1663-4144, 24, (2016), 9-16.
- [9] W. Touaitia, Mémoire de master, Université Larbi Tébessi-Tébessa, (2019).
- [10] Elena DIN-STIRBU, thèse de doctorat Université de Pitesti Roumanie. (2005).
- [11] L. Bessais, Thèse Doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérien (2017).
- [12] H.Nemour ; Thèse de Doctorat; Universite Badji mokhtar- Annaba ; (2017).
- [13] D. Duprat, Calcul de fatigue, BM5052 v1, techniques de l'ingénieur, (1997).
- [14] H. Farh, Thèse doctorat, Université Larbi Ben m'hidi,Oum el bouaghi (2012).
- [15] حديدان نور الهدى، طاهر دنيا زاد، مذكرة الماستر بجامعة العربي التبسي، تبسة، (2018)
- [16] H.Farh, R. Guemini. Appl. Phys. A 119 (2015) 285–289.
- [17] 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.
- [18] H. Filali , Mémoire de master , Universite Constantine 1 .
- [19] Carole Levrau ,Thèse de doctorat, Ecole des mines de paris . (2006)

- [20] R. Desgagnés, M. R. Langevin, Guide D'auto Apprentissage pour les opérateurs en traitement thermique. 77 (sep 2015).
- [21] A.Saidi &AM.Dhairi , Mémoire de master, Mohamed Boudiaf Université de m'sila ; (2020) .
- [22] S. Vyazovkin, D. Dollimore, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 36 p42-55(1996)
- [23] V. Garric, Thèse doctorat, Université Grenoble Alpes Université Grenoble Alpes, (2016).
- [24] A.I.Morley, M.W.Zandbergen, A.Cerezo, G.D.W.Smith, Materials Science Forum., 519-521, (2006), p 543.
- [25] H. Farh, H. Belghit, T. Ziar, A. Noua, F. Serradj, Diffusion Foundations, 18, (2018), 14-18.
- [26] H. Belghit, H. Farh, T. Ziar, M. Zidani, M. Guemini, Arch. Metall. Mater. 63 (2018), 4, 1643-1648.
- [27] F. Montheillet, Métallurgie en mise en forme à froid M3030 v1, Généralités, métalliques, techniques del'ingénieur, (2008).
- [28] م.علي إبراهيم الموسوي، المعهد التقني – بابل، قسم المكائن والمعدات
- [29] Frank Montheillet, Métallurgie en mise en forme à chaud M3031 v1, Généralités, métalliques, techniques del'ingénieur, (2009).
- [30] M. Chenafi, mémoire de master, Université de Beskra (2014).
- [31] Simonnet, G. Tréfilage de l'acier M645. Instruite des matériaux, métalliques, techniques del'ingénieur. (1996)
- [32] حارث جبار، مبادئ عمليات تشكيل المعادن
- [33] I. Bengacem, mémoire de master, Université Badji mokhtar- Annaba, (2018)
- [34] R. Charpigny, R. Nossent, Mise en forme de l'aluminium - Tréfilage et étirage M652 v1, Tréfilage, techniques del'ingénieur, (1997).
- [35] مناصرية لبنى، شعباتي أميرة، مذكرة الماستر بجامعة العربي التبسي، تبسة، (2018)
- [36] H. Belghit, Thèse doctorat, Université Larbi Ben m'hidi, Oum el bouaghi, (2020).
- [37] H. Farh, T. Ziar, H. Belghit, M. Khechba, A. Noua, F. Serradj, Defect and Diffusion Forum, 397, (2019), 51-58.
- [38] M. Bayarassou, M. Zidani, H. Farh, International Journal of Engineering Research in Africa, 36, (2018), 60-68.

- [39] A. Noua, M. Guemini, T. Ziar, H. Farh, R. Guemini, *Acta Metallurgica Slovaca*, 26, (2020),95-99.
- [40] A.Hayoune, *Defect and Diffusion Forum*, 367 (2016)103-109.
- [41] H. Farh, R. Guemini, F. Serradj, K. Djemmal, *Turkish Journal of Physics*, Vol. 34 (2010) 117-122.
- [42] H. Farh, K. Djemmal, R. Guemini, F. Serradj. *Sciences des Matériaux*, Vol. 35, No. 5 (2011) 283-289.