

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة والحياة
الميدان: علوم المادة
الشعبة: فيزياء
الاختصاص: فيزياء المواد



الموضوع

تأثير عملية السحب على الخصائص الميكانيكية و الكهربائية لسلك من سبيكة الألمنيوم
Al-Mg-Si

مقدمة من طرف:

حديان نورالهدى

طاهر دنيا زاد

أمام لجنة المناقشة:

رئيس اللجنة	أستاذ تعليم عالي	جامعة العربي التبسي-تبسة	بن خذير محمد لطفى
مؤطر	أستاذ محاضر (أ)	جامعة العربي التبسي-تبسة	فرح هشام
ممتحن	أستاذ محاضر (ب)	جامعة العربي التبسي-تبسة	زواي سهيلة

تاريخ المناقشة: 2018/05/26



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر و تقدير

الشكر الأول و الأخير لله سبحانه و تعالى الذي أتانا من العلم ما لم نعلم ، و منحنا الصبر و العقل لتمام هذا العمل .

اعترافا بالود و حفظا للجميل و تقديرا للامتنان ، اتقدم بجزيل الشكر و بأسمى عبارات التقدير و الاحترام للدكتور فرح هشام ، و ذلك على ما قام به من جهد مشكور و مأجور عليه إن شاء الله تعالى ، داعية الله أن يبلغه منازل الشهداء و مراتب السعداء و مرافقة الأنبياء .

كما أتقدم بأسمى عبارات الشكر إلى أستاذ بن خذير محمد لطفي على تقبله ترؤس لجنة المناقشة. كما أتقدم بالشكر إلى الأستاذة زواي سهيلة على موافقتها المشاركة كعضو ممتحن في لجنة المناقشة.

كما لا ننسى تقديم الشكر إلى كل من ساهم في انجاز هذا البحث من قريب أو بعيد.

الإهداء

إلى ربي قريبا

إلى النبي صلاة الله و سلاما عليه حبا

إلى من كلله الله بالهيبة و الوقار ... إلى من احمل اسمه بكل افتخار ... أرجو من الله أن يمد

في عمرك

والذي العزيز

إلى ملاكي في الحياة ... إلى معنى الحب و إلى معنى الحنان و التفاني ... إلى بسمه الحياة

وسر الوجود ... إلى اغلى الحبايب

أمي الحبيبة

إلى أخواتي و رفيقاتي دربي في هذه الحياة ، معكن أكون أنا و بدونكن لا أكون ، إليكن يا شمعة تنير ظلمة حياتي: أسماء، ريمة، أمال و آية .

إلى بهجة البيت و سرورها: فرح و نجم الدين .

إلى كل عائلة حديدان و عائلة دريد صغيرا و كبيرا .

إلى كل من كانوا معي على الطريق النجاح و الخير، إلى كل من دعمني من قريب أو بعيد،

إلى كل من حملهم قلبي و لم تحملهم ورقتي.

و في الختام احلى سلام لكل من كان له مكان في قلب نور الهدى .

نور الهدى حديدان

الإهداء

إلى ربي قربا

إلى النبي صلاة الله و سلاما عليه حبا

إلى من كلله الله بالهيبة و الوقار ... إلى من احمل اسمه بكل افتخار ... أرجو من الله أن يمد

في عمرك

والذي العزيز

إلى ملاكي في الحياة ... إلى معنى الحب و إلى معنى الحنان و التفاني ... إلى بسملة الحياة

وسر الوجود ... إلى اغلى الحبايب

أمي الحبيبة

إلى أخوتي الأحباء :علاء الدين، حاتم و إلى أخي الصغير: أحمد الذي أتمنى له كل التوفيق
و النجاح في البكالوريا .

إلى أختي التي لم تلدها أمي : كوثر.

إلى جدتي العزيزة زبيدة و خالي العزيز حمزة.

إلى رفيق دربي و شريك حياتي زوجي العزيز محمد حبيب حفظك الله و حماك .

إلى كل عائلة طاهر وعائلة زغبى صغيرا و كبيرا.

إلى كل من كانوا معي على الطريق النجاح و الخير، إلى كل من دعمني من قريب أو بعيد،

إلى كل من حملهم قلبي و لم تحملهم ورقتي.

و في الختام احلى سلام لكل من كان له مكان في قلب دنيا زاد.

دنيا زاد طاهر

الفهرس

1	.....	مدخل عام	
		الفصل الأول: الإطار النظري و الدراسات المرجعية	
		الجزء الأول: عموميات حول الألمنيوم و سبائكه	
2	.....	مقدمة	1.I
2	.....	خصائص الألمنيوم	2.I
3	.....	استخلاص الألمنيوم	3.I
3	.....	سبائك الألمنيوم	4.I
4	.....	تعريف السبيكة	1.4.I
4	.....	سلاسل سبائك الألمنيوم	2.4.I
6	.....	السبيكة 6000	3.4.I
6	.....	المعالجة الحرارية لسبائك الألمنيوم	4.4.I
7	.....	أنواع المعالجة الحرارية	1.4.4.I
8	.....	الترسبات في السبيكة 6000	5.4.I
8	.....	تأثير الإضافة في السبيكة 6000	5.I
8	.....	تأثير النحاس في السبيكة 6000	1.5.I
9	.....	تأثير المغنيزيوم في السبيكة 6000	2. 5.I
10	.....	عمليات تشكيل المعادن	6.I
10	.....	عملية الحدادة	1.6.I
10	.....	عملية الكبس	2.6.I
11	.....	عملية الغزل	3.6.I
11	.....	عملية الدرفلة	4.6.I
11	.....	عملية السحب	5.6.I
		الجزء الثاني: العملية التقنية لسحب الألمنيوم	
12	.....	مقدمة	1.I
13	.....	أدوات السحب الصناعي	2.I
14	.....	زيوت التشحيم	3.I
15	.....	تصنيف الأسلاك	4.I
15	.....	آلة السحب	5.I
15	.....	آلات متعددة	6.I
		الفصل الثاني: الطرق التجريبية و الأجهزة المستعملة	
17	.....	مقدمة	1.II
17	.....	اختيار المادة المدروسة	2.II
18	.....	المعالجة الحرارية	3.II
19	.....	تحضير العينات	4.II
19	.....	الصقل	1.4.II

19	.....	التنميش الكيميائي	2.4.II
20	.....	الطرق التجريبية	5.II
20	.....	المجهر الضوئي	1.5.II
21	.....	اختبار الصلادة	2.5.II
21	.....	اختبار برينل	1.2.5.II
22	.....	اختبار ركوال	2.2.5.II
22	.....	اختبار فيكرز	3.2.5.II
24	.....	التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية	3.5.II
25	.....	التحليل بواسطة الماسح التفاضلي الكالوريميتر	4.5.II
27	.....	قياس المقاومة	5.5.II
الفصل الثالث: النتائج و مناقشتها			
28	.....	الدراسة باستعمال المجهر الضوئي	1.III
28	.....	اختبار الصلادة	2.III
31	.....	المقاومة النوعية	3.III
32	.....	التحليل بواسطة الأشعة السينية	4.III
35	.....	الخاتمة العامة	
36	.....	المراجع	
38	.....	الملحق	

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
03	يوضح طريقة استخلاص الألمنيوم من خاماته	الشكل 1.I
05	يوضح التسمية للسبائك الألمنيوم	الشكل 2.I
08	بيان الاتزان لسبيكة Al-Cu	الشكل 3.I
08	بيان الاتزان لسبيكة Al -Mg	الشكل 4.I
12	مبدأ سحب الأسلاك	الشكل 5.I
13	آلة سحب الألمنيوم (ENICAB بسكرة)	الشكل 6.I
14	صندوق الصابون (ENICAB بسكرة)	الشكل 7.I
18	مختلف عمليات سحب سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si (ENICAB بسكرة)	الشكل 8.II
19	فرن المعالجة الحرارية نابيرثرم NABERTHERM	الشكل 9.II
20	الأوراق القاشطة	الشكل 10.II
20	الملمع الميكانيكي	الشكل 11.II
21	مجهر ضوئي نوع EUROMEX	الشكل 12.II
22	أداة اختبار برينل	الشكل 13.II
22	أداة اختبار ركوال	الشكل 14.II
23	أداة اختبار فيكرز	الشكل 15.II
23	أداة فيكرز للصلادة (وضعية الاختبار و شكل الأثر)	الشكل 16.II
24	جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع AFFRI	الشكل 17.II
25	حيود براج	الشكل 18.II
25	جهاز انعراج الأشعة السينية نوع PAN ay tical X' Pert PRO	الشكل 19.II
26	جهاز (SETARAM DSC- 131) (مختبر اعداد وتحليل المواد بجامعة عنابة)	الشكل 20.II
27	تجهيز آلة ريزيستوما نوع بروستر (ENICAB – Biskra)2303	الشكل 21.II
29	يمثل البنية المجهرية لعينات من سلك كهربائي من الألمنيوم لمختلف معدلات التشوه	الشكل 22.III

30	يمثل تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه	الشكل 23.III
31	يمثل تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه لعينات من سبيكة الألمنيوم الغير معالجة والمعالجة حراريا عند 550 درجة مئوية لمدة ساعة	الشكل 24.III
32	يمثل تغير المقاومة النوعية بدلالة معدل التشوه بالسحب	الشكل 25.III
33	يمثل أطيف حيود الأشعة السينية لعينتي سلكين من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si	الشكل 26.III

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
15	تصنيف الأسلاك حسب أقطارها	الجدول 1.I
17	مختلف معدلات التشوه (ϵ) لأسلاك الألمنيوم	الجدول 2.II
18	التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si	الجدول 3.II
29	نتائج اختبار الصلادة	الجدول 4.III

مدخل عام

مدخل عام

منذ فصل الألمنيوم من خاماته و تحديد خصائصه في منتصف القرن التاسع عشر لم يكن للعلماء أي شك في أن هذا المعدن سيكون له قيمة في المستقبل، و فعلا أصبح الألمنيوم من أهم المعادن المستخدمة بشكل واسع في مختلف القطاعات كالنقل، الصناعة، الاتصالات و كذلك التطبيقات المنزلية و العسكرية . كما أن وتيرة استخدامه تزداد حاليا أكثر من أي معدن آخر.

في منتصف القرن التاسع عشر أصبح الألمنيوم من بين المعادن النفيسة و ذو قيمة أكبر من الذهب و الفضة لأن إنتاجه كان مكلفا و محدودا بالرغم من خصائصه الميكانيكية الضعيفة . لهذا يتم إضافة عناصر اخرى كالنحاس و المغنيزيوم و السيليسيوم... إلخ لتحسين هذه الخصائص و نتحصل على ما يعرف بسبائك الألمنيوم .

خلال هذا العمل تم دراسة تأثير عملية السحب على الخصائص الميكانيكية و الكهربائية لسلك من سبيكة الألمنيوم السلسلة 6000 . حيث تم توفير المواد المدروسة من قبل شركة MIDAL CABLES (البحرين) ، وهي عبارة عن أسلاك من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si (سلسلة 6000). حيث تقوم شركة صناعة الأسلاك الكهربائية ENICAB (بسكرة) باسترادها على شكل أسلاك ذات قطر 9.5mm، هذه الأسلاك تستعمل على نطاق واسع خاصة الخطوط ذات التوترات العالية.

ينقسم هذا العمل الي ثلاثة فصول :

- ✚ الفصل الأول يهتم بالإطار النظري و الدراسات السابقة حيث خصص الجزء الأول منه للمعلومات العامة حول الألمنيوم و سبائكه و الجزء الثاني حول آلية سحب الألمنيوم .
- ✚ الفصل الثاني يتطرق إلى مختلف التقنيات المستعملة لإنجاز هذا العمل.
- ✚ الفصل الثالث يقوم بعرض النتائج المتحصل عليها و مناقشتها .

و في النهاية هذه المذكرة تنتهي بخاتمة عامة .

الفصل الأول :

الإطار النظري و الدراسات المرجعية

الجزء الأول :

عموميات حول الألمنيوم و سبائكه

1.I. مقدمة :**تاريخ الألمنيوم ووجوده في الطبيعة:**

ترجع أصل تسمية الألمنيوم إلى الكلمة اليونانية *Alumen* و قد اكتشف عام 1828 م بواسطة العالم هانز كريستيان أورستيد و ظل حتى نهاية القرن التاسع عشر معدن غريب غالي يستخدم لصناعة الحلي. بالرغم من أنه أكثر المعادن و ثالث العناصر شيوعا في القشرة الأرضية بعد الأكسجين و السيليسيوم إذ يدخل في تكوين معظم أنواع الصخور إلا أنه لم يبدأ استخدامه على نطاق واسع إلا بعد مطلع القرن العشرين، بعد أن تبين أن سبكه مع مواد أخرى يحسن من خصائصه الميكانيكية حيث أصبح الألمنيوم المعدن الذي يحتل المركز الثاني بعد الحديد من حيث الاستخدامات [1]. و هذا راجع إلى الخصائص الجيدة التي يتمتع بها الألمنيوم والمطلوبة في كثير من الصناعات.

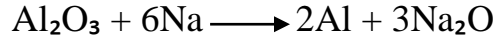
يوجد الألمنيوم في الطبيعة على عدة أشكال أهمها سيليكات الألمنيوم $Al_2(SiO_3)_3$ و البوكسيت $Al_2O_3.XH_2O$ و الكريوليت Na_3AlF_6 .

2. I خصائص الألمنيوم:

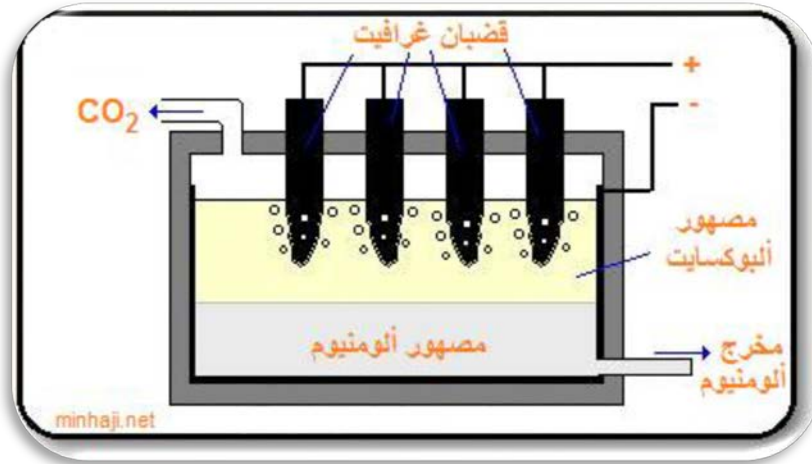
- أ. مظهر لامع جذاب
- ب. كتلته الحجمية 2.69 g.cm^{-3} مقارنة بـ 7.87 g.cm^{-3} للحديد و 8.96 g.cm^{-3} للنحاس [2].
- ج. درجة حرارة انصهاره منخفضة: 660°C مقارنة بـ 1540°C للحديد و 1080°C للنحاس.
- د. ناقل جيد للكهرباء حيث يحتل المرتبة الرابعة بعد كل من الذهب والنحاس والفضة [3].
- هـ. ناقل جيد للحرارة مما جعله مناسب للاستخدام في آلات الاحتراق الداخلي (المكابس).
- و. مقاوم جيد للتآكل نتيجة لتكوين طبقة سطحية واقية من الألمين [4].
- ز. معدن مطيلته عالية أي قابل لعمليات السحب بسهولة.

3.I. استخلاص الألمنيوم:

كان الألمنيوم حتى عام 1866م يحضر بإختزال الأكسيد بالصوديوم.



و نظرا لارتفاع تكاليف الصوديوم و خطورة استخدامه، كان لابد من ايجاد طريقة أقل خطرا. ففي عام 1886م توصل كلا من بول هيروليت و شارل هول إلى استخلاص الألمنيوم بالتحليل الكهربائي للبوكسيت $(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$ النقي في مصهور الكريوليت Na_3AlF_6 عند درجة حرارة 1000 درجة مئوية . حيث يستخدم وعاء من الحديد الصلب مبطن بالغرافيت قطبا سالبا بينما يكون القطب الموجب من قضبان كبيرة من الغرافيت تتدلى داخل مصهور $(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_3\text{AlF}_6)$ و يتكون الألمنيوم النقي على القطب السالب و يهبط إلى أسفل الإناء و يسحب من مخرج خاص .



شكل 1.I : يوضح طريقة استخلاص الألمنيوم من خامات

4.I. سبائك الألمنيوم:

يعد الألمنيوم وسبائكه من أهم المواد التي لها استخدامات صناعية واسعة النطاق وهذه الاستخدامات تزداد مع مرور الوقت بصورة كبيرة وذلك للحاجة الملحة إلي منتجات ذات خواص تلائم متطلبات التقدم التكنولوجي. و نظرا لارتفاع أسعار المعادن و السبائك الأخرى المستخدمة في الصناعات المعدنية و الهندسية اتجه معظم الباحثين نحو البحث عن مواد لها خواص تؤهلها للاستخدام في المجالات التطبيقية المختلفة فكانت سبائك الألمنيوم

كبدل عن معظم المواد و ذلك لما تتمتع به من خواص من حيث خفة الوزن و درجة انصهار منخفضة و خواص ميكانيكية مختلفة.

I. 4. 1. تعريف السبيكة :

السبيكة هي عبارة عن مزيج أو خليط من معدنين أو أكثر تم صهرهما معا من ثم تمت عملية تجميد المصهور. يطلق على العنصر الأساسي في السبيكة اسم العنصر المذيب و يكون تركيز هذا العنصر هو الأكبر في السبيكة و تعرف هذه السبيكة باسم ذلك العنصر فعلى سبيل المثال: إذا كانت نسبة الألمنيوم هي الأكبر فتكون هذه السبيكة سبيكة الألمنيوم و يعرف العنصر الأقل تركيزا باسم العنصر المذاب أو تعرف باسم العناصر السبائكية . تتواجد عناصر السبك في الألمنيوم على نوعين:

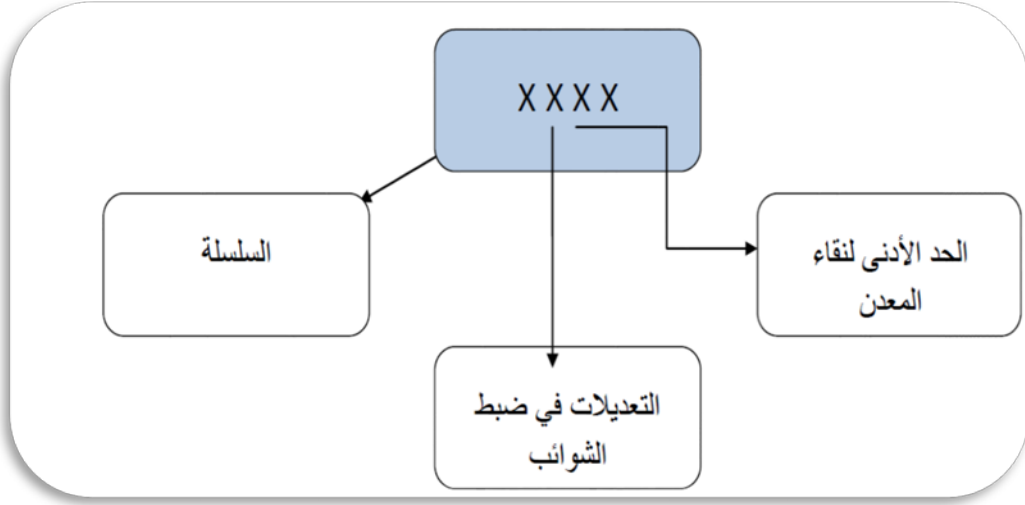
- عناصر متواجدة بكميات ضئيلة ولا مفر من وجودها في الألمنيوم ولهذا يمكن اعتبارها كشوائب.

- عناصر تضاف بكميات محدودة ومعلومة لإعطاء الألمنيوم خواص معينة وتدعى هذه العناصر بعناصر السبك.

إن هذه العناصر تعمل على تكوين محاليل جامدة مما يؤدي الي حدوث تقوية للألمنيوم و عند المعالجة الحرارية لهذه السبائك تترسب أطوار أخرى إضافة إلي المحلول الجامد مما يؤدي إلى زيادة مقاومة هذه السبائك .

I. 4. 2. سلاسل سبائك الألمنيوم:

يستعمل لتعيين سبائك الألمنيوم نظام للتسمية وهو عبارة عن رمز يتكون من أربعة أرقام وتفسر هذه الأرقام كالتالي:



شكل 2.I : يوضح التسمية لسبائك الألمنيوم

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

5xxx : Mg	1xxx : 99.00% Al
6xxx : (Mg + Si)	2xxx : Cu
7xxx : Zn	3xxx : Mn
8xxx : (Others)	4xxx : Si

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

الرقمان الثالث و الرابع: بالنسبة لسبائك السلسلة 1 يعينان الرقميين التاليين لنقطة الكسر العشري مثلا 1050 سبيكة انابيب تحتوي على 99.50 من الألمنيوم كحد أدنى , و 1199 سبيكة رقيقة تحتوي على 99.99 من الألمنيوم كحد أدنى .

و تنقسم سبائك الالمنيوم الي قسمين أساسيين :

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

3.4.1. السبيكة 6000 :

تحتوي على إضافات من السيليسيوم والمغنيسيوم تصل إلى 1,7 % و 1,2 % على التوالي. تستخدم على نطاق واسع في جميع المجالات بكل الأشكال والأحجام. وتستخدم سبائك (Cu) Al-Mg-Si على نطاق واسع كسبائك متوسطة الصلادة التي تجمع بين المزايا التالية : لها قابلية لحام جيدة مقارنة بسبائك الألمنيوم الأخرى وكذا مقاومتها للتآكل كبيرة [5] هذه العائلة من السبائك لديها أهمية صناعية كبيرة فخصائصها الميكانيكية متوسطة وهي أقل من تلك التي في سبائك 2000 و 7000. ويمكن تحسين هذه الخصائص عن طريق إضافة السيليسيوم الذي يشكل مع المغنيسيوم ترسبات الطور الصلب Mg_2Si . وتصنف الي مجموعتين :

- مجموعة تكون تركيباتها غنية بالمغنيسيوم و السيليسيوم مثل السبائك 6061 و 6082 ، والتي تستخدم للتطبيقات الهيكلية (نوافذ، هياكل الطائرات والقطارات ...).
- الفئة الثانية تحتوي على محتوى منخفض من السيليسيوم، وبالتالي سيكون لديها خصائص ميكانيكية منخفضة مثل حالة السبيكة 6060 و هي قابلة لعملية الغزل والسحب [6].

4.4.1. المعالجة الحرارية لسبائك الألمنيوم :

يقصد بالمعالجة الحرارية التسخين إلى درجات حرارة معينة وفقا للهدف النهائي للمعالجة الحرارية، ثم التبريد بمعدل يتحكم به و تهدف المعالجة الحرارية الي رفع المقاومة الميكانيكية للمادة و زيادة قساوتها .

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 .

1.4.4.I: أنواع المعالجات الحرارية :

1. معالجات التجانس :

الهدف منها هو الحفاظ على المنتجات (في الحالة الخام أو بعد التشوه) لفترة طويلة عند درجة حرارة عالية نسبياً ، من أجل تسهيل التحولات اللاحقة لها (الغزل ، الدرفلة ، التصنيع ، إلخ). كما يمكنها أيضاً تقليل الترسبات المتحصل عليها أثناء عملية الترسيب. وتستند معاملات التجانس على مدة ودرجة حرارة المعالجات الحرارية ، التي تعتمد بشكل عام على كثافة الأجزاء وتكوين السبائك تتراوح درجة حرارة التجانس في معظم الأحيان من 450 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية للألمنيوم . و 450 درجة مئوية إلى 590 درجة مئوية لسبائك الألمنيوم . [12]

2 . التلدين :

تهدف هذه المعالجة الي تلدين السبائك التي تم تصلدها بفعل عمليات التشكيل أو بفعل عملية التبريد السريع جدا (السقاية) . من بين هذا النوع من المعالجة نذكر على سبيل المثال المعالجة لإعادة الهيكلة (الترميم) و التي تستعمل في حالة تعرض المعدن الي التشوه أثناء عملية تشكيله (السحب, الدرفلة) . هذه المعالجة الحرارية تتمثل في تسخين المعدن لفترات زمنية طويلة تحت درجات حرارة مرتفعة بغرض تلدين السبيكة و خاصة السبائك التي تحتوي على الترسبات بشكل كبير.

3 . التصلد البنيوي :

هذا النوع من المعالجات يتضمن ثلاثة مراحل :

✚ المعالجة الحرارية للمعدن تحت درجات حرارة مرتفعة نسبياً كالمعالجة بالتجانس أو التلدين .

✚ التبريد السريع جدا لهذا المعدن ما يعرف بالسقاية من أجل الحفاظ على الحالة البنيوية المتحصل عليها من عملية التجانس .

✚ التعقيم و يوجد نوعان من هذه المعالجة :

- التعقيم الطبيعي : السبائك المعالجة حرارياً تتغير خصائصها الميكانيكية عند تواجدها في درجة حرارة الغرفة لمدة تتعدى بضع ايام و قد تصل الي بضع سنوات هذا ما يعرف بالتعقيم الطبيعي .

بعض سبائك الألمنيوم السلسلة 6000 تصل صلابتها الي القيمة العظمى بعد شهر من تعقيقتها , التعقيم الطبيعي هدفه الرئيسي هو رفع من الصلادة .

- التعقيم الاصطناعي : يتمثل في التسخين إلي درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة خلال مدة زمنية حسب الغرض المطلوب .

في حالة سبائك الالمنيوم Al-Mg-Si تتغير درجة حرارة التعقيم الاصطناعي ما بين 100°C إلى 240°C .

I.4.4.2: الترسيبات في السبيكة 6000 :

الغرض من المعالجة الحرارية (عملية التصلد البنيوي) هو زيادة الخصائص الميكانيكية لسبيكة 6000 عن طريق تشكيل رواسب اثناء عملية التبريد , و تظهر هذه الرواسب على شكل أطوار شبه مستقرة β' و β'' و أطوار مستقرة من رواسب β - Mg_2Si .

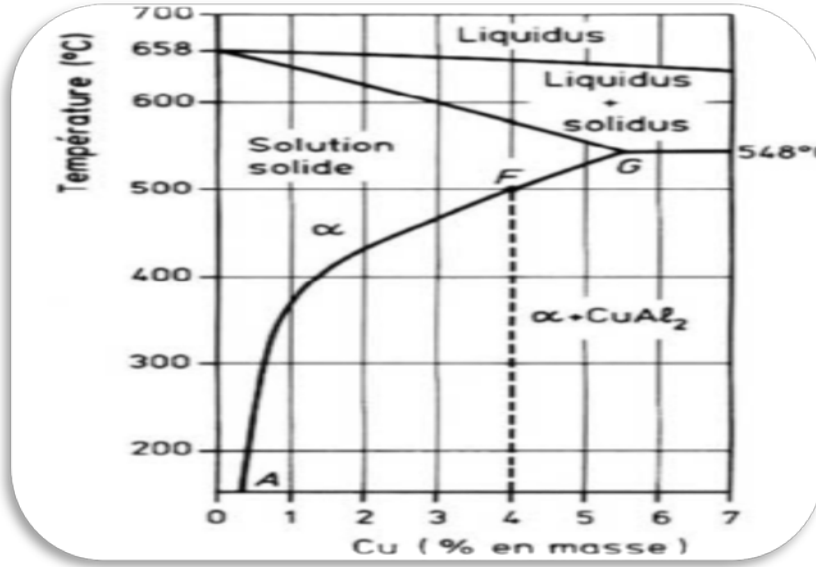
- GP: مناطق غير بريستون تظهر على شكل كرات و بنيتها غير معروف
- β'' : وهي عبارة عن إبر ممتدة على طول الاتجاه $\langle 100 \rangle$
- β' : تترسب في شكل قضبان ممدودة على طول الاتجاه $\langle 100 \rangle$ في بنية بلورية سداسية
- β (Mg_2Si) : وهي مرحلة توازن تظهر على شكل صفائح صغيرة على المستوى $\{100\}$ ذات بنية معكبة ممركرة الواجه (CFC)

I.5. تأثير الإضافة في السبيكة 6000:

I.5.1. تأثير النحاس في السبيكة 6000:

يعد النحاس من أهم العناصر التي تحسن الخصائص الميكانيكية عند اضافته إلى سبائك الالمنيوم كما انه يزيد من صلابتها عندما تخضع الي المعالجة الحرارية. سبائك الالمنيوم الأكثر استخداما على نطاق واسع هي تلك التي تحتوي على 4 إلى 10% من النحاس .

يظهر ذلك في بيان الاتزان لسبيكة الألمنيوم نحاس [7,8]. Al-Cu



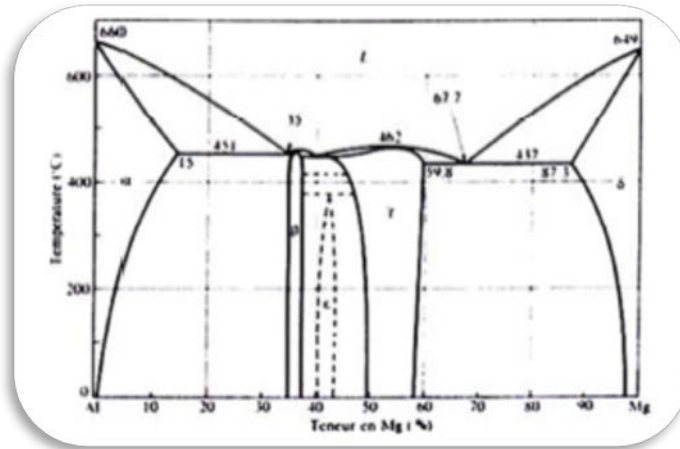
الشكل I.3: بيان الاتزان لسبيكة Al-Cu [11].

1.5.I. تأثير المغنيزيوم في سبيكة 6000 :

ينتمي المغنيزيوم إلى المعادن الخفيفة . ان اضافة حوالي 0.1 % إلى 4.4% منه إلى سبيكة من الألمنيوم يساعد و يحسن من عملية الالتحام كما انه يتواجد على شكل الطور Mg_2Si [8، 9، 10].

تستخدم سبائك المغنيزيوم على نطاق واسع في التطبيقات التي تتطلب مقاومة جيدة للتآكل. تكون نسبة المغنيزيوم عموما بين 4 إلى 10% .

كما هو مبين في بيان الاتزان لسبيكة الألمنيوم مغنيزيوم Al-Mg . تؤدي الزيادة في تركيز المغنيسيوم إلى الزيادة في القوة الميكانيكية وانخفاض في ليونة في حين أن الزيادة في تركيز السيليسيوم له تأثير رئيسي في الحد من الليونة [9، 10] .



الشكل 4 : بيان الاتزان لسبيكة Al-Mg

6.I. عمليات تشكيل المعادن:

تعتبر عمليات تشكيل المعادن من أهم طرق الإنتاج في الصناعات الميكانيكية و تعتبر طريقة تشكيل المعادن بالضغط من أهم طرق التشكيل ، و قد تجرى على الساخن أو على البارد. و تعتمد الطرق المختلفة لتشكيل المعادن بالضغط على خواص لدونتها أي على قدرة المعدن علي تغيير أبعاده و شكله تحت تأثير القوى الخارجية دون أن يتحطم أو يتلف ، مع احتفاظه بالشكل الذي اكتسبه بعد إزالة القوى الخارجية المؤثرة. و عند تشكيل المعادن بالضغط تتغير كذلك خواصها الميكانيكية و بنيتها الداخلية.

عمليات التشكيل هذه متنوعة نذكر منها:

- ✓ عملية الحدادة
- ✓ عملية الكبس
- ✓ عملية الغزل
- ✓ عملية الدرفلة
- ✓ عملية السحب

1.6.I. عملية الحدادة :

الحدادة هي أقدم عمليات التشكيل التي بقيت حتى يومنا هذا. وهي مجموعة من التقنيات للحصول على اجزاء ميكانيكية ، وذلك بتطبيق قوة كبيرة على شريط معدني بارد أو ساخن من أجل الحصول على الشكل المطلوب. تعتمد الحدادة اساسا على جهاز ضرب (كالمطرقة) وجهاز الدعم (كمساند) .

الشيء الأساسي في عملية الحدادة هو درجة حرارة الحدادة التي يجب أن تكون أكبر من

$$T_{F\frac{1}{2}}$$

(T_F = درجة حرارة الانصهار) .

2.6.I. عملية الكبس :

تقوم هذه العملية على مبدأ التشوه البلاستيكي للمواد (عادة المعادن) ، التشوه يكون عبارة عن استطالة في السطح أو العنق للحصول على الشكل المطلوب.

الكبس هو عملية التصنيع المستخدمة على نطاق واسع في صناعة السيارات و في الأجهزة المنزلية، ... الخ . وتطبق عملية الكبس باستخدام طاقة عالية .

3.6.I. عملية الغزل :

تتم عملية الغزل بوضع المعدن الصلب الساخن في أداة تسمى عموما الحاويات وجعله يخرج بواسطة فتحة أصغر من خلال تطبيق قوة دفع.

4.6.I. عملية الدرفلة :

تعتبر الدرفلة إحدى طرق تشكيل المعادن الصناعية. ويعتمد مبدأها على تمرير المعدن على البارد أو الساخن عبر أجسام أسطوانية ثقيلة وذات صلادة عالية (تسمى الدرافيل) وذلك بهدف تقليل سمك الصفائح .

5.6.I. عملية السحب :

السحب هو عملية تشكيل مبدأها يقوم على انخفاض قسم من شريط أو سلك عن طريق السحب الميكانيكي في آلة سحب الأسلاك.

تعتبر عمليات السحب بمختلف أنواعها سواء سحب الأسلاك أو القضبان أو عمليات السحب العميق من أهم عمليات التشكيل اللدن و خصوصا عمليات التشكيل بالسحب العميق، و تعد عمليات سحب الأسلاك و القضبان أبسطها حيث يجري تخفيض القطر بالسحب في قوالب ذات مقاسات أصغر من مقاسات القضبان و الأسلاك و قد تحتاج عملية السحب إلي عدة مراحل لإتمامها كما أن عملية السحب علي البارد تؤدي إلى إحداث تصلد في المادة المشكلة

الجزء الثاني :

العملية التقنية لسحب الألمنيوم

1.I مقدمة :

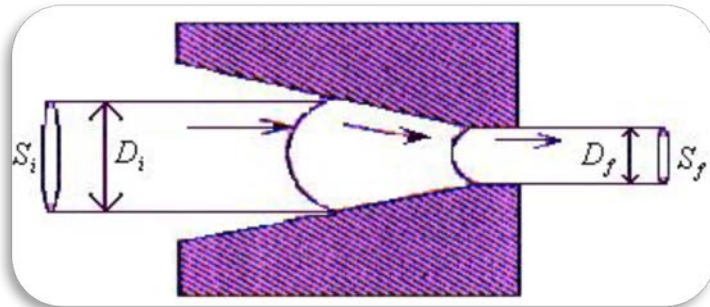
عملية سحب الأسلاك هي تقنية من تقنيات تشكيل المعادن على البارد والتي من خلالها يتقلص مقطع السلك المسحوب عن طريق التشوه اللدن و ذلك بسحبه خلال ثقب معين عن طريق تطبيق قوتين : قوة السحب وقوة الضغط مع وجود زيت التشحيم. يتم تطبيق تقنية السحب على العديد من المعادن والسبائك مثل النحاس و الألمنيوم (الأسلاك الكهربائية) والفولاذ وخاصة الفولاذ الخفيف [13]. يتم الحصول على هذا التشوه عن طريق الإنزلاق وفقاً لمستويات وإتجاهات معينة بفضل انتقال الانخلاعات . بعد التشوه ، تبقى بعض هذه الانخلاعات محصورة داخل الحبيبات. في هذه الحالة ، يمكننا القول ان بنية و خصائص المعدن قد تغيرت .

السحب يجعل المعدن صلب و يقلل من تشوّهاته المستقبلية لهذا من الضروري أن يلدن المعدن لمواصلة السحب على البارد او لإعطاء المنتجات النهائية خصائص كافية من اللدونة . تعتمد هذه التقنية على عدة عوامل : السرعة و حرارة السحب ، شكل آلة السحب و شروط الاحتكاك و خصائص المعدن التي تتحمل التشوه خلال السحب.

على العموم يمكن تحويل الألمنيوم و النحاس إلى أسلاك هذا التحول يغير من خصائصهما بعد عملية التصنيع [14] و هذا يعني :

- حد اللدونة يزداد بسرعة .
 - مقاومتها للتشد تزداد و تؤول الي قيمة حدية .
 - التمدد ينقص بشكل سريع و يزداد بعد ذلك ببطء .
- عملية السحب تتكون من اربع مراحل :

- ✓ تحضير العينة
- ✓ السحب
- ✓ التنظيف
- ✓ المعالجة الحرارية



الشكل 4.I: مبدأ سحب الأسلاك [15]

I.2. أدوات السحب الصناعي :

كما أشرنا سابقا فان مبدأ سحب الأسلاك يعتمد على لدونة المعدن . معدات سحب الأسلاك لديها

ثلاثة عناصر رئيسية [14] :

- ✓ جهاز لتغذية السلك .
- ✓ آلة سحب الأسلاك .
- ✓ جهاز لاستعادة الأسلاك الناتجة .



الشكل I.5 : آلة سحب الألمنيوم (ENICAB بسكرة).

3.1. زيوت التشحيم :

التشوه المفاجئ و المستمر للمعدن في قالب التصنيع يتطلب استخدام مواد التشحيم يمكن القول أن استخدام مواد التشحيم أمر ضروري خلال العملية للحد من الاحتكاك و تجنب ارتفاع درجة الحرارة بسرعة عالية ، و بهذا يطول عمر المعدات المستعملة في التصنيع حيث انها تشكل طبقة رقيقة على سطح الأسلاك وذلك لتجنب أي تفاعل بين المعدن والجهاز والتي يمكن أن تؤدي إلى تدهور حالة السطح .

و بشكل عام يمكننا القول ان دور زيوت التشحيم يكمن في :

✓ اختزال الجهد المستعمل في عملية السحب

✓ ضمان نظام تزييت مستقر و مستمر .

✓ ضمان عدم ظهور تشوهات على السطح .

يجب أن يكون لزيت التشحيم الجيد الخصائص التالية :

✓ اللزوجة الكافية.

✓ مقاومة جيدة للضغط.

✓ مقاومة جيدة لدرجة الحرارة.

✓ استقرار كيميائي جيد مع مرور الوقت .

في حالة سحب الأسلاك الجافة يتم استخدام الصابون المعدني الجاف .



الشكل 7.1 : صندوق الصابون (ENICAB بسكرة).

I. 4. تصنيف الأسلاك :

يمكن تصنيف الأسلاك المعدنية بشكل عام إلى أربع فئات حسب قطرها في الجدول التالي :

[16]

الجدول I.1: تصنيف الأسلاك حسب أقطارها

القطر ب (mm)	التسمية
النحاس 8- الألومنيوم 9.5	سلك قضيب
1.6 إلى 3 . 5	سلك كبير
0.40 إلى 1.63	سلك متوسط
0.10 إلى 0.40	الأسلاك الدقيقة
أقل من 0.10	سلك غاية في الدقة

I. 5. آلة السحب :

هي العنصر الأساسي في عملية السحب و تتكون من جزئين نواة صلبة جدا عموما من الماس او كربيد التنغستن التي تضمن اختزال قطر السلك و حامل من الفولاذ الذي يمسك بالجزء الاول و يحفظه من الضغوط العالية الناتجة من عملية السحب و يتكون من أجزاء :

- ✓ مخروط الدخول يسمح بمرور السلك و نزع الشحوم .
- ✓ مخروط العمل نصف زاوي تتم فيه عملية اختزال السلك بالتشوه التدريجي .
- ✓ حامل أسطواني يقوم بمعايرة قطر السلك .
- ✓ مخروط الخروج لنزع الشحوم .

I. 6. آلات متعددة :

تسمح هذه الآلات بتخفيض قسم كبير من قطر المعدن و ذلك بفضل سلسلة من القنوات . هناك ثلاثة أنواع من الآلات المتعددة [20] :

- ✓ آلات مستمرة أو مباشرة : تعد من أحدث المعدات على نطاق واسع. تعمل بشكل عام بسرعة عالية وبدون انزلاق السلك على لفائف بفضل موازنة جيدة في السرعات . كل الفائف لها سرعتها يسيطر عليها محرك منفصل من أجل ضمان تدفق كتلة مترابطة في جميع القطع .
- ✓ آلات التكديس : لا يوجد توازن تلقائي في السرعات . يتم حساب التمريرات لكل القطع ، مما يؤدي إلى تراكم السلك على لفائف . في هذا الأخير يفضل القيام بعملية تبريد الاسلاك .
- ✓ آلات انزلاقية : وهي مصممة للسحب الرطب لا يوجد تراكمات لانزلاق السلك على الملفات يسمح بتعويض الفارق في السرعات . هذا النوع من الآلات يسمح باختزال السلك من 9,5mm الي 1 او 2mm في عدة مرات .

الفصل الثاني :-

الطرق التجريبية و الأجهزة المستعملة

1.II. مقدمة :

الهدف من هذا الفصل هو التطرق إلى مجموعة التقنيات التجريبية والمعالجات الحرارية التي استخدمت من أجل انجاز هذا العمل. الطرق التجريبية المستخدمة في هذا البحث لتحديد تطور البنية المجهرية بدلالة معدل التشوه وقياس الخصائص الميكانيكية والكهربائية هي : المجهر الضوئي والإلكتروني ، حيود الأشعة السينية ، إختبار الصلادة ، المقاومة الكهربائية.

2.II. إختيار المادة المدروسة :

يتم توفير المواد المدروسة من قبل شركة MIDAL CABLES (البحرين)، فهي عبارة عن أسلاك من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si (سلسلة 6000). حيث تقوم شركة صناعة الأسلاك الكهربائية ENICAB (بسكرة) بإستيرادها على شكل أسلاك ذات قطر 9.5mm . ولتحقيق هذه الدراسة يتم تعريض السلك الأولي لعدة معدلات التشوه (الجدول 02). وتحسب معدلات

$$\varepsilon = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \cdot 100\%$$

حيث :

S_0 : هو المقطع الابتدائي للسلك

S : هو المقطع النهائي للسلك

ε : هو معدل التشوه

الجدول 2.II: مختلف معدلات التشوه (ε) لأسلاك الألمنيوم.

قطر السلك (mm)	ε معدل التشوه (%)
السلك الأولي	0
السحب 1	21,26
السحب 2	68,99
السحب 3	86,81



الشكل 8.II : مختلف عمليات سحب سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si (ENICAB بسكرة)

الجدول 3.II : يبين التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si [1]

Zn	V	Pb	Fe	Cu	Si	Mg	Al(97,34
0,08	0,05	0,20	0,21	0,27	0,51	1,34	%)

3.II. المعالجات الحرارية :

تم إجراء المعالجات الحرارية في فرن من نوع نابيرثرم NABERTHERM (الشكل 09). خضعت السبائك للمعالجات الحرارية بمعدل تسخين قدره $5^{\circ}\text{C}/\text{دقيقة}$. تم اختيار هذا المعدل البطيء في ارتفاع درجة الحرارة لجعل العناصر المضافة أكثر انحلال في المصفوفة الأم. خضعت عينات السبيكة المدروسة (السلك الأولي : $\epsilon_1 = 21,66\%$, $\epsilon_2 = 68,99\%$) إلى عملية التجانس الحراري عند درجة حرارة 550°C لمدة ساعة ، ثم تم تبريدها تبريدا سريعا بواسطة الماء .



الشكل II.9: فرن لمعالجات الحرارية نابيرثرم NABERTHERM

II.4.4. تحضير العينات :

تقطع العينات على شكل مقاطع طولية طولها 1.5 سم. يتم القطع ببطء بواسطة منشار حديدي يدوي وتحت تدفق الماء البارد لتجنب التصليد الانفعالي للعينات.

II.1.4. الصقل :

أستخدم الورق الكاشط للصقل الميكانيكي الخشن . يتكوّن هذا الورق أساسًا من حُبيبات كربونات السّليسيوم (SCi). يُستعمل الورق الكاشط تدريجيا من الرّقم الصناعي 100 إلى 1200. يسمح الصقل بالتّحسّن التّدرجي لاستواء السّطح ثم يُتبع الصّقل الخشن بصقل ناعم حيث يستخدم قماش رطب ويضاف إليه عجينة الألماس ذات جسيمات دقيقة حجمها 3 و $6\mu\text{m}$. عند نهاية الصقل الخشن والناعم يكون سطح العينة شبيهة بمرآة .

II.2.4. التّمشيش الكيميائي :

الفحص المجهرى لسطح العينات المصقولة لا يبين لنا حدود الحبيبات للمكوّنات الطوري ، لذا نقوم باستخدام محلول كيميائي والذي من خلاله يتم تنميش سطح العينات . تمت العديد من تجارب التّمشيش الكيميائي على عيناتنا المصقولة باستخدام المحاليل الكيميائية ، غير أن النتائج الأكثر فعالية تم الحصول عليها باستخدام كاشف كيلر . بعد كل عملية تنميش بواسطة الكاشف الكيميائي (كيلر) ، يتم تنظيف العينات من أي بقايا بماء مقطر ثم تجفف بالهواء .

يحتوي المحلول الكيميائي (كيلر) المستعمل على 10 مل من حمض النيتريك (HNO_3)، 10 مل من حمض الهيدروفلوريك (HF)، 15 مل من حمض الهيدروكلوريك (HCl) ويستكمل الحجم الكلي المقدر بـ: 100 مل بالماء المقطر. وقت التتميش الكيميائي للكشف عن الحدود الحبيبية لا يتجاوز 15 ثانية.



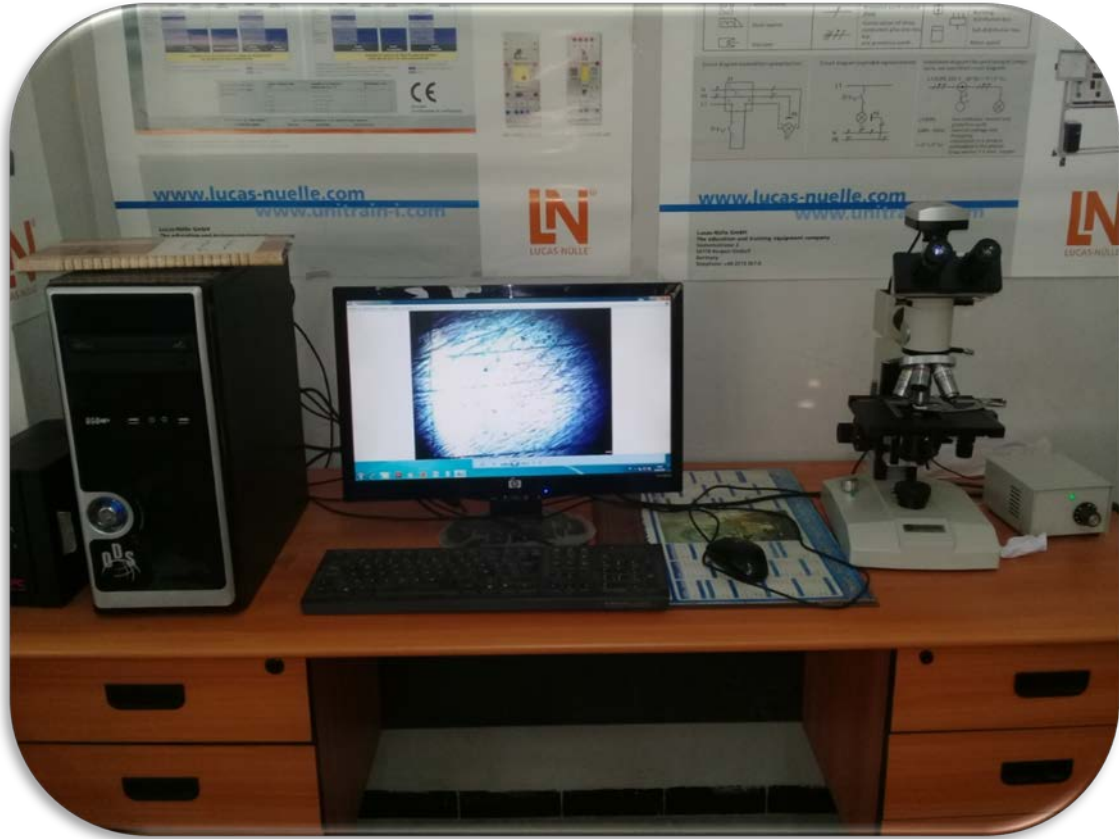
الشكل 11.II : الملمع الميكانيكي

الشكل 10.II : الاوراق القاشطة

5.II. الطرق التجريبية :

1..5.II. المجهر الضوئي : (MO) Microscope optique

تمت عملية المراقبة الميكروسكوبية في مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي، باستخدام مجهر ضوئي نوع أوروماكس EUROMEX (شكل 12) بتكبيرات مختلفة (500 ، 600 ، و 1000) ومجهز بكاميرا رقمية. تسمح هذه التقنية بتسليط الضوء على مختلف التغييرات التي تطرأ على البنية المجهرية أثناء مختلف عمليات سحب الأسلاك.



شكل II. 12 : مجهر ضوئي نوع EUROMEX

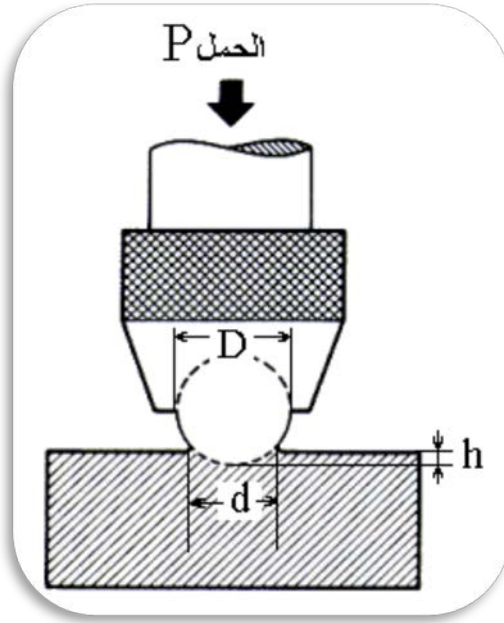
II.5.2. اختبار الصلادة :

ان اختبار الصلادة هو عبارة عن عملية يتم إجراؤها على المواد وذلك لتعيين خاصية الصلادة لهاته المواد. الصلادة هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها متماسكا تحت تأثير الأحمال .

يستخدم في اختبار الصلادة أداة (جسم له شكل محدد) يتم الضغط بها حتى تترك أثر أو علامة على سطح المعدن بعد إزالة القوة الضاغطة. 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 لها نفس المبدأ، غير أنها تختلف في شكل الأداة المستخدمة.

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

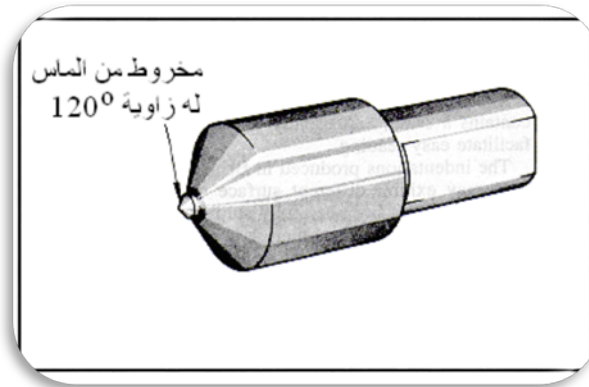
1. اختبار برينل : شكل الأداة عبارة عن كرات من الصلب المصلد (شكل 13)



شكل II.13 : أداة اختبار برينل

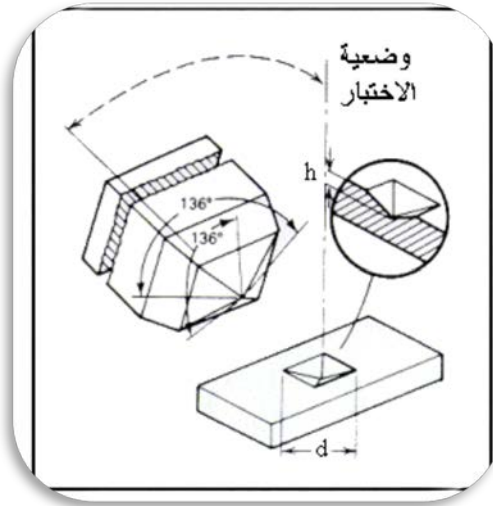
2. اختبار ركوال:

شكل الأداة عبارة عن مخروط من الماس له زاوية 120° وحرف مستدير ويسمى البرايل (شكل 14)



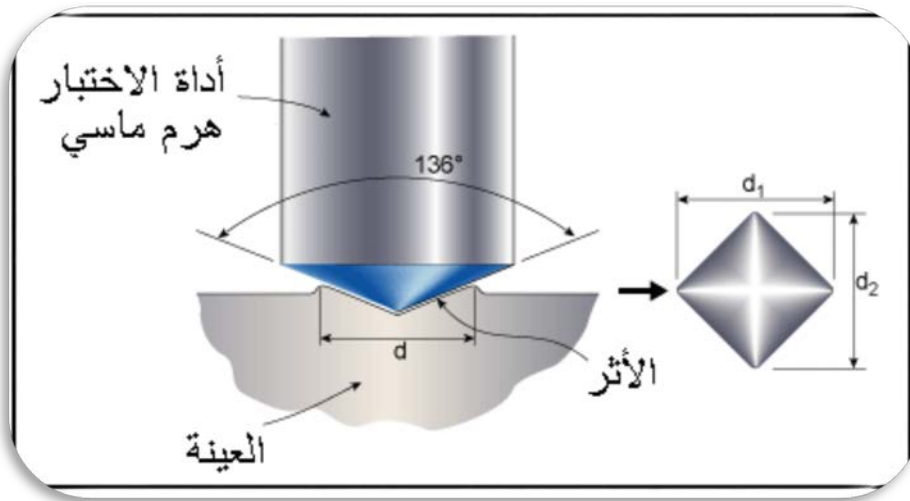
شكل II.14 : أداة اختبار ركوال

3. اختبار فيكرز: شكل الأداة عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة وتتقاطع مستوياته عند الحروف بزاوية θ قدرها 136° (شكل 15)



شكل II.15 : 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)



شكل II.16 : اختبار فيكرز للصلادة (وضعية الاختبار وشكل الأثر)

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

- ✓ F حمل الاختبار (Kg)
- ✓ D قطر الأثر (mm)

في هذه الدراسة استخدمنا جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (الشكل 5) ، تم تحضير العينات المراد قياس صلابتها وذلك بصقلها باستعمال الورق الكاشط تدريجياً من الرقم الصناعي

100 إلى 1200. أجريت القياسات تحت حمولة مقدارها 300 غرام لمدة 15 ثانية ، ولكل عينة تمثل قيمة الصلادة متوسط خمسة قياسات.



الشكل II.17: جهاز قياس الصلادة فيكرز نوع "AFFRI" (مختبر العناصر النشطة والمواد بجامعة العربي بن مهيدي أم البواقي)

II.3.5. التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية :

تعتمد طريقة حيود الأشعة السينية على الترتيب البلوري المنتظم للعينة فيجب أن تكون العينة من مادة متبلورة ، فعند تعرض هذه الأخيرة لحزمة أحادية الموجة من الأشعة السينية فان الطبقات الذرية لهذه المادة تتسبب في حيود هذه الأشعة الساقطة عن مسارها الأصلي طبقا لقانون براج (الشكل 18)، وبمعرفة شدة الانعكاسات وزوايا الانعكاس من نمط حيود الأشعة السينية يمكن تحديد المسافات البينية للطبقات الذرية (d) والذي يكون مميز للمادة التي يتم فحصها، وبالرجوع إلي الجداول القياسية يمكن التعرف علي 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 تتداخلا تداخلا بناء إلى العلاقة :

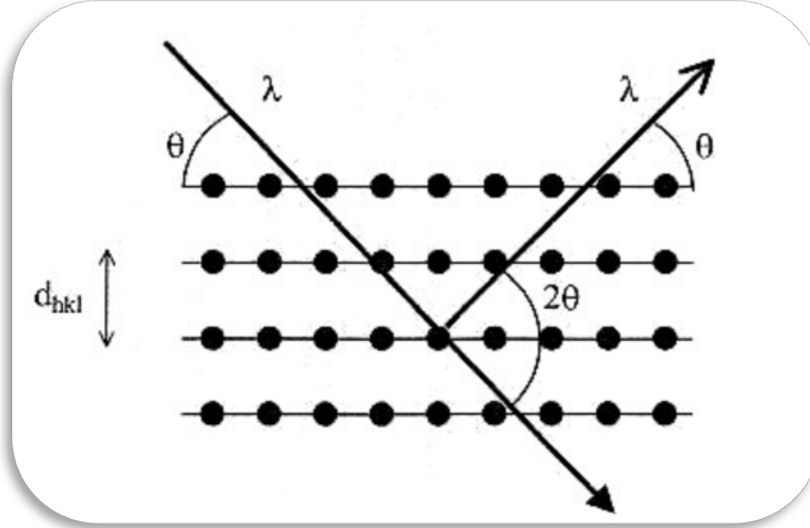
$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad \text{(1-II)}$$

تربط هذه العلاقة بين :

- d المسافة بين طبقات الذرات
- طول موجة الأشعة λ
- الزاوية θ بين الشعاع الساقط و مستوي الطبقة البلورية .

• n عدد صحيح يحدد درجة الحيود.

الجهاز الذي استعملناه لانعراج الأشعة السينية في هذا العمل هو PANalytical X'Pert PRO) مختبر قسم المعادن بجامعة بسكرة (



الشكل II. 18: حيود براج



الشكل II. 19: جهاز انعراج الأشعة السينية نوع PANalytical X'Pert PRO

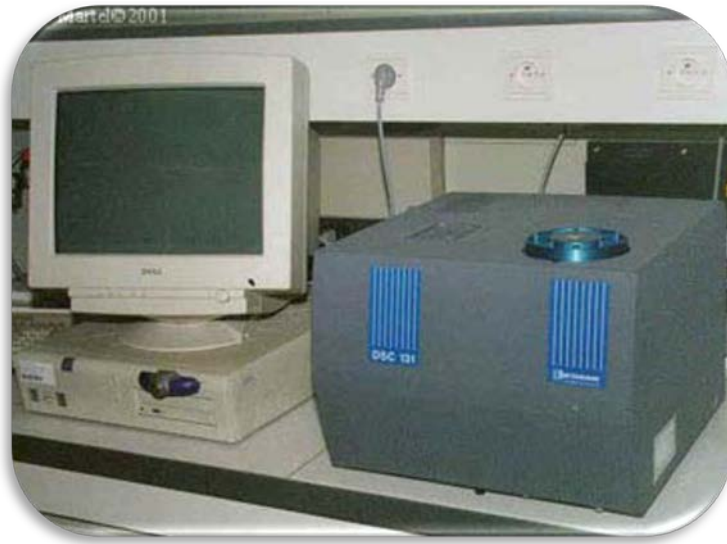
II.4.5. التحليل بواسطة المسح التفاضلي الكالوريميترى (DSC) :

المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو جعل العينة والمادة القياسية عند نفس درجة الحرارة وذلك عن طريق تطبيق طاقة حرارية وذلك أثناء تسخينها أو تبريدها بسرعة منتظمة. جهاز المسح التفاضلي الكالوريميترى مكون من وعاءين:

الوعاء الأول: مخصص للعينة المراد دراستها.

الوعاء الثاني : يعتبر الوعاء المرجعي و يترك فارغاً.

نقوم بتسخين الوعاءين في فرن بمعدل 10 درجات في الدقيقة مثلاً. يتكون كلا الوعاءين على لاقط حراري موصول إلى حاسب آلي يقوم بتسجيل التغير في درجات الحرارة اللازمة لوصول العينة لنفس درجة حرارة العينة المرجعية. وينتج هذا الفرق في درجات الحرارة لأن أحد الوعاءين يحتوي على المادة (المادة الإضافية) في حين أن الوعاء الثاني يكون فارغاً. تسجل درجات الحرارة وترسم بيانا، ومن الرسوم البيانية يمكن معرفة نسبة التبلور في المادة وكذلك معرفة أنتالبي الانصهار. يحسب الحاسب الآلي الفرق في درجة الحرارة بين العينة والوعاء المرجعي ويحولها إلى تدفق حراري. تسمح لنا هذه التقنية بتحديد الظواهر الحرارية المرافقة لتحول ما كتطور بنية المادة مثلاً. حيث استخدمنا في هذه الدراسة جهاز SETARAM DSC- 131 مؤلف من فرنين يحتوي الأول على العينة و الثاني يعتبر الوعاء المرجعي حيث يتم قياس الفرق في التدفق الحراري بين العينة و المرجع ومن ثم يحدد لنا الفرق في السعة الحرارية النوعية بين العينة والمرجع وذلك من خلال المنحني الحراري لجهاز DSC .



الشكل 20.II : جهاز (SETARAM DSC- 131) (مختبر اعداد وتحليل المواد

بجامعة عنابة)

II. 5. 5. قياس المقاومة (المقاومة النوعية) الكهربائية:

قياسات المقاومة الكهربائية تمت على جسر من نوع ريزستوما نوع 2303 (شكل 21) هذه التقنية تتعلق بالشكل الهندسي للعينة فيما يخص الأسلاك نستعمل من أجل تعيين المقاومة منبع للتيار مستقر يعطي تيارا ثابتا معروفا و مسبارين لقياس الهبوط في التوتر بين نقطتين البعد بينهما معروف بدقة .

باستعمال هذه الطريقة يكون بالإمكان تحويل المقاومة إلى مقاومة باستعمال القانون التالي :

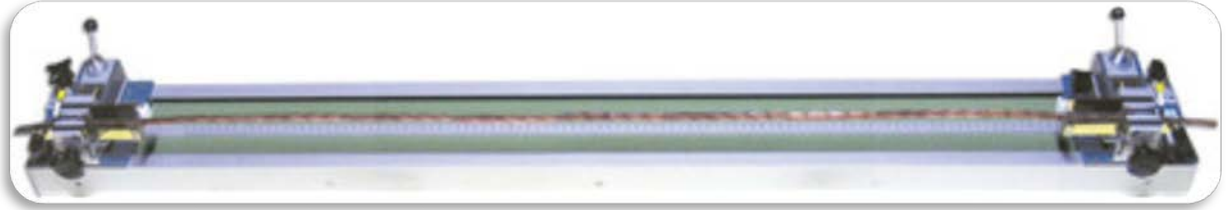
$$\rho_{20^{\circ}\text{C}} = R.S/L \left(\frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right) \dots\dots\dots (2-II)$$

بحيث:

R : المقاومة بالاووم (Ω)

S : مساحة مقطع السلك الكهربائي (mm^2)

L : طول السلك الكهربائي (110cm)



شكل II. 21: تجهيز آلة ريزيستوما نوع بروستر. (ENICAB – Biskra)2303

الفصل الثالث :

النتائج و مناقشتها

1.III. الدراسة باستعمال المجهر الضوئي :

يبين الشكل 22.III البنية المجهرية لعينات من سلك الألمنيوم المسحوب على البارد لمختلف معدلات التشوه (السلك الأولي ϵ_0 , $\epsilon_1 = 21,66\%$, $\epsilon_2 = 68,99\%$, $\epsilon_3 = 86,81\%$) من خلال هذه البنية المجهرية نرى بوضوح أن عملية السحب تسبب تشوهاً للحبيبات مما يؤدي إلى استطالة هذه الأخيرة استطالة موازية لمحور السلك، وهذا يعني بالنسبة لاتجاه السحب.

ووفقاً لـ [18،17] Zidani et al عندما يزداد معدل التشوه، فإن الأسلاك المسحوبة تكتسب بنية مجهرية نسيجية (نسيج ليفي (texture fibreuse))، وخلال هذه العملية، يتسبب التشوه البلاستيكي في تباين شكلي أو مورفولوجي لهيكل الحبيبات. تطول وتمد في اتجاه موازي لمحور السحب وبالتالي تنتظم الحبيبات في اتجاه متميز.

2.III. اختبار الصلادة :

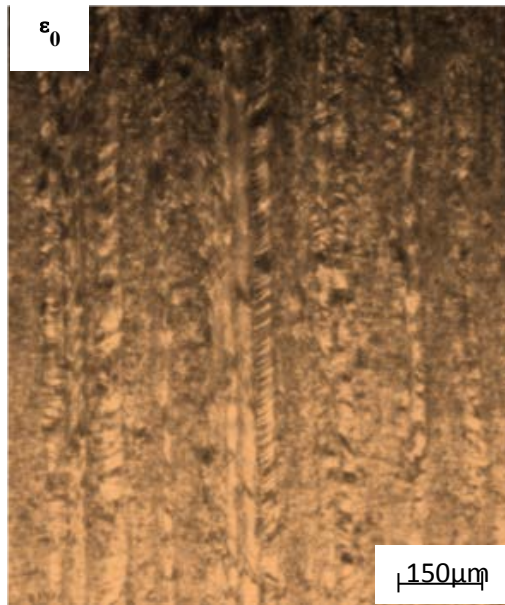
يبين الشكل 23.III تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه، حيث تم اخذ أربعة قراءات لكل عينة واعتمد المعدل لجميع العينات و الجدول 4.III يبين قيم الصلادة لتلك العينات. نلاحظ أن صلادة الأسلاك الكهربائية تزداد مع زيادة معدل التشوه [19,20]. في حالة التخفيضات الكبيرة لمقطع السلك عن طريق السحب تكون قيمة الصلادة جد مرتفعة. وهذه الظاهرة تسمى بالتصليد الانفعالي الذي حدث للأسلاك أثناء سحبها. لذلك فان أي عملية تشكيل لاحقة تتطلب إجراء معالجة حرارية أي عملية التلدين لإرجاع المطيلية المفقودة وهذا ما أشار إليه كل من [27] Wang et al و [28] Sidor et al السبب وراء الزيادة في الصلادة خاصة في التشوهات الكبيرة هي ارتفاع كثافة الانخلاعات المتولدة أثناء عملية التشكيل على البارد بواسطة السحب. هذه النتيجة تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [20, 23].

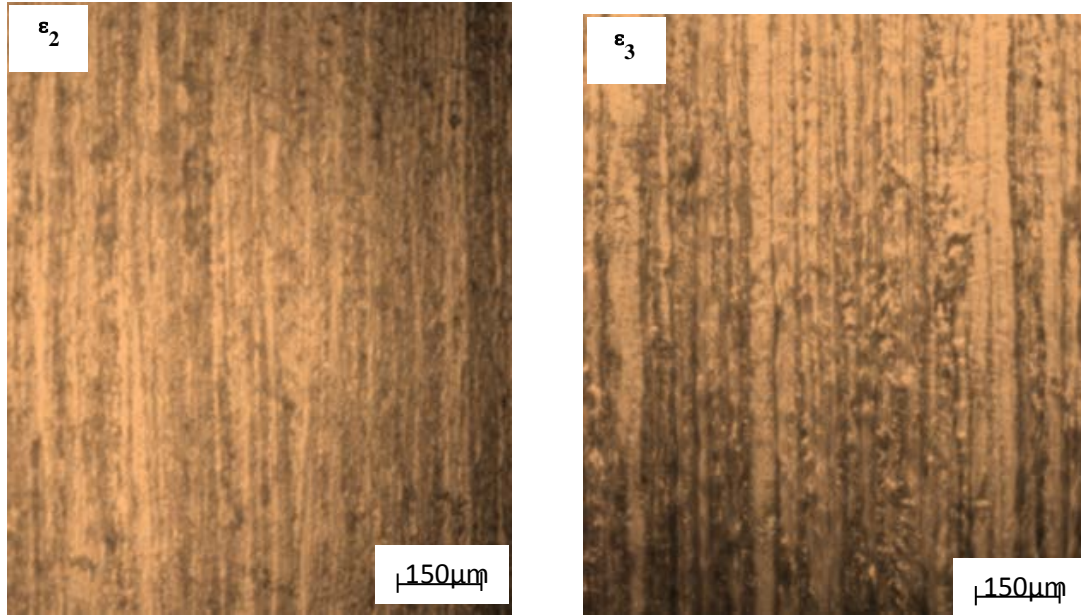
في ما يلي سنتطرق الى دراسة تأثير المعالجة الحرارية على صلادة عينات السلك الكهربائي المسحوب. عملية التلدين عند 550 درجة مئوية لمدة ساعة لأسلاك من سبيكة الألومنيوم Al-Mg-Si ذات معدلات تشوه محددة أثرت بشكل كبير على صلادة هذه الأخيرة (الشكل 24.III). حيث انخفضت صلادة الأسلاك الكهربائية لكل حالات

معدلات التشوه [23,20]. وهذا راجع الى اعادة الهيكلة (الترميم) الذي تسبب في ظاهرة تليين أسلاك سبيكة الألومنيوم ، أي الزيادة في لدونتها.

الجدول 4.III : نتائج اختبار الصلادة

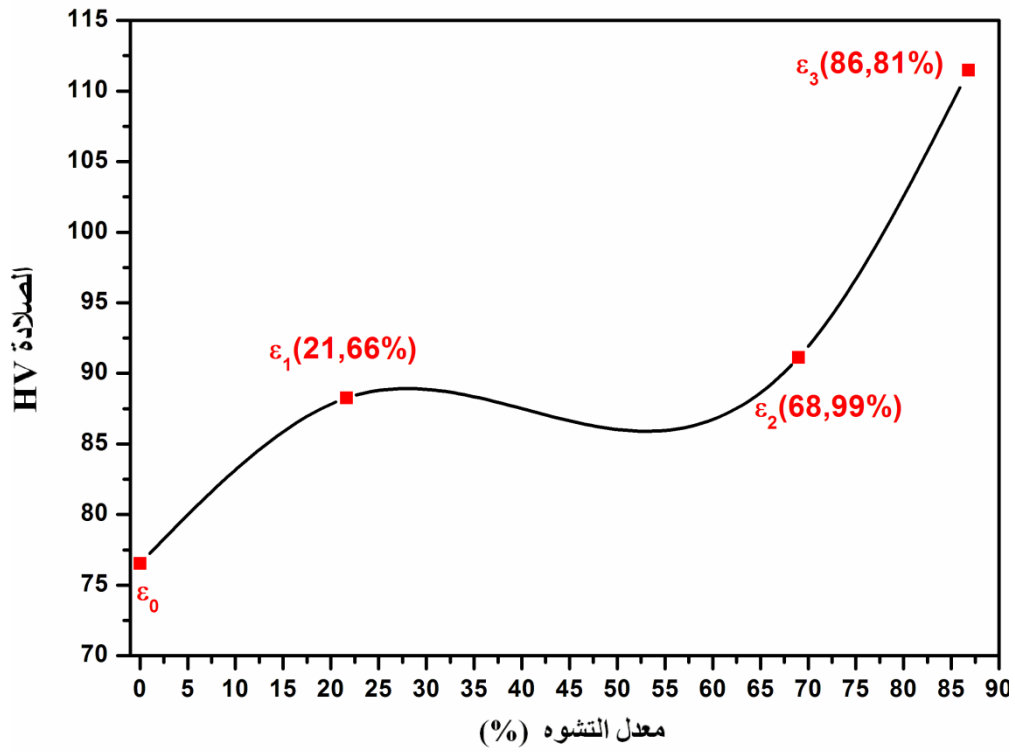
معدل التشوه ϵ (%)				عدد الاختبارات
ϵ_3 (86,81%)	ϵ_2 (68,99%)	ϵ_1 (21,66%)	ϵ_0 (0%)	
111,8	90,2	87,5	76,1	1
113,2	22,9	87,9	75,9	2
109,2	91,3	89,4	77,3	3
111,7	90,8	88,2	76,8	4
111,475	91,125	88,25	76,525	(HV)



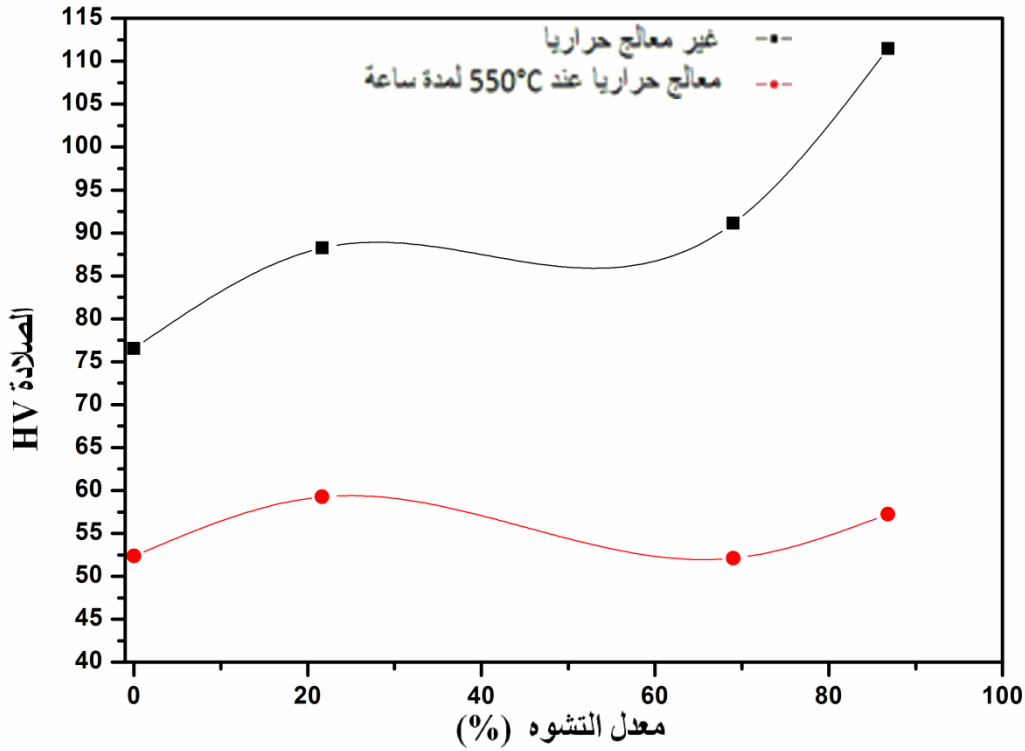


الشكل 22.III: يمثل البنية المجهرية لعينات من سلك كهربائي من الألمنيوم لمختلف معدلات التشوه

(السلك الأولي ϵ_0 , $\epsilon_1 = 21,66\%$, $\epsilon_2 = 68,99\%$, $\epsilon_3 = 86,81\%$).



الشكل 23.III : يمثل تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه

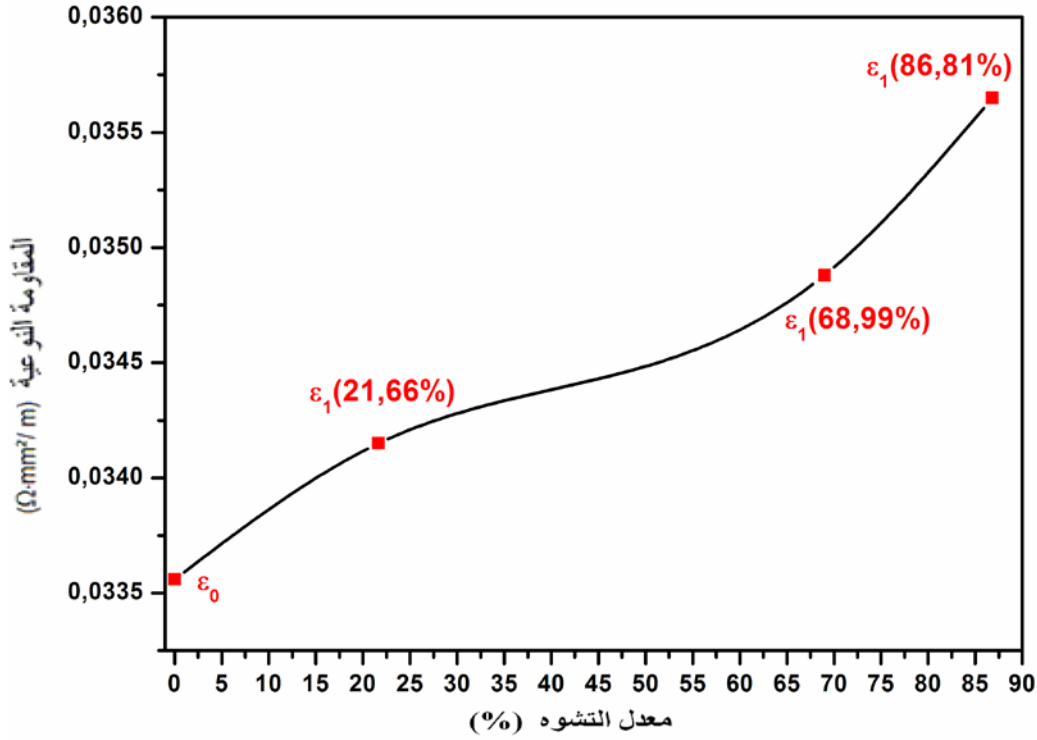


الشكل 24.III : يمثل تغير الصلادة HV بدلالة معدلات التشوه لعينات من سبيكة الألمنيوم الغير معالجة والمعالجة حراريا عند 550 °C لمدة ساعة

3.III. المقاومة أو المقاومة النوعية

يتم توضيح نتائج المقاومة النوعية لعينات من سلك الألمنيوم المسحوب على البارد لمختلف معدلات التشوه (السلك الأولي ϵ_0 , $\epsilon_1 = 21,66\%$, $\epsilon_2 = 68,99\%$, $\epsilon_3 = 86,81\%$) في الشكل 23. III .

نلاحظ بوضوح أن قيم المقاومة النوعية تزداد كلما ازداد معدل التشوه عن طريق سحب الأسلاك. هذه النتيجة في اتفاق جيد مع النتائج التي تم الحصول عليها من قبل بعض الباحثين [19,24].



الشكل III. 25 : يمثل تغير المقاومة النوعية بدلالة معدل التشوه بالسحب

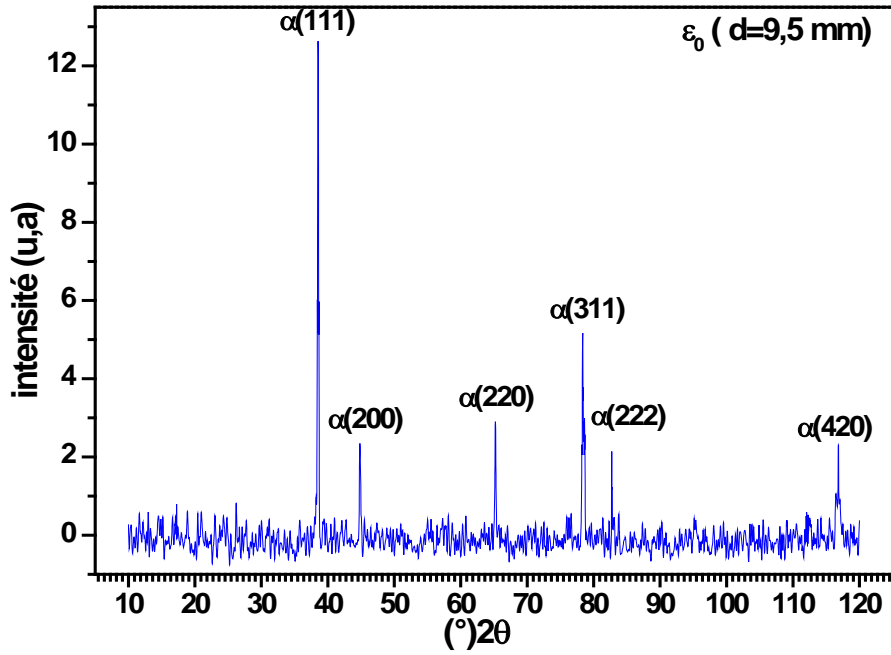
4.III. التحليل بواسطة الأشعة السينية:

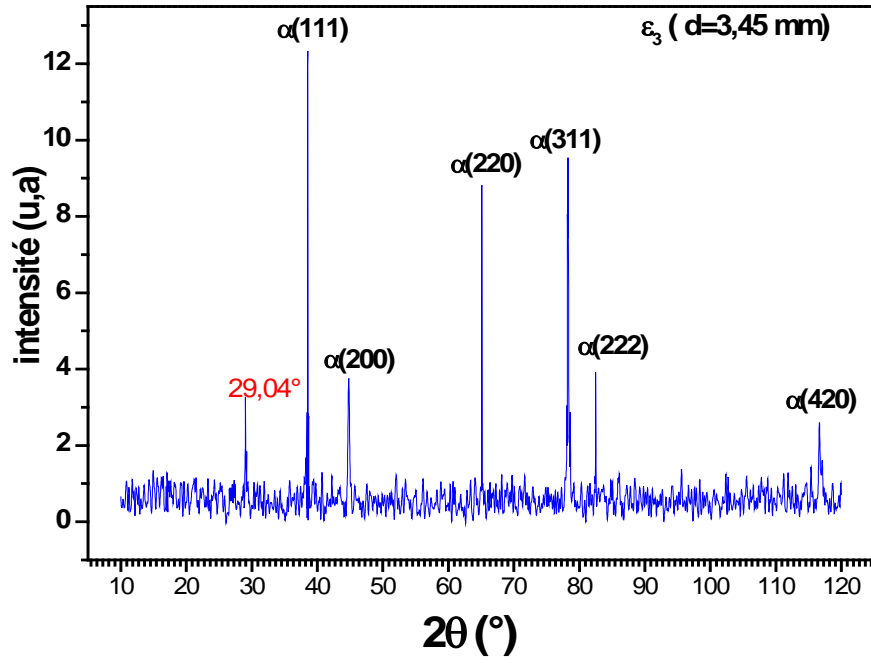
إن استخدام تقنية حيود الأشعة السينية (DRX) من التقنيات الجيدة والشائعة لتحديد البنية البلورية. حيث تستخدم تقريبا في جميع مجالات فيزياء الحالة الصلبة.

قمنا بدراسة تطور البنية المجهرية لعينتي سلكين من سبيكة الألمنيوم Al-Mg-Si (السلك الأولي ($\epsilon_0=0\%$) و السلك المسحوب ($\epsilon_3=86.81\%$) من خلال تحليل أطياف الحيود التي حصلنا 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 مسح 0.02 deg./s وضمن المدى الزاوي $2\theta=10\text{---}120^\circ$.

ويمثل الشكل III.25 أطياف حيود الأشعة السينية لعينتي سلكين من سبيكة الألمنيوم السلسلة 6000 (السلك الأولي ($\epsilon_0=0\%$) و السلك المسحوب ($\epsilon_3=86.81\%$) و وفقاً لصحائف بيانات ASTM ، فإن حالات الانعراج المسجلة تتوافق مع بنية C.F.C

لمصفوفة الألمنيوم في كلتا الحالتين أي السلك الأولي والسلك المسحوب على البارد. غير أنه في حالة السلك المسحوب بمعدل $\varepsilon_3 = 86.81\%$ ، نلاحظ ظهور قمة جديدة عند $2\theta = 29.04^\circ$ ، هذه القمة المسجلة تمثل ترسب الطور Mg_4Si_6 ، هذا ما يفسر وجود عناصر السبك في المحلول الجامد للألمنيوم. وهذا يعني أن هناك عتبة يمكن بعدها أن تكشف التقنية عن وجود طور جديد [23].





الشكل III. 25: يمثل أطيف حيود الأشعة السينية لعينتي سلكين من سبيكة الألمنيوم

خاتمة عامة :

في هذه المذكرة، نحن مهتمون بفهم تأثير التشوه على البارد على الخواص الميكانيكية والكهربائية لأسلاك سبائك الألمنيوم Al-Mg-Si , المسحوبة من طرف شركة صناعة الأسلاك الكهربائية ENICAB بيسكرة. وقد استخدمت عدت طرق تجريبية في هذا البحث لتحديد تطور البنية المجهرية بدلالة معدل التشوه وقياس الخصائص الميكانيكية والكهربائية مثل المجهر الضوئي ، حيود الأشعة السينية، إختبار الصلادة، المقاومة الكهربائية.

في ما يلي، سنحاول تلخيص النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة على النحو التالي:

- ✓ عملية سحب الأسلاك تسببت في تشوه الحبوب مما أدى إلى استطالتها
- ✓ المقاومة النوعية و صلادة الأسلاك الكهربائية تزداد مع زيادة معدل التشوه
- ✓ انخفاض صلادة الأسلاك الكهربائية لكل معدلات التشوه بعد معالجتها حراريا

قائمة المراجع

- [1] L.F.Mondolfo,AluminiumAlloys, structures and proprietes ,Butterworth ,1st edition, London 1976.
- [2] E.D-STIRBU, thèse de doctorat Université de Pitesti Roumanie. (2005)
- [3] J. Barralis, G. Maeder, Précis de métallurgie, Communications actives 5eme édition, Paris 1975.
- [4] J.P. Bailon et J. M. Dorlot, Des Matériaux, par presses internationalesPolytechniques,pp. 227-242 et 512-520, réimpression, automne,2004, Canada.
- [5] T. Abid. Mémoire de magister. Université de Constantine. (2007)
- [6] M- Jan de Haas. Université de Groningen. (2002)
- [7] M. Murayama, K. Hono, W.F. Miao et D.E. Laughlin, Metallurgical and Materials Transactions A, **32** (2001), p.239.
- [8] M.A. Moustafa, F.H. Samuel, H.W. Doty et S. Valtierra, International Journal of Cast Metals Research, **14**(2002),p. 235.
- [9] 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.
- [10] J. E. Hatch (éd.), *Aluminum - Properties and Physical Metallurgy*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1984, 84–115.
- [11] M. Nicolas, Thèse de doctorat, Laboratoire de Thermodynamique et de Physico-Chimie Métallurgiques GRENOBLE. (2002)
- [12] I. Lakhtine. Métallographie et traitements thermiques des métaux, 2eme édition revue. Edition Mir, Moscou 1986.
- [13] Laverrox, M. Mise en forme des aciers inoxydables par tréfilage. La revue de métallurgiecite. (1993)

- [14] Simonnet, G. tréfilage de l'acier M645. Instruite des matériaux métalliques, techniques de l'ingénieur. (1996)
- [15] Carole Levrau ,Thèse de doctorat, Ecole des mines de paris . (2006)
- [16] Ning Yu, Jean–Paul Le Roy, Tréfilage des fils cuivreux ultra–fins, Techniques de l'ingénieur, M646 v1, (1995) [21] K. E. Mackay and G. A Smith, Trans. Inst. Min. 75(1966) , P 269 .
- [17] M. Zidani, Z.Boumerzoug, T. Baudin, R. Penelle, Mater. Sci. Forum, 514-516 (2006), p. 554
- [18] M. Zidani, Z.Boumerzoug, T. Baudin and D. Solas, Mater. Sci. Forum, 550 (2007), p. 447.
- [19] B. WANG, X. H CHEN, F.S. PAN, j.J. MAO, Y. FANG, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 25 (2015), p. 2481.
- [20] M. Zidani , L. Bessais , H. Farh , M.D. Hadid, S. Messaoudi , D. Miroud , M.K. Loudjani , A.L. Helbert and T. Baudin, Steel and Composite Structures, 22, No. 4 (2016), p,745
- [21] D. Wang, Z.Y. Ma , Z.M. Gao, Materials Chemistry and Physics, 117 (2009),p.228.
- [22] J.J. Sidor, H. P. Roumen, A.I. Leo, Materials Characterization, 62 (2011),p. 228
- [23] Lakhdar Bessais, Thèse doctorat, Université de Biskra, Algérie.(2017)
- [24] F. Baira, M. Zidani, H. Farh, S. Messaoudi, T. Ziar, A.L. Helbert and T. Baudin, International Journal of Engineering Research in Africa Africa, 31 (2017), p, 20

ملحق :

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

Name and formula

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

Crystallographic parameters

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

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

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

Subfiles and Quality

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

Comments

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

References

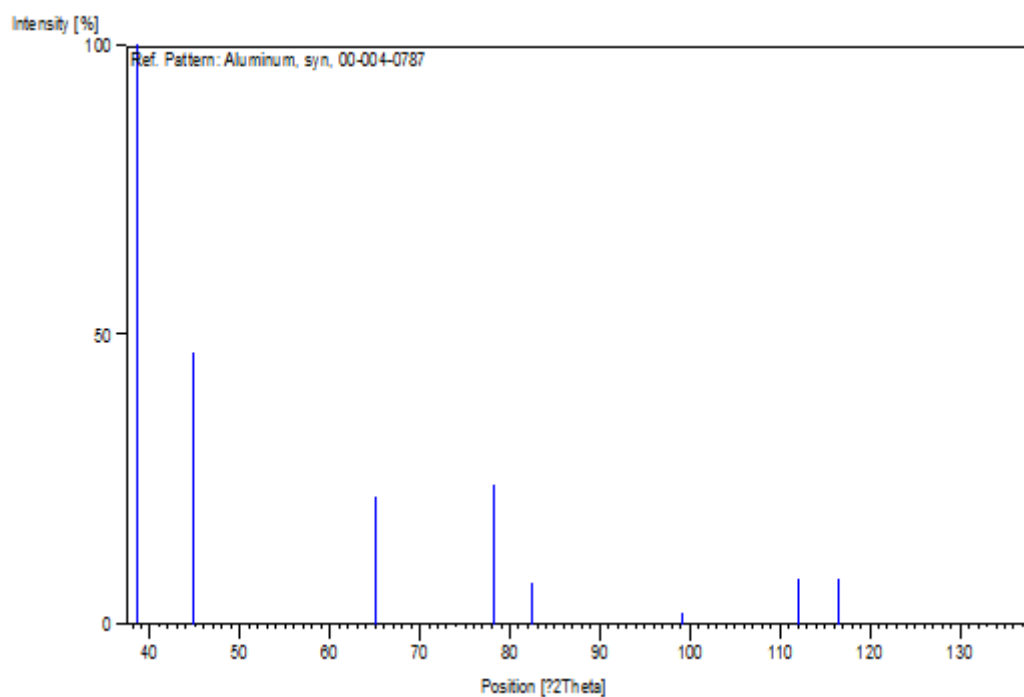
Primary reference:

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

Peak list

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

Stick Pattern



ملخص

الغرض من هذا العمل هو فهم تطور البنية البلورية و تحديد الخصائص الميكانيكية والكهربائية لأسلاك سبائك ألمنيوم السلسلة 6000 المسحوبة على البارد بمعدلات تشوه مختلفة. لهذا الصدد استعملت عدة تقنيات لمتابعة التطور المجهرى للبنية والخصائص الميكانيكية والكهربائية أثناء مختلف معدلات التشوه. استعملنا أساسا المجهر الضوئي، قياس الصلادة، قياس المقاومة الكهربائية وانعراج الأشعة السينية (XRD).

ولقد اظهرت الدراسة أن سحب أسلاك الألمنيوم Al-Mg-Si على البارد له التأثيرات التالية :

- الزيادة في الصلادة وكذلك في المقاومة النوعية للأسلاك الكهربائية.
- يجعل من البنية المجهرية بنية نسيجية (نسيج ليفي (texture fibreuse))

كلمات البحث: نسيج، سحب الأسلاك، سبائك Al-Mg-Si ، المقاومة الكهربائية، الصلادة.

Résumé

L'objectif de ce travail est de comprendre l'évolution de la microstructure et de déterminer les propriétés mécaniques et électriques des fils d'alliage d'aluminium de la série 6000, tréfilé à froid avec différents taux de déformation. Différentes techniques expérimentales ont été utilisées dans ce travail pour suivre l'évolution microstructurale et les propriétés mécaniques et électriques au cours de différents taux de déformation. Nous avons utilisé principalement le microscope optique, mesures de la microdureté, mesures de la résistivité électrique et la diffraction des rayons X.

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

- L'augmentation de la dureté, ainsi que la résistivité électrique des fils électrique.
- Acquis une microstructure texturée (texture fibreuse)

Mots Clés: Texture, Tréfilage des fils, Alliage AlMgSi, résistivité électrique, la microdureté.

Abstract

The aim of this work is to understand the evolution of the microstructure and to determine the mechanical and electrical properties of the cold drawn aluminum alloy wires (6000 series) at different deformation level. Different analysis techniques were used in this study to monitor the microstructural evolution and mechanical and electrical properties during different deformation levels. We mainly used the optical microscope, microhardness measurements and measurements of electrical resistivity and X-ray diffraction.

The study showed that the cold drawn of Al-Mg-Si aluminum wires has the following effects:

- Increasing the hardness, as well as the electrical resistivity of the electrical wires.
- Acquired a textured microstructure (fibrous texture).

Key Words: Texture, wires drawing, AlMgSi alloy, electrical resistivity, microhardness.