

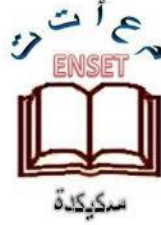
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique –Skikda–

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي – سكيكدة –

Département de physique et Chimie.

قسم الفيزياء والكيمياء.



Mémoire de fin d'étude

مذكرة التخرج

En vue de l'obtention du diplôme : professeur d'enseignement secondaire

لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي

الموضوع

دراسة تأثير المعالجة الحرارية على الخصائص الفيزيائية لسبيكة ثنائية
المحضرة بطريقة الصهر بالتحريض الكهرومغناطيسي
Al-50wt%Ni
عالي التردد HF

من إعداد :

نويوة ريان

لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	م ع أ ت ت – سكيكدة	الأستاذة نميري وردة
مشرفا	م ع أ ت ت – سكيكدة	الأستاذة بدبودي حياة
عضوا مناقشا	م ع أ ت ت – سكيكدة	الأستاذ أم العز فيصل
عضوا مناقشا	م ع أ ت ت – سكيكدة	الأستاذة مخناش شافية

السنة الجامعية: 2024/2023

مِنْ مَعْرِفَةِ اللَّهِ

إهداء

قال تعالى: (وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون) الآية: 105 سورة التوبة.

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.... ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.....

ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك.... ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك "الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة..... ونصح الأمة إلى نبي الرحمة ونور العالمين

" سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم "

من قال أنا لها نالها نالها وإن أبت رغما عنها أتيت بها، لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفًا بالتسهيلات لكنني فعلتها فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات.

أهدي هذا النجاح لنفسي الطموحة أولاً، إلى نفسي العظيمة القوية التي تحملت كل العثرات وأكملت رغم الصعوبات، ابتدأت بطموح وانتهت بنجاح، ثم إلى كل من سعى معي لإتمام مسيرتي الجامعية.

إلى من كلله الله بالهبة والوقار..... إلى من علمني العطاء بدون انتظار.... إلى من أحمل اسمه بكل افتخار..... أرجو من الله أن يحفظك ويرعاك وستبقى كلماتك نجوم أهدي بها اليوم وغدا وإلى الأبد

والدي العزيز "تور الدين"

إلى ملاكي في الحياة..... إلى معنى الحنان والتفاني.... إلى بسملة الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أعلى الحبايب

أمي "سعاد"

إلى نور يضيء عمتي.... إلى غيمة تظلني وتسقيني دون رغبة بردي لجميلها.... إلى الأيدي التي تمد لي العون عندما أتعثر، وتدفعني لمقاومة كل هذه الأشياء التي تستدعي السقوط.....

إلى سندي زوجي "أسامة" دمت لي نعم السند دائماً وأبداً.

إلى من قال فيهم الرحمان "سنشد عضدك بأخيك" إخوتي رمز فخري: بهاء، عمر، روان

إلى ملاذي في هذه الحياة أعز من على قلبي صغيري أخي: "المعتصم بالله"

إلى جميع أفراد عائلة "نويوة" من كبيرها إلى صغيرها أخص بالشكر أعمامي وأبنائهم وعماتي وأبنائهم.

إلى جدتي الحنونة "مباركة" وكل أفراد عائلة "عياد".

إلى بنات عمي إختوتي بالدم: كاميليا، أحلام، ميساء، روميساء، إلهام، جيهان، إيمان، إبتسام.

إلى صديقاتي في العائلة: ندى، ساجدة، أميمة، هداية، هبة، ريم، نهاد، قروي ندى.

إلى صديقاتي اللواتي آنسوا وحشتي واللواتي جعلنا الغربية بوجودهم دار: ريان، أنفال، يقين، فاطمة، هيبة،

نسام، مروى، ملاك، سندس، حسنة.

إلى جميع من ساندني ولو بالقليل من قريب أو بعيد.

نويوة ريان.

شكر وتقدير

الحمد لله على نعمه الظاهرة والباطنة.

هذا العمل تم تنفيذه في مخبر الدراسات LM2S جامعة باجي مختار عنابة والمدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات الصناعية بعنابة وكذلك مركز البحث العلمي والتقني في التحاليل الفيزيائية والكيميائية CRAPC ببوسماعيل.

الحمد لله الذي وفقنا ويسر لنا إتمام هذا العمل الذي ندين فيه بأسمى عبارات الشكر والتقدير فتتناثر الكلمات شكرا وعرفانا، على صفائح الأوراق تباينا، تقديرا وامتنانا لمن علمنا، لمن وجهنا وقومنا، إلى الأستاذة المشرفة "بدبودي حياة" فلها التكريم منا.

ونعزز بحضور الأستاذة القديرة "نميري وردة" بصفتها رئيسة لجنة المناقشة..

كما أتقدم بخالص الشكر والتقدير للأستاذ "أم العز فيصل" والأستاذة "مخاش شافية"

كمناقشين لموضوع مذكرتنا.

كما لا يفوتنا أن نشكر جميع الموظفين والطاقم الإداري للمدرسة، كما نقدم كل التقدير والعرفان للأستاذة الذين أناروا طريقنا وتفضلوا بنصحننا، فكل الشكر لأستاذة المدرسة العليا وكامل طاقمها الإداري، ونخص بالشكر قسم الفيزياء والكيمياء وعلى رأسهم رئيس قسم الفيزياء والكيمياء "بوبكري هاني".

ونرجو من الله أن يجزيهم منا خير ما جزى به عباده إنه نعم المولى ونعم النصير وصلى الله وسلم وبارك على سيدنا محمد وآله وصحبه أجمعين.

ملخص:

يحتوي هذا العمل على التوصيف المجهرى والميكانيكي لثلاث عينات لسبيكة Al-50wt%Ni ذات القاعدة ألنسيوم، حيث تم تحضيرها بواسطة التحريض بالصهر الكهرومغناطيسي عالي التردد (HF) باستعمال مسحوق من النيكل و الألومنيوم ذوي النقاوة % 99,99 في الحالة الخام و المعالجة حراريا عند 850°C و 1150°C . توصلنا الى البنية المجهرية لهذه السبيكة عن طريق تقنيات تجريبية: الملاحظة المجهرية بالمجهر الضوئي الذي أعطانا نظرة شاملة عن سطح العينة، وتحليل انعراج الاشعة السينية DRX الذي يسمح بمعرفة طبيعة العناصر الموجودة وكذا تحديد الثابت البلوري للألومنيوم. كما تم دراسة الخصائص الميكانيكية باستخدام صلادة فيكرز وتطورها مع المعالجة الحرارية.

الزيادة في درجة حرارة المعالجة الحرارية تحسن من صلادة السبائك وكذلك تلعب دور هام في ظهور مختلف الأطوار الشبه مستقرة مثل: AlNi , Al_3Ni

الكلمات المفتاحية: سبيكة Al-50wt%Ni ، المجهر الضوئي، DRX، الثابت البلوري، صلادة فيكرز.....

Résumé :

Ce travail porte sur l'élaboration et la caractérisation microstructural et mécanique de trois échantillons à base d'aluminium Al-50wt%Ni avec différentes traitements thermiques (à l'état brute, à 850°C, 1150°C).

L'élaboration a été effectuée dans un four sous induction haute fréquence (HF) à partir des poudres fines d'aluminium et de nickel (99,99%).

La microstructure qui résulte a été investie par diverse techniques expérimentales : la microscopie optique qui donne un aperçu global sur la microstructure brute de solidification, l'analyse par diffraction des rayons X qui confirme la nature des phases obtenues et permet de mesurer le paramètre de maille, la mesure de microdureté Vickers et son évolution avec la variation de température de recuit de cet alliage.

L'augmentation de la température de traitement thermique augmente la microdureté et le renforcement mécanique est essentiellement dû à l'apparition des différentes phases intermétalliques aluminure telle que: Al₃Ni, AlNi,.....

Mots clés : Alliage Al-50wt%Ni, microscopie optique, DRX, paramètre de maille, microdureté Vickers

Abstract:

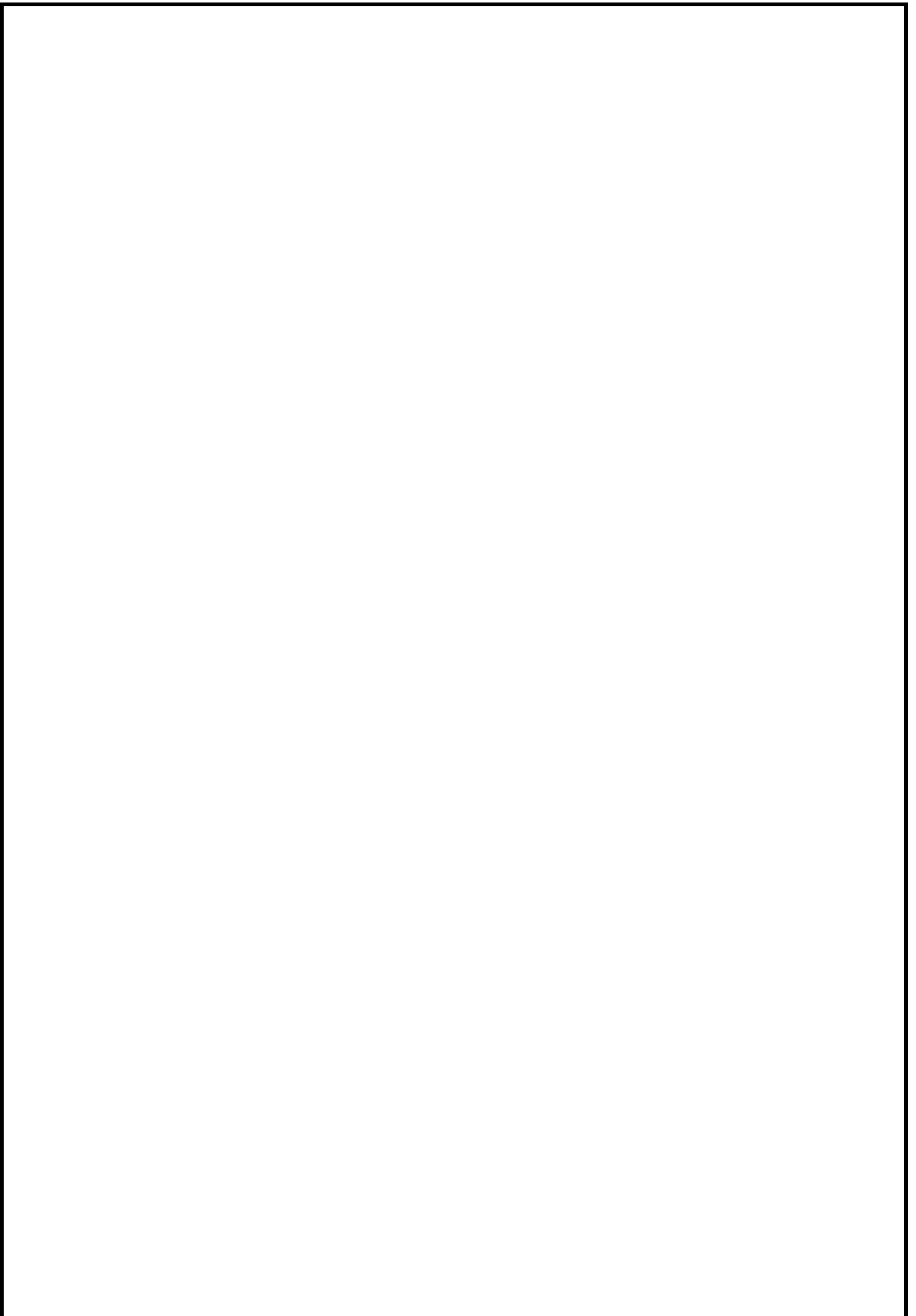
This work focuses on the development and microstructural and mechanical characterization of three alloys based on Al–50wt%Ni aluminum with different heat treatments (in the raw state, at 850°C, 1150°C).

The production was carried out in a high frequency (HF) induction furnace from fine powders of aluminum and nickel (99.99%).

The resulting microstructure was investigated by various experimental techniques: optical microscopy which gives an overall overview of the raw solidification microstructure, X–ray diffraction analysis which confirms the nature of the phases obtained and makes it possible to measure the lattice parameter, the measurement of Vickers microhardness and its evolution with the variation in annealing temperature of this alloy.

The increase in the heat treatment temperature increases the microhardness and the mechanical reinforcement is essentially due to the appearance of different intermetallic aluminide phases such as: Al₃Ni, AlNi,

Keywords: Al–50wt%Ni alloy, optical microscopy, XRD, lattice parameter, Vickers microhardness.....



فہرس

فهرس المحتويات

	إهداء .
	شكر .
	ملخص .
	الفهرس .
1	مقدمة عامة .
	الفصل الأول: عموميات حول المعادن والسبائك
3	1.1 عموميات حول المعادن .
3	1.1.1 مفهوم المعادن .
3	2.1.1 الألمنيوم والنيكل .
3	3.1.1 خصائص المعادن .
14	2.1 السبائك المعدنية .
14	1.2.1 تعاريف .
15	2.2.1 أنواع السبائك .
15	3.2.1 طرق تشكيل السبائك .
16	3.1 الصهر بالتحريض المغناطيسي ذو التردد العالي HF
16	1.3.1 مفهوم الصهر بالتحريض الكهرومغناطيسي عالي التردد
17	4.1 الأشعة السينية .
17	1.4.1 تعريف الأشعة السينية
17	2.4.1 التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية
	الفصل الثاني: الدراسة التجريبية .
19	1.11 السبيكة المعدنية المدروسة .
19	2.11 التحليل الحراري للسبائك .
19	1.2.11 وصف عام ل DSC
21	2.2.11 المعالجة الحرارية .
22	3.11 طريقة تحضير العينة .

22	1.3.ii عملية الرص.
24	2.3.ii عملية الصهر الكهرومغناطيسي.
25	3.3.ii عملية قص العينات.
25	4.ii إعداد العينات.
26	1.4.ii عملية التلميع.
26	2.4.ii المعالجة الكيميائية.
26	5.ii طرق تحديد البنية المجهرية.
26	1.5.ii المجهر الضوئي.
28	2.5.ii التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية.
29	3.5.ii قياس صلادة فيكرز.
	الفصل الثالث: تحليل و مناقشة النتائج.
31	1.iii الخصائص البنيوية للسبائك الثنائية Al-Ni
31	1.1.iii التحليل الحراري.
32	2.1.iii الملاحظة المجهرية بواسطة المجهر الضوئي.
35	3.1.iii البنية البلورية بواسطة تحليل انعراج الأشعة السينية DRX
38	2.iii تطور ثابت بلورة الألمنيوم.
38	3.iii صلادة فيكرز.
40	الخاتمة العامة.
42	المراجع.

قائمة الجداول.

رقم الصفحة	قائمة الجداول
4	جدول (1.ا) : الأنظمة البلورية السبعة.
6	الجدول (2.ا): مقياس موس للصلادة.
11	الجدول (3.ا): صلادة فيكرز لبعض المعادن.
12	الجدول (4.ا): درجة إنصهار بعض المعادن.
13	الجدول (5.ا): السعة الحرارية النوعية لبعض المعادن.
38	الجدول (6.ا): تطور الثابت البلوري للألمنيوم.
38	الجدول (7.ا): تغير الصلادة بالنسبة لتغير درجة الحرارة.

قائمة الأشكال.

رقم الصفحة	قائمة الأشكال
4	الشكل (1.1): بنية مكعب متمركز الجسم.
5	الشكل (2.1): بنية مكعب متمركز الوجوه
5	الشكل (3.1): الخلية السداسية.
7	الشكل (4.1): صلادة الإزاحة.
7	الشكل (5.1): مقياس موس للصلادة.
8	الشكل (6.1): الجهاز المستخدم في قياس صلادة الديناميكية.
9	الشكل (7.1): جهاز قياس صلادة برينل.
10	الشكل (8.1): رسم توضيحي لمبدأ عمل طريقة روكويل.
14	الشكل (10.1): منحنى الطور لسبيكة Al-Ni.
16	الشكل (11.1): مبدأ عمل الفرن الكهرومغناطيسي.
17	الشكل (12.1): مبدأ عمل DRX
19	الشكل (13.1): رسم تخطيطي لجهاز قياس DSC.
20	الشكل (14.1): جهاز قياس DSC
21	الشكل (15.1): فرن المعالجة الحرارية.
23	الشكل (16.1): شكل العينة بعد عملية الرص.
23	الشكل (17.1): مبدأ عمل الضاغط الميكانيكي.
24	الشكل (18.1): شكل العينة بعد عملية الصهر.

25	الشكل (19.ii): منشار القص.
27	الشكل (20.ii): المجهر الضوئي.
28	الشكل (21.ii): جهاز الأشعة السينية.
29	الشكل (22.ii): جهاز قياس صلادة فيكرز
31	الشكل (23.iii): دورة تسخين DSC للسبيكة Al-50wt%Ni.
32	الشكل (24.iii): الملاحظة المجهرية الضوئية للسبيكة Al-50wt%Ni في الحالة الخام
33	الشكل (25.iii): الملاحظة المجهرية الضوئية للسبيكة Al-50wt%Ni عند 850°C
34	الشكل (26.iii): الملاحظة المجهرية الضوئية للسبيكة Al-50wt%Ni عند 1150°C
35	الشكل (27.iii): مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni في الحالة الخام.
36	الشكل (28.iii): مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni المعالجة حراريا عند 850°C.
37	الشكل (29.iii): مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni المعالجة حراريا عند 1150°C.

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

يعتبر الألمنيوم من المواد الهيكلية الخفيفة استعمالاته محدودة خاصة عند استعمال قوة ميكانيكية وهذا لخصائصه الميكانيكية المنخفضة، لذلك نلجئ لاستعماله مع مواد أخرى و الحصول على سبائك .
شهد التقدم العلمي في مجال علوم المواد تطورا كبيرا في جميع أنحاء العالم، إن الحاجة إلى تطوير مواد ذات خصائص محددة وتفي بمعايير الجودة تتطلب معرفة بنيتها البلورية ومختلف خصائصها، تستعمل هذه المواد خاصة في مجال الطيران والصناعات المعدنية، النووية والطبية.....

وبالتالي فإن الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الخصائص البنيوية والميكانيكية مثل الصلادة للسبيكة الثنائية (Al-50wt%Ni) المحضرة بطريقة الصهر الكهرومغناطيسي عالي التردد HF في حالتها الخام وعند المعالجة الحرارية في درجتى الحرارة 850°C و 1150°C .

هذه المذكرة تحتوي على ثلاث فصول تتضمن:

- **الفصل الأول:** يحتوي على عموميات حول المعادن والخصائص البلورية، الميكانيكية والحرارية للمعادن، كما سنتطرق للحديث عن السبائك وأنواعها بالإضافة إلى المعالجة الحرارية والأشعة السينية.
- **الفصل الثاني:** يشتمل هذا الفصل على تقديم التركيبات المختلفة للسبيكة التي قمنا بدراستها تجريبيا مع تقديم الطرق المستعملة لدراستها منها: التحريض الكهرومغناطيسي، الملاحظة بالمجهر الضوئي، انعراج الأشعة السينية، صلادة فيكرز.
- **الفصل الثالث:** يحتوي هذا الفصل على نتائج التحاليل المورفولوجية والبنيوية للسبيكة المدروسة وتأثير المعالجة الحرارية عليها.

الفصل الأول : عموميات حول المعادن والسبائك.

مقدمة:

سنتطرق في هذا الفصل إلى مجموعة من المعارف حول الألمنيوم والنيكل، وكذا الخصائص البلورية، الميكانيكية والحرارية للمعادن وعموميات حول السبائك والصلب الكهرومغناطيسي والأشعة السينية.

1.1 عموميات حول المعادن:

1.1.1 مفهوم المعادن:

هي مادة طبيعية صلبة غير عضوية، حيث يحتوي المعدن على صفوف منتظمة تترابط بها الذرات كيميائياً مشكلة بنية بلورية، أحيانا نجد نوعين مختلفين تماما من المعادن في حين إنهما لهما نفس التركيب الكيميائي وهذا راجع لطريقة اتحاد العناصر المشكلة لهذا المعدن. وتوجد معادن تتكون من عنصر واحد ولكن أكثرها متعددة العناصر (اللطف، طبعة 2008).

2.1.1 الألمنيوم والنيكل:

1.2.1.1 الألمنيوم:

هو أكثر المعادن تعددا للاستعمال في العالم اكتشفه العالم الدنماركي هانز كريستيان اورستد سنة 1825 حيث كان عمله امتدادا لجهود الكيميائي الألماني فريدشولر. يشكل الألمنيوم 8% من قشرة الأرض وهو ثالث عنصر أكثر وفرة بعد الأكسجين والسيليكون، رمزه Al وعدده الذري 13، من بين خصائصه سهولة التصنيع ومقاومة جيدة للتآكل وارتفاع صلابة الكسر، وبهذا فهو من أكثر المواد اقتصادا وفعالية هيكليا والمستخدمة في العتاد التجاري والعسكري.

2.2.1.1 النيكل:

معدن رمزه Ni عدده الذري 28، فلز صلب ابيض فضي بمظهر ذهبي خفيف، يمتاز بمقاومته للتآكل لذلك يستخدم كطلاء لسبائك وتصنيع العملات المعدنية والمغناطيس وينتج من عملية التخليق النووي في المستعمرات العظمية، اكتشفه العالم اكسل فريدريك كروستد سنة 1751.

3.1.1 خصائص المعادن:

1.3.1.1 الخصائص البلورية:

تكون البنية البلورية للمعادن عبارة عن مجموعة من الذرات المرتبة في شبكة بلورية تتشكل البلورة من خلال تكرار خلايا الوحدة في فضاء ثلاثي الأبعاد، تكون الخلية لها أضلع وإحداثيات، وخصائص البلورة تحدد من خلال بنيتها البلورية (Pauling, 1949). وتتبلور المعادن طبقا لسبعة أنظمة أهمها النظام البلوري المكعبي.

(1) الأنظمة البلورية السبعة:

- الجدول (1.1) يمثل الأنظمة البلورية السبعة (hayette, 2011) .

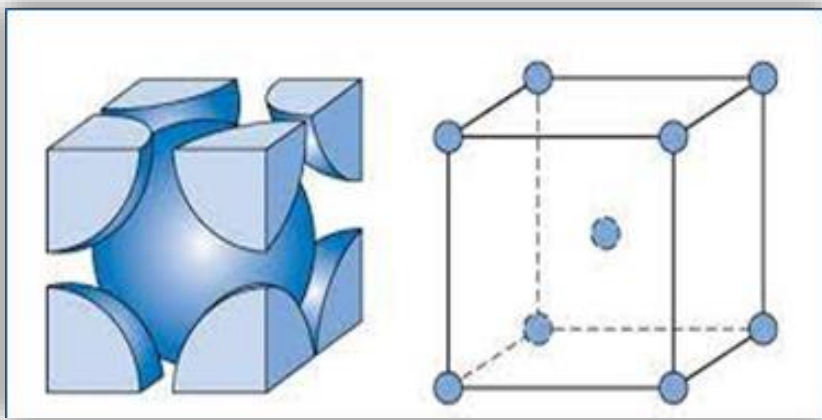
الزوايا	الأضلاع	النظام البلوري
$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$a=b=c$	المكعبي
$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$a=b\neq c$	الرباعي القائم
$\alpha =\gamma=90^\circ$	$a\neq b\neq c$	المستطيل القائم
$\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$	$a=b=c$	ثلاثي الزوايا
$\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$	$a\neq b\neq c$	احادي الميل
$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$	$a\neq b\neq c$	ثلاثي الميل
$\alpha=\beta=90^\circ$ $\gamma=120^\circ$	$a=b\neq c$	السداسي

جدول (1.1) : الأنظمة البلورية السبعة.

(2) البنى البلورية المعروفة للمعادن:

- مكعب متمركز الجسم:

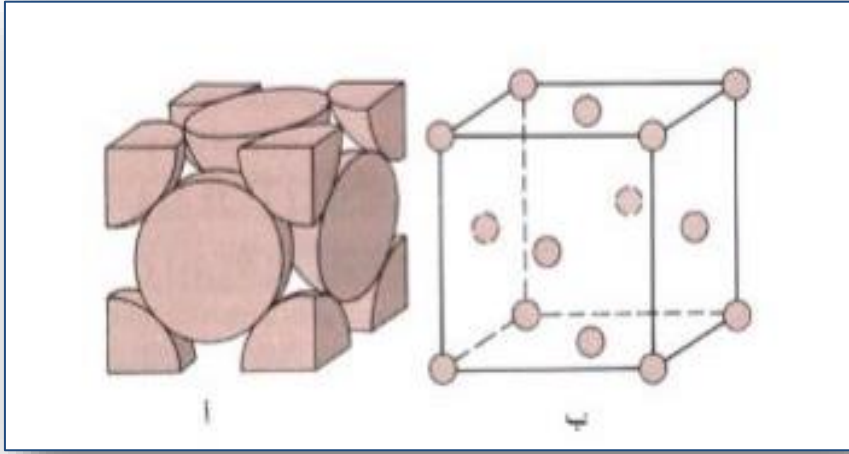
تندرج هذه البنية ضمن النظام المكعبي وتحتوي شبكة خليتها الأولية على ذرتين في الرأس وذرة تتمركزها تكون أشعتها الأساسية غير منطبقة على الحواف (الشكل 1.1).



الشكل (1.1):بنية مكعب متمركز الجسم.

• مكعب ممرکز الوجوه :

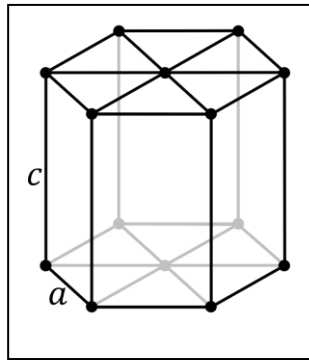
تندرج هذه البنية ضمن النظام المكعبي وتحتوي شبكة خليتها الأولية على أربع ذرات في الرأس وكذا ست ذرات كل ذرة تتمركز وجه من الأوجه (الشكل 2.1) وتحدد كل عقدة من خلال أشعة انسابها الأساسية لأنها تعتبر شبكة براقية.



الشكل (2.1): بنية مكعب ممرکز الوجوه

• الخلية السداسية:

البنية السداسية هي نظام من الأنظمة البلورية السبعة وتحتوي البنية الواحدة على ذرة واحدة (الشكل 3.1).



الشكل (3.1): الخلية السداسية.

2.3.1.1 الخصائص الميكانيكية :

(1) الصلادة:

عند مقاومة اختراق مادة لمادة أخرى لها تسمى هذه الخاصية بالصلادة، كما تعددت خصائصها من بينها مقاومة التآكل والخدش والتشوه. عادة يمكن قياسها عن طريق صلادة فيكرز وروكيل، وكذلك مقياس موس كما هو مبين في الجدول (2.1)(Murugan) .

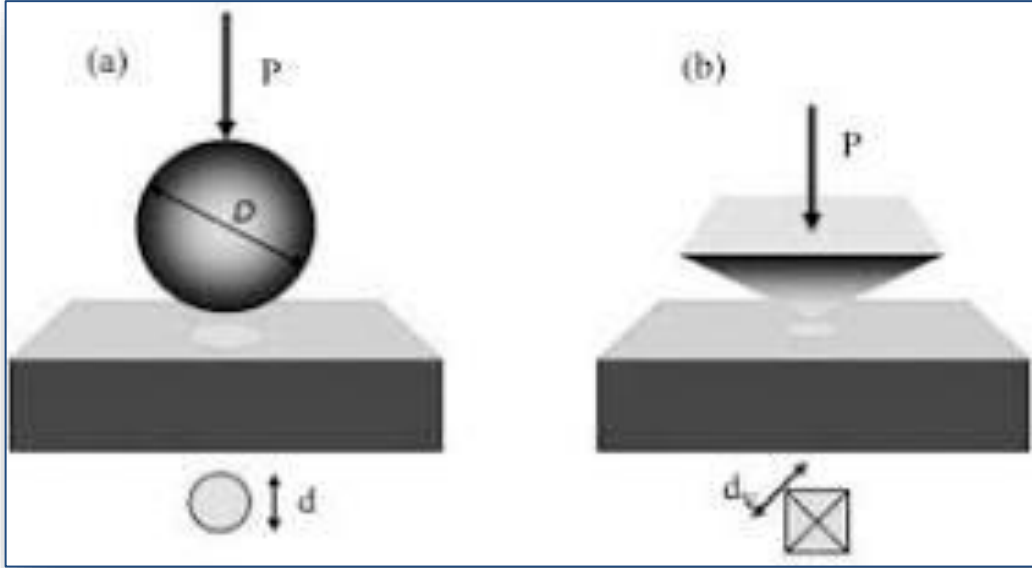
المعدن	مقياس موس لصلادة
التلك	1
الغيبسوم	2
الكالسيت	3
الفلوريت	4
الاباتيت	5
الاورثوكلاس	6
الكوارتز	7
التوباز	8
الألماس	9

الجدول (2.1): مقياس موس للصلادة.

أ. انواع الصلادة:

- صلادة الإزاحة:

تعتبر من أكثر الطرق استخداما في تحديد صلادة المعادن وتتم عن طريق تكوين فجوة دائمة في سطح المعدن المدروس (الشكل 4.1) ويتم تحديدها حسب الحمل والمسافة البادئة المشكلة. ومن أهم المقاييس لقياسها: مقياس برينيل، روكيل وفيكز (Tabour, 2000) .



الشكل (4.1): صلادة الإزاحة.

- صلادة الخدش:

وتعتبر من أقدم مقاييس الصلادة وتطورت لأول مرة على يد علماء المعادن، تعتمد على قدرة مادة صلبة على خدش مادة صلبة أخرى. والمقياس المستعمل لقياسها هو مقياس موس وتحدد الصلادة هنا من خلال عمق او عرض الخدش المتحصل عليه (الشكل 5.1) حيث كلما كانت المادة صعبة كان الخدش صغير، وتعتبر عملية الخدش معقدة للخصائص المرورية والبيلاستيكية (Tabour، 2000).



الشكل (5.1): مقياس موس للصلادة.

- الصلادة الديناميكية:

تعرف كذلك بصلادة الارتداد ونقيس ارتفاع المادة الحادة التي يتم اسقاطها من ارتفاع ثابت على مادة ما، وترتبط بالمرونة. يعرف الجهاز المستخدم لإجرائها بالمنظار (الشكل 6.1) (Allen, 2006).



الشكل (6.1): الجهاز المستخدم في قياس صلادة الديناميكية.

ب. صرق تياس الصلادة:

- صلادة برينل:

احد اختبارات قياس الصلادة اخترعه المهندس جون اغسطس برينل فسمي على اسمه، تبنى هذه الطريقة على ضغط كرة من الفولاذ على المادة المختبرة نستعمل عادة خلال التجربة كرة قطرها 10 mm مع وجود قوة تتغير على حسب قوة المعدن و نقوم باستعمال الجهاز الموضح في (الشكل 7.1) (Tabour, 2000).



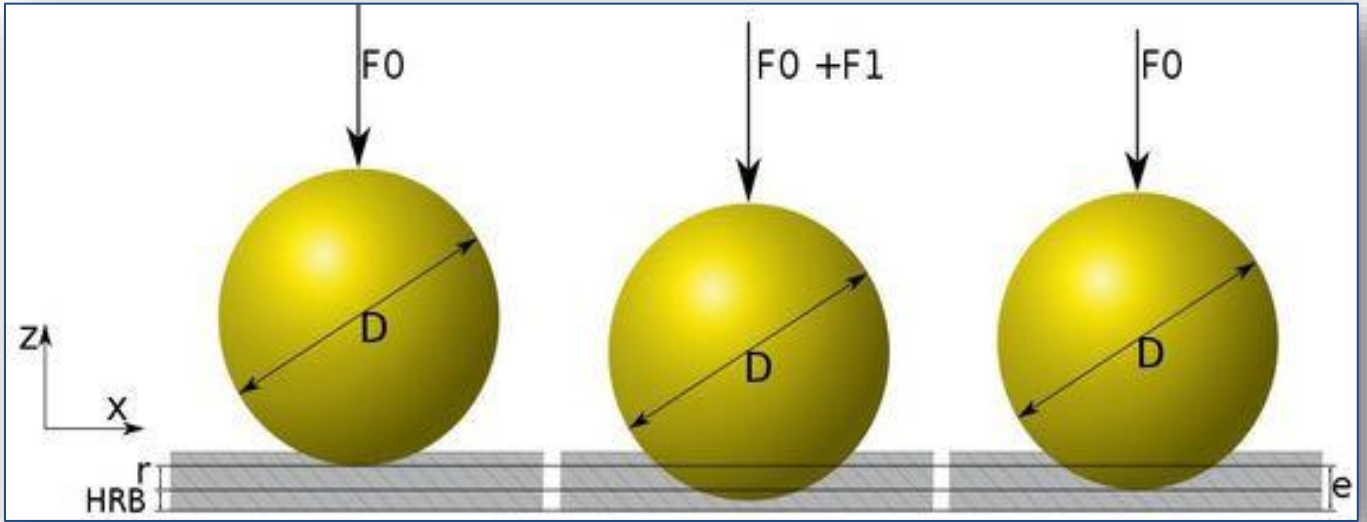
الشكل (7.1): جهاز قياس صلادة برينل.

- صلادة روكويل:

نعني به مدى مقاومة المادة للخدش حيث القيم الناتجة تعبر عن مقارنة بين قياسي عمقي اختراق مادة الخدش عند استخدام حملين مختلفين، وتختلف مستويات هذه الطريقة باختلاف قيمة الحمل ونوع الأداة (bolski&A.Fee, 2000).

من مميزات هذا الاختبار انه سريع، دقة في النتائج، لاتلافي ومباشر [7].

حيث يشرح لنا الرسم (الشكل 8.1) مبدا عمل طريقة روكويل:



الشكل (8.1): رسم توضيحي لمبدأ عمل طريقة روكويل.

- صلادة فيكرز:

تم تطويرها في عام 1921 من قبل روبرت ال سميث وجورج اي ساندلاند في شركة فيكرز كبديل لطريقة برينل، وهي من أسهل اختيارات قياس الصلادة وهذا راجع بان الحسابات المرادة مستقلة عن حجم الإزاحة ومبدأها الأساسي هو ملاحظة قدرة المادة على مقاومة التشوه البلاستيكي وتستخدم لجميع المعادن (دون استثناء) (GE.Sandland, 1922).

➤ طريقة حساب صلادة فيكرز:

يمكن حساب صلادة فيكرز من خلال القانون التالي (Dovale–Farelo, 2022) :

$$H_v = 1.854F/d^2$$

حيث:

F : القوة المطبقة

d²: المساحة التي يحدثها المخترق

يبين الجدول (3.1) صلادة فيكرز لبعض الأجسام.

المعدن	صلادة فيكرز HV
الفولاذ الصلب	180HV30
الكربون الصلب	55-120HV5
الحديد	30-80HV5
الألماس	1000HV
الألمنيوم	32HV

الجدول (3.1): صلادة فيكرز لبعض المعادن.

(2) الإجهاد والانفعال:

هما مقداران كميان بحيث يكون أحدهما نتيجة لفعل الآخر إذ أن الإجهاد قوة مؤثرة والانفعال عبارة عن تشوه ناتج عن تلك القوة (وردة، 2018).

• الإجهاد:

هو القوة المؤثرة على المادة التي تؤدي بها الى تغير شكلها وليس بالضرورة أن يكون عموديا على المادة بل يمكن أن يكون بأي شكل موازي مثلا وهو كل قوة في وحدة المساحة ورمزه (وردة، 2018) σ .

• الانفعال:

وهو نتيجة الإجهاد أي هو مقدار تغير في شكل الجسم الذي تعرض للإجهاد (وردة، 2018).

• معامل المرونة:

نجمع بين الاجهاد والانفعال بمعامل المرونة وهو النسبة بين هاتين القيمتين ويعتبر أحد خصائص المادة (وردة، 2018). ويعطى بالعلاقة التالية:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

حيث:

▪ E : معامل يونغ (معامل المرونة)

▪ σ : الإجهاد

▪ ε : الانفعال

3.3.1.1 الخصائص الحرارية:

أ. درجة الانصهار:

وهي درجة الحرارة التي عندها تتغير حالة المادة من حالة الصلبة إلى السائلة التي تعتبر نقطة حرجة نظرا لتوازن الطور السائل والطور الصلب، تعتمد هذه النقطة على ضغط المادة (Ramsay J).
الجدول (4.1) يمثل درجة إنصهار بعض المعادن نسيم، 2023).

المعدن	درجة الانصهار (°C)	درجة التبخر (°C)
الألمنيوم	659	2519
النيكل	1452	2913
الحديد	1204	
الذهب	1063	
النحاس	1083	
الزنك	419	

الجدول (4.1): درجة إنصهار بعض المعادن.

ب. السعة الحرارية:

تكون السعة الحرارية نوعية لأنه كل نوع يتميز بسعة حرارية خاصة، إذ أنها مقدار للطاقة (بالجول) اللازمة لرفع درجة حرارة واحد جرام من المادة بمقدار واحد درجة مئوية إذ تعتمد خاصة على درجة الحرارة ويرمز لها ب C.

يبين الجدول (5.1) السعة الحرارية النوعية لبعض المعادن.

السعة الحرارية النوعية (J/g. K)	المعدن
910	الألمنيوم
450	الحديد
129	الذهب
390	النحاس
387	الزنك

الجدول (5.1): السعة الحرارية النوعية لبعض المعادن.

يتم حساب السعة الحرارية بالطريقة التالية:

$$Q = mc\Delta T$$

حيث:

Q: كمية الحرارة.

m: كتلة الجملة.

c: السعة الحرارية الكتلية.

ΔT : التغير في درجة الحرارة.

ج. الناقلية الحرارية:

وهي مقدار فيزيائي تعبر عن كمية الطاقة الحرارية المنقولة في وحدة الزمن والمسافة وتعطى

بالعلاقة:

$$G = \sigma \times K$$

حيث:

▪ G: الناقلية (وحدتها في جملة الوحدات الدولية السيمنس (S).

▪ σ : الناقلية النوعية.

▪ K: ثابت الخلية.

2.1 السبائك المعدنية:

1.2.1 تعاريف:

أ. السبيكة:

تتكون السبيكة من خلال اتحاد فلزات مع عناصر أو فلزات فيما بينها وتختلف خصائصها عن خصائص العناصر التي تشكلها كسبيكة (حلمي، 2011).

وهناك نوعان من السبائك سبائك حديدية وأخرى غير حديدية وذلك يعتمد على طريقة التشكيل.

ب. المحلول الجامد:

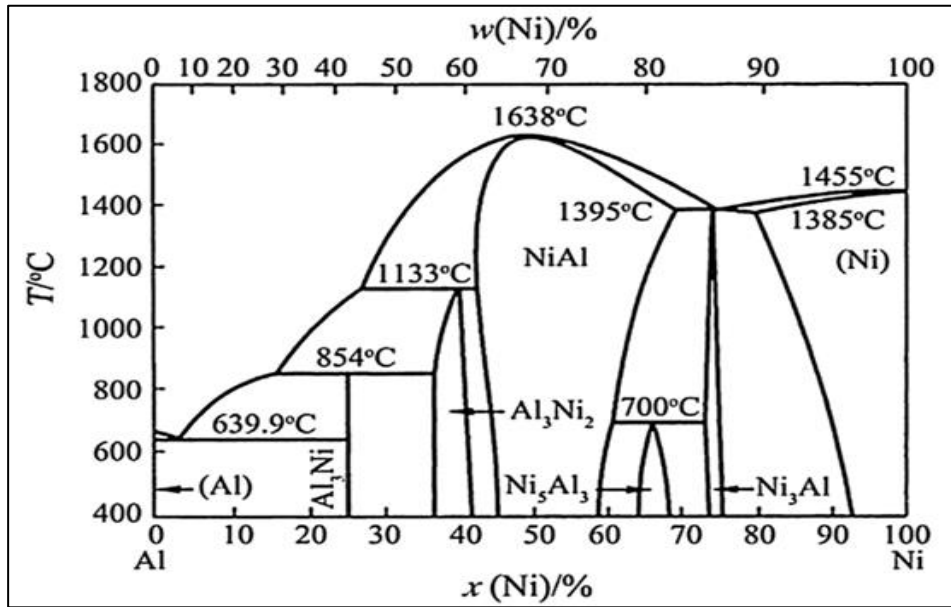
هو مركب أو بلورة مختلطة مكونة من اتحاد عنصرين كيميائيين أو أكثر وتكون فيها ذرات العنصر المذاب موزعة عشوائياً (نسيم، 2023).

ج. الطور:

هو المجال الذي به نفس الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة (hayette، 2011).

▪ منحنى الطور:

عبارة عن رسم بياني يحدد حالة السبيكة عند مختلف درجات الحرارة ويحدد مختلف الأطوار التي تمر بها السبيكة عند تشكيلها مع تحديد نسب وزنها (Paul, 1991)، في علم المعادن نستعمل منحنيات الأطوار الثنائية كمنحنى الطور لسبيكة Al-Ni (الشكل 10.1) (نسيم، 2023).



الشكل (10.1): منحنى الطور لسبيكة Al-Ni.

2.2.1 أنواع السبائك:

• السبائك الحديدية:

هي أكثر السبائك قوة بحيث تتكون أساسا من عنصر الحديد.

• السبائك غير الحديدية:

وهي السبائك التي لا يدخل في تركيبها عنصر الحديد اطلاقا كسبائكتي Al-Ni و Al-Cu ويمكننا تغيير خصائصها عن طريق المعالجة الحرارية.

3.2.1 طرق تشكيل السبائك:

من بين أهم الطرق لتشكيل السبائك نذكر الطريقتين التاليتين:

- طريقة التذويب.

- طريقة المسحوق.

أ. طريقة التذويب:

تعتمد هذه الطريقة على اخذ نسب معينة من العناصر بحيث نبدأ بتذويب العنصر الأول الذي له أكبر درجة انصهار ثم الثاني وهكذا مع الإبقاء على عملية التذويب متواصلة اما بالنسبة للمعادن المتجمدة فإنها لا تقبل الذوبان الكلي إلا إذا تحقق جميع قوانين هيم-روذري التي تتمثل فيما يلي:

- حجم الذرات متقارب.

- الكهرو سلبية متقاربة.

- الخلايا متشابهة.

- التكافؤات متقاربة.

ب. طريقة المسحوق:

تعتمد هذه الطريقة على:

- وزن مساحيق البداية وخلطها وذلك بعد طحنها.

- ثم يتم إخضاعها للضغط البارد والساخن لإجراء التعدين.

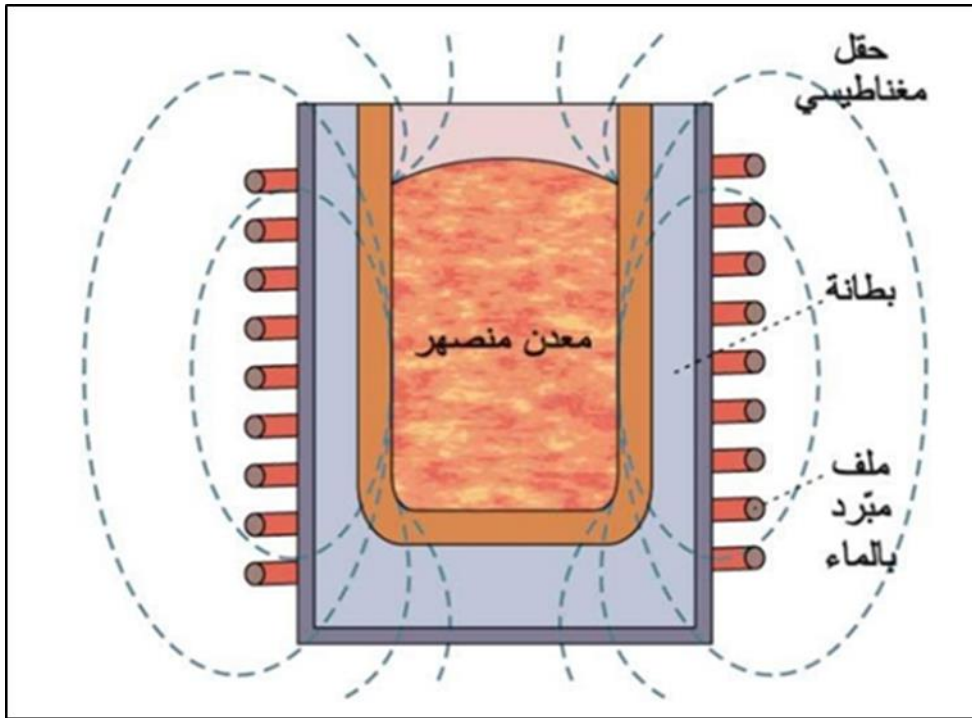
- ثم تطبق حرارة على هذه الكتلة.

3.1 الصهر بالتحريض المغناطيسي ذو التردد العالي HF:

1.3.1 مفهوم الصهر بالتحريض الكهرومغناطيسي عالي التردد:

هي تقنية يتم فيها تذويب المعادن من خلال تطبيق حقل مغناطيسي من مولد عالي التردد هدفها تحسين الخصائص البلورية والميكانيكية للمعادن وهو تطبيق لظاهرتين فيزيائيتين هما قانون لينز (التحريض المغناطيسي) وفعل جول.

مبدأ عمل الفرن يعتمد على تطبيق تيار متناوب على سلك ملفوف حول أسطوانة بها المادة أي في الوشيجة حيث عند مرور التيار ينشأ لنا حقل مغناطيسي في الوشيجة بدورها تنشأ تيار متحرض والتغير في هذا الحقل يحرض تيارا كهربائيا في العينة وبالتالي يرفع درجة حرارتها وهذا ما يؤدي إلى صهرها (الشكل 11.1)(Khawla, 2018) .



الشكل (11.1): مبدأ عمل الفرن الكهرومغناطيسي.

4.1 الأشعة السينية:

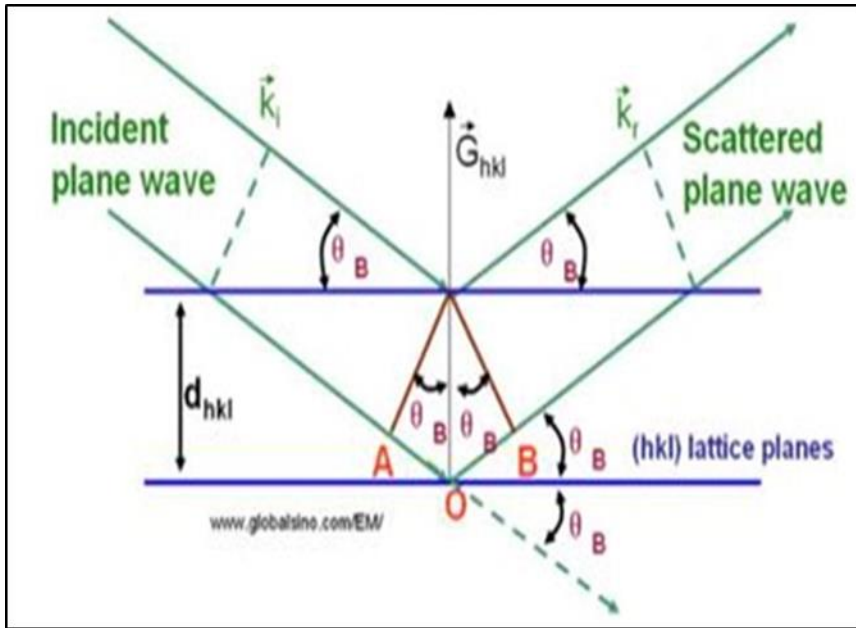
1.4.1 تعريف الأشعة السينية:

هي أشعة موجية كهرومغناطيسية لها دور كبير في معرفة التركيب البلوري للمواد حيث لها قدرة كبيرة على اختراق المواد حيث تنتج الأشعة من اصطدام الالكترونات السريعة في أنبوبة أشعة المصعد، تسير هذه الأشعة في خطوط مستقيمة وبسرعة متساوية لسرعة الضوء وهي لا تحمل أي شحنة (البناء، 2022).

2.4.1 التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية:

تعتمد تقنية انعراج الأشعة السينية على قانون براغ حيث فرض براغ نموذج بسيط للتركيب البلوري يمكن من خلاله معرفة اتجاه انحراف الأشعة السينية، في هذا النموذج افترض براغ ان جميع مستويات ذرات البلورة تعكس الأشعة السينية وان كل مستوى ذري يعكس جزء صغير من الإشعاع الوارد واهم شرط للانعكاس الجيد هو ان يكون هناك ربط بين زاوية السقوط والطول الموجي للضوء المستعمل وكذا المسافة بين المستويات البلورية للانعكاس (شعبان، 2020).

(الشكل 12.1) يوضح مبدأ قانون براغ.



الشكل (12.1): مبدأ عمل DRX

وتعطى معادلة قانون براغ بالشكل التالي) برحال, 2023):

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

n: رتبة الإنعكاس.

λ : الطول الموجي للأشعة السينية.

θ : نصف زاوية الانحراف (نصف الزاوية بين الشعاع الحادث واتجاه الكاشف).

d: المسافة بين المستويات البلورية المتوازية.

الفصل الثاني: الدراسة التجريبية.

مقدمة:

سنقدم من خلال هذا الفصل مختلف المواد المستخدمة خلال هذه الدراسة وعرض مختصر لطرق دراسة الخصائص البلورية والميكانيكية للسبائك (Al-50wt%Ni) مثل قياس السرعات الحرارية بالمشح التفاضلي والمعالجة الحرارية والملاحظة المجهرية بالمجهر الضوئي وقياس صلادة فيكرز.

1.11 السبيكة المعدنية المدروسة:

استعملنا خلال هذا العمل التجريبي مسحوق مادتي الألمنيوم والنيكل ذوي النقاوة العالية حيث درسنا خلال هذا العمل الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لسبيكة مكونة من هاذين المادتين سبيكة (Al-50wt%Ni) المحضرة بطريقة الصهر الكهرومغناطيسي ذو التردد العالي HF حيث مكونة أساسا من الألمنيوم والنيكل عنصر ثانوي.

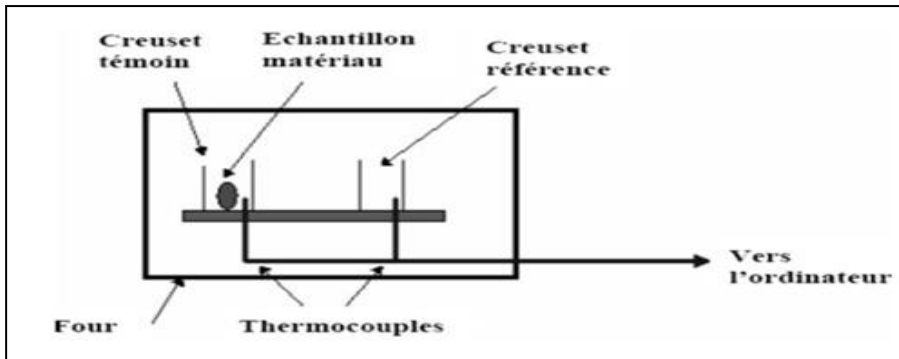
الكتلة الإجمالية للسبيكة 5غرام منها 2,5 غرام ألمنيوم و2,5 غرام نيكل (Al-50wt%Ni)، لوزن المساحيق قمنا باستعمال ميزان الكتروني.

قمنا خلال هذا العمل بدراسة السبيكة نفسها ثلاث مرات بدرجات حرارة مختلفة في الحالة الخام وعند درجتي الحرارة 850°C و1150°C تم أخذ هذه الدرجات من خلال النتائج المتحصل عليها عند قياس السرعات الحرارية بالمشح التفاضلي DSC.

2.11 التحليل الحراري للسبائك :

1.2.11 وصف عام ل DSC:

تستعمل طريقة قياس السرعات الحرارية بالمشح التفاضلي DSC لتحليل السرعات الحرارية التي تمكننا من تحديد درجات حرارة تحول الطور ومعرفة قيم الطاقة التحويلية، يتم استخدام العينة بوضعها في خلية والتي تعطى كإشارة كهربائية والمرتبطة بخلية مرجعية لحساب التدفق ΔT (الشكل 13.11) (hayette، 2011).



الشكل (13.ii): رسم تخطيطي لجهاز قياس DSC.

➤ مبدأ عمل جهاز قياس السرعات الحرارية بالمسح التفاضلي:

كيفية عمل هذا الجهاز المبين في (الشكل 14.ii) (hayette، 2011) (برحال، 2023) :

التحضير: يتم تحضير العينة بدقة ووضعا في خلية القياس بشكل محكم. عادةً ما تكون العينة والمرجع (مثل الهواء) موجودة في حاويتين مشابھتين للمقارنة.

التسخين: يتم تسخين العينة والمرجع بشكل متزامن بمعدل معروف. يتم قياس الحرارة المطلقة أو النسبية لكل من العينة والمرجع بواسطة مستشعرات حرارية حساسة.

المقارنة: يتم مقارنة كميات الحرارة المطلقة أو النسبية التي تم قياسها للعينة والمرجع أثناء التسخين. تحليل البيانات: يتم تحليل البيانات المحصل عليها لتحديد التغيرات في الحرارة الناتجة عن عمليات فعلية مثل التفاعلات الكيميائية أو التغيرات الهيكلية في العينة.

التفسير: يستخدم المستخدمون المعرفة الكيميائية والفيزيائية للعينة لتفسير التغيرات في الحرارة المطلقة أو النسبية التي يتم قياسها. يمكن استخدام هذه المعلومات لفهم الخصائص الحرارية للعينة مثل درجة الانصهار والتفاعلات الكيميائية والتغيرات الهيكلية الأخرى.

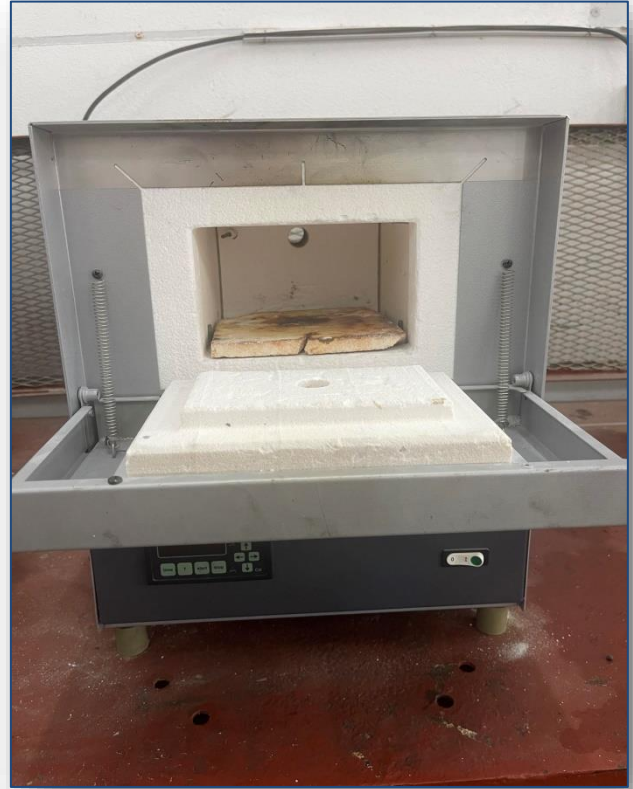


الشكل (14.ii): جهاز قياس DSC

2.2.11 المعالجة الحرارية:

(1) تعريف المعالجة الحرارية:

تعد المعالجة الحرارية أحد أهم الطرق لتحكم في خواص المعادن الفيزيائية والميكانيكية يتم ذلك من خلال تطبيق حرارة على المعدن ثم التبريد بعدها ومنه يمكننا التحكم في البنية البلورية للمعدن، تتم من خلال الجهاز (الشكل 15.11) في الغالب تؤثر المعالجة الحرارية على السبائك الحديدية ولكن يمكن أيضا تطبيقها



على السبائك غير الحديدية) نسيم, 2023).

(2) خطوات المعالجة الحرارية:

تتم عبر ثلاث مراحل وهي:

- التسخين البطيء للمعدن.
- حفظ المعدن في درجة حرارة ثابتة.

• التبريد حتى الوصول لدرجة حرارة الغرفة.

- مرحلة التسخين:

يتم خلال هذه المرحلة التسخين الكلي للمعدن مع التأكد أن الحرارة تلامس جميع نقاطه حتى لا يحدث تمدد لجزء أكبر من الجزء الآخر فتحد لنا انكسارات فيه نعتمد في معدل التسخين على:

✓ الناقلية الحرارية: كلما كانت ناقلية المعدن كبيرة كلما سخن بشكل أسرع.

✓ حالة المعدن: يجب الأخذ بعين الاعتبار الأجزاء التي خضعت للتقوية مسبقا إذ يجب أن تسخن بشكل أبطئ.

✓ الحجم والمقطع العرضي للمعدن: يتم تسخين الأجزاء الأكثر أهمية أبطأ من المكونات الصغيرة لتفادي حدوث تشققات (Cullity, 1978).

- مرحلة النقع (ثبوت درجة الحرارة):

يتم تحديد المدة التي من خلالها يمكن الحفاظ على درجة حرارة المعدن المناسبة التي تضمن بقاءه فيها بينما تتطور البنية الداخلية المقصودة، من المستحسن عدم رفع درجة حرارة المعدن في عملية واحدة فمن الضروري رفعها تدريجيا حتى الوصول إلى الدرجة التي تتغير عندها البنية فنقوم بتثبيتها (Cullity, 1978)

- مرحلة التبريد:

وتكون هذه آخر مرحلة يتم فيها تخفيض درجة حرارة المعدن إلى درجة حرارة الغرفة وتعددت الطرق خلال هذه المرحلة فيتم تحديد الطريقة حسب طبيعة المعدن، ممكن أن نحتاج إلى وسط تبريد للمعدن مثلا: غاز أو سائل أو مزيج منهما، بحيث يعتمد معدل التبريد على طبيعة المعدن ووسط التبريد (Cullity, 1978).

(3) العوامل المؤثرة على المعالجة الحرارية:

• درجة الحرارة والوقت.

• معامل التشوه.

• تكوين السبائك المعدنية.

- خلال عملنا هذا قمنا بالمعالجة الحرارية عند 850°C و 1150°C بعد كل معالجة قمنا بالتبريد

البطيء لتسهيل الدراسة.

3. II طريقة تحضير العينة :

تمر هذه العملية على مراحل:

1.3.11 عملية الرص :

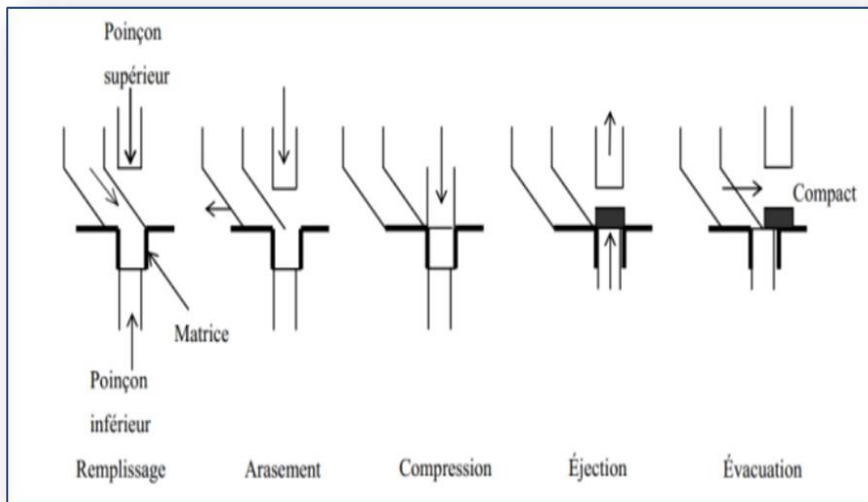
يتم وضع المسحوق المتجانس المكون في مادتين الألمنيوم و النيكل في ضاغط ميكانيكي و نطبق عليه ضغط 640 MPA فنتحصل على شريحة أسطوانية قطرها 16mm و ارتفاعها 4mm .
يبين (الشكل 16.11) شكل العينة بعد عملية الرص.



الشكل (16.11): شكل العينة بعد عملية الرص.

➤ مبدأ عمل الضاغط الميكانيكي:

يوضحه الشكل (17.11) (Khawla، 2018).



الشكل (17.ii): مبدأ عمل الضاغط الميكانيكي.

2.3.ii عملية الصهر الكهرومغناطيسي :

تتم عملية الصهر للحصول على السبيكة Al-Ni في أربع خطوات هي:

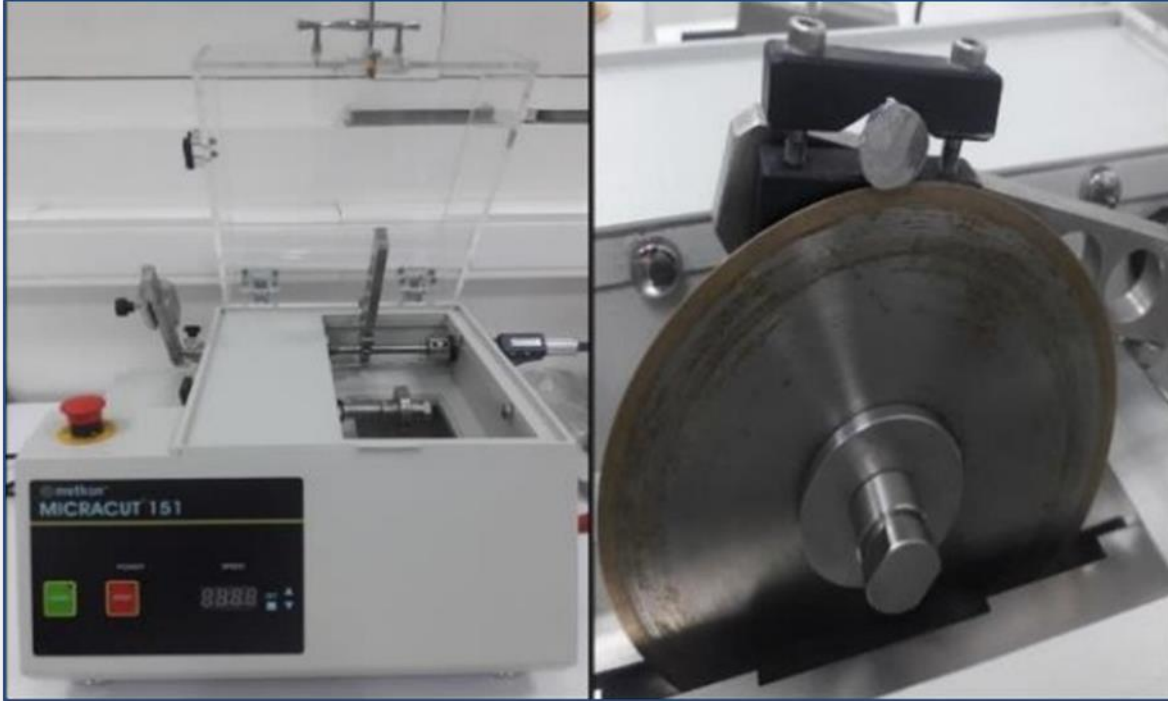
- 1- على البارد نضع سبيكة لمدة دقيقتين لطرد الغازات والهواء للابتعاد على تأكسد المزيج داخل أنبوب الكوارتز فيذوب المزيج ويتصلب وهو خالي من الشوائب.
- 2- تتغير درجة الحرارة تدريجيا حتى نلاحظ ذوبان كلي للعينة.
- 3- بعد الصهر الكلي نقطع التيار لمدة 3 إلى 4 ثواني.
- 4- نقوم بعملية التبريد الكهرومغناطيسي للعينة حتى تصبح درجة حرارتها من درجة حرارة الغرفة وذلك بعد قطع التيار من المصدر وإزالة طبقة الاكسيد المشكلة على السطح الخارجي فتأخذ الشكل الموضح في (الشكل 18.ii) (hayette، 2011).



الشكل (18.ii): شكل العينة بعد عملية الصهر.

3.3.ii عملية قص العينات :

خلال هذه العملية نستعمل منشار خاص (الشكل 19.ii) يحتوي على قرص يدور بسرعة 500 دورة في الدقيقة مع التبريد تم اختياره لخاصيته المميزة وهي عدم تغيير بنية المادة المفحوصة.



الشكل (19.ii): منشار القص.

في الحالة الخام يتم قص العينة إلى ثلاث أجزاء الجزئين الأول والثاني نقوم عليهما بالدراسة إحداهما عند 850°C والأخرى عند 1150°C أما الجزء الثالث فيحتفظ به كعينة في حالته الأصلية.

4.ii إعداد العينات :

لدراسة المعادن دراسة جيدة يتم إخضاع السبائك لعمليتي التلميع والمعالجة الكيميائية لتسهيل ملاحظتها بالمجهر الضوئي.

1.4.11 عملية التلميع :

نعرض دراسة الخصائص السطحية المختلفة للعينة في درجات حرارة مختلفة استعملنا جهاز التلميع الكهربائي حيث يتكون هذا الجهاز من سلسلة متتالية من ورق التلميع الذي يسمى الورق الكاشط من (120 إلى 4000) حيث كل مرة تستعمل نوع على حسب السطح وفي كل مرة يتبع ذلك بعملية تنظيف للسطح باستعمال الماء المقطر للتخلص من الجزيئات الخشنة التي من الممكن أن تخدمه ثم نلمع السطح بواسطة المعجون الماسي لنتحصل على سطح لامع كالمرآة وهذا يسهل لنا دراسة الخصائص خاصة عن طريق الملاحظة المجهرية.

2.4.11 المعالجة الكيميائية :

تعتبر هذه المرحلة مهمة خاصة للملاحظة المجهرية بالمجهر الضوئي حيث تمكننا من معرفة بنية المادة ومختلف المكونات الموجودة في العينة، عالجا بمتفاعلات كيلر التي تتركب أساسا من:

- حمض الفلوروهيدريك HF: 5 مل
- حمض الكلوروهيدريك HCl: 9 مل
- حمض النيتريك HNO_3 : 22 مل
- ماء مقطر H_2O : 74 مل

تعالج العينات لمدة 7 ثواني لرؤية واضحة لجميع الأطوار الموجودة.

5.11 طرق تحديد البنية المجهرية :

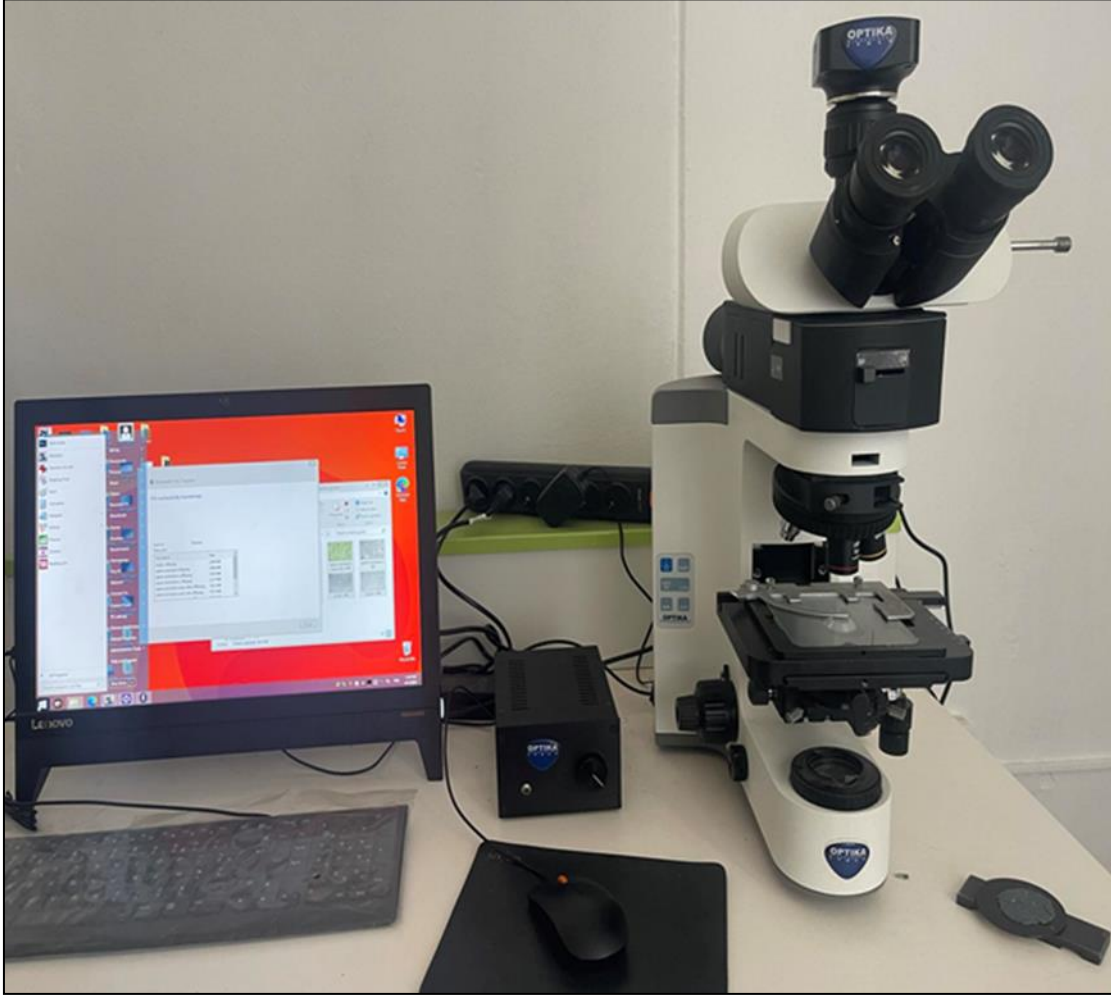
تمر سبيكة (Al-Ni) ذي القاعدة ألنسيوم باختبارات مختلفة لتحديد خصائصها الفيزيائية والميكانيكية حيث نرى منها خلال عملنا التجريبي هذا:

- تعريض العينة على جهاز DSC بأخذ عينة وزنها 5mg.
- ملاحظة بنية السطح بواسطة المجهر الضوئي.
- تحديد البنية المجهرية من خلال تقنية انعراج الأشعة السينية (DRX).
- قياس الصلادة بواسطة تقنية فيكرز.

1.5.11 المجهر الضوئي :

هو نوع من المجاهر يستخدم عادة الضوء المرئي ونظام العدسات لتوليد صور مكبرة للأجسام الصغيرة.

- تجتاز سبائك الألومنيوم نيكال المنتجة بواسطة فرن عالي التردد والمعالجة المجهر الضوئي لدراسة ومراقبة بنية السطح (الشكل 20.11).



الشكل (20.11): المجهر الضوئي.

- شروط الرصد الجيد للعينة بواسطة المجهر:
 - أن يكون السطح لامعا.
 - أن يكون معالج كيميائي لرؤية واضحة.
 - أن يكون مستويا.
 - أن يكون التكبير مناسباً.

يجب استعمال مجاهر تستعمل الضوء الساقط عموديا على العينة لأنه في الغالب لا تكون السبائك المعدنية شفافة ويلاحظ التركيب الداخلي من خلال الضوء المنعكس من العينة.

2.5.11 التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية :

إن دراسة طبيعة وبنية ونقاوة الأطوار المتحصل عليها تتم من خلال انعراج الأشعة السينية في العينة.

نستعمل في هذه الحالة جهاز التحليل البلوري بالأشعة السينية من نوع (chi-phi-z) (الشكل 11.21).



الشكل (11.21): جهاز الاشعة السينية.

- شروط عمل جهاز
- توضع العينة فوق رأس قياس غونيو متر.
- تسجل أطياف الانعراج بالنسبة لـ 2θ حيث: $2\theta > 10^\circ$ و $2\theta < 110^\circ$.
- تنتج الأشعة السينية عن أنود نحاسي وتكون عبارة عن أشعة $K\alpha$ ذات الطول الموجي $\lambda = 1.5 \text{ \AA}$ مدعومة بمولد تيار وجهد (45KV-40 mA).

- تقدم الأطوار المتواجدة من خلال منحى انعراج الأشعة السينية باستخدام برنامج High score plus.

3.5.ii قياس صلادة فيكرز:

خلال عملنا قمنا بأخذ ثلاث قياسات أماكن مختلفة من سطح العينة المدروسة (Al-Ni).
تقاوم صلادة المادة الاختراق حيث يتم تطبيق المخترق على سطح المعدن بواسطة القوة لمدة محددة والتي من خلالها يتم قياس صلادة المادة، حيث هناك تناسب عكسي بين الأثر الذي يتركه المخترق على سطح المادة مع مقدار الصلادة.
تعمل جميع اختبارات الصلادة بنفس المبدأ حيث يتجلى الفرق في شكل المخترق وفي عملنا هذا اخترنا صلادة فيكرز.

• شروط صلادة فيكرز:

- أن يكون سمك المادة أكثر من 0.1mm.
 - أن لا تكون المادة أكثر نعومة من مقياس الصلادة.
 - أن يجهز سطح المادة بشكل صحيح لضمان الدقة في النتائج.
 - تنظيف السطح جيدا من الشوائب مع تجفيفه.
 - أن يكون السطح ملمعا ومستوي ليكون أكثر انعكاسا وانسيابية.
- نستعمل جهاز (MICRO-DUROMETRE INNOVATEST 412 D) (الشكل II.22)



الشكل (22.ii): جهاز قياس صلادة فيكرز

القياس يكون بواسطة قوة مطبقة مقدارها (200 gF) لمدة 15s ويتم ذلك باستعمال رأس هرمي ألماسي ذو قاعدة مربعة.

الفصل الثالث: تحليل و مناقشة النتائج.

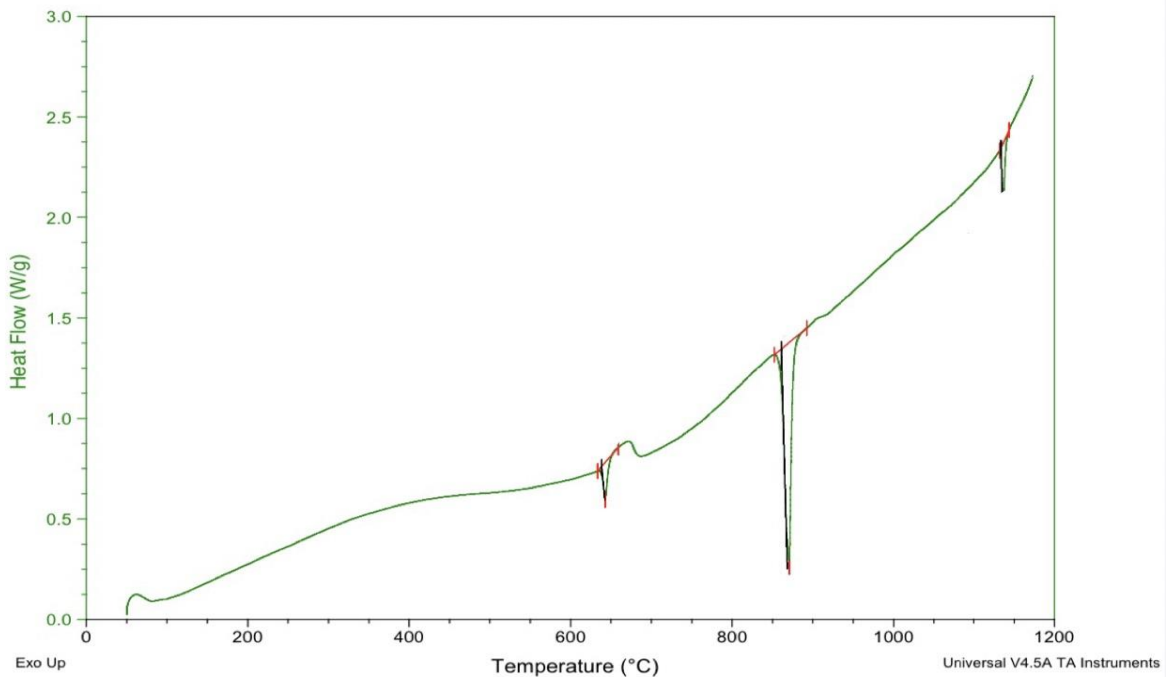
مقدمة:

سنتناول في هذا الفصل نتائج التحاليل البنيوية والبلورية والمورفولوجية للسبيكة الثنائية Al-50wt%Ni ذات القاعدة ألنيوم Al والمعالجة حراريا عند درجتى الحرارة 850°C و 1150°C والمحضرة بواسطة التحريض الكهرومغناطيسي عالي التردد HF, وتأثير المعالجة الحرارية على الخصائص البلورية والميكانيكية.

1.1.1. الخصائص البنيوية للسبائك الثنائية Al-Ni:

1.1.1. التحليل الحراري:

للتحليل الحراري نختار دورة تسخين لكل درجة من التحليل الحراري التفاضلي للسبيكة Al-50wt%Ni ، فتحصلنا على المنحنى المبين في الشكل (23.1.1).



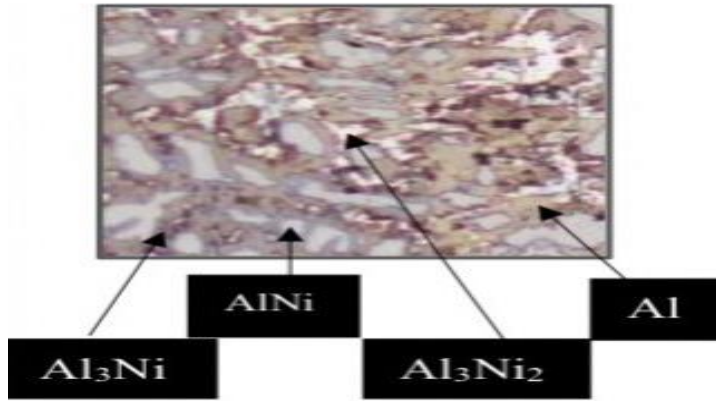
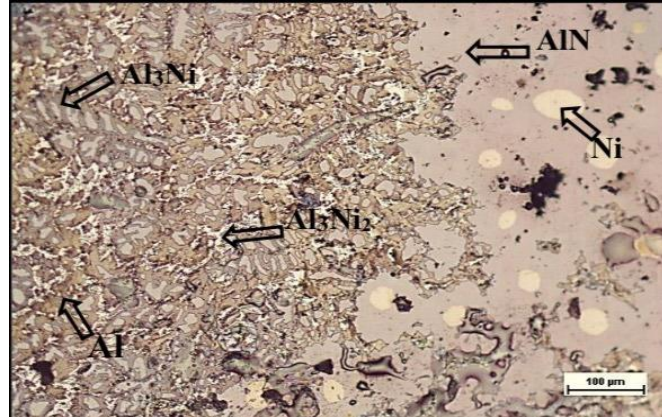
الشكل (23.1.1): دورة تسخين للسبيكة Al-50wt%Ni.

من خلال المنحنى المبين يمكننا تمييز ثلاث قمم: القمة الأولى كما كان متوقع فقد ظهرت عند 660°C حيث تمثل درجة حرارة انصهار الألنيوم، والقمة الثانية عند 850°C والتي نفترض أن تكون متعلقة بتبلور الطور الشبه بلوري، وقمة الثالثة عند 1150°C على الحرارة والتبريد الصادرة من Al_3Ni_2 (H.Bedboudi, 2023).

2.1.III الملاحظة المجهرية بواسطة المجهر الضوئي:

تمت الملاحظة المجهرية لبنية الحبيبات البلورية للسبائك الثنائية Al-Ni بواسطة المجهر الضوئي، يمثل الشكل (26.III) (27.III) (28.III) صور السبيكة الثنائية Al-50wt%Ni بالمجهر الضوئي في حالتها الخام وبعد المعالجة الحرارية عند درجتي الحرارة 850°C و 1150°C .

- يمثل الشكل (24.III) البنية البلورية ثنائية الطور للسبيكة Al-50wt%Ni في الحالة الخام.

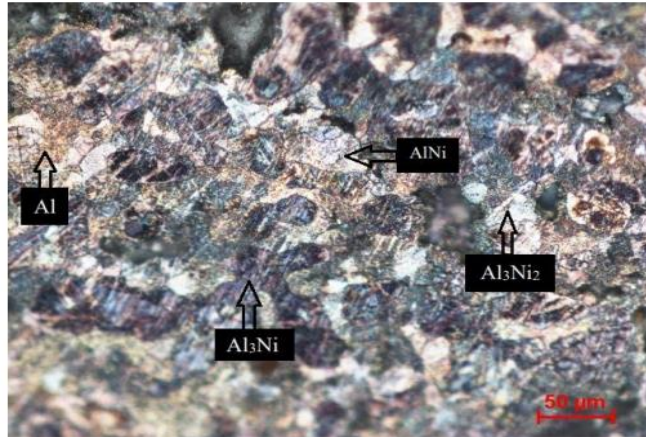
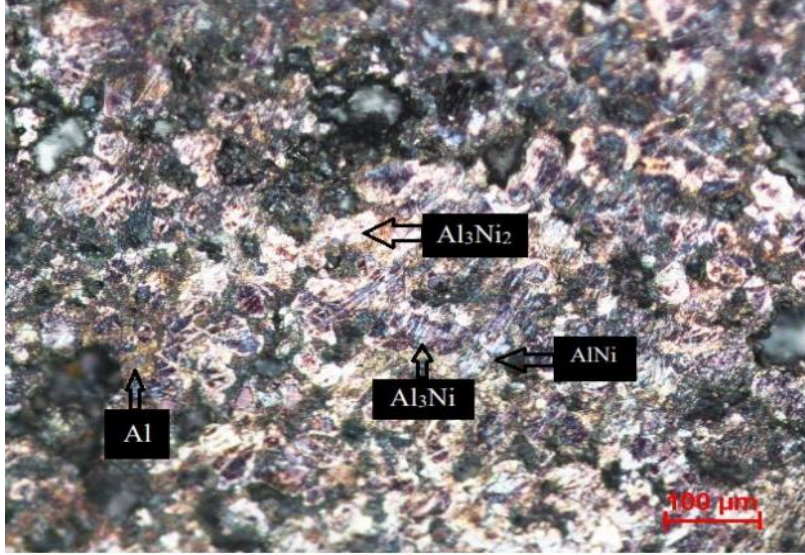


الشكل (24.III): الملاحظة المجهرية الضوئية للسبيكة Al-50wt%Ni في الحالة الخام

نلاحظ أن البنية المجهرية تتكون من 5 أطوار وهي: Al وبنيتها FCC، Al_3Ni ذو البنية البلورية معين مستقيم بالإضافة الى 3 أطوار AlNi و Al_3Ni_2 و Ni ذو البنية البلورية المكعبة المثلثية متمركزة الوجوه على التوالي.

نلاحظ كذلك الهيكل يتكون من منطقتين مختلفتين شكليا، واحدة تحتوي على Ni كروي مشتت في المحلول الصلب (Al-Ni) والأخرى Al_3Ni_2 ; Al_3Ni ; Al.

- يمثل الشكل (25.III) البنية البلورية ثنائية الطور للسبيكة $Al-50\%wtNi$ بعد معالجتها حراريا عند $850^{\circ}C$.

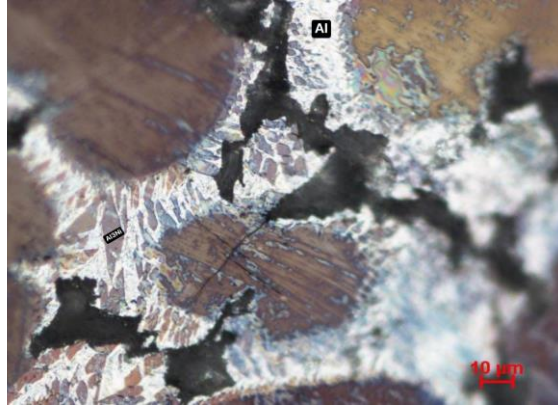
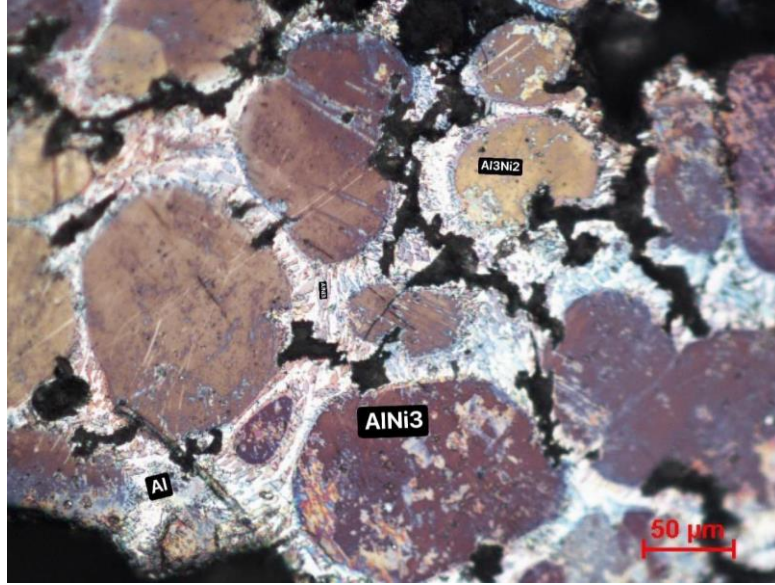


الشكل (25.III): الملاحظة المجهرية الضوئية للسبيكة $Al-50wt\%Ni$ عند

$850^{\circ}C$

نلاحظ أن البنية المجهرية تتكون من 4 أطوار وهي: Al وبنيتها FCC ، Al_3Ni ذو البنية البلورية معين مستقيم بالإضافة الى طورين $AlNi$ و Al_3Ni_2 بنيتهما البلورية مكعبة متوازية السطوح على الترتيب. نلاحظ كذلك الهيكل يتكون من مناطق مختلفة شكليا، تكون فيها الأطوار كروية أو بيضوية مشتتة في المحلول الصلب $AlNi$.

- يمثل الشكل (26.III) البنية البلورية ثنائية الطور للسبيكة $Al-50wt\%Ni$ بعد معالجتها حراريا عند $1150^{\circ}C$.



الشكل (26.III): الملاحظة المجهرية الضوئية للسبيكة

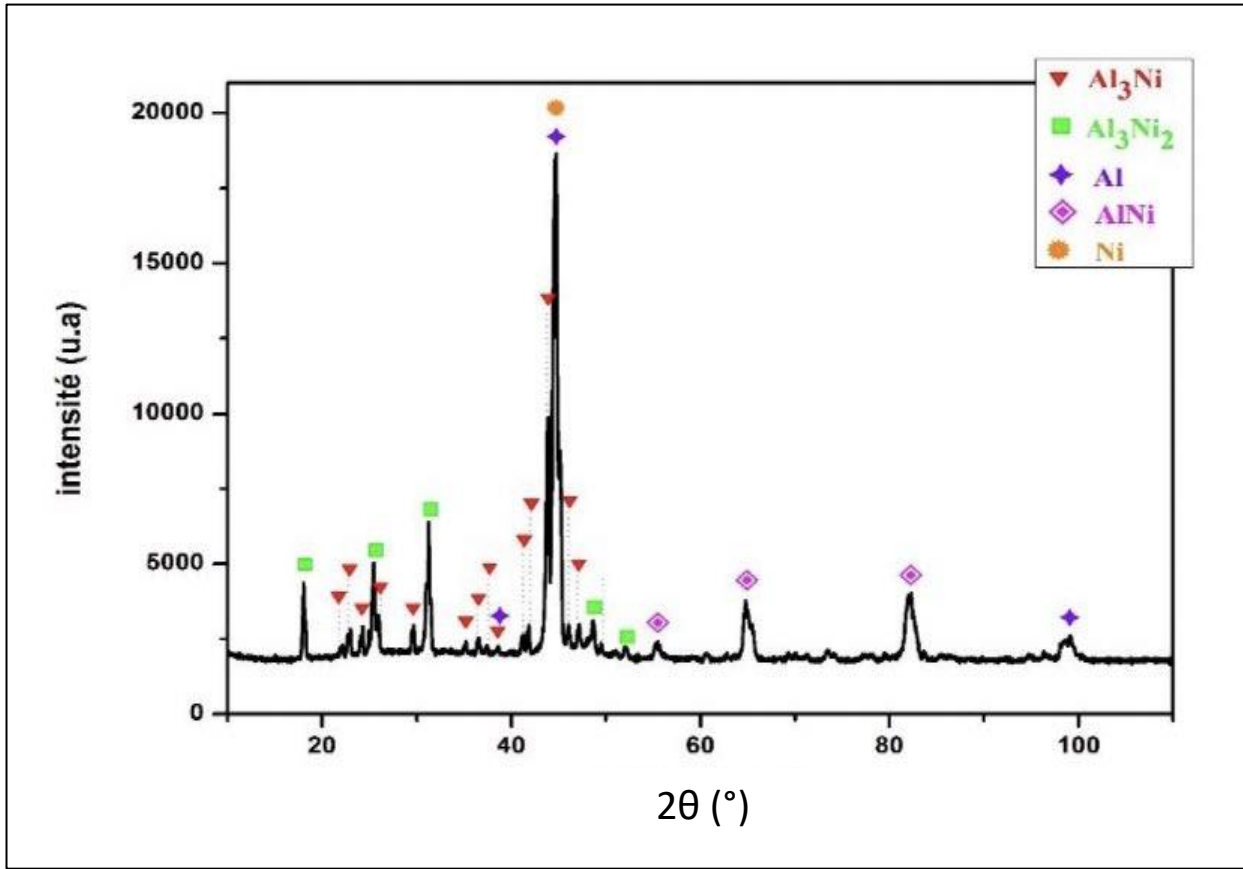
$Al-50wt\%Ni$ عند $1150^{\circ}C$

نلاحظ أن البنية المجهرية تتكون من 6 أطوار وهي: Al وبنيتها FCC، Al_3Ni_2 بنيته سداسي معبئ، Al_3Ni بنيته معين مستقيم و Al_4 و Al_4Ni_3 و $AlNi_3$ ذوي البنية المكعبة حيث يظهر لنا الطور Al_3Ni بشكل مسنن أي يشبه أغصان الأشجار (Nacira, 2018)، كما نلاحظ وجود مناطق مورفولوجية مختلفة تظهر في الأطوار.

3.1.III البنية البلورية بواسطة تحليل انعراج الأشعة السينية DRX :

باستعمال برنامج High Score Plus تم إيجاد أطياف انعراج الأشعة السينية للسبيكة الثنائية Al-50wtNi المحضرة بالتحريض الكهرومغناطيسي عالي التردد HF والمعالجة حراريا عند 850°C و 1150°C ، حيث تم رسم مخططات انعراج الأشعة السينية بواسطة برنامج Origine Lab وبالاعتماد على معلومات الفواصل والترتيب بالشكل $I=f(2\theta)$ حيث يمثل تغير الشدة بدلالة 2θ .

- يمثل الشكل (27.III) مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni في الحالة الخام مع كل ما يقابل قمة من طور للسبيكة في هذه الحالة.

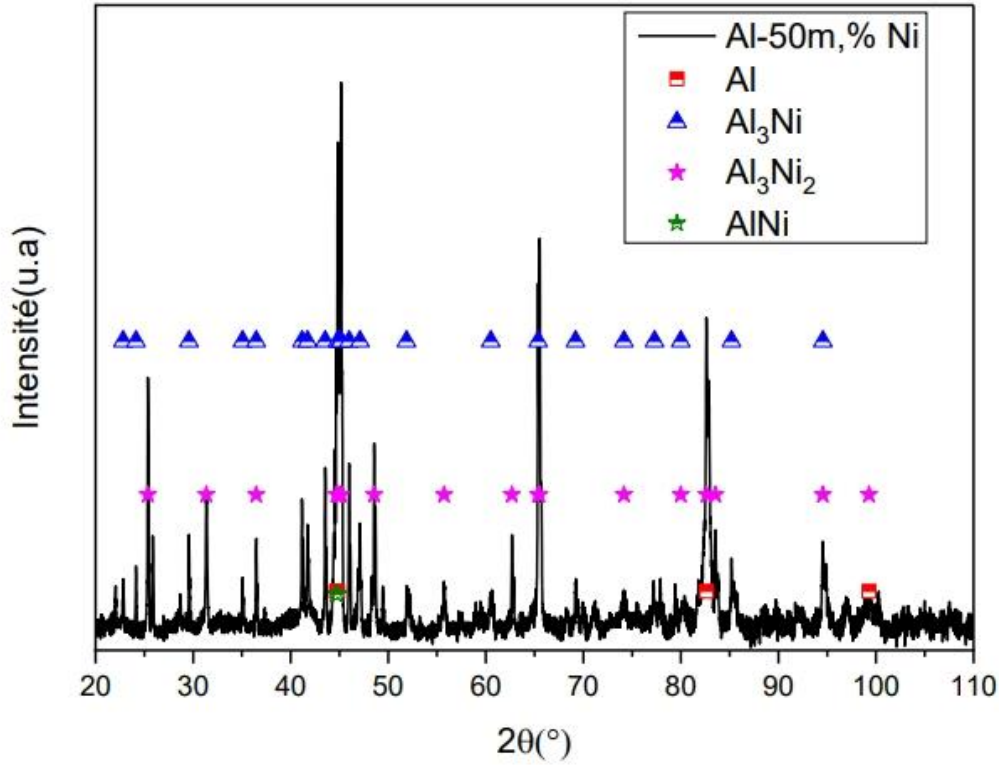


الشكل (27.III): مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni

في الحالة الخام.

في الحالة الخام للسبيكة Al-50wt%Ni تم تحديد الخطوط التي تظهر في هذه السبيكة، حيث لاحظنا ظهور طور لمحلول صلب Al ذو البنية FCC مع ثابت بلوري $a=0,40494\text{nm}$ ، بالإضافة إلى طورين بينين يمثل Al_3Ni وبنيته معين مستقيم و طور AlNi ذو البنية مكعبة ممركرة الجسم، وكذلك طور يمثل Al_3Ni_2 وبنيته سداسي معبي، كما نلاحظ وجود النيكل (بنيته FCC) عند القمة التي تقع عند $2\theta=44,47$.

- يمثل الشكل (28.III) مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni بعد المعالجة الحرارية عند 850°C مع كل ما يقابل قمة من طور للسبيكة في هذه الحالة.

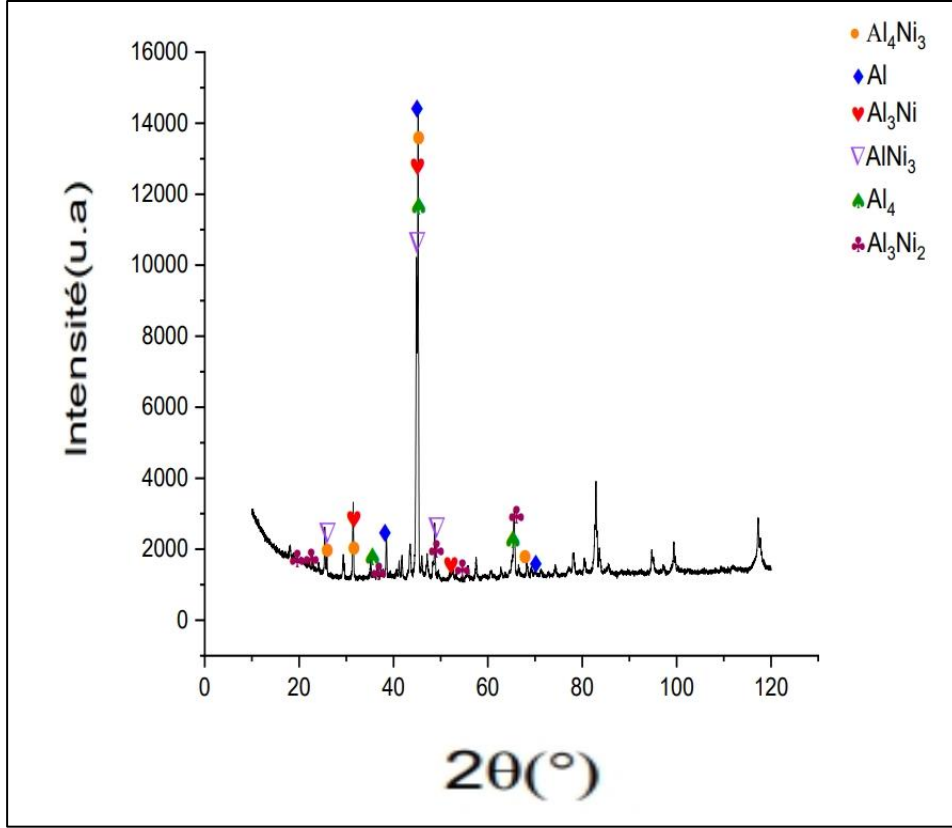


الشكل (28.III): مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni

المعالجة حراريا عند 850°C.

نلاحظ في هذه الحالة تناقص في عدد الأطوار بعد المعالجة الحرارية عند 850°C بحيث نجد 4 أطوار وهي: Al ذو البنية FCC وثابت بلوري $a=0.4045\text{nm}$ وطورين بينين Al_3Ni وبنيته معين مستقيم و AlNi ذو البنية البلورية مكعب ممرکز الجسم، ونجد أيضا الطور البيني Al_3Ni_2 وبنيته سداسي معبي، كما نلاحظ وجود المحلول الصلب للالمنيوم في القمة (200) حيث تمثل أكبر شدة وهذا ما لاحظناه كذلك في النتائج المجهرية للمجهر الضوئي.

- يمثل الشكل (29.III) مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni بعد المعالجة الحرارية عند 1150°C مع كل ما يقابل قمة من طور للسبيكة في هذه الحالة.



الشكل (29.III): مخطط انعراج الأشعة السينية للسبيكة Al-50wt%Ni

المعالجة حراريا عند 1150°C.

بعد المعالجة الحرارية عند 1150°C نلاحظ زيادة في عدد الأطوار إذ نجد 6 أطوار وهي: المحلول الصلب للألمنيوم (Al) ذو البنية FCC، وطور بيني Al₃Ni بنيته البلورية معين مستقيم، وثلاث اطوار بينية أخرى Al₄Ni₃, Al₄, AlNi₃ (Boukhessaim, 2013) ذوي البنية المكعبة، ونجد أيضا الطور البيني Al₃Ni₂ وبنيته سداسي معبئ، وأكبر شدة موجودة في القمة تمثل المحلول الصلب للألمنيوم كذلك هذا ما أكدته لنا نتائج الملاحظة المجهرية بالمجهر الضوئي.

2.111 تطور ثابت بلورة الألمنيوم:

يمثل الجدول (6.111) تغير ثابت بلورة الألمنيوم بالنسبة لتغير درجة الحرارة أي في الحالة الخام وفي درجتى الحرارة خلال المعالجة الحرارية. الجدول (6.111): تطور الثابت البلوري للألمنيوم.

1150	850	درجة حرارة الغرفة	درجة المعالجة الحرارية (°C)
0.40485	0.4045	0.40494	ثابت البلورة (nm)

الجدول يبين قيم ثابت الشبكة البلورية:

في الحالة الخام وبعد المعالجة الحرارية عند 850°C نلاحظ أن القيم المتحصل عليها في تناقص وهذا راجع لطبيعة ونوع التحولات الخاصة بالأطوار لكل سبيكة مثلا: وجود أو غياب الطور Al_3Ni . عند الزيادة في درجة حرارة المعالجة أي عند 1150°C ثابت الشبكة البلورية في تزايد وهذا راجع إلى إستبدال ذرات الألمنيوم بذرات النيكل والذي بإمكانه كذلك أن يشغل فجوة في شبكة الألمنيوم لأن النصف القطر الذري للنيكل أعلى من النصف القطر الذري للألمنيوم حيث: $r_{Ni}=124pm$ و $r_{Al}=118pm$. من المتوقع أن يكون هذا راجع لظهور الطور الشبه مستقر Al_3Ni . (Boukhessaim, 2013)

3. III صلادة فيكرز:

استعملنا خلال قياس صلادة فيكرز قوة قدرها 200gF سمحت لنا بقياس الصلادة للعينات الثلاث للسبيكة الثنائية Al-50wt%Ni بدلالة التغير في درجة الحرارة أي في الحالة الخام ثم بعد معالجتها في درجتين مختلفتين كما هو ممثل في الجدول (7. III).
الجدول (7. III): تغير الصلادة بالنسبة لتغير درجة الحرارة.

1150	850	درجة حرارة الغرفة	درجة المعالجة الحرارية (°C)
865.42	413.1	158.36	صلاد فيكرز (HV)

الجدول يبين تغير قيم صلادة فيكرز حيث نلاحظ أنه بعد المعالجة الحرارية نشهد زيادة معتبرة في صلادة فيكرز وهذا راجع لزيادة عدد الأطوار أي الرواسب التي ظهرت والتي من المتوقع أننا قد وصلنا لدرجة ذوبانها لهذا ظهرت وتوزع هذه الأطوار البينية في القاعدة (Hayette Bedboudi, 2024) .

خاتمة عامة

خاتمة عامة:

الهدف من هذا العمل هو تحديد وتحسين الخصائص البنيوية والميكانيكية للسبيكة الثنائية Al-50wt%Ni في حالتها الخام وبعد معالجتها حراريا، وهذا بناءا على الملاحظة المجهرية ودراسة انعراج الأشعة السينية واختبار صلادة فيكرز.

وجدنا أن:

- من خلال تحليل DSC تتم الدراسة في الحالة الخام وعند درجتي الحرارة 850°C وعند 1150°C .
- البنية المجهرية لهذه السبيكة في الحالة الخام تحتوي على 5 أطوار : Al وهو محلول صلب و اربع اطوار بينية أخرى منها : Al_3Ni_2 و Ni و Al_3Ni الملاحظة المجهرية لهذا الاخير بينت أنه يظهر في شكل أغصان موزعة في شبكة الالمنيوم، بينما بعد المعالجة الحرارية عند 850°C نلاحظ ظهور أربع أطوار : Al وهو محلول صلب و ثلاث اطوار بينية أخرى هي نفسها التي ظهرت في الحالة الخام مع اختفاء طور Ni و بعد المعالجة الحرارية عند 1150°C نلاحظ ظهور 6 أطوار وهي : Al وهو محلول صلب، وخمس اطوار بينية أخرى Al_3Ni_2 ، Al_3Ni ، Al_4 و Al_4Ni_3 و AlNi_3 تم تأكيد النتائج من خلال تحليل انعراج الاشعة السينية DRX.
- ثابت الشبكة البلورية تتعلق قيمته بعدد الأطوار البينية التي تظهر.
- تحسن صلادة فيكرز بعد المعالجة حرارية راجع لتوزيع الاطوار البينية في القاعدة.

قائمة المراجع

قائمة المراجع:

- [1] م. ف. ع. اللطيف، علم المعادن، طبعة 2008.
- [2] L. Pauling ،A Resonating-Valence-Bond theory of Metals and Intermettalic compounds ،(1949).
- [3] H.Bedboudi ،Etude de développement de structures dans les alliages à base d'aluminium: Al-Zn et Al-Cu-Zn ، These doctorat (2011) Univ Annaba .
- [4] S. Murugan ،"Mechanical Properties of materials "(2020).
- [5] D. Tabour ،The Hardness of Metals ،(2000).
- [6] R. Allen ،A guide to rebound hardness and scleroscope teste ،(2006).
- [7] E. bolski&A.Fee ،macroindentation hardness testing ،(2000).
- [8] R .& .GE.Sandland ،An accurate Method of determining the Hardness Metals,with particular réfence to those of a High degree of Hardness ،(1922).
- [9] V. a. Dovale-Farelo ،vickers Hardness Prediction from machine learning methods ،(2022).
- [10] ب. ع. وردة، مطبوعة دروس وتمارين في فيزياء الجسم الصلب،(2018).
- [11] A. Ramsay J ،"A new method of freezing-point determination for small Quantitie "journal of experimental Biology "(1949).
- [12] ن.عبد اللاوي، دراسة الخصائص البنيوية والميكانيكية والكهروكيميائية للسبائك الثنائية Al-Ni المحضرة بطريقة الصهر بالتحريض الكهرومغناطيسي عالي التردد HF، مذكرة تخرج ENSET . Skikda (2023)
- [13] أ. ز. حلمي، كتاب سباكة المعادن،(2011).
- [14] F. a. D. Paul ،Materials Science & Engineering ، (1991).
- [15] K.Aouta, Caractérisation microstructurale et propriétés mécanique et électrochimiques des alliages Al-Ni ، mémoire master (2018) Univ Annaba.

- [16] أ.ع.ف. البنا، الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها،(2022).
- [17] غ.ب. شعبان، مطبوعة فيزياء الجسم الصلب، (2020).
- [18] س. برحال، دراسة مطيافية السيراميك الزجاجي المطعم بأيون التريوم،مذكرة تخرج (2023)
.ENSET Skikda
- [19] D. Cullity ،elements of X-Ray diffractio, (1978) .
- [20] H.Bedboudi et al, Mcrostructural Peculiarities of Al-Ni Alloys Prepared By HIGH-FREQUENCY Induction Fusion ، Heat Transfer Research (2024).
- [21] N. Sassane,Elaboration par fusion haute fréquence et caractérisation des alliages Al-Co-Ti,these doctorat (2018) Univ Annaba .
- [22] S. Boulkheissaim ،"characterization of Al₃Ti phase in Al-Ti alloys "،The European Physical Journal Applied Physics,article (2013) Univ Annaba.
- [23] H. Bedboudi ،The effect of heat treatement on Al-50wt%Ni alloy prepared by High-frequency Fusion (HF), INCPCS ENSC (2024).