

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء المواد

من إعداد: حويتي العروسي \* دريد عبد الرزاق

بعنوان:

## تأثير درجة الحرارة على الناقلية و الصلادة للنحاس و سبائك النحاس - ألنيوم

نوقشت يوم: 2017/ 05/ 24.

أ.د غرياني رشيد

المشرف:

أ.سليمان إدريس

المشرف المساعد:

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	أ.د. بوكراع عمر
مناقشا	المدرسة العليا للأساتذة ورقلة	أستاذ مساعد(ب)	د. سويقات عبد القادر
مشرفا ومقررا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	أ.د. غرياني رشيد

الموسم الجامعي: 2016/2017

## شكر و عرفان

إذا لا كان لابد من ذكر أهل الشكر فالأولى أن نشكر الله تعالى فالحمد لله أولاً و آخراً و ظاهراً و باطناً كما يجب ربنا و يرضى ( اللهم لك الحمد حتى ترضى و لك الحمد بعد الرضا و لك الحمد إذا رضيت ). أشكر الله تعالى و أحمده على أن وفقنا و أعاننا في إنجاز هذه الدراسة و من باب قوله صلى الله عليه و سلم: "لا يشكر الله من لا يشكر الناس".

إلى من لا يمكن لكلمات الشكر أن توفي حقهما, إلى من لا يمكن للأرقام أن تحصى فضائلهما, أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور غرياني رشيد الذي لم ييخل علينا بتوجيهاته ونصائحه القيمة التي كانت عوناً لنا في إتمام هذا البحث, و إلى الأستاذ المساعد سليمان إدريس على جعل جزء من وقته الثمين و حسن متابعته و نصائحه القيمة و لا ننسى الأستاذ بن مبروك زهر, بن طويلة عمر, على توجيههما و نصائجهما التي كانت ذات فائدة في إنجاز هذا العمل المتواضع.

ولا يفوتنا أن نشكر كل موظفي مخبر LRPPS .

فجزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على إنجاز هذا العمل المتواضع وفي تذليل ما واجهناه من صعوبات.

## فهرس الجداول

### الفصل الأول: عموميات على النحاس

6	الجدول (1-I): أهم ثلاث دول منتجة للنحاس.
9	الجدول (2-I): خصائص النحاس.

### الفصل الثاني: التقنيات المستعملة

32	الجدول (1-II): عمليات المعالجة الحرارية و أهم اهميتها.
----	--

### الفصل الثالث: الجانب العملي

#### و الأجهزة المستعملة

43	الجدول (1-III): جدول يوضح مختلف الشوائب لمسحوق الألمنيوم.
43	الجدول (2-III): جدول يوضح مختلف الشوائب لمسحوق النحاس.
46	الجدول (3-III): شروط تحضير عينات النحاس النقي.
46	الجدول (4-III): عملية السحق للحصول على سبيكة ألمنيوم- نحاس.
46	الجدول (5-III): عملية السحق للحصول على سبيكة ألمنيوم- نحاس.
47	الجدول (6-III): عملية السحق للحصول على سبيكة ألمنيوم- نحاس.
47	الجدول (7-III): عملية السحق للحصول على سبيكة ألمنيوم- نحاس.

### الفصل الرابع: مناقشة النتائج و تفسيرها

51	الجدول (1-IV): نتائج المقاومة للعينات.
52	الجدول (2-IV): نتائج الناقلية النوعية للعينات.
62	الجدول (3-IV): حجم الحبيبات لعينة النحاس النقي و النحاس-ألمنيوم بمختلف النسب.

## فهرس الأشكال

### الفصل الأول: عموميات على النحاس

4	الشكل (1-I): النحاس الأحمر.
---	-----------------------------

### الفصل الثاني: التقنيات المستعملة

16	الشكل (1-II): مرحلة الترتيب و تشكيل العنق.
17	الشكل (2-II): مرحلة نمو الأعناق و إنخفاض نسبة الفراغات.
17	الشكل (3-II): مرحلة تكون الفراغات المغلقة و نمو الحبيبات.
19	الشكل (4-II): التطوران المورفولوجيان الممكنان للمادة خلال تقلص مساحات السطح.
20	الشكل (5-II): تطور زاوية الترابط $\Phi$ خلال التلامس بين كرتين متماثلتين.
21	الشكل (6-II): مراحل نمو الحبيبات الكبرى على حساب الحبيبات الصغرى.
21	الشكل (7-II): بنية سلسلة ناتجة عن نمو الحبيبات الكبرى على حساب الحبيبات الصغرى.
22	الشكل (8-II): تدرج الكيميائي و طرق الانتشار بين سطح الحبيبة و العنق خلال عملية التليد.
23	الشكل (9-II): نموذج الكرتان المتلامستان.
23	الشكل (10-II): نموذج الكرتان المتداخلتان.
26	الشكل (11-II): الانتشار السطحي و الانتشار عبر الطور الغازي في نموذج الكرتين المتلامستين.
26	الشكل (12-II): الانتشار داخل الحدود الحبيبية و الانتشار الحجمي في نموذج الكرتان المتداخلتان.
33	الشكل (13-II): مخطط الأطوار للنحاس-ألنيوم.
35	الشكل (14-II): مخطط يوضح انعكاس الأشعة السينية عبر عائلة مستويات.
37	الشكل (15-II): الهرم الماسي المستخدم في إختبار فيكرز.
38	الشكل (16-II): مكونات الذرة و مسارات الإلكترون حول النواة.
39	الشكل (17-II): التصادمات المتتالية للإلكترون.
40	الشكل (18-II): تصنيف بعض المواد وفقا الناقلية الكهربائية.

## الفصل الثالث: الجانب العملي

### و الأجهزة المستعملة

44	الشكل (III-2): الميزان.
45	الشكل (III-2): المهراس.
45	الشكل (III-3): جهاز الكبس.
48	الشكل (III-4): الفرن الحراري.
49	الشكل (III-5): جهاز الأشعة السينية.
50	الشكل (III-6): جهاز الأوم متر.
50	الشكل (III-7): جهاز قياس الصلادة.

## الفصل الرابع: مناقشة النتائج و تفسيرها

52	الشكل (IV-1): نتائج الناقلية النوعية للعينات بدلالة درجة الحرارة.
54	الشكل (IV-2): نتائج الناقلية النوعية لعينة شاهدة بدلالة تركيز الألمنيوم.
54	الشكل (IV-3): طيف الأشعة السينية لعينات النحاس النقي في درجات حرارة مختلفة.
55	الشكل (IV-4): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس النقي في درجة حرارة الغرفة.
56	الشكل (IV-5): مخطط الأطوال للنحاس و الألمنيوم.
56	الشكل (IV-6): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (5%) ألمنيوم في درجات الحرارة مختلفة.
57	الشكل (IV-7): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (5%) ألمنيوم في درجة حرارة الغرفة.
57	الشكل (IV-8): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (11%) ألمنيوم في درجات حرارة مختلفة.
58	الشكل (IV-9): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (11%) ألمنيوم في درجة حرارة الغرفة.
58	الشكل (IV-10): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (14%) ألمنيوم في درجات حرارة مختلفة.

59	الشكل (11-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس-(14%) ألنيوم عند درجة حرارة الغرفة.
59	الشكل (12-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس- (18%) ألنيوم في درجات حرارة مختلفة.
60	الشكل (13-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (18%) ألنيوم في درجة حرارة الغرفة.
62	الشكل (14-IV): تغير لحجم الحبيبات في درجات الحرارة المختلفة.

# الفهرس

1 ..... مقدمة عامة

## الفصل الأول: عموميات على النحاس

3 ..... 1-I مقدمة

4 ..... 2-I تواجهه في الطبيعة

5 ..... 3-I الأهمية الغذائية للنحاس و مخاطره

6 ..... 4-I الدول المنتجة و المستهلكة للنحاس

7 ..... 5-I مجالات استخدام النحاس

8 ..... 6-I تصنيف النحاس الصناعي

9 ..... 7-I خصائص النحاس

11 ..... 8-I سبائك النحاس

11 ..... 1-8-I تعريف السبائك

11 ..... 2-8-I سبيكة البرونز

12 ..... 3-8-I سبيكة النحاس والنيكل والزنك

12 ..... 4-8-I سبيكة البرونز و الفوسفور و القصدير

12 ..... 5-8-I سبيكة البرونز و السليكون

12 ..... 6-8-I سبيكة البرونز و النحاس و الألمنيوم

12 ..... 7-8-I النحاس الأصفر

13 .....8-8-I البرونز.....

## الفصل الثاني: التقنيات المستعملة

15 .....1-II مقدمة.....

15 .....2-II التلييد .....

15 .....1-2-II التلييد الطبيعي .....

15 .....2-2-II التلييد تحت الشحن .....

15 .....3-2-II التلييد التفاعلي .....

16 .....3-II مراحل التلييد .....

16 .....1-3-II المرحلة الابتدائية (تشكل العنق) .....

16 .....2-3-II المرحلة الوسطية (التكثيف و نمو الحبيبات) .....

17 .....3-3-II المرحلة النهائية ( تشكيل الفراغات المغلقة) .....

18 .....4-II القوى المحركة للتلييد.....

18 .....5-II آليات التلييد .....

19 .....1-5-II تلاحم الحبيبات .....

20 .....2-5-II كبر الحبيبات.....

22 .....6-II تلييد الأطوار الصلبة .....

23 .....1-6-II نموذج الكرتان المتلامستان.....

- 24 ..... ✓ آلية الانتشار السطحي.
- 24 ..... ✓ الانتقال عبر الطور البخاري.
- 25 ..... ❖ آلية التبخير و التكثيف.
- 25 ..... ❖ آلية الإنتشار الغازي.
- 25 ..... ✓ آلية الإنتشار الحجمي.
- 26 ..... II-6-2 نموذج الكرتان المتداخلتان
- 27 ..... ✓ آلية الإنتشار في الحدود الحبيبية
- 28 ..... ✓ آلية الإنتشار الحجمي
- 28 ..... II-6-3 آلية الجريان اللزج
- 29 ..... II-7 المعالجة الحرارية
- 29 ..... II-8 أنواع المعالجة الحرارية
- 29 ..... II-8-1 التلدين (Annealing)
- 30 ..... ✓ التلدين من النوع الأول
- 30 ..... ✓ التلدين من النوع الثاني
- 30 ..... II-8-2 التقسية (الإصلاد) (Hardening)
- 31 ..... II-8-3 المعادلة (الإستبدال) (Normalizing)
- 31 ..... II-8-4 المراجعة (Tempering)
- 32 ..... II-9 مخطط الأطوار لسبيكة النحاس - أللمنيوم
- 33 ..... II-10 الأشعة السينية
- 36 ..... II-11 الصلادة (Hardness)

37	12-II الهدف من الإختبار .....
38	13 -II الناقلية الكهربائية.....
39	14-II نموذج درود (1900).....
40	15 -II آلية التوصيل الكهربائي .....

## الفصل الثالث: الجانب العملي

### و الأجهزة المستعملة

42	1-III إعداد العينات.....
42	III -1-1 المواد المستعملة.....
42	III-1-2 تحضير العينات.....
43	✓ تحضير عينات النحاس-ألuminium بنسب مختلفة من ألuminium.....
43	❖ حساب نسبة ألuminium المضاف في النحاس.....
47	2-III المعالجة الحرارية.....
47	3-III طرق التحليل بالأشعة السينية.....
49	4-III الناقلية الكهربائية.....
49	5-III اختبار الصلادة.....

## الفصل الرابع: مناقشة النتائج و تفسيرها

51	1-IV نتائج قياس الناقلية الكهربائية .....
61	2-IV الصلادة.....

61 ..... 1-2-IV حساب حجم الحبيبات

62 ..... 1-2-IV ملاحظة و التفسير

64 ..... الخاتمة

65 ..... المراجع

## مقدمة عامة

يهتم البحث العلمي في مجال فيزياء المواد بدراسة كل مادة على حدى, و أيضا يهتم بخلائط و سبائك هذه المواد بشكل واسع لإضفاء التحسينات في الخصائص و المميزات حسب ما يحتاج إليه الإنسان في زمانه و مواكبة التطور و الرفاهية وراحة الإنسان ,و قد وجهنا الله عز وجل إلى هذا المعنى في كتابه العزيز بحيث أنعم على سيدنا سليمان عليه و على نبينا محمد أفضل الصلاة و السلام, بسم الله الرحمن الرحيم: " و لسليمان الريح غدوها شهر و رواحها شهر و أسلنا له عين القطر". من الآية 12 سورة سبأ.

و قال تعالى: "يعملون له ما يشاء من محاريب و تماثيل و جفان كالجوابي و قدور راسيات". من الآية 13 سورة سبأ.

فعين القطر هي النحاس المذاب, و قد ذكر النحاس باسمه في القرآن العظيم لأهميته و احتياج الناس إليه.

فموضوع بحثنا هذا حول هذه المادة مادة النحاس ذو النقاوة %99.5 و سبائك النحاس مع مادة لا تقل أهمية عنها و هي مادة الألمنيوم بنسب مختلفة, فدراستنا تراقب الخصائص و المميزات و تغيرها في مجال الناقلية الكهربائية, و حجم الحبيبات, و الصلادة.

تم تحضير سلسلة من العينات بكبس مسحوق النحاس و الألمنيوم بنسب مختلفة, ثم خضعت لمعالجة حرارية في مجال درجة الحرارة من 700 إلى 1000 درجة مئوية لمدة 90 دقيقة تحت الفراغ.

قمنا بدراسة تغير الناقلية الكهربائية بدلالة التركيز و درجة الحرارة و مقارنتها بالحالة المرجعية. لدراسة تأثير المعالجة الحرارية و نسبة الألمنيوم على الحالة البلورية للعينات, استخدمنا تقنية إنعراج الأشعة السينية لتحديد الأطوار.

وقد جاءت هذه المذكورة في أربعة فصول :

**الفصل الأول** يحتوي على التعريف بمادة النحاس وخصائصه ومناطق تواجده ومجالات استخدامه والإشارة إلى سبائكه.

**الفصل الثاني** تطرقنا فيه للطرق والآليات المستخدمة في هذه الدراسة.

**الفصل الثالث** أدرجنا فيه الجانب العملي و التحريبي والنتائج المحصل عليها.

**الفصل الرابع** قمنا بتحليل هذه النتائج و مناقشتها على أسس علمية و دراسات سابقة.

الفصل الأول  
عموميات  
على  
النحاس

## I-1 مقدمة:

يعتبر النحاس (**cuiver**) أول معدن استخدمه الإنسان و ثاني المعادن من حيث تعدد المنافع بعد الحديد و قد تم اكتشافه من عشرة آلاف سنة قبل الميلاد, و هو متغير اللون و غالبا ما يغلب عليه اللون الأحمر, و قد اشتق اسم النحاس من الاسم اللاتيني لجزيرة قبرص Cyprus [1], و ذلك لما يعتقد الكثر أن أول مكان عرف فيه النحاس في حالته النقية الحالية من الشوائب هو هذه الجزيرة بحوالي 5000 سنة قبل الميلاد. و سمي الخام Aes Cyprium ثم حرف على مدى السنين إلى Cuprum, و قد اشتق رمزه الكيميائي من الحرفين الأولين من اسمه [2].

كان المصريون القدماء قد استخدموا النحاس في صنع أنابيب لتوصيل مياه الشرب, و أخرى لصرف المياه القذرة و الفضلات من المنازل, فقد عثر الأثريون على ألف و ثلاثمائة قدم من الأنابيب النحاسية في معبد هرم أبي صير الأسرة الخامسة (2625-2750 ق.م) [1].

كما عثر على أنابيب مشابهة في آثار قصر كنوسوس بجزيرة كريت (1400-1700 ق.م) [1].

بمعرفة الإنسان طرق استخلاص النحاس و غيره من الفلزات من خاماتها ظهرت حرف و مهن جديدة و ظهرت طبقة أصحاب المناجم و صهر الخامات و النحاسين, و في عصر الحضارة الإسلامية, استخدم النحاس في صناعة العملات كما استخدم أيضا في صناعة أواني الطعام و أوعية السوائل و أدوات الزينة, و لوقت ما استخدم النحاس على مدى واسع في طلاء قاع السفن الخشبية [3].

لقد ثبت حديثا أن الخام الرئيسي للنحاس هو كبريتيد النحاسيك و أكسيد النحاسيك, و من خامات النحاس الحجر الأخضر و هو المستعمل في الزينة, و يستخرج النحاس عرضا عند تعدين المعادن الأخرى و هو يدخل في عدد من السبائك المفيدة, و المستعملة على نطاق واسع, و تتفاوت النسبة في هذه السبائك تفاوتات كبيرة حيث يخلط مع بعض المعادن الأخرى مثل الزنك و القصدير و النيكل لصناعة سبائك ذات صفات و خصائص متعددة في المجالات الصناعية المختلفة [3].



الشكل (1-I): النحاس الأحمر [4].

## 2-I تواجده في الطبيعة:

يتواجد خام النحاس في الطبيعة على هيئة فلزات حرة (كبريتيدات، أكاسيد، أو سليكات)، و يمكن أن تتواجد خامات النحاس في جميع أنواع الصخور و تحتوي في الغالب على عناصر أخرى مكونا بذلك أكثر من 200 خام أشهرها خام الكالكوبيريت الذي يعتبر الخام الأساسي للنحاس في أكثر من 50% من خامات النحاس في العالم، و عندما يظهر النحاس على هيئة الحرة و بلونه المعروف فإنه يكون مقياسا لجودة الخام مثل الخام المستخرج من بحيرة سوبيريلا في الولايات المتحدة الأمريكية و قد اشتهرت خامات النحاس بمصاحبة معادن أخرى مثل الزنك أو الرصاص أو الحديد أو القصدير أو التنغستان أو الذهب أو الفضة [47,5].

تنوع النحاس في البيئات المائية (الأيونات الحرة، هايدروكسيد المعقدة، المركب العضوي وغير العضوي) نابعة من الخصائص الكيميائية و تتأثر كثيرا بالمياه المادية و الرواسب الكيميائية (درجة الحموضة، صلابة، ووجود المواد العضوية، القلوية، الملوحة، والقوة الأيونية، و المعادن، و إمكانيات الأكسدة) [6].

يتواجد النحاس بطبيعة الحال في شكل معدني متين و مستقر في المعادن على الشكل (CuO) و ينتشر في البيئة عن طريق التفكك [7].

يتواجد النحاس عادة في التربة في بعض المعادن الغير قابلة للذوبان مثل الكابرايت و الأزوت و غيرها، و هنالك كميات قليلة ذائبة في المحلول الأرضي أو مدمسة بشكل أيونات نحاس ثنائية التكافؤ  $Cu^{+2}$  في التربة إضافة الى ما تحويه المادة العضوية

من أشكال غير قابلة لإفادة النبات مباشرة من هذا العنصر، و تتأثر إفادة النبات من النحاس بعدد من العوامل ، فالأراضي العضوية تحجز النحاس بشدة بحيث يزداد حجر النحاس في التربة بزيادة محتواها من المادة العضوية [8].

### I-3 الأهمية الغذائية للنحاس و مخاطره:

يدخل النحاس في الغذاء الصحي الإنسان مثله مثل العديد من المعادن ولكن بقيم ونسب محددة، لا تزيد و لا تنقص، فزيادته تؤدي إلى اعتلال الصحة و الإصابة بمرض ويلسون وهو زيادة النحاس في أغشية الجسم [47].

كما يشارك النحاس في العديد من الوظائف الفسيولوجية : نمو الجنين و الأطفال حديثي الولادة، تنمية الأنسجة من اتصال خاصة في نظام القلب و الأوعية الدموية والعظام، و كذلك في عمليات الالتهابات [6].

كما أن له أهمية أخرى نذكر منها:

- 1- يدخل في تركيب الكثير من الإنزيمات، و بذلك يحافظ على نشاط و صحة القلب و العظام و الأعصاب و الدماغ و الكريات الحمراء.
- 2- يساعد على استخدام الطاقة من الطعام، و ينتج مواد مشابهة للهرمونات تساعد على تنظيم ضغط الدم و نبضات القلب و على سرعة إلتئام الجروح.
- 3- يساعد في تخفيف الآلام و معالجتها.
- 4- يحمي الخلايا من التأكسد، و منه يساعد الجسم في مقاومة الأمراض المزمنة كالسرطان و الأمراض القلبية و أمراض الشيخوخة.
- 5- عنصر قوي و جيد في تقوية العظام و جعلها أكثر صلابة و نقصه يؤدي إلى ظهور مرض هشاشة العظام.
- 6- عنصر ضروري يدخل في تكوين الجلد و مقاومة الأمراض الجلدية.
- 7- عنصر مهم يساهم في امتصاص الصحيح لمعدن الحديد و بالتالي إذا لم يحصل الجسم على المقدار الكافي للنحاس فإن ذلك ينعكس سلبا على إنتاج الهيموجلوبين (خضاب الدم الأحمر) و بالتالي يؤدي مرض فقر الدم.
- 8- من المعروف أن الخلايا البيضاء تقاوم العدوى وبذلك إن نقص النحاس يعطل الخلايا البالعة في مقاومتها للمرض.
- 9- يدخل في تركيب الجلد و الشعر و بالتالي هو المسؤول عن تلوين الشعر و الجلد.

10- يدخل في تكوين المفاصل و الأعصاب و هو المسؤول عن حاسة التذوق.

11- يتمتع النحاس بدور هام في إنتاج الطاقة الحيوية.

و من مصادر الحصول على النحاس هي :

اللحوم و صفار البيض, السمسم, كبدة الحيوان, بذر دوار الشمس, نخالة الحبوب, دبس السكر, بذر اليقطين, الجوز, المحار البحرية, الفستق السوداني, اللوز, سمك التونا, القمح الكامل, جوز الهند, المشمش المجفف, الأجاجص المجفف, الجينة, العدس, التين المجفف, الحليب, الفاصوليا و البلح [6].

#### I-4 الدول المنتجة و المستهلكة للنحاس:

الدولة	الولايات المتحدة الأمريكية	جمهورية شيلي	استراليا
نسبة الانتاج %	10	37	8

الجدول (I-1): أهم ثلاث دول منتجة للنحاس.

باقي الإنتاج موزع بين دول العالم بنسبة 45%, و أهم الدول المنتجة للنحاس النقي هي شيلي و الولايات المتحدة الأمريكية و الصين و اليابان, و أهم الدول التي تقوم بتصفية النحاس هي ألمانيا و إيطاليا و كوريا الجنوبية.

أما بالنسبة لإنتاج النحاس فقد بلغ إنتاجه 13 دولة رئيسية في عام 1989م حوالي 7.1 مليون طن و في عام 2003 م بلغ إنتاج أكبر منجم للنحاس في العالم ما يقرب من 1.56 مليون طن, و قد بلغ إنتاج شيلي في نفس العام حوالي 4.9 مليون طن, و في عام 2006م أنتجت ما يقرب 5.7 مليون طن.

أما بالنسبة للدول المستهلكة للنحاس تأتي الولايات المتحدة الأمريكية في المقدمة ثم تليها الصين و قد بلغ الاستهلاك العالمي من النحاس في عام 1989م حوالي 8.6 مليون طن بزيادة تقدر بحوالي 3.2% عن استهلاك عام 1988م و في عام 2005 م تجاوز استهلاك الإنتاج بحوالي 385 ألف طن [3].

## I-5 مجالات استخدام النحاس:

نظرا للإيجابيات التي يتمتع بها معدن النحاس جعلته في مصاف المعادن المهمة في العالم بحيث لا يخلو مصنعا أو المؤسسات الخدمية منه، و لهذا السبب و لكون المعدن يدخل بطريقة مباشرة في الحياة اليومية للإنسان ظلت الأبحاث قائمة و متجددة مع الأزمنة و العصور لتفادي أي تأثيرات جانبية ناتجة عن معدن النحاس قد تؤدي بحياة الناس إلى الخطر و ربما يصل هذا الخطر أحيانا إلى حد الموت [9].

تستهلك أكبر كمية من النحاس حيث يستخدم في صناعة أسلاك المولدات الكهربائية و في كابلات توصيل الطاقة الكهربائية، و بما أن النحاس مقاوم للمحاليل الكيميائية و شديد التوصيل للكهرباء و الحرارة فهو يستخدم في المنشآت الكيميائية و في صناعة الأنابيب التي تستخدم للتدفئة في المصانع و المنازل.

يعتبر اللحام بالنحاس من أقدم الصناعات حيث استخدمه الحدادون و صانعوا المجوهرات و الدروع و الأسلحة و أصحاب الحرف اليدوية، و يعتبر اللحام بالنحاس أحد الأساليب الرئيسية لوصل الفلزات بعضها ببعض و تشتهر هذه الطريقة في صناعة الآلات الموسيقية النحاسية مثل الأبواق و الأجهزة الأخرى التي يتم لحامها بالنحاس و الزنك [5].

و للنحاس استخدامات أخرى نذكر منها :

- ◆ يستخدم هذا المعدن لصناعة الأواني المنزلية و خاصة أواني الزينة و ذلك لما يتمتع به النحاس من جاذبية في اللون.
- ◆ الصناعات الإلكترونية خاصة الدقيقة منها .
- ◆ الصناعات العمرانية و المتمثلة في توصيل أنابيب الغاز للبنائيات.
- ◆ يستخدم النحاس كذلك في توصيل الغازات الطبية في المستشفيات كغاز الأوكسجين الطبي و الهواء الطبي .....
- ◆ يستعمل كملون لبعض المواد كالزمرد، الفخار [9].

كما يدخل النحاس في تركيب العديد من السبائك حيث يضاف مثلا للذهب بكميات قليلة لإعطاء الذهب الصلابة الكافية في تصنيع المصاغ، و تصنع منها العملات المعدنية كعملة نحاسية أو يدخل ضمن السبائك فيدخل في صناعة البرونز(سبيكة)، و كذلك في صناعة العدة الحربية و بعض الأجهزة و المعدات الموسيقية [1].

## 6-I تصنيف النحاس الصناعي:

بغض النظر على الخلائط المتعددة للنحاس و المستعملة في هذا العصر بقوة و في جميع الميادين دون إستثناء, يتنوع معدن النحاس بعدة أنواع يتسبب في تعددها عاملين إثنين هما الأوكسجين و الفوسفور و حتى بعض المعادن الأخرى كالنيكل مثلا و الكروم و غير ذلك, و تأكيدا لهذا السرد من المعلومات نحاول حصر أنواع النحاس المتداولة في الأسواق الإنتاجية [9], بصفة عامة, يمكن تصنيف النحاس الصناعي المختلط إلى ثلاث فئات رئيسية وفقا للتسمية الفرنسية هي :

• النحاس Cu-a , هذا الأخير ينقسم إلى :

❖ Cu-a1 و يحتوي على نسبة تساوي أو أكبر من 99.90% من النحاس. هذا هو النحاس الأكثر نقاوة

المشحون بالأوكسجين و كذلك الأكثر استخداما, و ذو قدرة عالية على التوصيل الكهربائي و الحراري و يستعمل لأغراض الكهربائية ( الكوابل) أو الحرارية.

❖ النحاس (Cu-a2 : Cu ≥ 99,85% و Cu-a3 : Cu ≥ 99,90%), يتم الحصول عليه من التكرير

الحرارية, يكون استخدام هذا النحاس أقل من النحاس Cu-a, بسبب وجود معدل أعلى من الشوائب.

❖ النحاس Cu-b شبه خالي من الأوكسجين و ديوكسيد الفوسفور, يحتوي على 99.90% على الأقل من

قبل كتلة من النحاس و بين 0.013% و 0.050% فوسفور (Cu-b1) و بين 0.004% و 0.012%

(Cu-b2) الفوسفور. هذا النحاس له خصائص ميكانيكية جيدة (قابلية اللحام جيدة, قوة ميكانيكية أفضل

في درجة حرارة متوسطة), ولكن في الموصلية الكهربائية محدودة مقارنة بالنحاس Cu-a.

❖ النحاس Cu-c, و يتواجد في شكلين اثنين و يمكن التفريق بينهما من حيث مستوى النقاوة, النحاس-Cu

c1 (النحاس النقي) الذي يضم 99.95%, النحاس Cu-c2 (النحاس الأفضل نقاوة) التي تضم

99.99%. هذا هو ما يعادل النحاس العلامة التجارية OFHC (الأوكسجين الحرة عالية التوصيل) من أصل

أميركي. ويستخدم هذا النحاس على حد سواء للأغراض الكهربائية (أو الحرارية) و الميكانيكية (الموصلية عالية و

أيضا قابلية التلحيم جيد) [47,6].

تتم غالبا بالفئة الأولى من النحاس, بسبب الموصلية الكهربائية العالية.

## 7-I خصائص النحاس:

يعتبر من أهم العناصر المكونة للقشرة الأرضية و ذلك بنسبة 0.006%, و قد أثبت علماء الجيولوجيا أن معدن النحاس يتواجد على عمق يقدر بـ 16 km من سطح القشرة الأرضية أي ما يعادل 55g في الطن الواحد [9].

للنحاس عدة خصائص جعلته من بين أهم و أعلى المعادن المعروفة لدينا نستطيع تلخيصها في الجدول الموالي :

Cu	رمزه في الجدول الدوري
29	العدد الذري
63.54	الكتلة الذرية
$10.5 \times 10^{-26} Kg$	كتلة الذرة
117 pm	نصف القطر الذري
(a=0.3608nm) CFC	البنية البلورية
$8930 kg . m^{-3}$ (20°C)	الكتلة الحجمية $\rho$
1083.4°C	درجة الانصهار
2567°C	درجة الغليان
$16.6 \times 10^{-6} K^{-1}$ (من 20°C الى 100°C)	عامل التمدد
$C=385 J . kg^{-1} . K^{-1}$ (20°C)	السعة الحرارية الكتلية
$\lambda=385 w . m^{-1} . K^{-1}$ (20°C)	الناقلية الحرارية
$1.7241 \mu . \Omega . cm$ (20°C)	المقاومية الكهربائية

الجدول (2-I): خصائص النحاس [9,5,47].

كما يتميز بـ :

- ✓ يعتبر موصل جيد للكهرباء و الحرارة .
- ✓ تصنع منه المبدلات الحرارية و أسلاك التوصيل الكهربائي .
- ✓ يستعمل في صنع البطاريات و العتاد الكهربائي كالوشيعه الكهربائية .
- ✓ سهل في عملية كل من الطرق و السحب .

✓ يتأثر بالهواء.

✓ يتغطى سطحه بغشاء لونه أخضر مع مرور الوقت يعطيه قيمة جمالية و تاريخية.

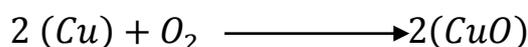
✓ يعتبر أشد المعادن توصيلا للكهرباء بعد الفضة [9].

يتميز النحاس بقابلية العالية للطرق و السحب و توصيله الجيد للحرارة و الكهرباء, و يعتبر أشد المعادن توصيلا للكهرباء بعد الفضة كما أنه مقاوم للتأثيرات الكيميائية و رغم ذلك فهو يتأثر بالهواء الرطب حيث يغطي سطحه بغشاء أخضر يتراكم مع تقدم العهود بحيث يكسبه قيمة جمالية و تاريخية أحيانا [5].

للشوائب تأثيرات فعالة في المعادن, أما بالنسبة لمعدن النحاس فهناك شائبتين تلعبان دورا جد مهم في التأثير على الخصائص الميكانيكية و الكيميائية لهذا المعدن و يتمثلان في الأوكسجين و الفوسفور.

فالأوكسجين مثلا يتواجد في النحاس على شكل أكاسيد [9].

CuO و يعرف بأكسدة النحاس الثنائي (La tenorite) ذو اللون الأسود.



Cu<sub>2</sub>O و يعرف بأكسيد النحاس الأحادي (La cuprite) ذو اللون الأحمر.



الشوائب المشتقة من المواد الخام / أو إضافة (الأوكسجين) خلال طريقة التحضير تعتبر عاملا حاسما في نوعية النحاس

الصناعي. و قد لخصت معظم الدراسات السابقة أن وجود الشوائب يبطئ حركية التبلور.

من هذه الشوائب الرئيسية الموجودة هي : Te, Se, Bi, Sb, As, Sn, Pb, Fe, Ni, S, و أيضا Ag, و البعض الآخر محفزة

للخصائص الكهربائية (Si, Fe, P) [7].

**I-8-8 سبائك النحاس:**

يعتبر فن السبائك و الصب من أول الأساليب التي عرفها الإنسان في حضارات السابقة, ثم أخذ ذلك المجال في الاتساع و التطور نقبل التعرف على خصائص و معايير اختبار السبيكة يجدر بنا معرفة معنى السبيكة و لقد تطور عبر حضارات حضارة المصرية و الإغريقية و الشرق أقصى .

**I-8-1 تعريف السبائك:**

هي جمل تتألف من معدنين أو أكثر أو تتألف أيضاً من معادن و اللامعادن, بمعنى آخر هو خليط لنوعين مختلفين من العناصر, تتمتع هذه الجملة في جميع الحالات بالخصائص المميزة للحالة المعدنية، أي إنها ذات بريق معدني، و قابلة للسحب و الطَّرْق، و ناقلة للحرارة و الكهرباء.

يشمل هذا التعريف جميع الجمل التي تنتج من الانصهار المشترك للمعادن أو اللامعادن أو الأكاسيد و الكبريتيدات و الأملاح و المواد العضوية. و السبائك التي تتمتع بأهمية عملية هي السبائك المعدنية التي تمتاز غالباً على المعادن التي تدخل في تركيبها بكثير من الخواص كالقساوة و المتانة و ارتفاع درجة الانصهار و مقاومة التآكل.

يخلط النحاس مع عدد كبير من المعادن الأخرى لإنتاج أكثر من 1000 سبيكة مختلفة لكل منها صفات صناعية تختلف باختلاف المعادن التي تم خلطها بالنحاس و كذلك تتغير ألوان السبائك باختلاف ألوان المعادن المخلوطة و من أهم هذه السبائك ما يلي :

**I-8-2 سبيكة البرونز:**

هي من أهم السبائك حيث يضاف للنحاس نسبة من الزنك تتراوح ما بين 5-40 % و يتميز البرونز بالشدّة و الصلابة و المقاومة العالية للاحتكاك و الاحتفاظ بجودته لمدة طويلة و كان الكنعانيون تمكنوا من خلط النحاس لإنتاج البرونز الذي استخدموه في صناعة الأسلحة مثل السيوف و الرماح ذات الرؤوس الحادة, و عندما يضاف إلى السبيكة من الرصاص تتراوح ما بين 3-5% تزيد جودة البرونز و تزيد أغراض استعماله [8].

**I-8-3 سبيكة النحاس والنيكل والزنك:**

تتكون من النحاس بنسبة 55-65 % و الزنك بنسبة 17-27 % و النيكل بنسبة 10 % للحصول على سبيكة تستخدم كأساس لتغطية آنية الطعام مثل الأطباق و الملاعق و السكاكين بطبقة فضية اللون و في طلاء المجوهرات.

**I-8-4 سبيكة البرونز و الفوسفور و القصدير:**

تتكون بإضافة الفوسفور بنسبة 35% و القصدير بنسبة 10 % للحصول على سبيكة تتميز بدرجة عالية من المرونة و سهولة التكيف و الثبات و البقاء مما يجعله ملائمة لصناعة الزنبرك الذي له القدرة على استعادة حجمه بعد الضغط و صناعة الأغشية أو الصفائح الرقيقة المسامية التي بين السوائل كما في البطاريات أو الموجودة في قرص سماعة التليفون.

**I-8-5 سبيكة البرونز و السليكون:**

المجوهرات حيث يضاف إلى سبيكة البرونز بنسبة 1-3 % من عنصر السليكون بالإضافة إلى معادن أخرى مثل الرصاص و القصدير و الزنك و المنغنيز و الحديد و النيكل, و تتميز هذه السبيكة بقوة مثل الفولاذ و مقاومة شديدة للاحتكاك و يستخدم في إنتاج المعدات اللازمة للمنشآت الكيميائية التي تتعرض إلى محاليل تساعد على سرعة تآكل المعادن.

**I-8-6 سبيكة البرونز و النحاس و الألمنيوم:**

تحتوي على فلز الألمنيوم بنسبة تتراوح 5-12% مع نسبة من الزنك و السليكون و تتميز هذه السبيكة بالمقاومة الشديدة للتفاعلات و تستخدم في المصافي و معامل تكرير الملح.

**I-8-7 النحاس الأصفر:**

يسمى أيضا بالزنك و هو سبيكة من النحاس و هو مقاوم للعوامل الجوية و المواد الكيميائية و يمكن بذلك صبه و تلميعه كما يمكن أن يحتوي على عدة ألوان تتراوح من الأحمر إلى الأصفر إلى الأبيض. و يستخدم في الزخارف بسبب مظهره الذهبي اللامع, و في التطبيقات التي تتضمن بعض الاحتكاك الطفيف مثل الأقفال, و مقابض الأبواب, و الذخائر الحربية, كما يستخدم في أدوات كهربائية, و يستخدم بكثرة في الأدوات الموسيقية مثل البوق, و الأحراس بسبب خواصها الصوتية, و لأن

النحاس الأصفر أطرى من المعادن الأخرى عموماً، فإنه يستخدم غالباً في الأماكن التي يتجنب فيها حدوث شرارة نتيجة الاحتكاك، كما في الأجهزة و المعدات المحيطة بالغازات المتفجرة.

### I-8-8 البرونز:

هو سبيكة من النحاس و القصدير، و يتميز بأنه مقاوم للمواد الكيميائية و شديد الصلادة، و تتكون بإضافة القصدير بنسبة 40% مما يجعلها تتصف بالمرونة.

هو اسم يطلق على طائفة من سبائك النحاس المعدنية، و تتكون عادة من النحاس و الزنك و القصدير، و لكنها ليست بالضرورة مقصورة على هذه العناصر، تم استخدام البرونز من قبل البشر منذ العصر البرونزي.

كما ينتج البرونز من خلط النحاس بالقصدير بمعدل حوالي 90% من النحاس و 10% من القصدير، و تغطي فترة العصر البرونزي الفترة ما بين عصر النحاس و العصر الحديدي و يختلف تاريخ ظهوره في أجزاء مختلفة من العالم وفقاً للمرحلة الحضارية لكل منطقة.

يستخدم الصناعون صفائح النحاس الأحمر و الأصفر ليضيفوا عليها آياتهم في النقوش الزخرفية العربية و رسوم الأشخاص و الحوادث التاريخية الهامة كالمعارك و رسوم الحيوانات و الطيور، و أداتهم الأساسية الأقلام و الأزميل و المطرقة.

تتم عملية الزخرفة عن طرق النقش باستخدام المطرقة و الأزميل، و التزيين بحفر أحادي و تنزيل الأسلاك الذهبية و الفضية، و الضغط بأن يضغط على صفيحة النحاس لتأخذ الشكل المقرر لها فتعطي مظهرها بارزاً للرسم، و التخريق أو التفريغ بأن تفرغ التزيينات على سطوح الأبنية [5].

الفصل الثاني

التقنيات

المستعملة

**II-1 مقدمة:**

تستخدم عدة آليات وطرق من أجل تحقيق أهداف يتطلع إليها الباحثون في شتى العلوم ومن بين هذه العلوم علم المواد الذي توسع نطاق البحث من خلاله في السنوات الأخيرة لما له من أهمية بالغة في حياة الناس من طب وصناعة وزراعة التي أستعمل فيها إنعراج الأشعة السينية , المعالجات الحرارية (التلدين,..... الخ), التلبيد, قياس الناقلية, قياس الصلادة..... إلخ. استطاعة هذه الآليات أن تسهل و تضيف تحسينات على الخصائص العامة للمواد, و في الجزء الموالي شرح لهذه الطرق و الآليات.

**II-2 التلبيد:**

يمكن وصفه على أنه تماسك مادة (مسحوق على سبيل المثال) يحصل عليه بإنقاص طاقة النظام بسبب مساهمة طاقة (حرارية, ميكانيكية.....) لكن دون ذوبان واحد من مكوناتها على الأقل [10]. توجد تقنيات مختلفة للتلبيد و أهمها ما يلي :

**II-2-1 التلبيد الطبيعي:**

تعتبر هذه التقنية الأكثر إستعمالا, إذ تتمثل في تسخين عادي لقطع المادة المراد دراستها عند درجات حرارة مرتفعة نسبيا.

**II-2-2 التلبيد تحت الشحن:**

في هذه التقنية يتم التشكيل و التسخين في آن واحد, و قد تعطي هذه الطريقة في بعض الأحيان قطع من المادة بتلبيد كامل (إنعدام تقريب كلي للفراغات).

**II-2-3 التلبيد التفاعلي:**

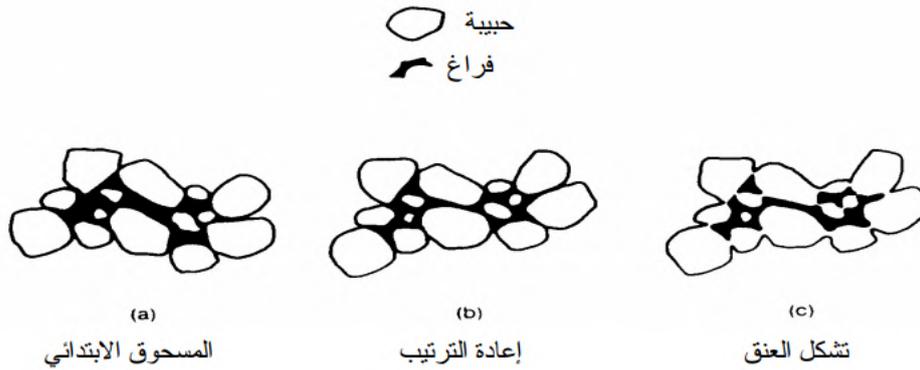
تساهم التفاعلات الكيميائية داخل القطعة الخزفية في تحسين التلبيد. حيث يحدث تفاعل مكونات الخليط مع بعضها البعض أو تتفاعل الغازات أو السوائل الموجودة في الفراغات مع الطور الصلب المكون للعينة لنحصل في الأخير على عينات ذات نسبة تلبيد عالية [11].

## II-3 مراحل التليد:

تتلخص عملية التليد في ثلاثة مراحل أساسية بناء على التغيرات الهندسية الحاصلة أثناء التطور المجهرى لجملة الحبيبات حتى تصبح جسيما مكثفا متعدد البلورات وتمثل هذه المراحل فيما يلي :

### II-3-1 المرحلة الابتدائية (تشكل العنق):

تصف تحول العينة (تجمع لحبيبات مكدسة, بمعامل تكديس منخفض), ينتج خلال هذه المرحلة التحام جزئي للحبيبات المتلاصقة (التماسك الميكانيكي), هناك تشكل الأعناق بين الحبيبات, بمعنى تكوين الحبيبة الأولية, في حين تشكل حدود حبيبية بين الحبيبات غير الملتحمة, لا يحدث أي نمو حبيبي خلال هذه المرحلة [12,13].

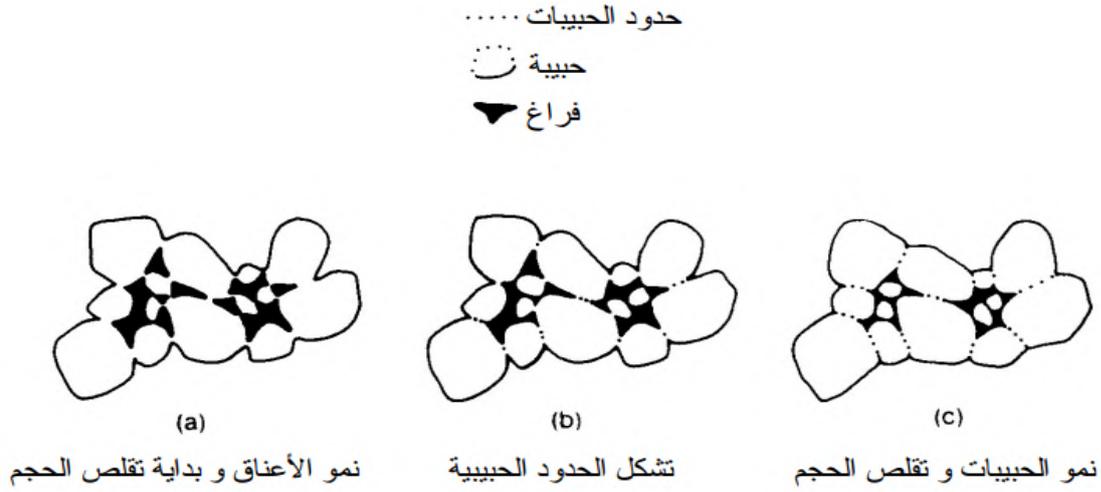


الشكل (II-1): مرحلة الترتيب و تشكيل العنق [12].

### II-3-2 المرحلة الوسيطة (التكثيف و نمو الحبيبات):

أما فيما يخص هذه المرحلة فتميز بنمو الحبيبات و ذلك بعد تشكيل الأعناق بينها و كذا بظهور بنية جديدة تتكون من حبيبات و فراغات مفتوحة تكون على شكل شبكة متماسكة (intercomédé) داخل المادة [13].

إن هذه المرحلة لها أهمية كبرى في مراقبة تطور البنى الدقيقة، حيث أن هذه أعلى نسبة من التكثيف تكون خلال هذه المرحلة.



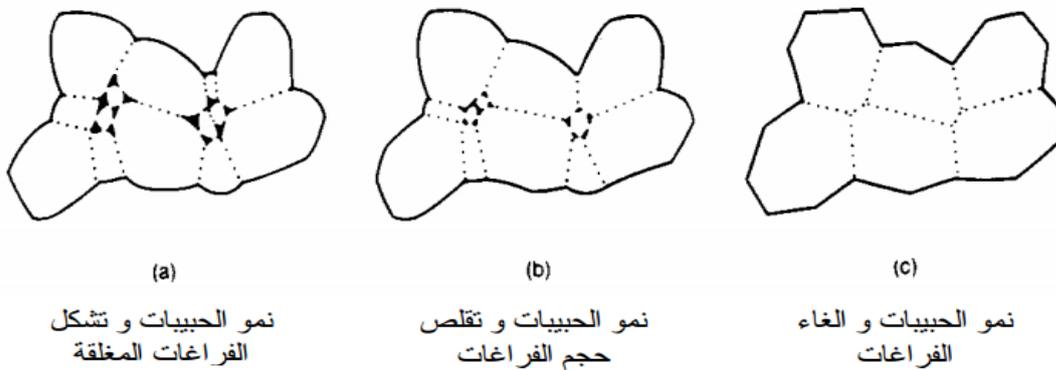
الشكل (II-2): مرحلة نمو الأعناق و انخفاض نسبة الفراغات [12].

### 3-3-II المرحلة النهائية (تشكيل الفراغات المغلقة):

تشكل في هذه المرحلة فراغات مغلقة تتخذ أشكالاً كروية منعزلة داخل الحبيبات نتيجة للنمو الحبيبي مع بداية تباطؤ عملية

التكثيف، وهذا ما يعني نهاية التليد [14].

التكثيف يبطأ في حين نمو الحبيبات يصبح مهماً.



الشكل (II-3): مرحلة تكون الفراغات المغلقة و نمو الحبيبات [12].

**II-4 القوى المحركة للتلييد:**

هي كل القوى التي تؤدي إلى الإنقاص من مساحة السطح الحر، و هذا التناقص يمكن أن يظهر بسبب تقلص الفراغات مما يعطي تكثيفا أكبر للمادة [14,15].

إذا ما نظرنا لعملية التلييد من ناحية الطاقة، نحاول الحصول على حالة تلييد مثالية في غياب الفراغات. يتم هذا تحت تأثير قوى تعمل أساسا على إعادة توزيع المادة قصد تخفيض الطاقة السطحية للوسط الغير المستمر للحصول على نظام أو جملة توازن ترموديناميكي [16].

هنالك عدة دراسات نظرية فيما يخص القوى المؤثرة في عملية التلييد لعدة باحثين، أهم النظريات هي تلك المتعلقة بأعمال Frenkel و Kuczynski و Kingery و Coble التي تبين أن أهم العوامل التي تؤثر في عملية التلييد هما الطاقة السطحية و التوازن الترموديناميكي بتواجد السطوح المنحنية.

**II-5 آليات التلييد:**

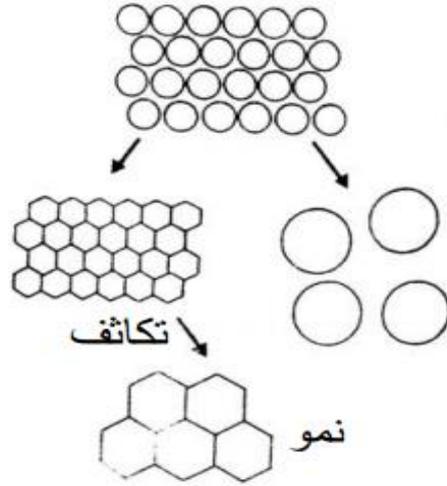
يوجد نوعان من التلييد : في الحالة الصلبة و التلييد في الحالة السائلة. التلييد في الحالة السائلة هو طريقة لتحضير مادة إنطلاقا من مساحيق لها على الأقل مكونين. يجب أن يكون واحد منهما قابل للذوبان عند درجة حرارة التلييد، و بالتالي الحصول على طور سائل [17,18].

يمكننا الجزم من الشكل (II-4) بوجود زيادة في الطاقة السطحية للمادة المسحوقة مقارنة بنفس الكتلة في حالة ما إذا كانت أحادية البلورة و مثالية (بدون عيوب) [16].

يحدث التقلص لمساحة السطح الفاصل بين الحبيبات و بين الوسط الخارجي بطريقتين هما :

1- تلاحم الحبيبات و الذي يؤدي إلى التلييد مباشرة.

2- كبر الحبيبات على حساب عددها.



الشكل (II-4): التطوران المورفولوجيان الممكنان للمادة خلال تقلص مساحات السطح [16].

## II-5-1 تلاحم الحبيبات:

الطاقة الزائدة الناتجة عن السطح الفاصل (صلب- بخار) تكون غير مستعملة كليا و هذا لتطور سطوح أخرى متمثلة في

تلاحم بين بعضها, و قد نميزها بتوتر سطحي  $\gamma_{SS}$ . تكتب الطاقة الحرة (Gibbs) للجملة على الشكل [16].

$$dG = (\gamma_{SS} \times dA_{SS}) + (\gamma_{SV} \times dA_{SV}) \dots \dots \dots (1)$$

$dA_{SS}$ : عدد موجب يمثل تزايد مساحة التلامس بين الحبيبات .

$dA_{SV}$ : عدد سالب يمثل تناقص المساحة (صلب- بخار).

$\gamma_{SS}$ : توتر السطح (صلب- بخار).

$\gamma_{SV}$ : الطاقة السطحية.

كما ذكرنا سابقا فإن الطاقة الحبيبية تكون أقل بكثير من تلك المميزة للسطح ( صلب- بخار). هذا يعني أن الطاقة الحرة

$dG$  تكون عادة سالبة, إلا في حالات خاصة, أين تكون معدومة و الجملة تقول إلى حالة شبه متوازنة (كما في الشكل II-5-

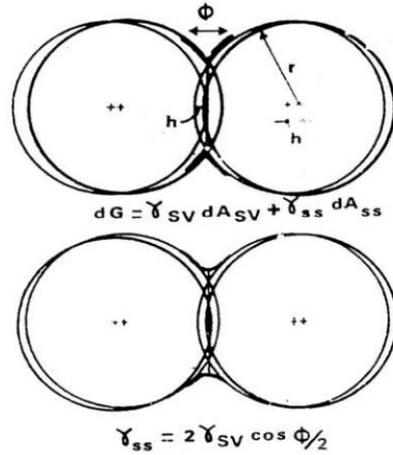
5)). هذه الحالات نجدها عموما في المواد ذات الروابط التكافئية مثل النتريدات أو الكرييدات [19]. نذكر أن زاوية التوازن بين

المادة الصلبة و البخار المحيط بها هي [20] :

$$\gamma_{ss} = 2\gamma_{sv} \times \cos \frac{\Phi_e}{2} \dots \dots \dots (2)$$

$\Phi_e$ : زاوية التوازن .

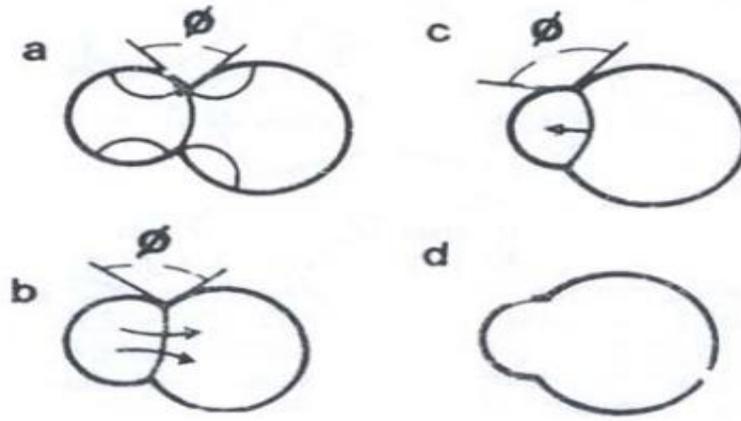
حيث أن عملية التليبد تكون مؤهلة أكثر كلما كانت التوازن كبيرة و هذا يوافق قيمة كبيرة ل  $\gamma_{ss}$  و قيمة ضعيفة ل  $\gamma_{sv}$ .



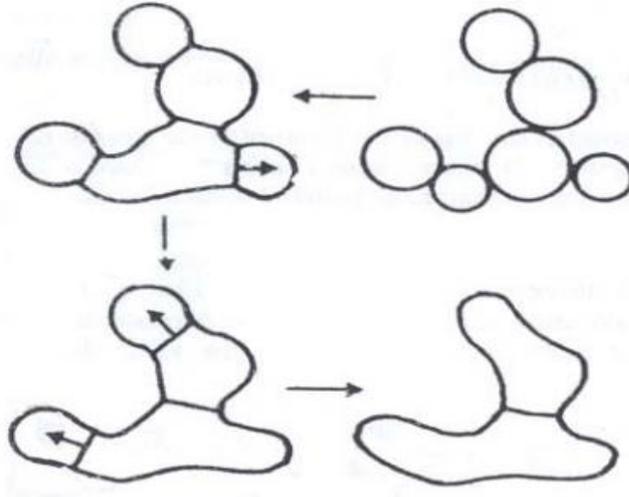
الشكل (5-II): تطور زاوية الترابط  $\Phi$  خلال التلامس بين كرتين متماثلتين [16].

### 2-5-II كبر الحبيبات:

يرجع تأثير الاختلاف في حجم الحبيبات الأولية على شكل انحناءات للحدود الحبيبية و الشكل (6-II) يبين ذلك. إذ أن الحبيبات الصغيرة تكون تحت ضغط الحبيبات الكبيرة لتنتشر المادة من مناطق الضغط الكبرى (الحبيبات الصغيرة) إلى المناطق الأقل ضغط (الحبيبات الكبيرة). و قد تنتج عن هذه الظاهرة انتقال الحدود الحبيبية إلى مراكز انحناءها [16]. إن انتقالات الحدود الحبيبية نحو مراكز الانحناء تتسبب أساسا في زيادة مساحة حدود حبيبية ما و التي تعتبر سلبية من ناحية الطاقة على عملية التليبد, لكنها تعتبر موافقة للطاقة التنشيطية المساعدة على تجاوز مرحلة انتقالات الحدود الحبيبية [21].



الشكل (6-II): مراحل نمو الحبيبات الكبرى على حساب الحبيبات الصغرى [16].



الشكل (7-II): بنية سلسلة ناتجة عن نمو الحبيبات الكبرى على حساب الحبيبات الصغرى.

إن لنمو الحبيبات الكبرى على حساب الحبيبات الصغرى مراحل عديدة، تشكل الأعتاق "الشكل (5-II)", انتشار سطحي أو الانتقال عبر الطور الغازي من الحبيبات الصغرى إلى الحبيبات الكبرى. انتقال حجمي عبر الحدود الحبيبية الصغرى نحو مساحة الحبيبة الكبرى.

جل هذه الظواهر، بالمحافظة على زاوية التلامس في حالة توازن، تساعد على انتقال الحدود الحبيبية نحو مراكز انحنائها

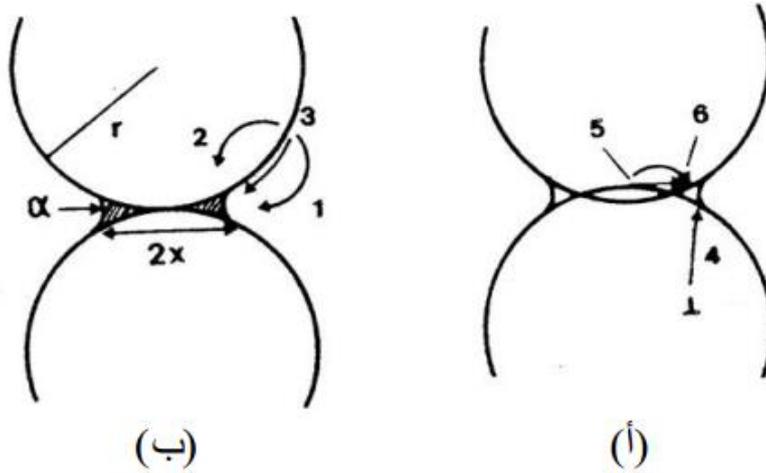
"الشكل (6-II)", و هذا بعد التخلص من الحواجز الطاقية المنشطة لتسهيل المهمة في الانتقال "الشكل (7-II)".

البنية الميكروسكوبية الناتجة إذا تكون على شكل سلسلة شبكية جد مسامية أين نسبة المسامات تزيد بزيادة تماسك الحبيبات

و الشكل (7-II) يبين ذلك [16].

## 6-II تلييد الأطوار الصلبة:

للتبسيط نفترض كرتان متماثلتان مرتبطتان بعنق كما هو موضح في "الشكل (8-II)".



الشكل (8-II): تدرج الكيميائي و طرق الانتشار بين سطح الحبيبة و العنق خلال عملية التلييد [16].

يوجد بين مختلف المناطق تدرج في الكمون الكيميائي يوافقه تدرج في الضغط بسبب تواجد انحناءات و الذي يعتبر كمحرك

لعملية التلييد, يمكننا تقسيم هذا الكمون إلى :

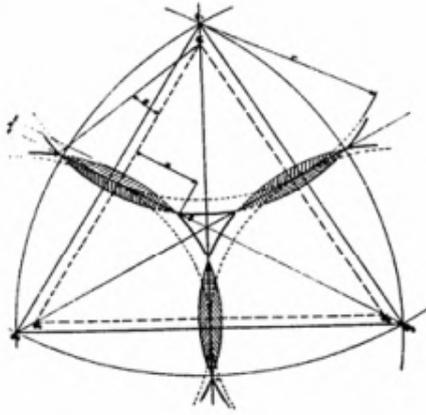
- **الطور الغازي** : الضغط الموجود على السطح المحذب للحبيبة أكبر منه في العنق الرابط بين الكرتين.
- **الطور الصلب**: تركيز المادة في المنطقة المضغوطة أكبر منه في تلك المناطق المشدودة كالعنق. نعتبر وسط العنق كمنطقة مستوية, هذا يعني منطقة لا تخضع لضغط. تحت تأثير هذا التدرج الكيميائي, فإن المادة باتجاه العنق و هذا إما من مركز الحدود الحبيبية (الشكل (8-II) (أ)) أو من السطح الحبيبي (الشكل (8-II) (ب)). في كلتا الحالتين هناك آليات تتحكم في عملية الإنتشار.

- من السطح الحبيبي: المادة تنتقل عن طريق التبخر (الشكل (II-8) (ب) (3)), نتكلم في هذه الحالة عن (التبخر و التكثيف) أو تنتقل عبر سطح الحبيبية, و تسمى (بانتشار السطحي). قد يكون هذا الانتشار في الحدود الحبيبية أو انتشار من نوع Coble, أو يكون الأنتقال داخل حجم الحبيبية الذي يعرف بانتشار الحجمي أو انتشار من نوع Nabarro-Herring.
- في حالة المواد المعدنية : يمكن للمادة الأنتقال من الإخلاعات الموجودة داخل المادة باتجاه سطح العنق مشكلة تشوهات في المعدن [22].

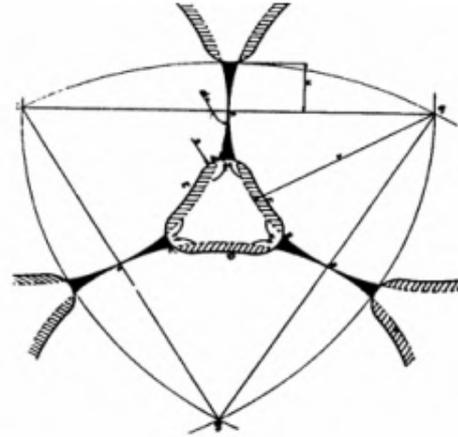
يمكننا تمييز نموذجين من الالتحام بفضل مصدر المادة المنتشرة.

1- نموذج الكرتان المتلامستان.

2- نموذج الكرتان المتداخلتان.



الشكل (II-10): نموذج الكرتان المتداخلتان.



الشكل (II-9): نموذج الكرتان المتلامستان.

## II-6-1 نموذج الكرتان المتلامستان :

يفترض في هذا النموذج أن يكون المصدر من السطح أين ينمو العنق على حساب المناطق المحدبة دون أن ينتج عن ذلك إنتقال لمركز الحبيبات. في هذه الحالة لا يكون هناك تقلص ظاهري للمادة حيث تتخذ الفجوات الأولية شكل كروي دون تغير من حجمها (الشكل (II-9)) [23,24].

تعطى العلاقات الخاصة بالعنق في هذا النموذج و من أجل  $\frac{x}{r} < 0.3$  على الشكل :

$$A_p = \frac{\pi^2 \times x^2}{r} \dots \dots \dots (3)$$

$$V_p = \frac{\pi \times x^4}{2r} \dots \dots \dots (4)$$

$$\alpha = \frac{x^2}{2r} \dots \dots \dots (4)$$

حيث :

$\alpha$ : نصف القطر الصغير للعنق,  $x$ : نصف القطر الكبير للعنق,  $r$ : نصف قطر الكرة,  $A_p$  و  $V_p$ : مساحة و حجم العنق على الترتيب.

يعتمد في هذا النموذج على الآليات التالية :

### ✓ آلية الانتشار السطحي:

كما أشرنا سابقا فإن المادة تنتشر من سطح الحبيبة إلى سطح العنق و هذا من خلال طبقة ذات سمك  $\delta_s$  تكتب نسبة تحول المادة المعبر عنها بـ  $\frac{x}{r}$  حسب العلاقة :

$$\left(\frac{x}{r}\right)^7 = \frac{56 \times D_s \times \delta_s \times \gamma_{sv} \times \Omega}{RT \times r^4} \times t \dots \dots \dots (5)$$

حيث:

$D_s$ : معامل الإنتشار, و  $\Omega$ : الحجم المولي, و  $\gamma_{sv}$ : الطاقة السطحية, و  $t$ : الزمن, و  $R$ : ثابت الغازات المثالية, و  $T$ : درجة الحرارة, و  $r$ : نصف قطر الكرة, و  $x$ : نصف قطر العنق.

### ✓ الانتقال عبر الطور البخاري:

يتم هذا النوع من الانتقال عبر تدفق غازي من سطح الحبيبات إلى سطح العنق وفق آليتين حديتين هما.

### ❖ آلية التبخير و التكثيف:

إذا ما كانت آخر مرحلة لإنتقال المادة عبر الطور الغازي هي التكثيف على سطح العنق فإننا نجد العلاقة التي تعبر عن نسبة تحول المادة من الشكل.

$$\left(\frac{x}{r}\right)^3 = \left(\frac{\pi}{2M \times (RT)^3}\right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{\gamma_{sv} \times \Omega^2 \times P_0}{r^2} \times t \dots \dots \dots (6)$$

حيث :

$\Omega$ : حجم المولي, و  $\gamma_{sv}$ : الطاقة السطحية, و  $t$ : الزمن, و  $R$ : ثابت الغازات المثالية,  $T$ : درجة الحرارة,  $r$ : نصف قطر الكرة, و  $M$ : الكتلة المولية للمادة, و  $x$  : نصف قطر العنق.

### ❖ آلية الانتشار الغازي:

أما إذا كانت المرحلة الحدية للتدفق الغازي هو الانتشار الغازي فإن عبارة نسبة التحول للمادة تكون من الشكل.

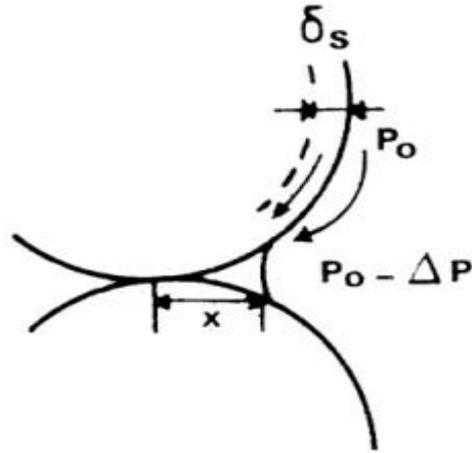
$$\left(\frac{x}{r}\right)^3 = \frac{10 \times \pi \times \gamma_{sv} \times \Omega^2 \times D_g \times P_0}{(RT)^2 \times r^3} \times t \dots \dots \dots (7)$$

حيث :

$\Omega$ : حجم المولي,  $\gamma_{sv}$ : الطاقة السطحية,  $t$ : الزمن,  $R$ : ثابت الغازات المثالية,  $T$ : درجة الحرارة,  $r$  : نصف قطر الكرة,  $D_g$ : معامل الانتشار داخل الغاز,  $x$ : نصف قطر العنق .

### ✓ آلية الإنتشار الحجمي:

تستند هذه الآلية على وجود تدرج في تركيز الفجوات, حيث كلما اقتربنا من المنطقة المشتركة بين الحبيبتين زاد تركيز الفجوات, و مع ارتفاع درجة الحرارة يبدأ هذا التدرج (في التركيز) في التناقص و ذلك بمجرة الفجوات عبر حجم لتعوض بذرات المادة الأم. لكن هذا الإنتشار يكون ضئيل الحدوث أما النوعين السابقين للذكر.

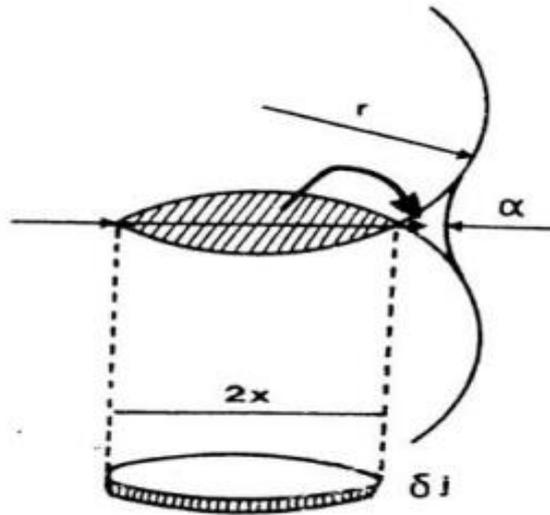


الشكل (11-II): الانتشار السطحي و الانتشار عبر الطور الغازي في نموذج الكرتين المتلامستين [16].

### II-6-2 نموذج الكرتان المتداخلتان:

يتم في هذه الحالة انتشار المادة من مركز الحدود الحبيبية نحو سطح العنق و بذلك يحدث تقلص ظاهري لتعويض الفراغات

المختفية. يؤدي هذا الانتشار للمادة إلى انزياح مراكز الحبيبات و تداخل هذه الأخيرة مع بعضها البعض (الشكل (10-II)).



الشكل (12-II): الانتشار داخل الحدود الحبيبية و الانتشار الحجمي في نموذج الكرتان المتداخلتان [16].

تعطى العلاقات الخاصة بالعنق في هذا النموذج و من أجل  $(\frac{x}{r} < 0.3)$  على الشكل :

$$A_p = \frac{\pi^2 \times x^3}{2r} \dots \dots \dots (8)$$

$$V_p = \frac{\pi \times x^4}{8r} \dots \dots \dots (9)$$

$$\alpha = \frac{x^2}{4r} \dots \dots \dots (10)$$

حيث :

$\alpha$  : نصف القطر الصغير للعنق,  $x$  : نصف القطر الكبير للعنق,  $r$  : نصف قطر الكرة,  $A_p$  و  $V_p$  : مساحة و حجم العنق على

الترتيب.

و يعتمد هذا النموذج على الآليات التالية :

### ✓ آلية الانتشار في الحدود الحبيبية:

هذا النوع من الآليات (نموذج الكرتان المتداخلتان) هو الغالب نظرا لمعامل الانتشار  $D_j$  الذي يكون كبير مقارنة بمعامل

الانتشار الحجمي.

ليكن  $\delta_j$  سمك الحد الحبيبي و  $D_j$  معامل الانتشار للمادة داخل الحد الحبيبي. الانتشار يكون في قرص ذو نصف قطر  $x$  و

سمك  $D_j$ . تكتب نسبة تحول المادة بهذه المعطيات على الشكل :

$$\left(\frac{x}{r}\right)^7 = \frac{48 \times \delta_j \times \gamma_{sv} \times \Omega \times D_j}{RT \times r^4} \times t \dots \dots \dots (11)$$

حيث:

$\Omega$ : الحجم المولي,  $\gamma_{sv}$ : الطاقة السطحية,  $t$ : الزمن,  $R$ : ثابت الغازات المثالية,  $T$ : درجة الحرارة,

$r$ : نصف قطر الكرة,  $x$ : نصف قطر العنق.

✓ آلية الانتشار الحجمي:

يبقى دوما المنبع هو مركز الحد الحبيبي و الهدف هو سطح العنق, لكن الانتشار يكون داخل الحجم الحبيبي. أي أن التدفق لا يتم عبر مساحة الإسطوانة لكن عبر مساحة العنق. و نكتب عند إذن علاقة نسبة تحول المادة على الشكل :

$$\left(\frac{x}{r}\right)^4 = \frac{16 \times \pi \times \gamma_{sv} \times \Omega \times D}{RT \times r^3} \times t \dots \dots \dots (12)$$

حيث:

$\Omega$ : الحجم المولي,  $\gamma_{sv}$ : الطاقة السطحية,  $t$ : الزمن,  $R$ : ثابت الغازات المثالية,  $T$ : درجة الحرارة,

$r$ : نصف قطر الكرة,  $x$ : نصف قطر العنق,  $D$ : معامل الانتشار الحجمي .

II-6-3 آلية الجريان اللزج:

اقتاحت هذه الآلية من طرف العالم فرنكل, حيث يفترض تشكل المنطقة المشتركة بين الحبيبات نتيجة السيالان اللزج , و بالتالي تتشكل المنطقة المشتركة بين الذرات. هذا عكس ما يحصل في الحالات السابقة أين يتم الانتشار بصفة فرضية لعناصر البنية البلورية. في هذه الحالة نكتب علاقة نسبة التحول للمادة على الشكل :

$$\left(\frac{x}{r}\right)^2 = \frac{3 \times \gamma_{sv}}{2\eta \times r} \times t \dots \dots \dots (13)$$

حيث :

$H$ : ثابت اللزوجة في درجة حرارة التلييد,  $\gamma_{sv}$ : الطاقة السطحية,  $t$ : الزمن,  $r$ : نصف قطر الكرة,

$x$ : نصف قطر العنق.

**II-7 المعالجة الحرارية:**

يقصد بالمعالجة الحرارية (دورات حرارية) التغيير المجهرى للمعادن لإعطائها ميزات جديدة. وتتكون المعالجات الحرارية من عدد من العمليات المشتركة التسخين والتبريد [25], و يمكن القول إن المعالجة الحرارية للمعادن والسبائك تهدف بشكل عام إلى :

أ- تحسين الخواص التشغيلية والتشكيلية للمعدن وذلك بزيادة لدونته مما يسمح بزيادة إنتاجية التشغيل وعدم حدوث تشوهات أثناء عمليات التشكيل مثل الكبس والسحب.... الخ, ومن المعتاد أن يتم ذلك على المواد الخام ونصف المصنعة قبل وأثناء عمليات التشغيل و التشكيل.

ب- إكساب المعدن الخواص النهائية المرغوب فيها ويتم ذلك على قطع العمل المنتهية مثل (التصليد، التصليد الغلافي) [26].

ومن الممكن أن تتبع هذه العملية عمليات تشطيب نهائية لإزالة بعض تشوهات المعالجة الحرارية.

**II-8 أنواع المعالجة الحرارية:**

هناك أربعة أنواع من المعالجات الحرارية الأساسية هي :

**II-8-1 التلدين (Annealing):**

تمثل الأهداف الأساسية لمعاملة التخمير في تليين النحاس و تحسين قابلية تشغيله, إضافة إلى إزالة الجهود و تصغير الحجم الحبيبي له و مجانسة البنية البلورية و إزالة الانعزال البلوري. تتم المعالجة بالتخمير (التلدين) بتسخين النحاس إلى درجة حرارة معينة و إبقائه في هذه الدرجة لإحداث التغيرات المطلوبة في البنية و من ثم التبريد إلى درجة حرارة الغرفة بمعدل تبريد بطيء نسبيا [27].

عن طريق تسخن القطعة أو العينة (درجة حرارة على حسب المعدن) لمدة زمنية ثم التبريد في الفرن حتى تأخذ السبيكة و ضع الإستقرار [27].

و هناك نوعان من التلدين :

✓ **التلدين من النوع الأول:** عبارة عن معالجة تكمن في تسخين الخليط الموجود في حالة عدم الاستقرار (معاملة

سابقة للخليط) و تحويلها إلى حالة التوازن.

✓ **التلدين من النوع الثاني:** تكمن في التسخين لدرجة حرارة أعلى من التحولات الطورية ثم تبريدها ببطء بهدف

الحصول على حالة عدم التوازن [28].

بصفة عامة المعالجة الحرارية تزيد من مرونة و لدونة الصلب (عملية التخمير).

## II-8-2 التقسية (الإصلاح) (Hardening):

تستعمل المعالجة بالتقسية لكافة أنواع المعادن و أجزاء المعادن التي تتطلب صلادة و مقاومة عالية أثناء العمل بها, و الهدف الأساسي من تقسية (الإصلاح) هو إكسابها صلادة عالية و زيادة مقاومتها للشد و بشكل خاص زيادة خواص المرونة فيها و التي تتمثل في مقاومة الخضوع حيث أنه كلما زادت مقاومة الخضوع كلما أمكن تعريض هذه المعدات إلى جهود أعلى أثناء استعمالها دون أن تتشوه أو تنكسر لذا فان زيادة مقاومة الخضوع تشكل أحد أهم أهداف الإصلاح.

على الرغم من ذلك فان المعالجة بالتقسية تعتبر الخطوة الأولى في سبيل زيادة مقاومتي الشد أو الخضوع لمادة ما, حيث أن الغرض الوحيد هو الحصول على أقصى المقادير من هذه الخواص (مقاومة الشد و الخضوع), فان المعالجة بالتقسية يجب أن تعقبها المعالجة الحرارية المسماة بالمرجعة.

على أية حال, فان زيادة صلادة مادة معينة تعتب أحيانا من الأهداف الأساسية لمعالجة بالتقسية خاصة بالنسبة للمعدات أو الأجزاء التي تتعرض إلى الإحتكاك أثناء العمل مثل أعمدة الدوران و المسننات [29].

المعالجة الحرارية تزيد من مقاومة الصلب للخدش والتآكل (عملية التصليد).

**II-8-3 المعادلة (الإستبدال) (Normalizing):**

تجرى عملية المعادلة بقصد الوصول إلى التجانس في بنية الفلز أو السبيكة, ذلك أن تبريد السبائك يصاحبه في الغالب تواجد بنية شجرية تتباين في تركيزها عند مقاطع مختلفة من البنية, ينتج عنه البنية ذات القلب غير المتجانس. كذلك عندما يشكل الصلب على البارد بعمليات كالدرفلة مثلا, فإن الحبيبات تتعرض لاختلاف في أشكالها و أحجامها و تصبح مستطيلة مشوهة. في هذه الحالات تجرى لها عملية معادلة و الغرض منها تصغير حجم الحبيبات و إعادة انتظام أشكالها [30].

تتم عملية المعادلة بتسخين العينة إلى درجة حرارة فوق درجات الحرارة الحرجة العليا حسب نسبة الكربون.

نحتفظ بالعينة عند درجة الحرارة هذه مدة من الزمن حسب أبعاد العينة ثم يتم تبريد العينة تبريدا بطيئا في الهواء (خارج الفرن),

يمكن تلخيص فوائد عملية المعادلة كما يلي :

- 1- الحصول على صلب أقوى و أصلد من نتائج عملية التخمير.
- 2- قابلية تشغيل الصلب.
- 3- تحسين حجم و أبعاد الحبيبات.
- 4- الحصول على لدونة جيدة, دون الإضرار بصلادة و مقاومة العينة.

**II-8-4 المراجعة (Tempering):**

نتيجة لعملية الإخماد من درجات حرارية عالية و التي تعقب عملية الإصلااد.

إن الهدف من المراجعة هو الحصول على تركيب أكثر إستقرارية و أقل هشاشة [31].

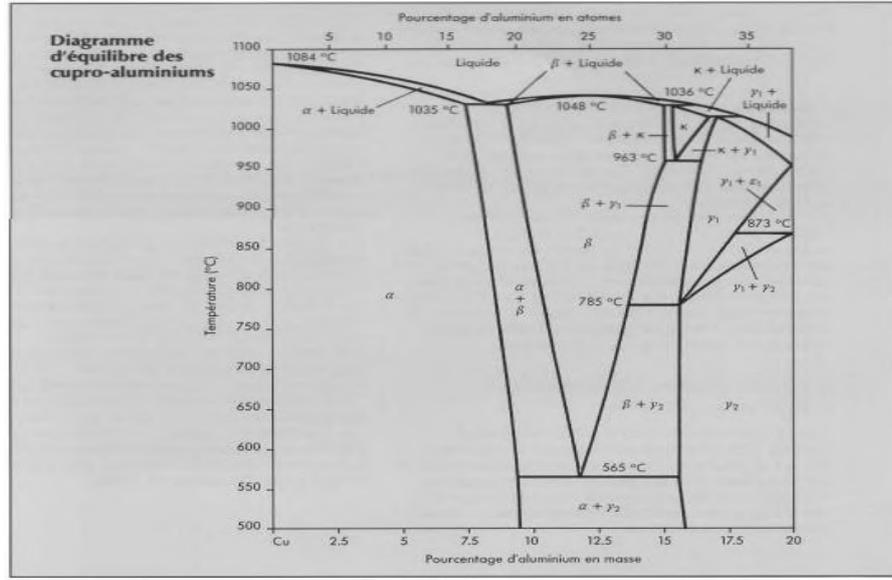
المعالجة الحرارية تقلل من الهشاشة الموجودة في الصلب بعد عملية التصليد (عملية المراجعة).

نوع المعالجة	طريقة التبريد	أهميتها
التخمير (التلدين)	بطيء داخل الفرن	- رفع اللدونة. - إزالة الإجهادات. - تحسين شكل الحبيبات.
المعادلة (الاستبدال)	خارجة الفرن (الهواء)	- رفع اللدونة. - رفع الصلادة. - رفع قابلية التشغيل.
التصليد (التقسية)	سريع و مفاجئ بإستخدام الماء أو الزيت	- رفع الصلادة إلى أقصى درجة.
المراجعة (التطبيع)	تسخين من 200-700م, ثم تبريد بطيء و تستخدم بعد التصليد	- إزالة الاجهادات الداخلية. - رفع المتانة. - خفض القصفية.

الجدول (II-1): عمليات المعالجة الحرارية و أهم أهميتها.

## II-9 مخطط الأطوار لسبيكة النحاس-المنيوم:

إن مخططات التوازن الحرارية للسبائك معقدة لكنها تشترك وبصورة عامة في وجود ذوبانية مناسبة في الحالة الصلبة تتبعها أطوار وسيطية، فالحلول الجامد الذي يتكون في النسب الواطئة من العناصر المضافة عبارة عن الطور ( $\alpha$ ) ألفا الذي يمتاز بالليونة و المطيلية العاليتين. وذرات هذا الطور تترتب بشبكة بلورية من نوع FCC. أما المحلول الجامد المتكون عند زيادة نسب العناصر المضافة عن حد الذوبان في الحالة الصلبة فهو الطور ( $\beta$ ) بيتا، الذي تترتب ذراته بشبكة بلورية من النوع BCC ويمتاز بالمقاومة المرتفعة والمطيلية المنخفضة. ولا تشكل هذه السبائك على البارد بسهولة بينما تكون ملائمة للتشكيل على الساخن اما إذا زدت نسب العناصر المضافة على نسب معينة فإنه سينتج طوارن هما جاما ( $\gamma$ ) والدلتا ( $\delta$ ) وهما طوارن صلدان وهشان معاً. يمثل الشكل (II-13) مخطط الأطوار للنحاس - المنيوم، إذ يتكون محلول جامد من الطور ( $\alpha$ ) عندما تكون نسبة الألمنيوم أقل من 9%. و عندما تزيد نسبة الألمنيوم على 10%، تصل مقاومة الشد إلى قيمتها القصوى، و عن الخواص الميكانيكية و الاستخدام، نذكر أن سبائك النحاس - منيوم التي تحوي على نسب من الألمنيوم أقل من 8% تستخدم في صناعة الحلي الصناعية. و إذا احتوت هذه السبيكة على عناصر مضافة مثل النيكل و الحديد و المنغنيز فإنها تستخدم في صناعة أنابيب المكثفات البحرية.



الشكل (II-13): مخطط الأطوال للنحاس و الألمنيوم.

## II-10 الأشعة السينية:

اكتشفت الأشعة السينية من طرف Wilhelm Konrodrotgen (1845-1923م) في سنة 1895م [32], و الذي تحصل على جائزة نوبل سنة 1913م نتيجة هذا الإكتشاف [33]. حيث اكشف رونتنجن أن الأشعة السينية هي إشعاع كهرومغناطيسي بطول موجي قصير يتراوح بين ( $10^{-9} - 10^{-11}m$ ) و لها مواصفات مشابهة للضوء [34]. و لم تتأكد طبيعة الأشعة السينية الموجية إلا عام 1913م عندما أجريت أولى تجارب الحيود التي إقترحها "فون لاوي" ثم بينت التجارب اللاحقة أن الأشعة السينية موجات مستعرضة و أنها موجات كهرومغناطيسية [35,47].

تنشأ الأشعة السينية عندما يصطدم إلكترون مسرع في مجال كهربائي بهدف مصنوع من مادة معدنية, و يسمى هذا الهدف بالمصعد, و لا تتحول كل طاقة الإلكترون المسرعة إلى طاقة إشعاعية (لعدة أسباب), و لذلك أصطلح على تعريف مقدار يسمى بكفاءة الأشعة السينية ( $\eta$ ).

يتراوح الطول الموجي للأشعة السينية بين  $0.1A^0$  (وهو الحد الأدنى لأشعة جاما) إلى  $100A^0$  (و هو الحد الأقصى للموجات فوق البنفسجية). و يكافئ هذا مدى تراوح طاقتها من 0.1 keV إلى 100 keV [35].

$$\eta = \frac{\text{الفوتونات}}{\text{الالكترونات}} = 1.1 \times 10^{-9} \times Z \times V \dots\dots\dots (14)$$

Z: العدد الذري للمصعد.

V: الجهد الكهربائي المستخدم في تسريع الالكترونات (فولط).

قد تصل كفاءة مصعد التنغستان مثلاً, إلى نحو 0.8% إذا كان يعمل عند جهد مقداره 111 Kv.

من خصائص الأشعة السينية أنها إذا سقطت حزمت فوتونات منها ذات طاقة E و شدة I<sub>0</sub> (عدد الفوتونات/وحدة الزمن

في وحدة المساحة) على قطعة معدن متجانسة بسمك X فإنها تنشأ حزمة مخالفة وذلك حسب العلاقة :

$$I = I_0 e^{-\chi \times (E,Z)u} \dots\dots\dots (15)$$

I<sub>0</sub> : شدة الأشعة الأصلية .

I : شدة الأشعة بعد مسافة X.

u: معامل الامتصاص الخطي.

Z : العدد الذري للمعدن.

E: طاقة الفوتون [36].

يناضر هذا مدى تراوح طاقتها من 0.1 إلى 100 إلكترون فولط و تحسب E (ev) طاقة الفوتون من الأشعة السينية و الذي

طول موجته λ (A°) من العلاقة :

$$E = \frac{12400}{\lambda} (ev) \dots\dots\dots (16)$$

$$1(ev) = 1.6 \times 10^{-19}j , \quad E = \frac{ch}{\lambda} \dots\dots (17)$$

يتراوح الطول الموجي لأشعة السينية المستخدمة في مجال دراسة التركيب البلوري بين 0.5 و 2.5 A°.

لحيود الأشعة السينية أهمية كبيرة في الكشف عن بنية البلورات, وقد اكتشف حيود الأشعة السينية في البلورات Niggpkni و Fridrich ,Laue في ميونخ سنة 1912م ثم طورت هذه التقنية بعد ذلك Bragg.L.W و Bragg.H.W [36].

قد وجد براغ انه لكي يكون شعاعان مستطيران مقويان لبعضهما يجب أن يكون فرق المسار بينهما يساوي عددا طبيعيا من طول الموجة :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots \dots \dots (18)$$

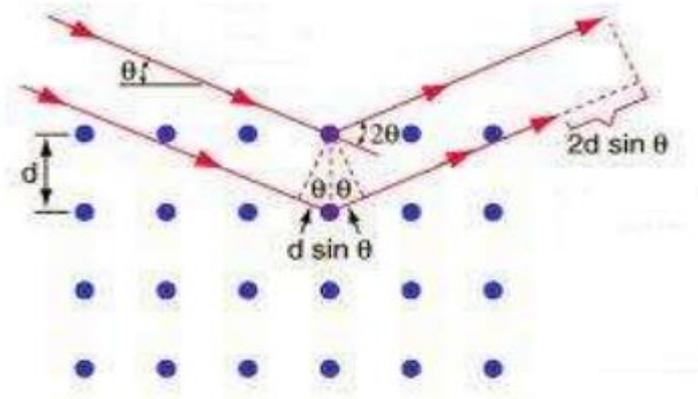
$d$  : البعد بين مستويين بلوريين , له علاقة بمعاملات ميلر.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} A^0 \dots \dots \dots (19)$$

$\theta$  : زاوية الانعكاس (°).

$A$  : طول موجة الإشعاع السيني ( $A^0$ ).

$n$  : رتبة الانعكاس ( $n = 1,2,3 \dots \dots$ ).



الشكل (II-14): مخطط يوضح انعكاس الأشعة السينية عبر عائلة مستويات.

يستعمل التحليل الكمي والكيفي لأطياف الأشعة السينية غالب الأحيان في علم التعدين للكشف عن البنية البلورية لجميع المعادن بالإضافة إلى معرفة المركبات الكيميائية لها, و الأهداف الأساسية من الدراسة التحليلية لهذه الأطياف هي :

- تحديد مواقع النهايات العظمى والتي من خلالها نتعرف على طبيعة وبنية المعدن بالإضافة إلى معرفة جميع أطواره.
- انزياح الطيف بقيمة  $\Delta 2\theta$  دليل على وجود إجهادات داخلية للمعدن المدروس.
- بمعرفتنا لشدة النهايات العظمى لأي طيف نستطيع تحديد تركيز أو كثافة الأطوار المشكلة للمعدن..
- التغير في الشدة  $\Delta I$  للنهايات العظمى يحدد النسيج البلوري للمعدن.
- معرفة ما إذا حدثت تشوهات على أطوار المعدن وتحديد الأبعاد الحبيبية يتضح من خلال أشكال أطياف الأشعة السينية [37].

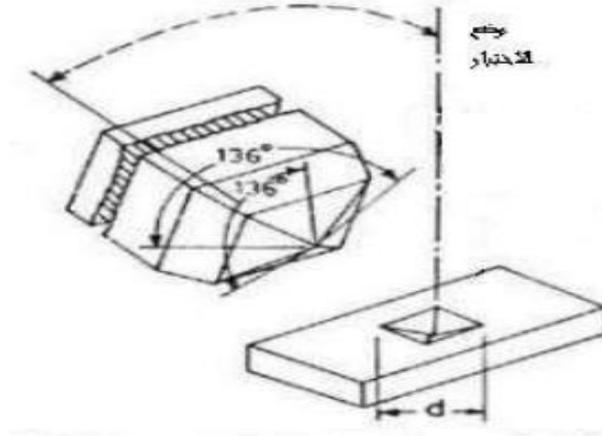
## II-11 الصلادة (Hardness) :

- تعرف الصلادة على أنها مقاومة المادة للخدش أو الإختراق، و هناك عدة مقاييس عالمية مختلفة لتعيين صلادة المواد اللدائنية و أكثرها شيوعاً صلادة برينل و صلادة روكويل [38,48].
- تبرز أهمية إختبارات الصلادة في إعطاء كشف سريع لما يطرأ من تغيرات على الخواص الميكانيكية للمادة نتيجة لعمليات التصنيع و التغيرات الكيميائية و المعاملات الحرارية و التعتيق و التغيرات المصاحبة للتشكيل [39].
- يمكن حساب حاصل قسمة حمل المؤثر على مساحة الأثر. كما أن وحدات الأحمال و المساحات ثابتة و بالتالي لا يذكر لرقم الصلادة وحدة.

أنواع إختبار صلادة العلامة القياسية للمعادن هي :

- ❖ إختبار برنل Brinell.
- ❖ إختبار فيكرز Vickers.
- ❖ إختبار ركول Rockwell.

في اختبار فيكرز للصلادة يستخدم مبین أو مخترق مصنوع من الماس قاعدته على شكل هرم, يكون بين الوجه والوجه المقابل له 136 درجة كما هو موضح في الشكل (II-8).



الشكل (II-15): الهرم الماسي المستخدم في اختبار فيكرز [48].

ويقدر رقم الصلادة كالآتي :

$$VHN = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d} \dots \dots \dots (20)$$

$VHN$ : رقم فيكرز للصلادة.

$P$ : الحمولة المؤثرة بالكيلوغرام.

$d$ : قطر الأثر.

$\alpha$ : الزاوية ما بين كل وجهين متقابلين من المخترق الماسي.

## II-12 الهدف من الإختبار :

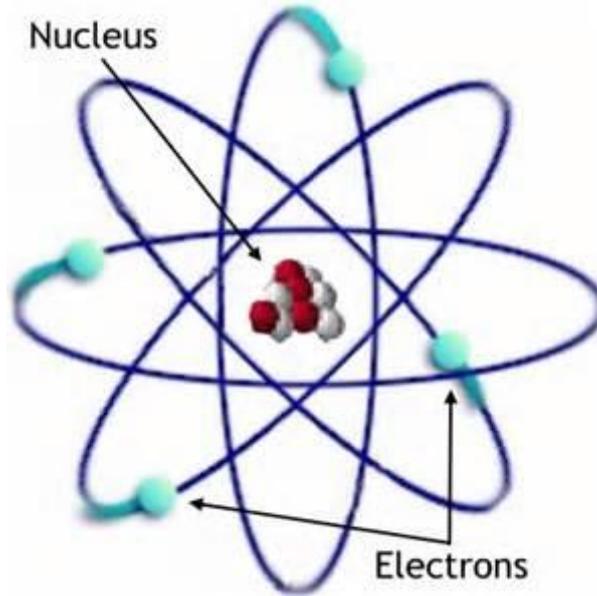
يستخدم صلادة المعادن في مجالات عديدة في الصناعة كما أن معظم المواصفات القياسية تنص على ضرورة إجرائه كاختبار قبول للمعادن و المنتجات المعدنية. تستخدم نتائج اختبارات الصلادة في الأغراض الآتية :

- 1- ترتيب المعادن حسب صلادتها حيث إن لكل صلادة معينة استخدام مناسب لها في الصناعة و في التشغيل.
- 2- التحكم في مستوى الإنتاج و مراقبة أثناء التصنيع.

- 3- ضبط نسبة الكربون المطلوبة للصلب أثناء الصناعة إن لكل نسبة كربون معامل صلادة معين.
- 4- بيان مدى تأثير طريقة تشغيل المعدن للشكل المطلوب على صلادته وذلك بإختبار صلادته قبل و بعد التشغيل.
- 5- دراسة تأثير عمليات المعاملة الحرارية و التأكد من صحة إجراءاتها و تغييرها صلادة المعدن طبقا لذلك.
- 6- معرفة بعض الخواص الميكانيكية باستخدام الصلادة دون اللجوء الى اختبار العينة و اتلافها, مثلا يوجد علاقة تناسب طردية و مقاومة الشد [40,48].

## II-13 الناقلية الكهربائية:

من المعروف أن الذرة تتكون من نواة يدور حولها جسيمات ذات شحنة سالبة تسمى إلكترونات (كما يوضح الشكل ( )), هذه الإلكترونات يمكنها ترك مدارها في الذرة و الإنتقال إلى ذرة أخرى تحت تأثيرات معينة, و هذا الانتقال يكون عادة بشكل عشوائي إلا إذا أثرت قوة على هذه الإلكترونات فتجبرها على السير في اتجاه واحد, هذه الحركة الموحدة الإتجاه تسمى كهرباء (تيار كهربائي).



الشكل (II-16): مكونات الذرة و مسارات الإلكترون حول النواة.

الناقلية الكهربائية للمادة هي قدرة المادة على نقل التيار الكهربائي و هي عكس المقاومة الكهربائية, فالمواد لها مقاومة كهربائية عالية تكون نواقل رديئة و المواد ذات المقاومة الكهربائية المنخفضة تكون نواقل جيدة, هي المعادن و على رأسها الفضة و النحاس ثم الألمنيوم [41].

## II-14 نموذج درود (1900):

نموذج درود يعامل الإلكترونات أو حاملات الشحنة الأخرى قاذف بين الأيونات المكونة ت ككريات تنس ت للمادة. ع الإلكترونات في تسر الاتجاه المعاكس للحقل الكهربائي، إلا أنه مع كل اصطدام ينحرف الإلكترون في اتجاه عشوائي بسرعة أكبر بكثير من السرعة التي اكتسبها بواسطة الحقل الكهربائي ، أي أن الإلكترونات تتخذ مسارا متعرجا بسبب التصادمات المتتالية الشكل (II - 8). لكن عموما يكون الانحراف اتجاه عام ل كس لحقل الكهربائي . تحدد كثافة التيار الكهربائي و علاقته ب  $E$ , و هي مستقلة عن التصادمات . حسب درود فإن سرعة الانحراف تعطى من خلال العلاقة  $p = -eE\tau$ .

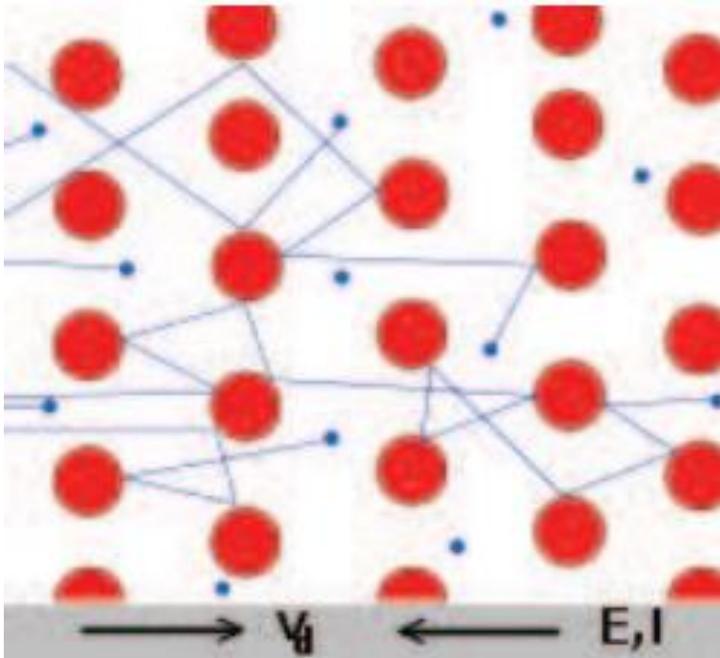
حيث :

$p$  : متوسطة كمية الحركة.

$e$  : هي شحنة الإلكترون .

$\tau$  : هو متوسط الزمن بين التصادمات .

نظرا لتناسب كمية الحركة و كثافة التيار مع سرعة الانحراف، فإن كثافة التيار تصبح متناسبة مع الحقل الكهربائي المطبق، و هو ما يتطابق مع قانون أوم.



الشكل (II-17): التصادمات المتتالية للإلكترون.

بما أن الشحن تتحرك عشوائيا و بسرعة كبيرة جدا ، فإن متوسط حركتها يكون بطيئا، بينما يتحرك التيار على طول السلك بسرعة الضوء ، و منه فالحقل الكهربائي يتحرك بسرعة الضوء، أما الإلكترونات فتتحرك فعليا داخل السلك [42].

## II-15 آلية التوصيل الكهربائي :

يتم التوصيل الكهربائي في المواد بواسطة ناقلات الشحنة، و هي تنقسم إلى ثلاثة أصناف:

❖ في المعادن يتم النقل الكهربائي بواسطة الإلكترونات، و هي أحسن مثال معروف، و هي ذات شحنة سالبة

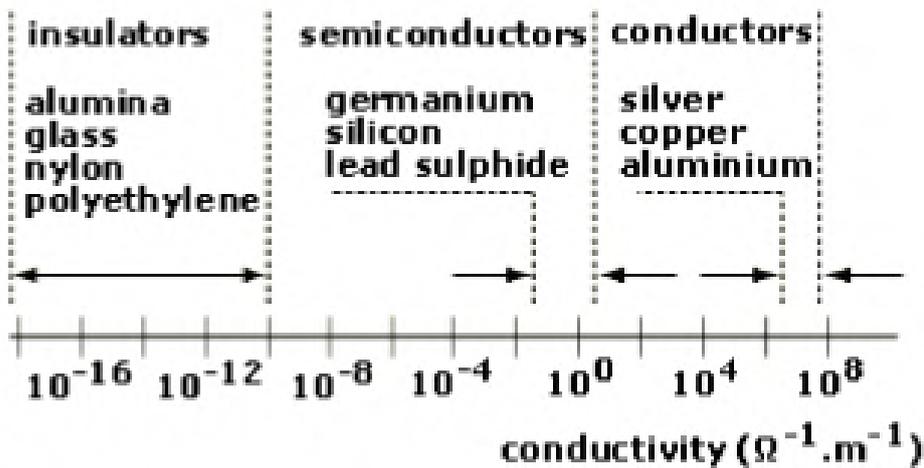
$$.q = 1.6 \times 10^{-19}c$$

❖ الثقوب، و هي تعبير عن غياب إلكترون في السحابة الإلكترونية ، فشحنتها اذا موجة و مقدارها

$$.q = 1.6 \times 10^{-19}c$$

❖ في المواد الأيونية ، تستطيع الأيونات أن تساهم في جزء من التوصيل. كل أيون سيتحد مع شحنة أو أكثر. الأيونات

تحمل شحنة سالبة، أما الكاتيونات فتحمل شحنة موجبة [42].



الشكل (II-18): تصنيف بعض المواد وفقا الناقلية الكهربائية.

الفصل الثالث

الجانب العملي

و

الأجهزة

المستعملة

**1-III إعداد العينات :****1-1-III المواد المستعملة:**

استعملنا في هذا العمل التجريبي :

✓ مسحوق النحاس ذو النقاوة 99.5 %

✓ مسحوق الألمنيوم ذو النقاوة 99.5 %.

الليذان يجويان على مجموعة من الشوائب الموضحة في الجداول التالية :

Zinc	Iron	Copper	Silicon	Mn	Mg	العينة
0.0053	0.17	0.00159	0.1313	0.0023	0.00160	% النسبة

الجدول (1-III): مختلف الشوائب لمسحوق الألمنيوم.

Sn	$HNO_3$	Sb	Pb	Fe	Mn	Ag	العينة
0.005	0.05	0.005	0.05	0.005	0.005	0.005	% النسبة

الجدول (2-III): مختلف الشوائب لمسحوق النحاس.

**2-1-III تحضير العينات :**

قبل تطرقنا إلى أي تحليل فيزيائي للعينة المراد دراستها، كان لزاما علينا تحضير هذه العينات و تهيئتها تبعا للهدف المسطر للدراسة، فعيناتنا في هذا العمل متمثلة في أقراص من النحاس النقي و أقراص من النحاس الممزوجة بالألمنيوم بنسب مختلفة.

تم تحضير العينات في هذا البحث بوزن كميات من مسحوق النحاس ذو النقاوة 99.5% بكتلة تساوي  $m=3g$  بواسطة

ميزان الكتروني حساس (الموضح في الشكل (1-III)) نسبة الارتياب لديه  $\Delta l = 0.0001g$ .



الشكل (III-1): الميزان.

## ✓ تحضير عينات النحاس-ألومنيوم بنسب مختلفة من الألمنيوم:

صنعت النماذج الأولية من سبيكة النحاس - الألمنيوم باستعمال مسحوق النحاس و الألمنيوم باعتماد المراحل الأساسية لتقنية المساحيق.

## ❖ حساب نسبة الألمنيوم المضاف في النحاس:

$$3g \longrightarrow 100\%$$

$$x \longrightarrow 5\%$$

$$x = \frac{5 \times 3}{100} = 0.15 \text{ g}$$

الكتلة النهائي هي  $m_t = 3g$  اذا :

$$m_t = m_{Cu} + m_{Al}$$

$$m_{Cu} = m_t - m_{Al} = 3(g) - 0.15(g) = 2.85(g)$$

تم مزج  $2.85(g)$  من مسحوق النحاس مع  $0.15(g)$  من مسحوق الألمنيوم, وطحنت بشكل جيد للحصول على حجم دقائق صغير جداً باستخدام المهراس الموضح في الشكل (III-3) المقابل, و ذلك لغرض الحصول على توزيع منتظم لجزيئات الألمنيوم مع جزيئات النحاس, لتفادي أي أعراض جانبية كنسبة تركيز الألمنيوم في مكان واحد, و كذا للحصول على نتائج أكثر دقة.



الشكل (III-3): المهراس.

ثم قمنا بوضع هذه الأخيرة (مسحوق من النحاس النقي و مساحيق النحاس الممزوجة بالألومنيوم), في مكبس من أجل الحصول على قرص للنحاس النقي و سبائك النحاس-ألومنيوم.

يقوم الجهاز بتحويل المساحيق إلى أقراص أو صفائح دائرية الشكل عن طريق عملية الضغط بالزيت, كما يمكن للجهاز

إعطاء سمك الطبقة الناتجة من عملية الضغط و إعطاء قيمة الضغط سواء كانت بال MPa أو KN.



الشكل (III-2): جهاز المكبس.

الجدول التالي يوضح مختلف العينات التي حضرت للنحاس النقي :

العينة	الكتلة (g)	الضغط (MPa)	الضغط (KN)	سمك العينة (mm)
1	3	12.5	18	1.60
2	3	12.5	18	1.65
3	3	12.5	18	1.70
4	3	12.5	18	1.70

الجدول (III-3): شروط تحضير عينات النحاس النقي .

ثم نقوم بوضوح المسحوق الحاوي على 95% نحاس و 5% ألنيوم في جهاز الضغط , وفق شروط محددة لإنتاج صفيحة لها سمك متوسط يقدر بـ 1.775mm و هذا موضح في الجدول التالي :

العينة	الكتلة (g)	الضغط (MPa)	الضغط (KN)	سمك العينة (mm)
1	2.85	12.5	18	1.81
	0.15			
2	2.85	12.5	18	1.81
	0.15			
3	2.85	12.5	18	1.74
	0.15			
4	2.85	12.5	18	1.73
	0.15			

الجدول (III-4): عملية السحق للحصول على سبيكة ألنيوم- نحاس.

عينات النحاس- ألنيوم بنسبة 89% نحاس و 11% ألنيوم .

العينة	الكتلة (g)	الضغط (MPa)	الضغط (KN)	سمك العينة (mm)
1	2.67	12.5	18	1.94
	0.33			
2	2.67	12.5	18	1.92
	0.33			
3	2.67	12.5	18	1.96
	0.33			
4	2.67	12.5	18	1.95
	0.33			

الجدول (III-5): عملية السحق للحصول على سبيكة ألنيوم- نحاس.

عينات النحاس-المنيوم بنسبة 86% نحاس و 14% منيوم.

العينة	الكتلة (g)	الضغط (MPa)	الضغط (KN)	سمك العينة (mm)
1	2.58	12.5	18	2.03
	0.53			
2	2.58	12.5	18	2.04
	0.53			
3	2.58	12.5	18	2.03
	0.53			
4	2.58	12.5	18	2.04
	0.53			
5	2.58	12.5	18	2.00
	0.53			

الجدول (III-6): عملية السحق للحصول على سبيكة ألنيوم- نحاس.

عينات النحاس-المنيوم بنسبة 82% نحاس و 18% ألنيوم .

العينة	الكتلة (g)	الضغط (MPa)	الضغط (KN)	سمك العينة (mm)
1	2.46	12.5	18	2.10
	0.53			
2	2.46	12.5	18	2.12
	0.53			
3	2.46	12.5	18	2.12
	0.53			
4	2.46	12.5	18	2.11
	0.53			
5	2.46	12.5	18	2.17
	0.53			

الجدول (III-7): عملية السحق للحصول على سبيكة ألنيوم- نحاس.

**III-2 المعالجة الحرارية:**

بعد تحضير العينات ننتقل إلى مرحلة وضع العينات في الفرن الحراري تحت درجات حرارة مختلفة, بحيث تشمل هذه العملية كل الأقراص ذات النسب (5%, 11%, 14%, 18%) من الألمنيوم المضافة للنحاس. مع إبقاء عينة شاهدية لكل نسبة .

تتم هذه العملية بوضع العينات داخل أنبوب من الكوارتز المفرغ من الهواء تحت ضغط حوالي  $4.5 \times 10^{-3} mbar$ , بواسطة جهاز التفريغ نقوم بضبط الفرن الحراري عند درجات حرارة مختلفة ( $700^{\circ}C$ ,  $800^{\circ}C$ ,  $900^{\circ}C$  و  $1000^{\circ}C$ ), لمدة 20 دقيقة مع ثبوت درجة الحرارة المدروسة مدة 90 دقيقة لغرض انتشار الحرارة في العينة بشكل منتظم. ثم أخدمت تدريجياً. أي تبرد بشكل بطيء أو ما يعرف بالتلدين مع مراقبة دورة التبريد الخاصة بالفرن الحراري باستمرار و هكذا مع جميع العينات في مختلف درجات الحرارة.



الشكل (III-4):الفرن الحراري.

**III-3 طرق التحليل بالأشعة السينية:**

بعد المعالجة الحرارية للعينات ندخلها في جهاز انعراج الأشعة السينية عينة بعد عينة أخرى يقوم الحاسوب المرتبط بجهاز الانعراج برسم المنحنى الخاص بانعراج الأشعة السينية ( طيف الانعراج ) الخاص بكل عينة بحيث يظهر الاختلاف جليا بين مختلف العينات ذات النسب المختلفة لدرجات الحرارة المختلفة, بالإضافة إلى مراقبة منحنيات انعراج الأشعة السينية للعينات الشاهدة.

يستعمل الجهاز في هذه العملية طريقة ديبيي شرر و يتم تسجيل الطيف على حساس يتمثل في شريط يوضع داخل غرفة تعرف بغرفة ديبيي, هذه التقنية تسمح بتأثير خطوط الانعراج حيث يرفق بكل خط قيمتين محسوبتين و هما I (الشدة) و  $d_{hkl}$  (المسافة البلورية) على التوالي, انطلاقا من قانون براغ نستطيع إيجاد الإحداثيات (hkl).



الشكل (III-5): جهاز الأشعة السينية.

### III-4 الناقلية الكهربائية:

هناك عدة طرق بقياس الناقلية بواسطة الأوم متر أو بواسطة جهاز متعدد القياسات أو بتطبيق فرق الجهد بين طرفي العينة  $U$  ثم قياس شدة التيار  $I$  و تليها حساب المقاومة , نكرر هذه العملية عدة مرات و نرسم المنحنى  $U=f(I)$  و نحدد ميل المنحنى البياني بحيث يكون مساويا لقيمة المقاومة  $R$ .

نختار الأوم متر لقياس المقاومة  $R$  ثم نحدد الناقلية  $G$  بحيث:

$$G = \frac{1}{R}$$

و في النهاية ندعم هذه القياس باستخدام الطريقة الثانية لتأكيد النتائج.

استخدمنا في هذه العملية جهاز الأوم متر لقياس الناقلية الكهربائية، و النتائج موضحة في الجدول التالي لعينات النحاس النقي و النحاس المختلط مع الألمنيوم بمختلف النسب.



الشكل (III-6): جهاز الأوم متر.

### III-5 اختبار الصلادة:

اجري اختبار الصلادة ليكون مؤشراً للتغيرات الحاصلة في الخواص الميكانيكية للعينات، حيث قيست الصلادة للعينات بعد عملية المعالجة الحرارية و عملية قياس الناقلية. الطريقة التي استخدمت في قياس الصلادة هي طريقة فيكرز ( لقياس الصلادة الدقيقة Vickers)،



الشكل (III-7): جهاز قياس الصلادة.

الفصل الرابع  
مناقشة النتائج  
وتفسيرها

## 1-IV نتائج قياس الناقلية الكهربائية:

توجد ثلاث طرق لقياس الناقلية الكهربائية هي :

تقنية قياس الناقلية الكهربائية, تقنية قياس الإستقطاب و أخيرا تقنية التحليل الشاردي.

الطريقة المستعملة في قياس الناقلية لبحثنا هذا متمثلة في الإستقطاب بنقطتين. حيث تشغل هذه التقنية مكان جد مهم ضمن طرق التحليل الكهربائي, فتطبيقاتها مختلفة إلى حد ما إنطلاقا من التحليل المعدني, فبواسطتها نستطيع الحصول على نتائج دقيقة. يتكون هذا التركيب أساسا من جهاز واحد و هو الأوم- متر الذي أعطانا القيم التالية :

درجة الحرارة (c°)	نسبة الألمنيوم					الرقم
	18%	14%	11%	5%	0%	
700	0.406	0.45	0.41	0.46	0.27	1
800	0.412	0.43	0.43	0.46	0.263	2
900	0.415	0.42	0.43	0.47	0.231	3
1000	0.413	0.421	0.44	0.476	0.218	4
St	0.237	0.237	0.249	0.232	0.231	شاهدة

الجدول (1-IV): نتائج المقاومة للعينات بوحدة  $\Omega$ .

باستعمال العلاقة التالية قمنا بتحويل قيم المقاومة إلى قيم للناقلية النوعية :

$$\delta = G \times \frac{L}{A} \dots \dots \dots (21)$$

حيث :

G : الناقلية الكهربائية ( $\Omega^{-1}$ ).

A : مساحة المقطع ( $m^2$ ).

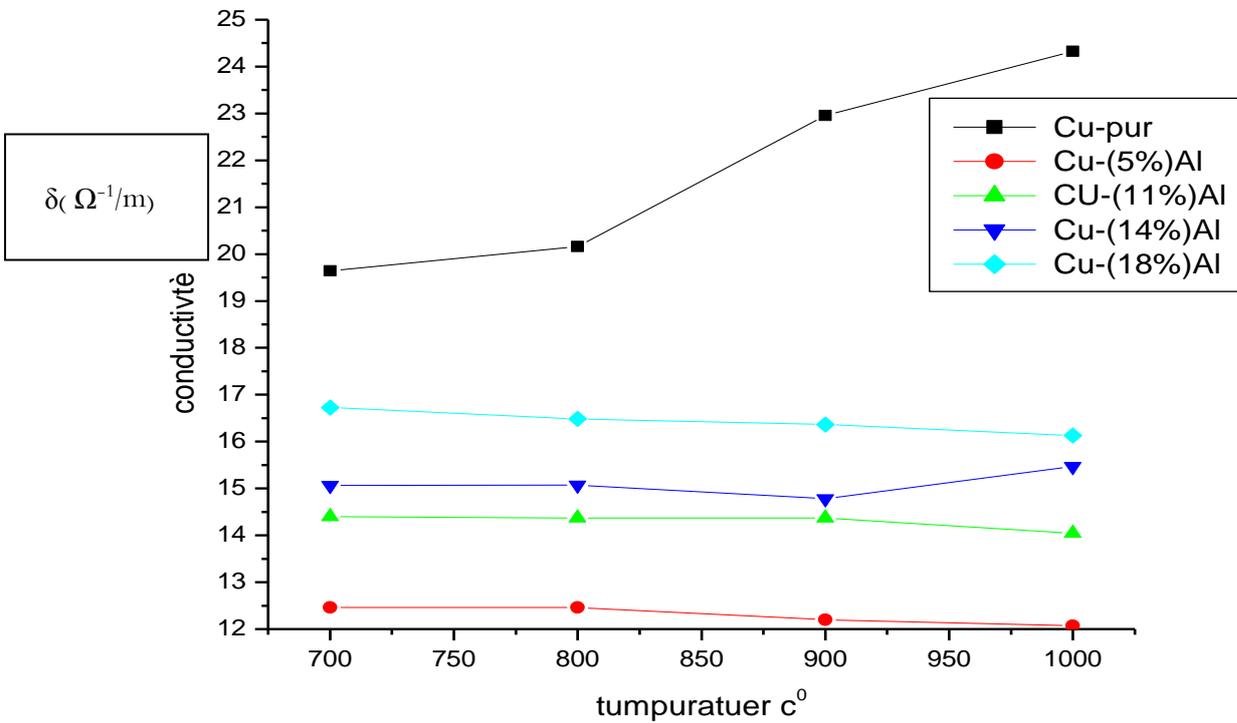
l : طول المقطع (سمك القرص) (m).

درجة الحرارة (c°)	نسبة الألمنيوم					الرقم
	18%	14%	11%	5%	0%	
700	16.727	15.068	14.402	12.462	19.64	1
800	16.483	15.0715	14.367	12.462	20.16	2
900	16.3645	14.7825	14.367	12.1967	22.954	3
1000	16.1316	15.468	14.041	12.068	24.3231	4
St	28.655	28.056	24.812	24.71	22.954	شاهدة

الجدول (2-IV): نتائج الناقلية النوعية للعينات ( $\Omega^{-1}/m$ ).

من خلال ملاحظتنا للجدول نجد تغير ملحوظ لقيم الناقلية الكهربائية بشكل متذبذب, و هذا ما يوضح بشكل أفضل في

الرسم البياني التالي المستعمل في رسمه برنامج origine.



الشكل (1-IV): نتائج الناقلية النوعية بدلالة درجة الحرارة.

**1-1-IV الملاحظة و التفسير منحنى الناقلية النوعية بدلالة درجة الحرارة:**

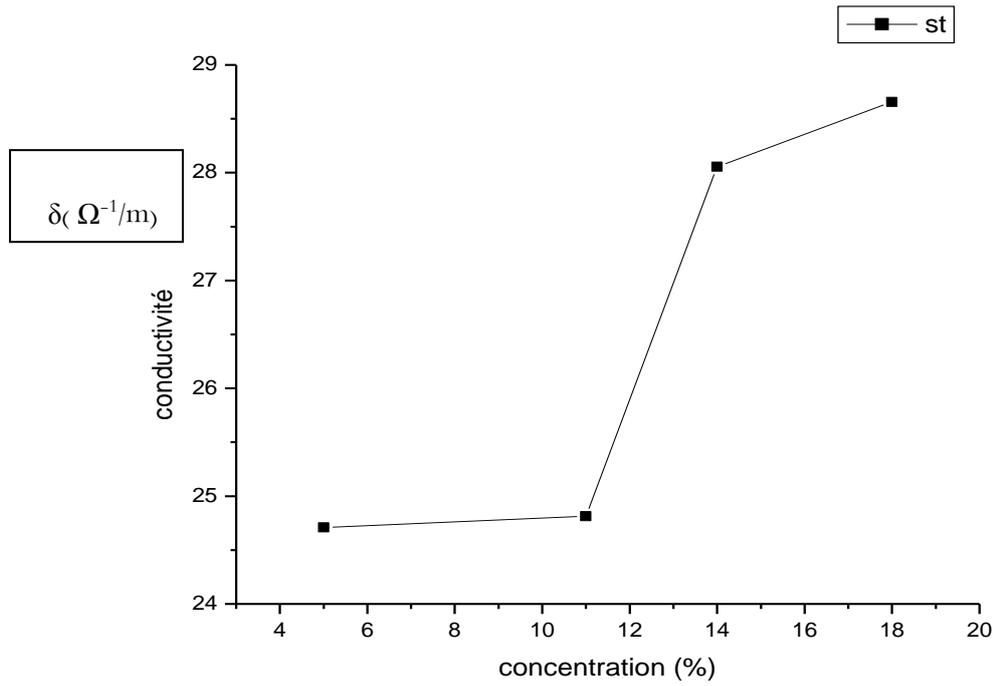
تبدأ الناقلية الكهربائية للمادة بالتناقص بزيادة درجة الحرارة ابتداء من  $700c^{\circ}$  درجة حرارة إلى غاية  $1000c^{\circ}$ , في العينات الحاوية على تراكيز مختلفة من الألمنيوم بينما بالنسبة للعينات النقية فنلاحظ زيادة في الناقلية مع زيادة درجة الحرارة, كما نلاحظ أن الناقلية الكهربائية للنحاس النقي أعلى من ناقلية العينات الممزوجة بالألمنيوم, بسبب قيمة النحاس و قابليته للنقل الكهربائي و تصنيفها كناقلية عالية بعد الفضة, كما أنها تزداد بزيادة درجة الحرارة المعالجة لزيادة التماسك بين ذرات و حبيبات المادة بحيث تنقلص الفجوات.

في عينات النحاس- ألمنيوم نلاحظ أن الناقلية تزداد بزيادة نسب مختلفة من الألمنيوم ليلعب أقصاه عند 18% للألمنيوم في العينة, و يرجع ذلك إلى زيادة الإلكترونات الحرة في العينة و سلوك التيار الكهربائي لأسهل الطرق (ناقلية الألمنيوم اقل من ناقلية النحاس النقي), في حين تضيق مسارات هذه الإلكترونات.

تتناقص ناقلية النحاس- ألمنيوم بزيادة درجة حرارة المعالجة لكل عينة, وذلك يمكن إرجاعه إلى دور المعالجة في الزيادة من تماسك العينة و هذا يؤدي إلى تناقص أو تقلص الفراغات (الفجوات) و بالتالي تنقلص الحجم الحبيبي للذرات يواء كانت النحاس او الألمنيوم بدوره مما يزيد من ضيق مسارات تدفق الإلكترونات.

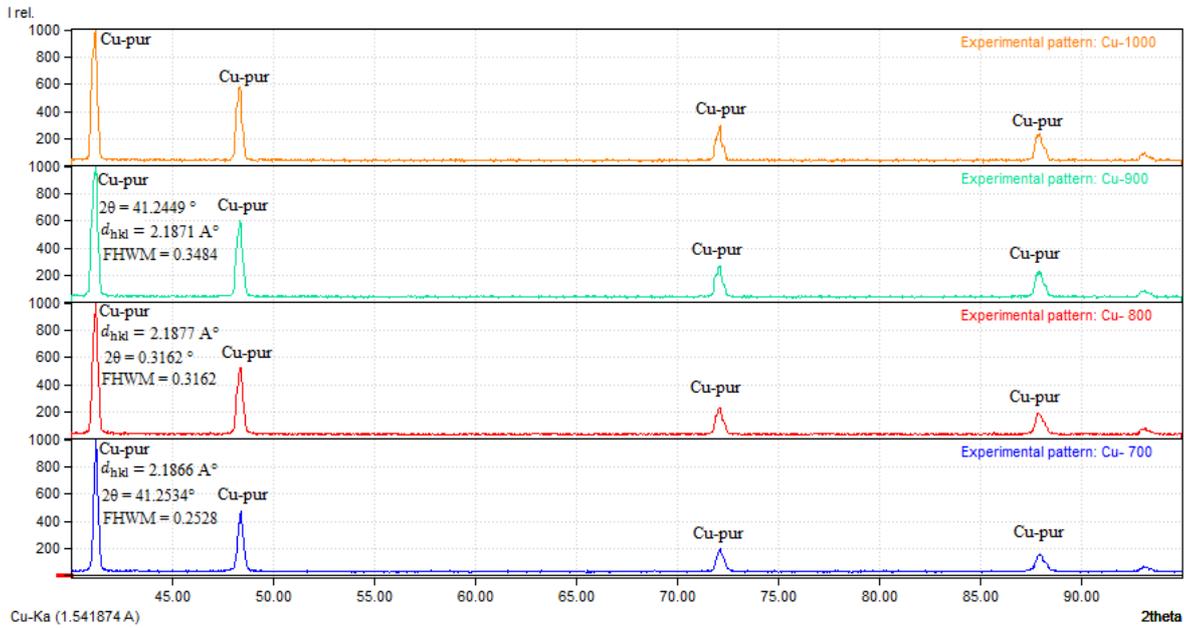
في حين أننا نلاحظ زيادة في الناقلية بالنسبة للنحاس النقي مع زيادة في درجة الحرارة. وهذا بسبب إحتواء العينة على نوع واحد من العناصر و بالتالي تناقص العيوب فيه. مما يسهل حركية الإلكترونات بفعل الحرارة المعطاة, كما أن النحاس النقي لا يتحول في الشكل (IV-2).

و هذا ما لوحظ في العينة الشاهدة المعالجة عند درجة حرارة الغرفة في نسب مختلفة للألمنيوم.

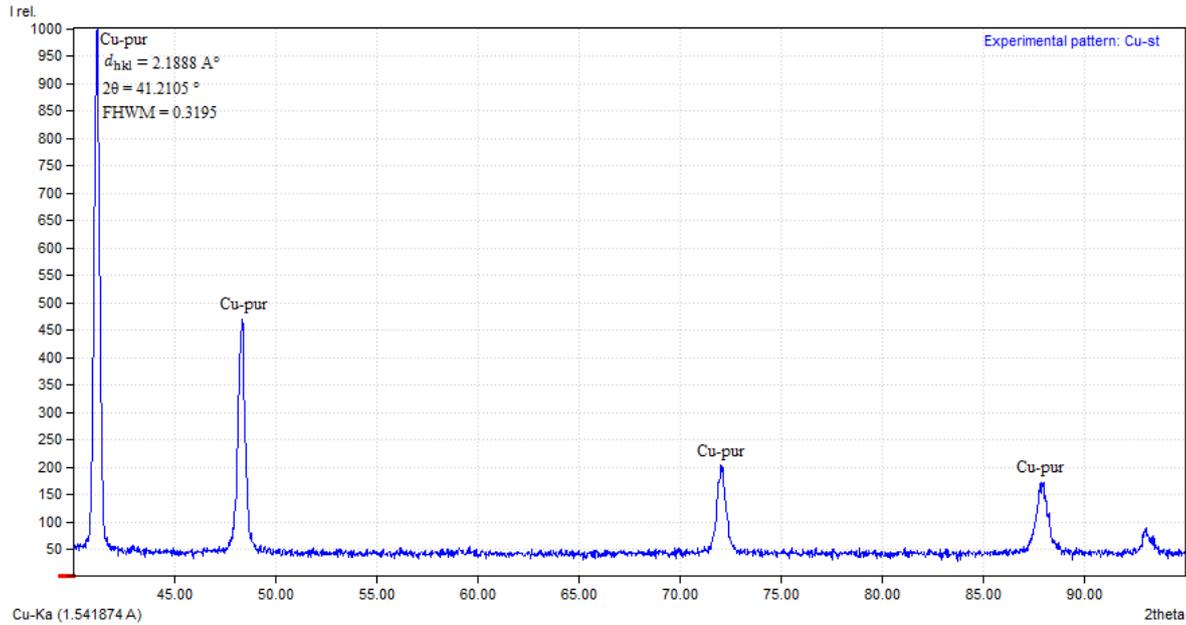


الشكل (2-IV): نتائج الناقلية النوعية لعينة شاهدة بدلالة نسبة تركيز الألمنيوم (%).

يهدف إثبات هذا التفسير قمننا بمعالجة العينات بالأشعة السينية و تحصلنا على النتائج التالية :



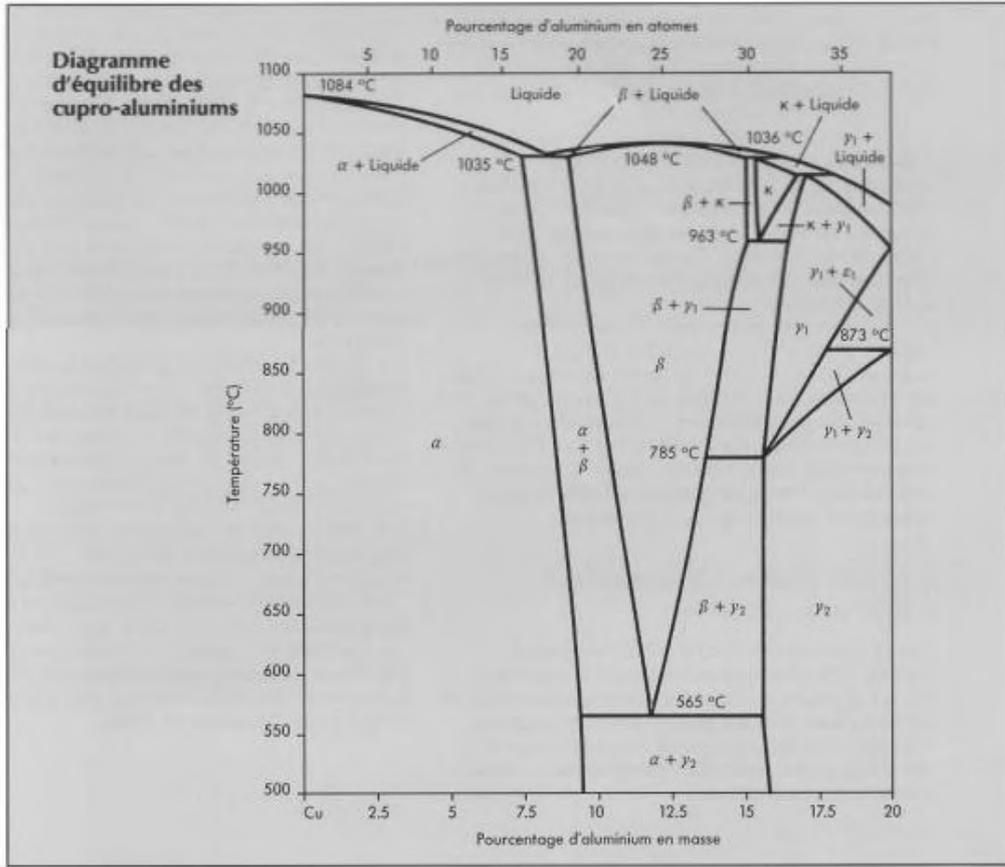
الشكل (3-IV): طيف الأشعة السينية لعينات النحاس النقي في درجات حرارة مختلفة  $C^\circ$ .



الشكل (4-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس النقي بدون معالجة.

### الملاحظة والتفسير:

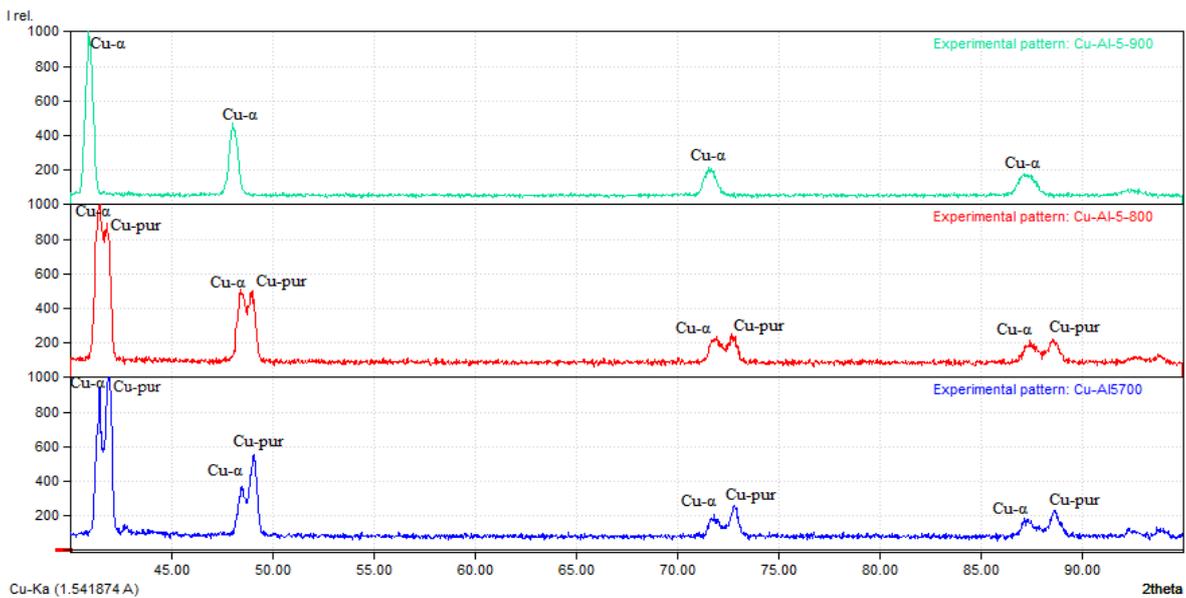
يمثل الشكل (3-IV) مخطط إنعراج الأشعة السينية المسجل على عينة من النحاس النقي ذو النسبة من النقاوة 99.50%، نلاحظ للوهلة الأولى النهايات العظمى المبينة من خلال الطيف الدالة على أن الغالبية المطلقة للعناصر المكونة للعينة المدروسة كانت لعنصر النحاس دون مركبات الشوائب الأخرى، و التي بدون شك يكون تواجدها ضئيلا جدا إلى حد الإهمال بالنسبة للنحاس. إذ يظهر قمم كبيرة للنحاس النقي عند الزاوية  $2\theta = 42^\circ$  و  $2\theta = 47^\circ, 72^\circ, 86^\circ$ . من خلال أطياف الأشعة الموضحة في الشكل (3-IV)، يتضح لنا عدم ظهور نهايات جديدة تختلف في مواضعها عن تلك المبينة في الشكل (4-IV) و الذي هو عبارة عن طيف للأشعة السينية لعينة النحاس النقي في درجة حرارة الغرفة (تعتبر عينة شاهدة)، حيث يفسر هذا الثبوت في الطيف من خلال مخطط الأطوار للنحاس بإحتوائه على طور واحد على طول اختلاف درجات الحرارة وهو الطور  $\alpha$ .



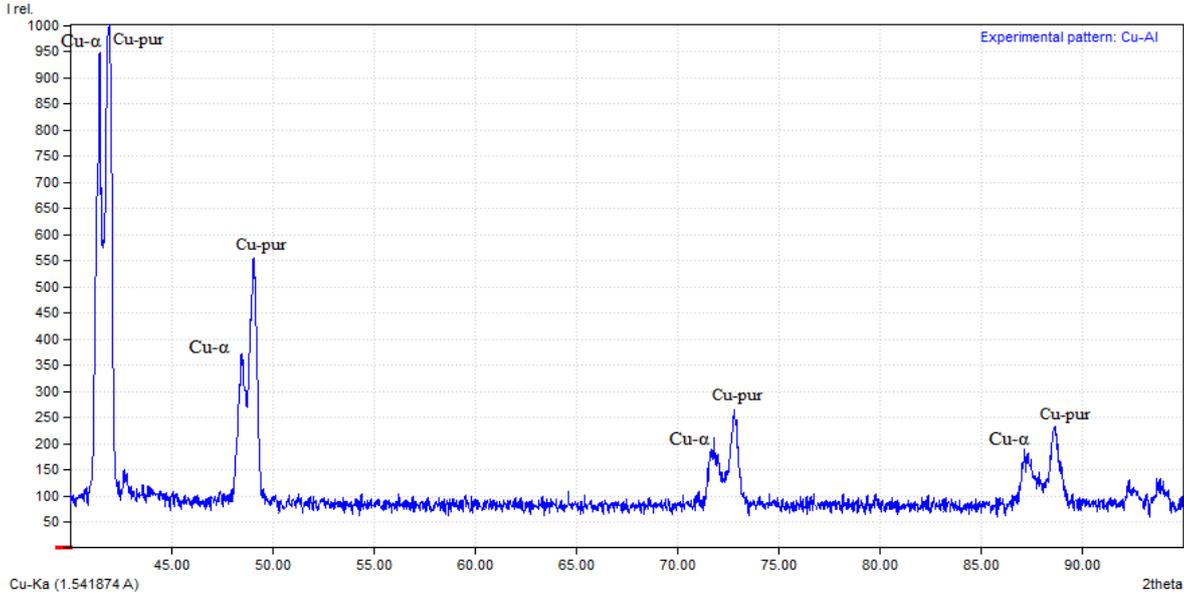
الشكل (5-IV): مخطط الأطوال للنحاس و الألمنيوم.

الدراسة التجريبية لعينات المختلطة Cu-Al سوف تكشف عن تطور المسامية, و مدى التطور الميكانيكي و المادي

للينة.

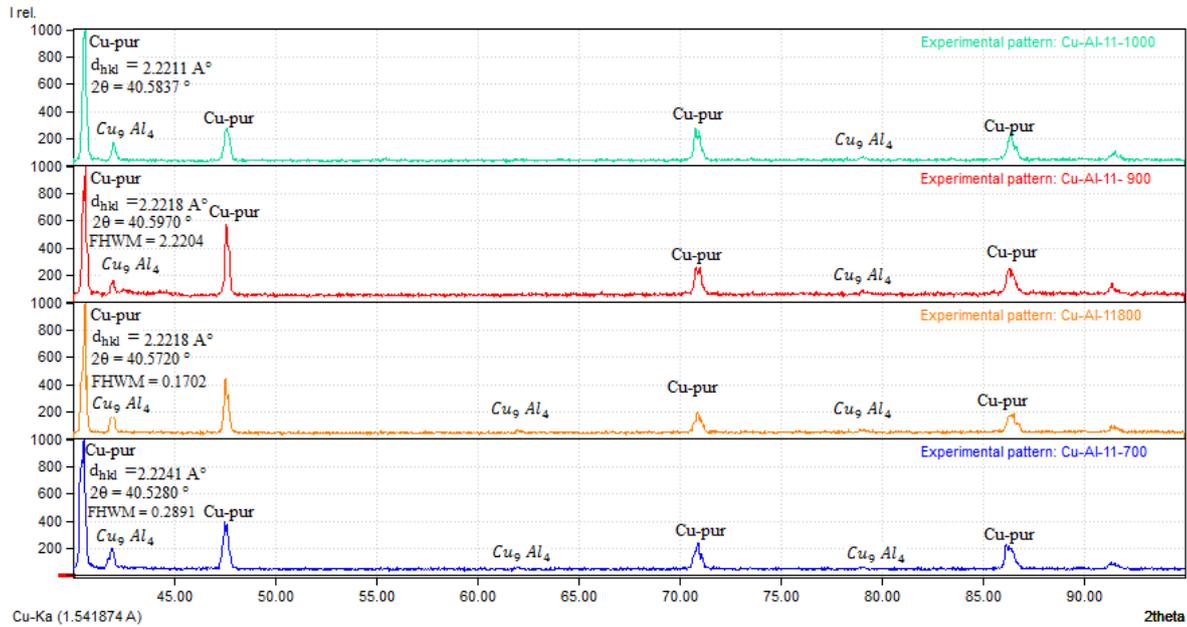


الشكل (6-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (5%) ألنيوم في درجات حرارة مختلفة C°.

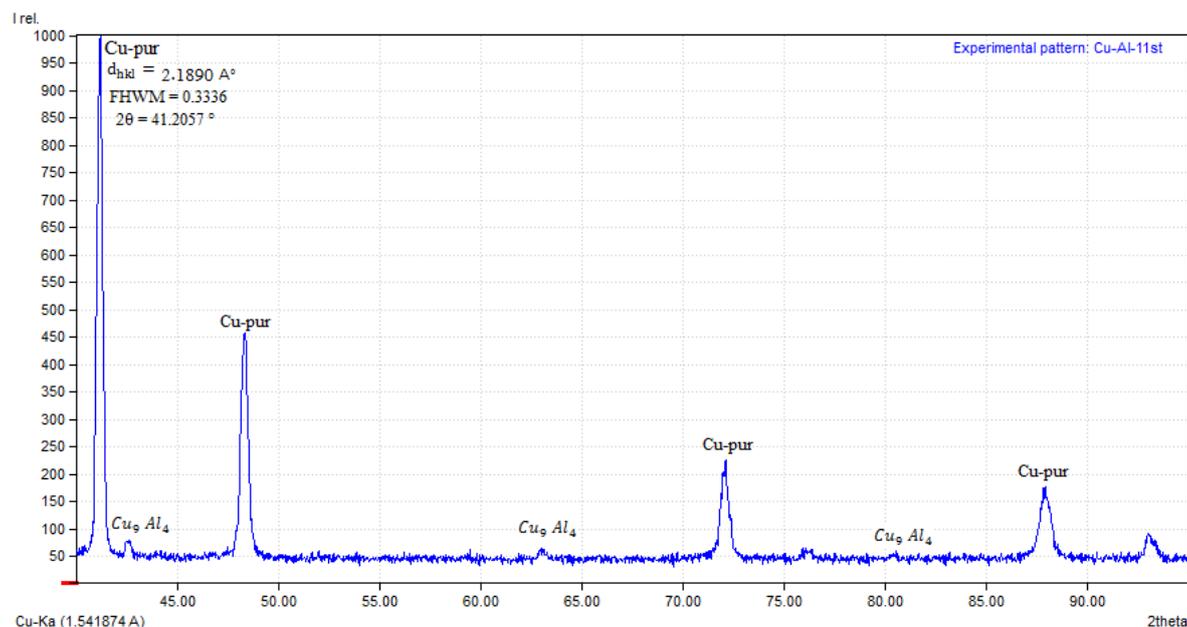


الشكل (7-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (5%) ألومنيوم بدون معالجة.

تبين منحنيات انعراج الأشعة السينية من خلال أطياف الأشعة الموضحة في الشكل (6-IV) إنعراج الأشعة السينية عند النسبة 5% من الألومنيوم للعينة في مختلف درجات حرارة المعالجة المدروسة وجود نهايات جديدة لم تكن متواجدة في الشكل (4-IV) للنحاس النقي، حيث يفسر هذا من خلال مخطط الأطوار للنحاس - ألومنيوم بظهور أطوار جديدة من النوع  $\alpha$  في القمم، إضافة إلى الأطوار القديمة المتمثلة في النحاس النقي.



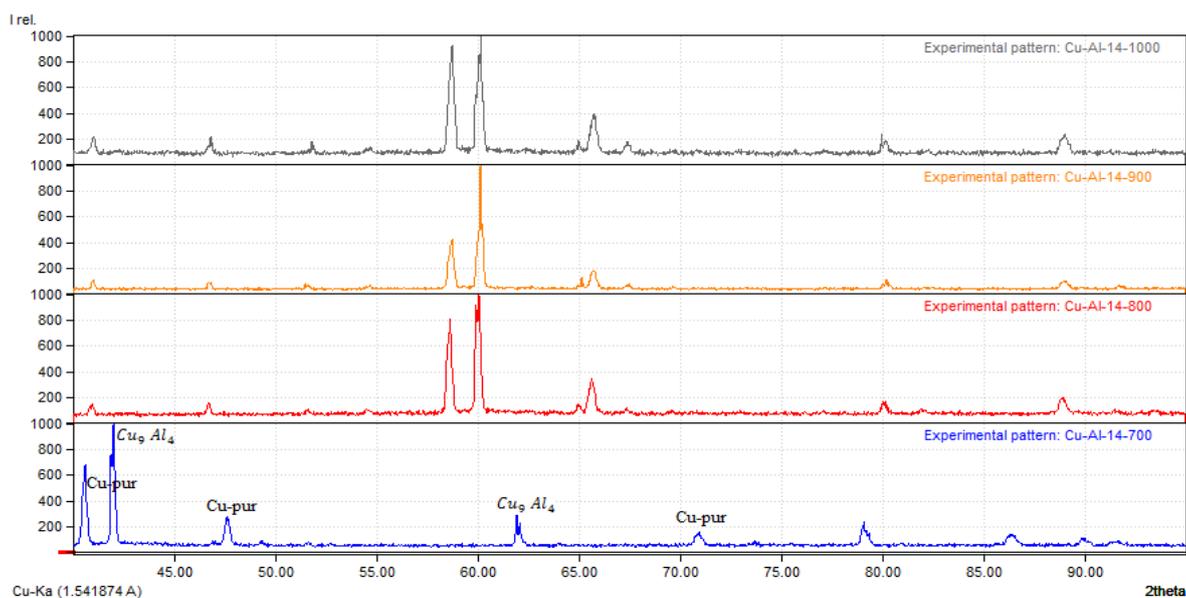
الشكل (8-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (11%) ألومنيوم في درجات حرارة مختلفة  $C^\circ$ .



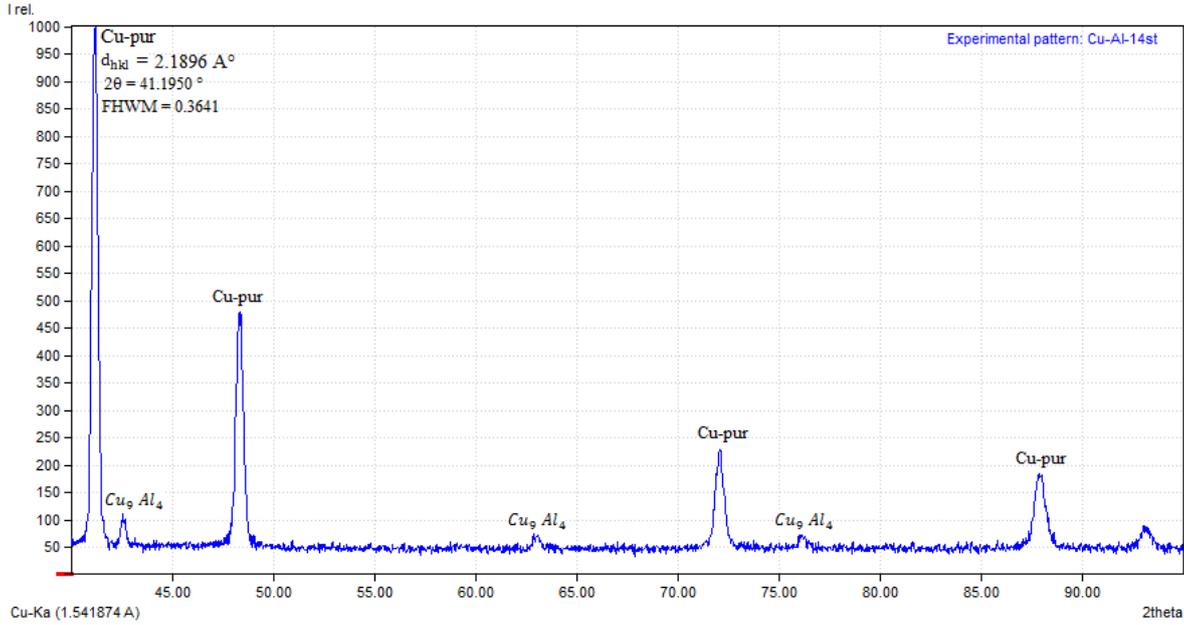
الشكل (9-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (11%) ألومنيوم بدون معالجة.

### الملاحظة والتفسير:

نلاحظ في الشكل (8-IV) ظهور صيغة جديدة للسبيكة نحاس - ألومنيوم من الشكل ( $Cu_9 Al_4$ ) لإعتمادا على دراسات سابقة [43], الشكل (9-IV) توسع في الشريط العرضي للمخطط و هذا يفسر بزيادة حجم الحبيبات كما يطابق هذا الشكل الرسم في الشكل (3-IV), تختلف العينات فقط في حجم الحبيبات المشكلة, نتيجة المزج بين النحاس و الألومنيوم, مع ثبوت في قيم الزاوية.



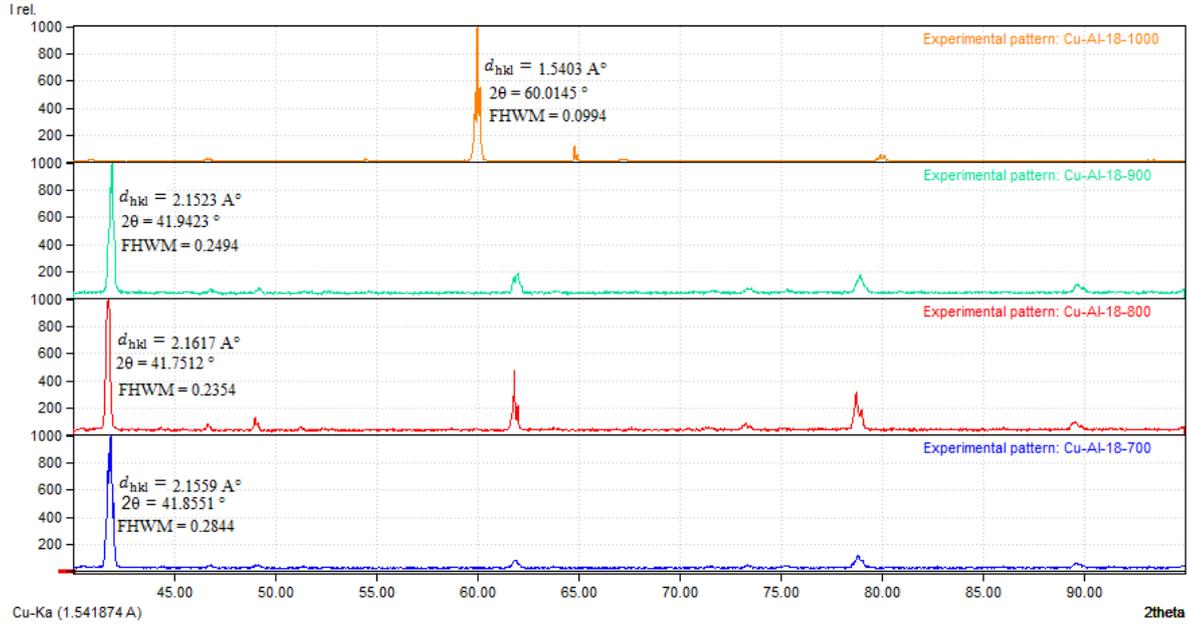
الشكل (10-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (14%) ألومنيوم في درجات حرارة مختلفة  $C^\circ$ .



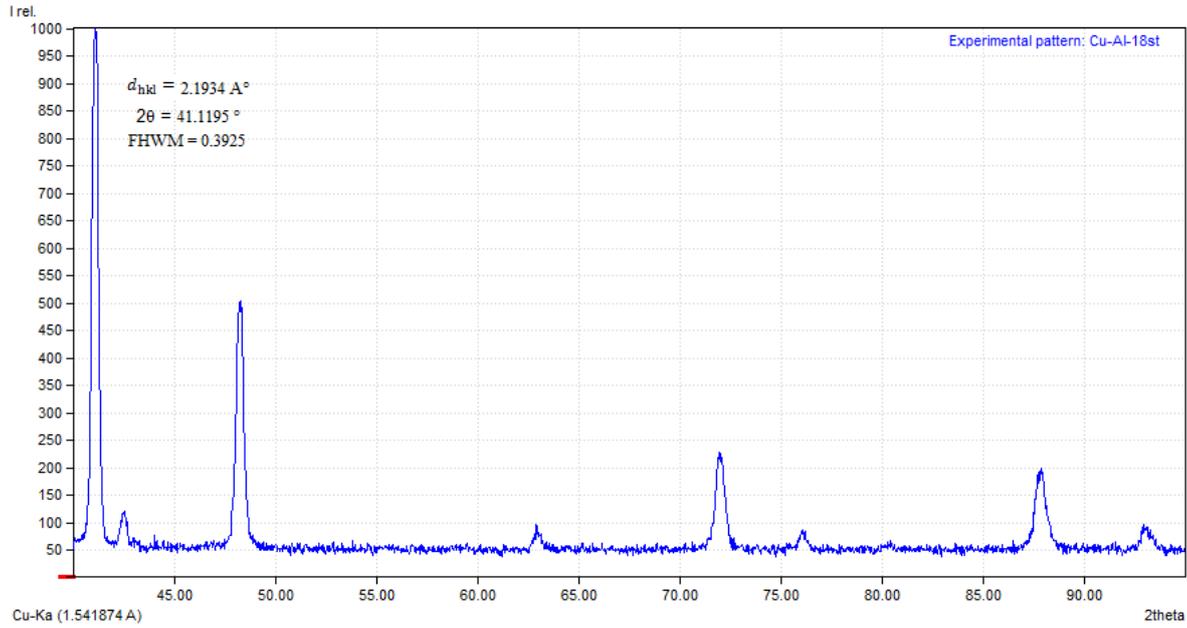
الشكل (11-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس - (14%) ألومنيوم بدون معالجة.

### ملاحظة و التفسير:

نلاحظ في الشكل (10-IV) ظهور صيغة جديدة للسبيكة نحاس - ألومنيوم من الشكل ( $\text{Cu}_9\text{Al}_4$ ) في القمم و النحاس النقي في القمم, اعتمادا على دراسة سابقة [43], الشكل (11-IV) توسع في الشريط العرضي للمخطط و هذا يفسر بزيادة حجم الحبيبات كما يطابق هذا الشكل الرسم في الشكل (3-IV), تختلف العينات فقط في حجم الحبيبات المشكلة, نتيجة المزج بين النحاس و الألومنيوم, مع ثبوت في قيم الزاوية, كما نلاحظ زيادة في القمم عند الزاوية  $2\theta = 60^\circ, 61^\circ$  عند درجات الحرارة  $800^\circ, 900^\circ, 1000^\circ$ . وهذا بسبب التغير في الأطوار من  $\beta + \gamma_1$  إلى غاية التوازن الترموديناميكي بين الطور  $\beta + \gamma_1$  و الطور  $\beta$  وصولا الى غاية الطور  $\beta$  عند درجة الحرارة العليا.



الشكل (12-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس- (18%) ألومنيوم في درجات حرارة مختلفة  $C^{\circ}$ .



الشكل (13-IV): طيف الأشعة السينية لعينة النحاس- (18%) ألومنيوم بدون معالجة.

### الملاحظة و التفسير:

نلاحظ في الشكل (12-IV) وجود تشابه في إنعراج الأشعة السينية للعينة 18% من الألومنيوم في درجات الحرارة مختلفة, و هذا ربما راجع إلى تواجدتها في نفس الطور كما في درجات الحرارة  $700^{\circ}C$  و  $800^{\circ}C$  كما نلاحظ زيادة في شدة قيم

الإنعراج هذا ما دل إلى على أن تركيز المادة زاد, أما بالنسبة للعينه في درجة حرارة  $1000^{\circ}\text{C}$  فنلاحظ زيادة في القمم عند الزاوية  $2\theta = 60^{\circ}, 61^{\circ}$ , وهذا ربما بسبب إنتقال العينه إلى الطور  $\gamma_1 + \text{Luquid}$ .

#### 2-IV-2 الصلادة:

إنّ التحكم في الصلادة لا يتم من خلال التركيب فقط, بل إن حجم الحبيبات في الأطوار الأساسية للمواد هو أيضاً عامل مؤثر. في المواد الصلبة والهشة، مثل مواد الماس المركبة، فإن الصلابة والقوة تزيد مع تناقص حجم الحبيبات، كما عبرت عن ذلك علاقة "هول-بيتش" (Hall-Petch) [45,44], عادة ما يرافق هذا التحسن في الصلابة انخفاض في مقاومة الكسر, هذه العلاقة العكسية تم قبولها بشكل عام كنموذج، ومن ثم يمكن فعلياً أن تزيد مقاومة الكسر مع تناقص حجم الحبيبات [46].

$$\delta_d = \delta_0 \times \frac{K_{HP}}{\sqrt{L}} \dots \dots \dots (22)$$

حيث:

$\delta_d$ : الصلادة

$\delta_0$ : الضغط المقابل للبلورات.

$K_{HP}$ : ثابت خاص بالمادة.

$L$ : البعد المتوسط للحبيبات ( $A^{\circ}$ ).

#### 1-2-IV حساب البعد المتوسط للحبيبات:

نستطيع حساب البعد المتوسط للحبيبات إنطلاقاً من القانون التالي :

$$L = \frac{\lambda k}{B \cos \theta} \dots \dots \dots (23)$$

حيث :

$\lambda$ : طول موجة الأشعة السينية ( $A^{\circ}$ ).

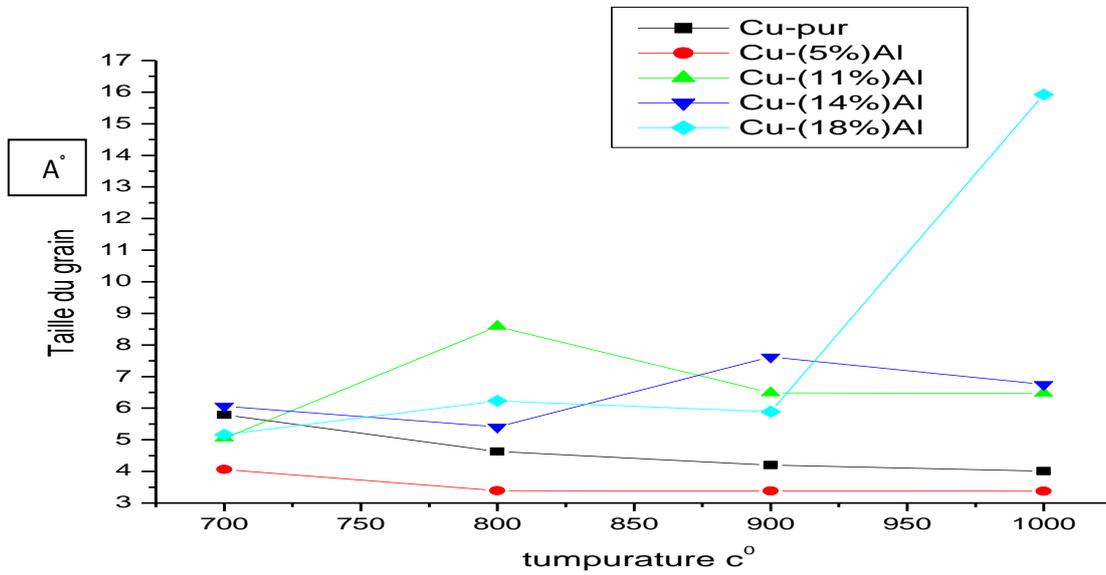
$K$ : ثابت و يساوي 0.89.

$B$ : عرض أكبر قيمة للشدة (rad).

$\theta$ : الزاوية التي يوجد فيها أكبر قيمة للشدة.

درجة الحرارة (c°)	نسبة الألمنيوم				
	0%	5%	11%	14%	18%
700	5.7930	4.0629	5.0482	6.0616	5.1599
800	4.6311	3.3889	8.5833	5.4068	6.2315
900	4.2033	3.3833	6.4828	7.6243	5.8854
1000	4.0125	3.3733	6.4687	6.7507	15.9229
St	4.5830	4.0503	4.3892	4.0214	3.7295

الجدول (3-IV): البعد المتوسط للحبيبات ( $A^\circ$ ) بدلالة التركيز و درجة الحرارة.



الشكل (14-IV): تغير البعد المتوسط للحبيبات  $A^\circ$  في درجات الحرارة المختلفة  $c^\circ$ .

#### 1-2-IV ملاحظة و التفسير:

نلاحظ تناقص في حجم الحبيبات بالنسبة للنحاس النقي و السبيكة نحاس- ألمنيوم ذو النسبة 5% مع زيادة في درجة الحرارة، وهذا يفسر ربما بتواجدهما في نفس الطور  $\alpha$ , كما يمكن أن يعود التناقص بسبب الزيادة في التماسك، كما لاحظنا تناقص في حجم الحبيبات بعد زيادة في التركيز الألمنيوم بالنسبة للعينات نحاس نقي و نحاس ممزوج بالألمنيوم بنسبة 5%.

أما بالنسبة لـ 11% ألنيوم عند درجة حرارة 700° نلاحظ أنها تملك حجم حبيبي صغير, ربما يرجع إلى تواجدها في نقطة التوازن الترموديناميكي.

بالنسبة لـ 11% ألنيوم عند درجة حرارة 800° يمكن مقارنتها مع ألنيوم ذو النسبة 14% عند درجة الحرارة 900° لتواجهها في نفس الطور تقريبا, بحيث نلاحظ تناقص في حجم الحبيبات عند هذه القيم, كما نلاحظ تناقص لحجم الحبيبات من 900°-1000° لتواجد العينة ذات النسبة 11% في نفس الطور  $\beta$ . بينما نلاحظ بالنسبة للعيتان (11%-14%) عند درجات الحرارة 1000° زيادة في حجم الحبيبات بزيادة في تركيز ألنيوم بالنسبة للنحاس, و هذا يمكن أن يعود إلى طبيعة الطور  $\beta$ .

من المنحنى نلاحظ زيادة في حجم الحبيبات عند النسبة 18% عند درجات الحرارة 700-800° مع أنهما يتواجدان في نفس الطور و قد يكون بسبب إختلاف الطور لها و بالتالي تغير في البنية البلورية, و تتناقص حجم الحبيبات عند 900°, ارجع إلى اغيرها إلى الطور  $\gamma_1$ . مع وجود حالات خاصة وهي عند 18-1000% حيث تتواجد عند الطور جاما, فنجد أن الحجم يزيد بشكل واضح عند الطور  $\gamma_1 + \text{Luquid}$ .

و من هنا نستنتج أنه إذا كان هذا تفسيراً لحجم الحبيبات فإن الصلادة تأخذ قيمة أكبر عندما يكون حجم الحبيبات صغيراً, و بالتالي تكون مقاومة المادة المتغلغلة أقل لصغر حجم الحبيبات و قلة الفراغات بين الحبيبات.

## خاتمة

أجرينا هذه الدراسة حول عنصر النحاس و سبيكة النحاس- ألنسيوم لألأهما معدنين مهمين جدا في حياة الناس. و لا تزال تساؤلألأهم و بؤلأهم حول هاتين المادتين متواصلة, و ذلك للإستفادة منهما أكثر, و خاصة على مستوى تحسين الخواص و المميزات.

هذه الدراسة جاءت بتعريف و بيان حول النحاس و سبائكه , ثم أدرأنا ما قمنا به داخل المختبر من تجريب و تحضير للعينات و أشرنا إلى الأألزة و الطرق المستخدمة , و شرأنا في تحليل ماتوصلنا إليه من نتائج فيما يخص كل من الناقلية الكهربية و إنعراج الأشعة السينية , و حجم الحبيبات , و صلادة العينات , و قراءة لمخطط إنزان الأطوار.

فوجدنا أن الناقلية الكهربية للسبيكة نأاس-ألنسيوم تكون أقل من ناقلية النحاس النقي في حدود النسب المدروسة, و أن ناقلية السبيكة نأاس-ألنسيوم تزداد بزيادة نسبة ألنسيوم في العينة , أما بالنسبة لحجم الحبيبات فهو يتناقص كلما زدنا من درجة حرارة المعالجة ما دمنا في نفس الطور, مع وجود إستثناءات أشير إليها في تفسير النتائج , كما وجدنا أن الصلادة تأخذ قيما أكبر عندما يكون حجم الحبيبات صغيرا .

لقد تحصلنا على ذلك الكم الهائل من الإستنتاجات و الإرتباط الحثيث في الخصائص مهما إختلفت التقنيات و الآليات و على هذا الأساس قدمنا ملأخصا شاملا لهذه الدراسة و استخرجنا نقاطا مهمة كل نقطة منها هي أهداف حقيقية و موضوع للدراسة و البحث منها :

- 1-آليات إنأشار ألنسيوم في النحاس .
- 2-مراقبة الناقلية الكهربية بزيادة نسبة ألنسيوم في النحاس .
- 3-دراسة الناقلية الحرارية لسبيكة النحاس ألنسيوم .
- 4-التغير اللوني لسبيكة النحاس ألنسيوم.
- 5-التغيرات الحاصلة في مناطق التوازن الترموديناميكي .
- 6-دراسة الأطوار في حدود ما بعد 1000 درجة مئوية. و دراسة الطور جاما1 و الطور  $\gamma_1 + Luquid$ .

## المراجع بالعربية:

- [2] - الدكتور محمد فؤاد إبراهيم رئيسا , الدكتور حسين فوزي- الدكتورة سعاد ماهر- الدكتور محمد جمال الدين الفندي : أعضاء. المعرفة أكمل و أجمل موسوعة علمية بالألوان.
- [3] - أنطون نعمة, عصام مدور, لويس عجيل متري شماس, المنجد في العربية المعاصرة طبعة 2000.1م.
- [7] - مجلة أسبوط للدراسات البيئية. العدد الحادي و الثلاثون ( يناير 2007م).
- [25]- د. عويد زهمك الراوي, د. عبد الرزاق إسماعيل خضر "المعاملات الحرارية للمعادن الحديدية و اللاحديدية", الجامعة التكنولوجية, 1990.
- [26]- د. حسين باقر رحمة الله " مبادئ هندسة المعادن و المواد", جامعة البصرة, 1983.
- [28]- يولاجين, علم المعادن و المعاملة الحرارية للمعادن "دار مير" للطباعة و النشر الإتحاد السوفياتي موسكو.
- [29]- د. قحطان خلف الخزرجي " المعاملات الحرارية للمعادن و السبائك الحديدية و اللاحديدية ", جامعة بغداد.
- [30]- د. عبد الرزاق إسماعيل خضر "فيزياء المعادن", الجامعة التكنولوجية, مركز التعريب و النشر, بغداد, 1982.
- [33]- د. جعفر طاهر الحيدري " المواد الهندسية مدخل لخواصها و تطبيقاتها", الجامعة التكنولوجية, بغداد, 1990.
- [34]- الدكتور سامي مظلوم صالح, فيزياء الحيود, الجامعة التكنولوجية مركز التعريب و النشر بغداد 1982.
- [35]- أ.د. نعيمة عبد القادلا أحمد, أ.د, محمد امين سليمان, علم البلورات و الأشعة السينية, دار الفكر العربي 2005.
- [38]- أمل علي رجب " دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة و مواد مركبة هجينة ", رسالة ماجستير, هندسة المكائن و المعدات, الجامعة التكنولوجية, 1990.
- [41]- أ.د. حسن إبراهيم شعبان. أ.د. جمال محمد عاشور الدرويش, التيارات الدوامية المستوى الاول, الهيئ العربية للطاقة الذرية تونس 2014.
- [42]- مذكرة ماستر أكاديمي, فرع فيزياء, تخصص كاشفات بصرية, " إرتباط الناقلية الكهربائية بترددات الحقول الكهرومغناطيسية في النواقل", من إعداد الطالبة راوية نوحه, 2010-2011.

- [40]- سهامه عيسى صالح, صالح مهدي الصفار, سرمد عماد إبراهيم " تأثير تدعيم سبيكة الأساس Al-Cu-Mg بحبيبات سيراميكية في قيم الصلادة و مقاومة الكلال"مجلة العلوم الهندسية, المجلد 21, العدد 2, 2010.
- [47]- مذكرة لنيل شهادة ماجستير, فرع فيزياء, تخصص فيزياء المواد, " دراسة تآكل النحاس بفعل غاز الأوكسجين في درجة حرارة عادية ", من إعداد الأستاذ عبد الرحيم عاشوري, 2003/06/28.
- [48]- مذكرة لنيل شهادة ماجستير, فرع فيزياء, تخصص فيزياء المواد, " مساهمة في دراسة طبقات رقيقة معدنية من مركب التيتان مرسبة على أعمدة فولاذية ", من إعداد الأستاذ سليمان إدريس.

## المراجع باللاتينية :

- [1]–Geneviève Bernoux.Emaux Sur Cuivre,Edition , Eyrolles.Paris 2002.
- [4]–Robert R.Lauwerys;"Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles",Ed Masson,Paris 2000.
- [5] – Paul Weiss. Le Cuivre: Origine, Gisements; Propriétés Physiques Et Chimiques; Métallurgie .... ; Marché Du Cuivre; Principales. Applications .... Alliages Indus./ Biblio Bazaar .2010.
- [6]- Mémoire présenté pour l'obtention du grade Maître ès sciences (M.Sc) en sciences de l'eau Juillet 2012, Institut national de la recherche scientifique Centre Eau Terre Environnement Université du Québec Québec IMPACTS DU CUIVRE ET DE LA RESTRICTION ALIMENTAIRE CHEZ LE TÊTE-DE-BOULE.
- [8]- Effet des impuretés sur les mécanismes de recristallisation du cuivre tréfilé Le GRADE de DOCTEUR en SCIENCES DE L'UNIVERSITE PARIS XI Spécialité: Chimie des matériaux UNIVERSITE PARIS SUD – ORSAY U.F.R. Scientifique d'Orsay.
- [9]–J.Barralis et G.Maeser et J-P.Trotignon;"Metallurgie",Ed Nathan. Paris,1997.
- [10]- G. Cizeron, Le Frittage, Institut de Céramique, France, 1968.
- [11]- J.L.Chermant,"Les Céramiques Thermomécaniques", Presse du CNRS,1989.
- [12]- D.W.Richerson "Modern Ceramic Engineering" Processing,and Use in Design. Second.
- [13]- J. Frenkel, " Viscous Flow of Crystalline Bodies under the Action of Surface Tension", J. Pys.1945.
- [14]- R. L. Coble, Sintering Crystalline solide. II Experimental test of diffusion models in powder compacts, J .Appl. Pys, 1961.
- [14]- D. B. Assolant, Chimie-Physique du Frittage, Editions Hermés, Paris, 1993.

- [15]- A. I. Joune, Frittage d'un ensemble Phase Solide plus Phase Vitreuse cas des Faience, des Grés et des porcelaines, L'école Nsup, De Ceram, Industrielle. 1993.
- [16]- D. Bernache-Assollant, "Chimie-physique du frittage", Editions Hermés, Paris 1993.
- [17]- J. M. Chaix, Le Frittage en phase liquid, in chimie-physique du Frittage, Hermés, paris, 1993.
- [18]- R. M. German, G. L. Messing, R. G. L. Comwal, Sintering Technology, New Paris, 1993.
- [19]- D.Hoge, J.A. Pask, "Thermodynamic and Geometric Conciderations of Solid State Sintering", Ceram. Int. 3, 1977.
- [20]- Y. Adda, J. Philibert, "La diffusion dans les solides " P.U.F Paris, 1966.
- [21]- B. J. Kellet, F.F. Lange," Thermodynamic of Densification : I. Sintering of Simple Particle Arrays, Equilibrium Configurations, Pore Stability, and Shrinkage" J.Am. Ceram. Soc.1989.
- [22]- Bernache-Assollant, Les mécanismes de densification en phase Slide, in chimie physique du frittage, Hermés, Paris, 1993.
- [23]- J. Philibert, "Diffusion et trasport de la matière dans les solides". Les Editions de la Physiques, Les Ulis,1985.
- [24]- J. Frenkel, Viscous Flow of Crystalline bodies Under the action of Surface Tension, J. Appl. Pys, 1945.
- [27]- Emilian Koller, Dictionnaire encyclopédique des science des matériaux Impierie chirat, France.2008.
- [31]- Joseph Kane Morton Sternheim , Physique , I.M.E France 2006.
- [32]- Joseph Kane Morton Sternheim, Physique, I. M. E France 2006.
- [36]- Anthony Le bras ," Exploration des potentialités de système EOSTM pour la caractérisation mécanique de structures osseuses

:Application a l'extrémité supérieure de fémur " . thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Paris. 2004.

[37]- Christopher Hammond , The Basics of Crystallography and Diffraction Third Edition ,Oxford.

[39]- N. G. McCrum, C.P.Buckley and C.B.Bucknal "Principal of Polymer Engineering", Second Edition, Oxford University Press, 1997.

[43]- Kahina Kheloui, Abdellah Ahmed Ali, Said Azem. Influence de la teneur en aluminium sur la microstructure et la tenue à l'oxydation des cupro - Aluminium, Université Mouloud MAMMARI, BP 17 Tizi-Ouzou 15000 (Algérie).

[44]- Petch, N. J. J. Iron Steel Inst. **174**, 25–28 (1953).

[45]- Hall, E. O. Proc. Phys. Soc. Lond. B **64**, 747–753 (1951).

[46]- Zhao, Y. et al. Appl. Phys. Lett. **84**, 1356–1358 (2004).

## ملخص:

تطرقنا في هذه المذكرة إلى دراسة تأثير درجة الحرارة على الناقلية الكهربائية والصلادة للنحاس وسبائك النحاس-ألومنيوم، فاستخدمنا عمليات كبس العينات إنطلاقاً من مسحوق النحاس والألمنيوم بنسب مختلفة وقمنا بالمعالجة الحرارية عند 700-800-900-1000°C درجة مئوية داخل الفرن الحراري تحت الضغط.

لدراسة تأثير درجة حرارة المعالجة على تحديد الأطوار و البنى البلورية المختلفة لسلسلة من العينات قمنا بقياس الناقلية الكهربائية، إنطلاقاً من جهاز الأوم - متر، ثم عولجت هذه الأخيرة بجهاز إنعراج الأشعة السينية، حيث أظهرت مخططات إنعراج الأشعة السينية لنا اختلاف في الخصائص و المميزات بين مختلف الأطوار و تغير كبير في الأطوار و هذا ما هو مبين في مخطط الأطوار للنحاس-ألومنيوم، و اختلاف كبير في حجم الحبيبات، و اعتماداً على حجم الحبيبات و علاقة هول-بِتش " (Hall-Petch) " تمكنا من إستنتاج علاقة بين حجم الحبيبات و قيمة الصلادة. حيث وجدنا أن حجم الحبيبات يتناقص كلما زدنا درجة الحرارة لكن في نفس الطور، لكن وجدنا اختلاف هذا الإستنتاج عند النسبة 18% ألومنيوم لتواجدها في الطور  $\gamma_2$ ، و تناقص كبير في حجم الحبيبات عند النسبة 11% لتواجدها في منطقة التوازن الترموديناميكي، و تم ظهور حد إنتشار للألمنيوم في النحاس بين 8%-10%، و هذا يفتح مجال بحث جديد.

## Résumé :

Nous avons discuté dans cette thèse l'étude de l'effet de la température sur la conductivité électrique et la dureté du cuivre et l'alliage Cuivre-Aluminium, nous avons utilisé des opérations de compression des échantillons aparté de poudre de cuivre et aluminium à déférente taux, traité à des températures ( 700°C , 800°C , 900°C et 1000°C ) dans un four thermique sous pression.

Pour étudier l'effet de la température de traitement, pour déterminer les différentes phases et structures cristallines d'une série d'échantillons, nous avons mesuré la conductivité électrique, aparté Dispositif de Ohms - mètre, puis celui-ci a été traité à une diffraction de rayons X, qui a montré les diagrammes de diffraction des rayons X. Nos différences dans les caractéristiques et entre les différentes phases et un changement significatif dans les phases, et c'est ce qui est montré dans le diagramme de phase de l'alliage Cuivre-Aluminium, une différence significative de la taille des grains, et en se basant sur la taille des grains et de la relation ( Hall- Petch). Nous avons pu conclure la relation entre la taille des grains et la valeur de dureté. Où nous avons constaté que la taille des grains diminue lorsque la température augmente pour la même phase, mais il y a une différence dans le résultat à 18 % d'aluminium, qui se trouve dans la phase  $\gamma_2$ , la diminution significative de la taille des grains au taux 11% ce signifie sa présence dans la zone d'équilibre thermodynamique, l'apparition de la propagation ou l'émergence d'aluminium dans le cuivre entre 8% - 10%, cela ouvre un nouveau domaine de recherche.

## Abstract:

This study aims at investigating the effect of temperature on the electrical conductivity and hardness of copper and copper-aluminum alloys. We used the sampling operations from copper and aluminum powder at different rates and we processed heat at 700-800-900 ° C 1000 ° C inside the convection oven under pressure.

To study the effect of temperature on the determination of the different crystalline phases and structures of a series of samples, we measured the electric conductivity from the ohm-meter device and then treated the X-ray diffraction. X-ray diffraction patterns showed a difference in characteristics and characteristics The phases and significant change in phases as shown in the copper-aluminum phase diagram and a large variation in grain size. By depending on the size of the granules and the Hall-Petch relationship, we were able to derive a relationship between the size of the granules and Hardness value. We found that the size of the granules decreases as we increase the temperature but at the same stage, but we found the difference in this finding at the rate of 18% aluminum for the presence in phase  $\gamma_2$ , and a significant decrease in the size of granules at the rate of 11% for presence in the thermodynamic balance.