

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة

قسم الفيزياء



الترتيب:

الرقم:

رسالة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه علوم

تخصص: فيزياء المواد

من إعداد الطالب: إدريس سليمان

بعنوان:

مساهمة في دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية لسبائك

ثنائية (نحاس - ألنيوم)

نوقشت بتاريخ: 2022/06/22

أمام لجنة المناقشة:

| | | | |
|--------------|-------------------------------|------------------|-------------------|
| رئيسا | جامعة قاصدي مرباح ورقلة | أستاذ تعليم عالي | كمال الدين عيادي |
| مناقشا | جامعة قاصدي مرباح ورقلة | أستاذ تعليم عالي | عمر بوكراع |
| مناقشا | جامعة غرداية | أستاذ تعليم عالي | داودي باحمد |
| مناقشا | جامعة الوادي | أستاذ تعليم عالي | محمد الصادق محبوب |
| مناقشا | المدرسة العليا للأساتذة ورقلة | أستاذ محاضر أ | عبد القادر سويقات |
| مشرفا ومقررا | جامعة قاصدي مرباح ورقلة | أستاذ تعليم عالي | رشيد غرياني |

2021/2020

شكر وعرفان

الحمد لله، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه
ملء السماوات وملء الأرض وملء ما بينهما وملء ما شئت من شيء بعد.

صل اللهم وسلم وبارك وانعم على الرحمة المهداة والنعمة المسداة والسراج
المنير سيدنا ونبينا وحبينا وشفيعنا وقدوتنا المصطفى الأمين.

الذين لن أوفيهما حقهما لهما مني البر والدعاء.

ومن تمام شكره عز وجل أن تشكر من أسدى لك معروفا لذلك أتقدم بالشكر الجزيل
إلى كل من ساهم من قريب أو من بعيد في إنجاز هذا العمل، وأخص بالذكر الأستاذ
الدكتور رشيد غرياني على كل ما فعل، اقتراحا وإشرافا وإسهاما ونصحا وتبعا.

كما أتقدم بشكري الجزيل إلى الأستاذ الدكتور كمال الدين عيادي على تفضله برئاسة
لجنة المناقشة.

وأتقدم بشكري إلى الأستاذ الدكتور عمر بوكراع، والأستاذ الدكتور محمد الصادق
محبوب، والأستاذ الدكتور باحمد داودي، والدكتور سويقات عبد القادر على قبولهم
مناقشة هذه الرسالة.

شكري أيضا للمشرفين على مخبر الاشعاع والبلازما وفيزياء السطوح وأخص بالذكر
الأستاذ الدكتور فتحي خلفاوي والأستاذ الدكتور لزهرة بن مبروك.

الفهرس

| | |
|----------|--|
| I..... | شكر وعرفان |
| II..... | الفهرس |
| IV..... | قائمة الأشكال |
| VII..... | قائمة الجداول |
| ب..... | مقدمة عامة: |
| 1..... | الفصل الأول عموميات حول النحاس |
| 2..... | I. عموميات حول النحاس |
| 2..... | I.1. لمحة تاريخية: |
| 4..... | I.2. جغرافيا النحاس: |
| 6..... | I.3. خامات النحاس: |
| 7..... | I.3.1. استخلاص النحاس: |
| 9..... | I.4. خواص النحاس: |
| 12..... | I.5. سبائك النحاس: |
| 12..... | I.5.1. النحاس منخفض السبائكية: |
| 12..... | I.5.2. النحاس عال السبائكية: |
| 23..... | الفصل الثاني الوسائل المستعملة و العمل المخبري |
| 24..... | II. الوسائل المستعملة و العمل المخبري |
| 24..... | II.1. المواد المستعملة: |
| 25..... | II.2. إعداد العينات: |
| 25..... | II.2.1. تحضير المساحيق: |
| 27..... | II.2.2. التلييد: |
| 31..... | II.2.3. التلدين: |
| 34..... | II.3. المسامية: |
| 36..... | II.4. إنعراج الأشعة السينية: |
| 39..... | II.5. المجهر الالكتروني الماسح: |

| | |
|----|--|
| 42 | 6.II اختبار الصلادة: |
| 44 | الفصل الثالث النتائج والمناقشة..... |
| 45 | III. النتائج والمناقشة..... |
| 45 | III.1 تغيرات سمك العينات مع نسبة الألمنيوم: |
| 46 | III.2 الكتلة الحجمية النظرية: |
| 48 | III.3 الكتلة الحجمية للعينات بعد الكبس (بدون معالجة): |
| 49 | III.4 كثافة العينات المعالجة حراريا: |
| 54 | III.5 نسبة التلييد: |
| 57 | III.6 المسامية الحقيقية: |
| 60 | III.7 تغيرات الكتلة الحجمية مع مسامية العينات: |
| 61 | III.8 إنعراج الأشعة السينية DRX: |
| 61 | III.8.1 إنعراج الأشعة السينية للمسحوقين: |
| 61 | III.8.2 إنعراج الأشعة السينية للعينات 11% و 14% و 18% ألمنيوم غير المعالجة حراريا: ... |
| 61 | III.8.3 إنعراج الأشعة السينية للعينات 5% ألمنيوم: |
| 64 | III.8.4 إنعراج الأشعة السينية للعينات 11% ألمنيوم: |
| 64 | III.8.5 إنعراج الأشعة السينية للعينات 14% ألمنيوم: |
| 64 | III.8.6 إنعراج الأشعة السينية للعينات 18% ألمنيوم: |
| 70 | III.9 حجم الحبيبات: |
| 73 | III.10 الصلادة: |
| 73 | III.10.1 تأثير درجة الحرارة على صلادة العينات: |
| 74 | III.10.2 تأثير نسبة الألمنيوم على صلادة العينات: |
| 76 | III.10.3 علاقة الصلادة بحجم الحبيبات: |
| 77 | الخلاصة..... |
| 83 | المراجع..... |
| 90 | الملخص..... |

قائمة الأشكال

- الشكل 1: رأس صنارة صيد نحاسي يرجع إلى 8000 سنة قبل الميلاد 3
- الشكل 2: مخطوط نحاسي وجد بالبحر الميت بين 250 قبل و68 بعد الميلاد 3
- الشكل 3: صادرات الدول من النحاس 5
- الشكل 4: صادرات الدول من النحاس 5
- الشكل 5: الملاكيت 7
- الشكل 6: مخطط إستخلاص النحاس من خاماته 8
- الشكل 7: مخطط إتزان أطوار نحاس-زنك 15
- الشكل 8: مخطط إتزان أطوار نحاس-بيريليوم 15
- الشكل 9: مخطط إتزان أطوار نحاس-نيكل 17
- الشكل 10: مخطط إتزان أطوار نحاس-قصدير 19
- الشكل 11: مخطط إتزان أطوار نحاس-المنيوم 22
- الشكل 12: الميزان المستعمل 26
- الشكل 13: الجهاز المستعمل لقياس قطر حبيبات المسحوقين 26
- الشكل 14: مخطط مراحل إعداد العينات 27
- الشكل 15: مراحل التلييد 30
- الشكل 16: الجهاز المستعمل للكبس 31
- الشكل 17: الفرن المستعمل 32
- الشكل 18: صورة توضح شكل وأبعاد العينات 33
- الشكل 19: مخطط يوضح عدد وصفة العينات 33
- الشكل 19: المسامات المفتوحة والمغلقة 33
- الشكل 21: مخطط يوضح انعراج الأشعة السينية عبر عائلة مستويات 38
- الشكل 22: جهاز إنعراج الأشعة السينية المستخدم 39
- الشكل 23: صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لمسحوق التنغستن 40
- الشكل 24: رسم تخطيطي للمجهر الالكتروني الماسح 40
- الشكل 25: المجهر الالكتروني المستخدم 41
- الشكل 26: تخطيط توضيحي للهرم الماسي المستخدم في اختبار فيكرز للصلادة 43

- الشكل 27: جهاز قياس صلادة فيكرز المستخدم 43
- الشكل 28: تغيرات سمك العينات بتغير نسبة الألمنيوم 45
- الشكل 29: تغيرات الكتلة الحجمية النظرية للسلاسل مع نسبة الألمنيوم 47
- الشكل 30: كثافة سبائك Cu-Al مقابل تركيز الألومنيوم 47
- الشكل 31: تغيرات الكتلة الحجمية للعينات غير المعالجة مع نسبة الألمنيوم 45
- الشكل 32: توضيح سمك العينة 49
- الشكل 33: تغيرات سمك وقطر العينة 0% مع تغير درجة الحرارة. 50
- الشكل 34: تغير الكتلة الحجمية مع نسبة الألمنيوم للعينات المعالجة 52
- الشكل 35: تغيرات الكتلة الحجمية مع تغير درجة حرارة التلدين 52
- الشكل 36: صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينه 18% ألمنيوم معاجه عند 1000°م 53
- الشكل 37: صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينه 14% ألمنيوم المعاجه عند 1000°م 53
- الشكل 38: صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينه 0% ألمنيوم المعاجه عند 1000°م 53
- الشكل 39: تغيرات نسبة التلييد مع نسبة الألمنيوم 55
- الشكل 40: تغيرات نسبة التلييد مع درجة الحرارة 55
- الشكل 41: مخطط التمدد الحراري للنحاس النقي و عينات ذات 5% ألمنيوم و 15% ألمنيوم 55
- الشكل 42: تغيرات المسامية مع نسبة الألمنيوم 59
- الشكل 43: تغيرات المسامية بتغير درجة حرارة المعالجة 59
- الشكل 44: تغيرات الكتلة الحجمية مع تغيرات المسامية 60
- الشكل 45: مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات 11% و 14% و 18% Al غير المعالجة 62
- الشكل 46: مخطط إنعراج الأشعة السينية لمسحوق النحاس 63
- الشكل 47: مخطط إنعراج الأشعة السينية لمسحوق الألمنيوم 63
- الشكل 48: يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 5% 65
- الشكل 49: يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 11% 66
- الشكل 50: مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 14% 66

- الشكل 51: مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 18%..... 67
- الشكل 52: تزايد الطور $\frac{1}{2}$ مع نقصان الطور α بتزايد نسبة الألمنيوم..... 67
- الشكل 53: صورة بالمجهر الالكتروني للعينه 5% المعالجة عند 700°م..... 68
- الشكل 54: صورة بالمجهر الالكتروني للعينه 11% المعالجة عند 900°م..... 68
- الشكل 55: صورة بالمجهر الالكتروني للعينه 14% المعالجة عند 1000°م..... 69
- الشكل 56: صورة بالمجهر الالكتروني للعينه 18% المعالجة عند 1000°م..... 69
- الشكل 57: عرض المنتصف للقمة الأعلى للعينه 18% ألمنيوم معالجة في 1000°م..... 71
- الشكل 58: تغيرات حجم الحبيبات مع نسبة الألمنيوم..... 72
- الشكل 59: تغيرات حجم الحبيبات مع درجة حرارة التلييد..... 72
- الشكل 60: تغيرات صلادة العينات مع تغيرات درجة الحرارة للمعالجة..... 75
- الشكل 61: تغيرات صلادة العينات مع تغيرات نسبة الألمنيوم..... 75
- الشكل 62: علاقة الصلادة بحجم الحبيبات 76

قائمة الجداول

- جدول 1: الدول المنتجة للنحاس حسب إنتاجها لعام 2014 04
- جدول 2: خامات النحاس 06
- جدول 3: قيم المقاومة والناقلية لبعض المعادن والسبائك شائعة الاستعمال مقارنة بالنحاس 11
- جدول 4: العناصر الأخرى الداخلة في تركيب مسحوق النحاس المستعمل 24
- جدول 5: العناصر الأخرى الداخلة في تركيب الألمنيوم المستعمل 24
- جدول 6: تغيرات سمك العينات بتغير نسبة الألمنيوم 30
- جدول 7: الكتلة الحجمية النظرية لسلاسل العينات 46
- جدول 8: الكتلة الحجمية للعينات غير المعالجة حراريا 48
- جدول 9: الكتلة الحجمية للعينات المعالجة حراريا 50
- جدول 10: نسبة التليد للعينات 55
- جدول 11: المسامية الحقيقية للعينات 58
- جدول 12: تغيرات الكتلة الحجمية مع مسامية العينات 60
- جدول 13: قطر الحبيبات للعينات 71
- جدول 14: صلادة فيكرز للعينات 74

مقدمة

مقدمة عامة:

كأحد أهم المعادن غير الحديدية، يعتبر النحاس عنصراً حيوياً ومادة أساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية [1] حيث أن عديد خصائصه مثل الليونة الجيدة، والموصلية الحرارية والكهربائية العاليتين، جعلته يلعب دوراً هاماً في مجال الطاقة الحرارية، والإلكترونيات [2]، كما أن له خصائص نانوية تجعله مضاداً للفطريات والبكتيريا والفيروسات [3] [4]، لذا ينصح باستعماله في تجهيزات المستشفيات [5].

تطورت تقنية ضغط المساحيق (بما يتم الحصول على قطع صلبة إنطلاقاً من مسحوق باستعمال الضغط) بشكل كبير في السنوات الأخيرة، [6] حيث أصبحت بديلاً منخفض التكلفة لتقنيات التصنيع الأخرى، وهذا لأنها تمتاز بدرجة حرارة معالجة أقل من درجة حرارة الانصهار، وإمكانية مزج السبائك بنسب مختلفة، كما يمكن التحكم في مسامية القطع المصنعة بهذه التقنية، لهذا فهي مستعملة لإنتاج القطع في كثير من المجالات [7].

يعتبر البرونز الألمنيومي الملبد من المواد المسامية، يتميز بخواص ميكانيكية ومقاومة للتآكل أعلى مقارنة بالبرونز القصديري، لذا فهو يستعمل في الهياكل وأدوات الطحن والمرشحات والقطع ذاتية التشحيم [8] [9]، إلا أن رفع المسامية يؤدي إلى خفض الخصائص الميكانيكية كالمتانة، والصلادة. في هذا العمل نبحت عن الشروط التي تعطي عينات ذات مسامية عالية مع صلادة وخصائص فيزيائية مناسبة، حيث قمنا بتلييد ودراسة سبائك نحاس-ألمنيوم بنسب 0 و 5 و 11 و 14 و 18%، مستعملين ضغط قدره 12.5 ميغاباسكال، ومعالجتها عند 700 و 800 و 900 و 1000 م°، في الفراغ تحت ضغط $10 \times 3.5 \times 10^{-3}$ ميلي بار. حيث قمنا بحساب الكتلة الحجمية ونسبة التلييد والمسامية إضافة إلى استعمال التحاليل (MEB, DRX)، واختبار الصلادة لفيكرز.

أتمنا ذلك وفق خطة بحث تضمنت مقدمة عامة وثلاثة فصول مع خاتمة للدراسة.

الفصل الأول نتطرق فيه إلى النحاس، تاريخه، جغرافيته، خاماته، خصائصه، وأهم سبائكه مع استعمالها، كما تطرقنا إلى سبائك البرونز الألمنيومي مع مخطط الأطوار نحاس-ألمنيوم، وأهم الأطوار فيه.

الفصل الثاني تناولنا فيه الوسائل المستعملة والعمل المخبري، حيث تطرقنا إلى المواد الأولية المستعملة، وخطوات إعداد العينات، من وزن، وخلط، حيث تطرقنا في هذه الأخيرة إلى التلييد وأنواعه، ومراحله، ثم ضغط العينات ومعالجتها حرارياً، كما تطرقنا إلى المسامية، ثم انعراج الأشعة السينية والأهداف من استعمالها، أيضاً المجهر

الالكتروني الماسح ومبدأ عمله، ثم اختبار الصلادة لفيكرز، كما عرضنا في هذا الفصل الأجهزة المستعملة في كل تقنية.

الفصل الثالث تضمن عرضاً للنتائج، ومناقشتها. حيث تطرقنا للكتلة الحجمية ونسبة التلييد والمسامية ومن خلال مخططات انعراج الأشعة السينية وصور المجهر الإلكتروني تعرفنا على الأطوار المتشكلة وحجم الحبيبات البلورية إضافة إلى نتائج اختبار الصلادة. في الأخير خلاصة نذكر بها أهم النتائج المتحصل عليها.

الفصل الأول

عموميات حول النحاس

I. عموميات حول النحاس

1.I لحة تاريخية :

في الماضي البعيد كان التنظيم الزراعي هو العامل الاقتصادي الحاسم في نشأة المدن, ويعتبر اكتشاف و استخدام المعادن ولاسيما النحاس و سبيكته البرونز, التقدم الأساسي الذي صاحب التمدن [10] ولم تكن الكمية سبب الهوس بهذا المعدن الذي يعتبر نادر نسبيا 0.006% (من قشرة الأرض) مقارنة بالسليكون مثلا, لكن شكل تواجده في الطبيعة مع سهولة استخراجة بالإضافة إلى مقاومته للعوامل الطبيعية المسببة للتآكل, وقابليته للطرق هو ما ساهم في ظهور و تطوير استخدام المعادن خلال القرن الأربعين قبل الميلاد, حيث حوالي 3900 قبل الميلاد [11], أخذ استخدام النحاس بعدا جديدا مع ولادة البرونز, حيث أن إضافة كمية مناسبة من القصدير للنحاس تمنحه خواص جديدة, فيصبح بلون أكثر جاذبية, والبرونز له متانة أكبر تسمح بتصنيع أدوات حادة ومقاومة. من جهة أخرى, القصدير له تأثير على خفض درجة انصهار النحاس وبالتالي تقليل كمية الوقود اللازمة للتصنيع, لذلك فإن البرونز هو أول سبيكة طورها الإنسان [11].

كلمة نحاس مشتقة لاتنيا من المصطلح Cyprium الذي يعني معدن قبرص وهذا لان قبرص كانت من اوائل منتجي النحاس في العالم وقد حرف اسمه علي مدى السنين إلي Cuprum حيث اشتق رمزه الكيميائي من الحرفين الأولين من اسمه (Cu) [12].

ذكر النحاس في ثلاث مواضع من القران الكريم :

1. ﴿آتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انْفُخُوا حَتَّىٰ إِذَا جَعَلَهُ نَارًا قَالَ آتُونِي أُفْرِغَ عَلَيْهِ

قَطْرًا﴾ (الكهف 96)

2. ﴿وَلِسُلَيْمَانَ الرِّيحَ غُدُوها شَهْرٌ وَرَوَاحُها شَهْرٌ وَأَسَلْنَا لَهُ عَيْنَ الْقِطْرِ وَمِنَ الْجِنِّ مَن يَعْمَلُ بَيْنَ يَدَيْهِ بِإِذْنِ

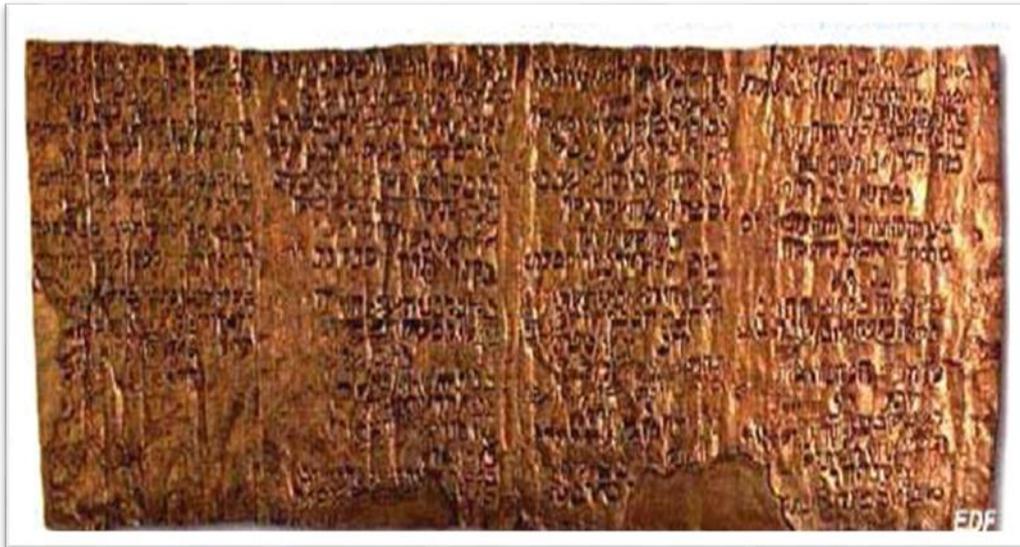
رَبِّهِ وَمَنْ يَرِغْ مِنْهُمْ عَنْ أَمْرِنَا نُذِقْهُ مِنْ عَذَابِ السَّعِيرِ﴾ (سبا 12)

3. ﴿يُرْسَلُ عَلَيْكُمَا شَوْاظٌ مِّن نَّارٍ وَنُحَاسٍ فَلَا تَنْتَصِرَانِ﴾ (الرحمن 35)

القطر هو النحاس في حالته السائلة.



الشكل 1: رأس صنارة صيد نحاسي يرجع إلى 8000 سنة قبل الميلاد [11].



الشكل 2: مخطوط نحاسي وجد بالبحر الميت بين 250 قبل و68 بعد الميلاد [11].

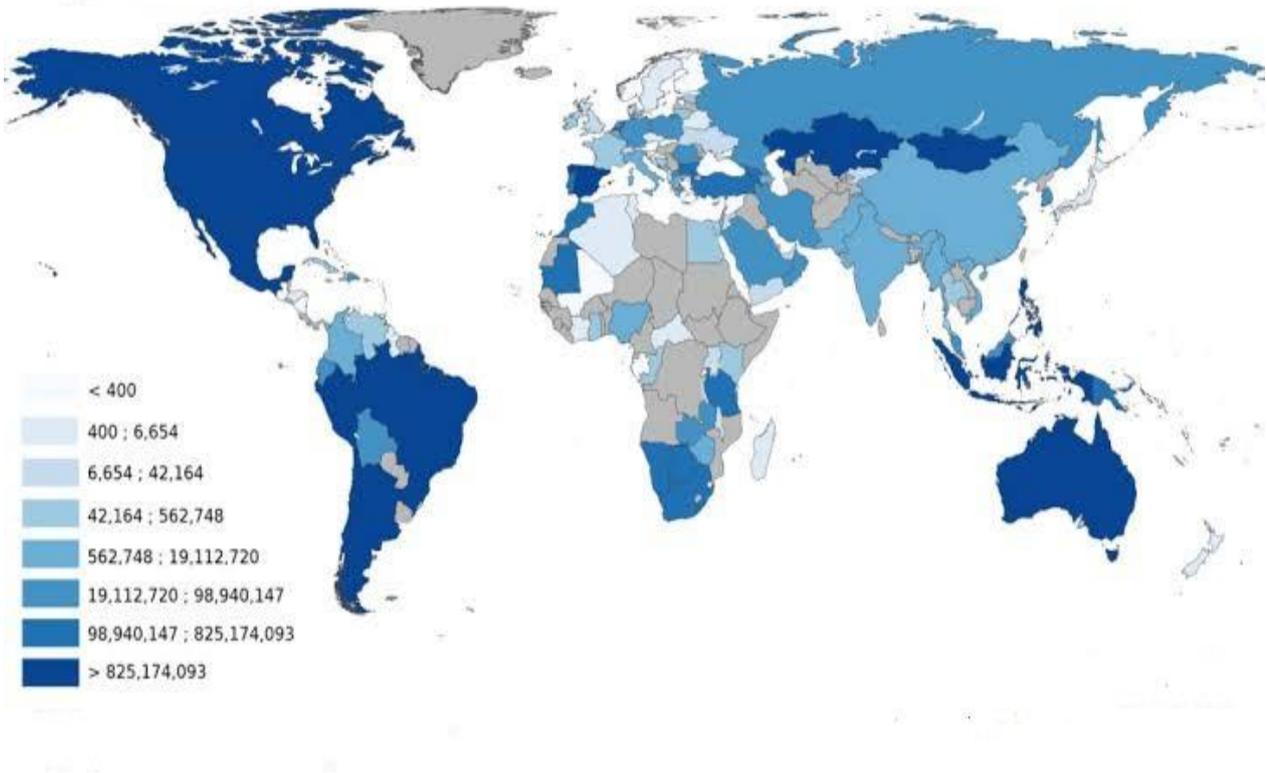
2.I جغرافيا النحاس :

حسب الأبحاث الجيولوجية يتواجد النحاس في صخور قديمة التكوين غالبا ما تكون بشكل تكتلات كبريتية، حيث يتواجد في عدة دول من العالم متفاوتة من حيث الإنتاج الشكل (03)، وأهم هذه المناطق من حيث المخزون والإنتاج يظهرها الجدول (01).

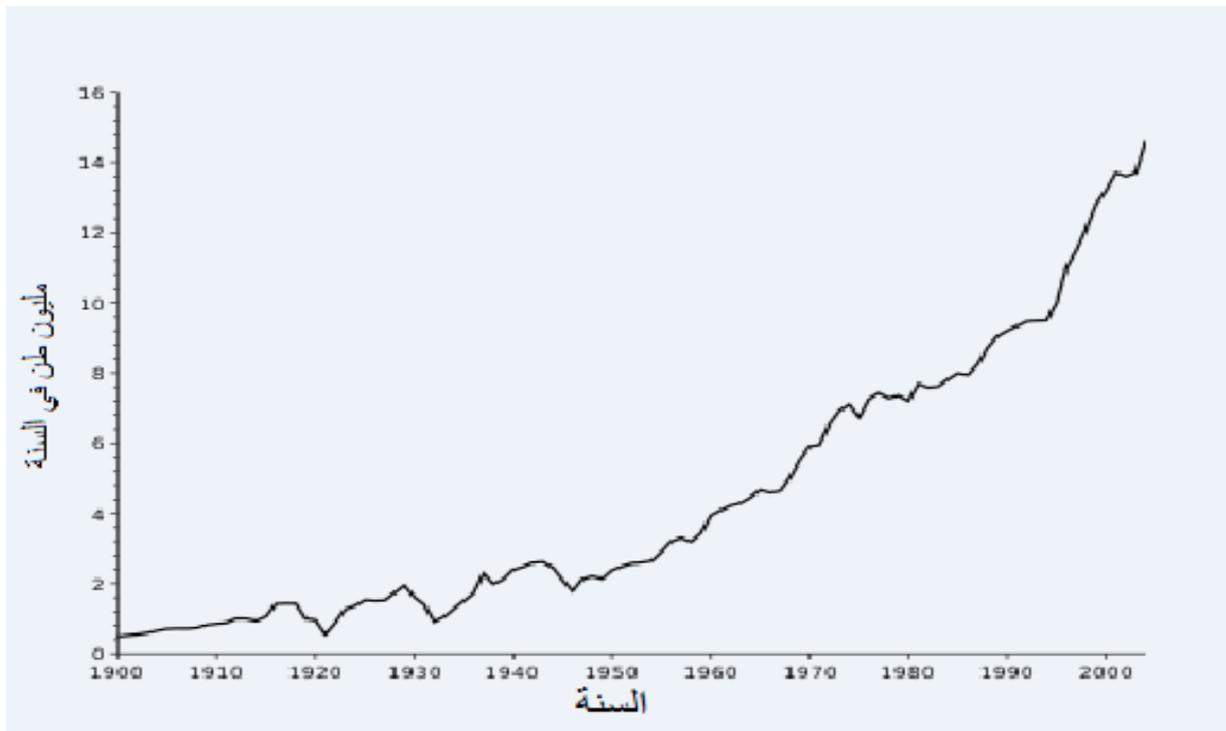
جدول 1: الدول المنتجة للنحاس حسب إنتاجها لعام 2014 [13]

| الدولة | الإنتاج (ألف طن) سنة 2014 | الاحتياطي (ألف طن) |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------|
| الشيلي | 5750 | 210000 |
| الصين | 1760 | 30000 |
| البيرو | 1380 | 82000 |
| الولايات المتحدة الأمريكية | 1360 | 33000 |
| جمهورية الكونغو الديمقراطية | 1030 | 20000 |
| أستراليا | 970 | 88000 |
| روسيا | 742 | 30000 |
| زامبيا | 708 | 20000 |
| كندا | 696 | 11000 |
| المكسيك | 515 | 46000 |
| دول أخرى | 3600 | 150000 |

من أهم المناطق الأكثر وفرة على خامات النحاس في الوطن العربي هي جبل صائد، العمار، وادي بيده وجرمة وأم الدمار والنقرة في المملكة العربية السعودية. وفي الصحراء الجنوبية لمصر، وفي منطقة حفرة النحاس بالسودان، ومنطقة زينات في شمال الصومال. أيضا توجد ترسبات لخامات النحاس في صخور رسوبية مختلطة بالرصاص والخصائص والمنغنيز والأنتيموان في وادي عربة في الأردن، ووادي جري في عمان، ومنطقة تيطوان وجبيلات بالمغرب، وكذلك في العراق وتونس والجزائر وموريتانيا. [13]



الشكل 3: صادرات الدول من النحاس [13]



الشكل 4: تزايد الإنتاج العالمي للنحاس [13]

3.I خامات النحاس:

النحاس معدن صلب له لون أحمر وردي، يندر أن يوجد حرا في الطبيعة، لكنه يوجد في أغلب الأحوال متحدا مع عناصر أخرى. يتم الحصول على معظم النحاس من خاماته التي تتكون من الكبريتيدات [14] و الأكاسيد [15] [16]، تعتبر خامات النحاس المتكونة من الكبريتيدات أكثرها أهمية وأكثرها انتشارا [14]، ويحتاج استخلاص النحاس منها إلي عمليات طويلة. أغلب خامات النحاس تحتوي على الحديد بكميات كبيرة مثل FeS_2 ، وتحتوي على عناصر أخرى مثل Sb ، As ، Pb ، Bi ، Au ، Ag و Ni هذا ما يجعل محتوى النحاس منخفضا جدا في الخامات. [17].

جدول 2: خامات النحاس [18].

| الأكاسيد | | الكبريتيدات | |
|----------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|
| الصيغة | التسمية | الصيغة | التسمية |
| $Cu_2CO_3(OH)_2$ | ملاكيت (Malachite) | $CuFeS_2$ | شالكوبيريت (Chalcopyrite) |
| Cu_2O | كبريت (Cuprite) | Cu_2S | شالكوسيت (Chalcocite) |
| $CuSiO_3 \cdot H_2O$ | كريسوكولا (Chrysocolla) | CuS | كوفيليت (Covelite) |
| $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | شالكونثايت (Chalconthite) | Cu_3FeS_3 | بورنيت (Bornite) |



الشكل 5: الملايكت [19].

1.3.I استخلاص النحاس :

لاستخلاص النحاس من خاماته طريقتين هما الصهر و النض [20]، وسنتطرق إلى طريقة الصهر لأنها أكثر إستعمالاً.

طريقة الصهر:

تمر خامات النحاس بعمليات التركيز التالية:

1. عملية التعويم الرغوي: تتم بعد سلسلة متعاقبة من التكسير و الطحن لتحرير المعدن من الشوائب

ليصل تركيز المعدن بين 20 و 40%.

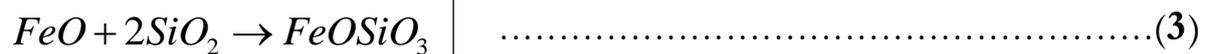
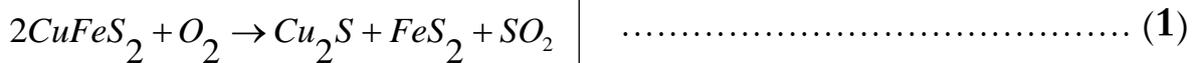
2. عملية تجميع الخام المركز: فيها تتم أكسدة خامات النحاس الكبريتيدية بتسخينها في الهواء،

حيث ينتج خام أكثر تركيزاً [13].

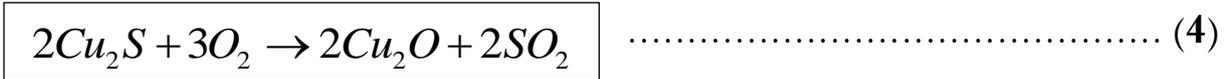
بعد عمليات تركيز خامات النحاس يصهر الخام، فتتجزأ الصهارة إلى طبقتي الكبريتيدات و الأكاسيد

حيث تطفو الأكاسيد لأن كثافتها أقل، و تزال شوائب الحديد بضخ الهواء مع إضافة كمية محسوبة

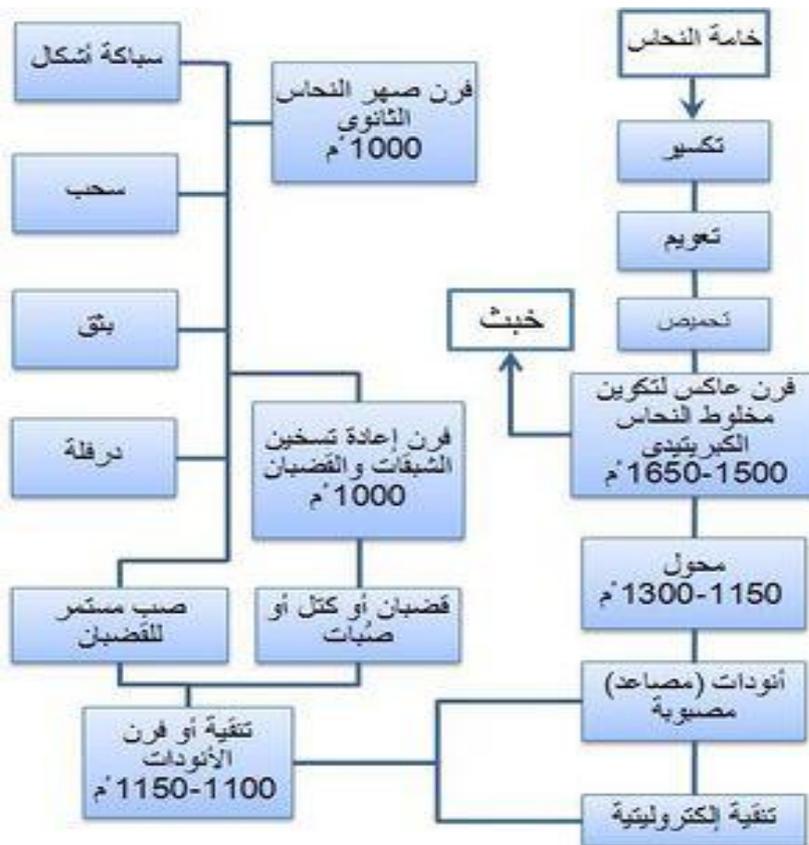
من السيلكا، و يتم ذلك حسب التفاعلات التالية [13]:



يتم التخلص من الكبريت والحديد بعملية الأكسدة باستعمال ضخ الهواء و إضافة السليكا، نتيجة هذه العملية محلول مليء بكبريتيد النحاس، الذي تتم أكسدته حسب التفاعل التالي [21]:



النحاس الناتج عن هذه العملية تكون نقاوته 99%، يسمى النحاس المنقط، يحتوي على نسبة من الشوائب يمكن التخلص منها بالأكسدة كالكبريت، الكاديوم، الخارسين، المغنيزيوم، الحديد، الألمنيوم، الأنتيمون، والزرنيخ... الخ، أما بقية الشوائب يمكن التخلص منها بالتحليل الكهربائي وتشمل النيكل، السيلينيوم، التلريوم، البوزموث، الكوبلت، الفضة، و الذهب [13].



الشكل 6: مخطط استخراج النحاس من خاماته [13].

4.I خواص النحاس:

- للنحاس عدة خصائص مميزة جعلته من بين أهم وأغلى المعادن فهو يتمتع ب:
- نسق بلوري ممرکز الوجوه ذو ثابت شبكة قدره 3.608 أنغستروم.
- ينصهر عند 1083° م.
- كثافته 8.95 غ/سم³
- متانته منخفضة و لدونته مرتفعة اذ ان مقاومة الشد له من 20 الى 25 نيوتن/مم² و الاستطالة من 30 الى 35% بعد التلدين, تزداد متانته نتيجة التشكيل على البارد حتى 70 نيوتن/مم² و الاستطالة من 1 الى 3%, [16].
- للنحاس موصلية حرارية عالية لدى فهو الأول في صناعة وسائل النقل الحراري، وناقليته الكهربائية عالية أيضا هذا ما جعله الأول في الصناعات الكهربائية، فهي تقدر بـ 58 أوم⁻¹·مم⁻¹·م عند 20° م [23].
- , و كثيرا ما يتم التعبير عن الموصلية الكهربائية للمعادن الأخرى بقيم نسبية نسبة الى هذه القيمة (الجدول 3), لهذا يستخدم النحاس على نطاق واسع في الصناعات الكهربائية.
- تؤثر الشوائب تأثيرا كبيرا على خواص النحاس, و تقسم تبعاً لتأثيرها إلى ثلاثة أقسام:
 - شوائب تشكل مع النحاس محاليل جامدة.
 - شوائب لا تذوب في النحاس.
 - شوائب الأكسجين و الكبريت.
- الأول شوائب تشكل مع النحاس محاليل جامدة, مثل النيكل, الزركونيوم, الأنتيمون, القصدير, الألمنيوم, الزرنيخ, الحديد, و الفوسفور, تؤدي هذه الشوائب الى تحسين الخواص الميكانيكية للنحاس, لكنها تقلل من الناقلية الكهربائية و الحرارية خاصة الانتيمون و الزرنيخ, لهذا عند اعداد الموصلات الكهربائية لا يزيدان عن 0.002% [24].
- القسم الثاني شوائب لا تذوب في النحاس, مثل الرصاص و البزموت, التي تؤدي عند إضافتها بكميات قليلة الى أنواع من اليوتكتيك سهل الانصهار, يتوزع هذا اليوتكتيك على الحدود بين حبيبات النحاس و يجعل تشكيل النحاس على الساخن صعبا, مثلا يتهشم النحاس أثناء تشكيله على الساخن اذا وصل محتوى البزموت فيه الى 0.005%, اما تأثير هذه الشوائب على الناقلية فهو طفيف [24].

القسم الثالث هو شوائب الأكسجين و الكبريت التي تعطي مع النحاس مركبات كيميائية قصيفة مثل أكسيد النحاس و كبريت النحاس, و هي تتواجد على الحدود بين حبيبات النحاس, هذه العناصر لا تكاد تؤثر على الناقلية الكهربائية للنحاس, و الكبريت يحسن من قابلية النحاس للتشكيل بالقطع. تتواجد الأكسجين يؤدي الى تواجد أكسيد النحاس الذي يحدث ما يعرف بالمرض الهيدروجيني, فعند تسخين النحاس في وسط يحتوي على الهيدروجين, ينتشر الهيدروجين الى داخل النحاس حيث يتفاعل مع تجمعات أكسيد النحاس, الأمر الذي يؤدي الى تكون أبخرة الماء تبعاً للتفاعل:



مما يؤدي إلى ضغط كبير داخل النحاس و زيادة في الحجم و الى حدوث تشققات ميكروية يمكن أن تؤدي الى تفتت الأجزاء المصنوعة من النحاس [24].

- يعتبر النحاس من المعادن النبيلة لكنه ليس بمستوى الذهب والمعادن النبيلة الأخرى. تأكسده ضعيفا في الهواء و الماء لكنه ضعيف المقاومة للمحاليل منخفضة الحموضة [25].
- النحاس النقي غالبا لا يستخدم في اعداد أجزاء الماكينات بسبب انخفاض متانته. ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية للنحاس باضافة الزنك و الألمنيوم والسليكون و البيريليوم. و تستخدم هذه السبائك على نطاق واسع في الصناعات الهندسية [26].

جدول 3: قيم المقاومة والناقلية لبعض المعادن والسبائك شائعة الاستعمال مقارنة بالنحاس [13].

| الناقلية (% من النحاس) | المقاومية ($10 \times 10^{-6} \Omega$.سم) | المعدن أو السبيكة |
|------------------------|---|---------------------------|
| 105 | 1.63 | الفضة |
| 100 | 1.72 | النحاس |
| 70 | 2.44 | الذهب |
| 61 | 2.88 | الالمنيوم |
| 42 | 4.1 | سبيكة الالمنيوم 6061-T6 |
| 32 | 5.3 | سبيكة الالمنيوم 707-T65 |
| 30 | 5.2 | سبيكة الالمنيوم 2024-T4 |
| 37 | 4.6 | المغنيزيوم |
| 28 | 6.2 | النحاس الأصفر (30-70) |
| 11 | 16 | برونزيات الفوسفور |
| 3.4 | 50 | الزركونيوم |
| 3.1 | 54.8 | التيتانيوم |
| 1 | 172 | سبيكة Ti-6Al-4V |
| 2.5 | 70 | الفولاذ المقاوم للصدأ 304 |

5.I سبائك النحاس:

تتحسن الخواص الميكانيكية ومقاومة التآكل للنحاس عند سبائته, و العناصر الأكثر شيوعا في السبائك مع النحاس هي الألمنيوم, الزنك, النيكل, القصدير, و السيليسيوم و العناصر الاخرى تضاف بنسب صغيرة لتحسين الخصائص الميكانيكية و الكيميائية. [17].

يمكن تقسيم سبائك النحاس الى قسمين:

- النحاس منخفض السبائكية
- النحاس عال السبائكية

1.5.I النحاس منخفض السبائكية:

هي سبائك النحاس التي تحتوي كحد أقصى 2% من العناصر الاضافية (هذه العناصر كثيرة منها: الفضة, الكادميوم, المغنيزيوم, الكوبلت, الكبريت, السيليسيوم, التيريلوم, الفوسفور, الكروم الكوبلت و الزيركونيوم..), حيث لا تضعف هذه النسبة الناقلية الكهربائية للنحاس, و تكتسب هذه السبائك خصائص ميكانيكية جيدة بالمعالجة الحرارية [24].

فالحديد يضاف إلى النحاس من أجل زيادة مقاومته للشد ولزيادة مقاومة المعدن للتآكل الصدمي.

المغنيز يزيل انخفاض مقاومة التآكل التي يسببها وجود الكبريت كما يمنع هشاشة النحاس.

الكروم يضاف لرفع صلادة النحاس وتحسين مقاومته للتآكل بماء البحر وذلك بتكوين طبقة واقية من أكسيده.

التيتانيوم يضاف إلى السبائك الحاوية على 2.5% نيكل ليجعلها صلبة.

2.5.I النحاس عال السبائكية:

يمكن تصنيف سبائك النحاس الشائعة الى:

- النحاس الأصفر
- سبائك نحاس - بيريليوم
- سبائك نحاس - نيكل
- البرونز

1.2.5.I النحاس الأصفر:

هي سبائك النحاس و الزنك, لونها يتراوح بين الوردي و الأصفر, يزداد اللون الأصفر بزيادة نسبة الزنك ابتداء من 15% [27]. يبين مخطط الأطوار نحاس - زنك (الشكل (7)) أن النحاس الأصفر الذي لا يزيد فيه محتوى الزنك عن 39% يكون أحادي الطور (α) و هو عبارة عن محلول صلب للزنك في النحاس, و يظهر الطور β في السبائك التي تتراوح نسبة الزنك فيها بين 39 و 50%, هذا الطور عبارة عن مركب الكتريني $CuZn$ ذو البنية البلورية ممركة الجسم, غير مرتب, منطقة تجانسه واسعة, لدونته عالية, و يتحول الى الطور β' عند انخفاض درجة الحرارة الى 454°C , خلافا للطور β يكون الطور β' مرتبا و صلدا, و نظرا لأن متانة النحاس الأصفر تقل بشدة في هذا المجال الطوري فانه في الغالب لا يستخدم في الصناعة عند زيادة محتوى النحاس عن 42% [16].

يتميز النحاس الأصفر ثنائي الطور بمتانة عالية و مقاومة مرتفعة للبلل, النحاس الأصفر ثنائي الطور $\alpha + \beta'$ منخفض اللدونة على البارد, ويعرض للتشكيل على الساخن عند درجات حرارة مناظرة للمنطقة β أحادية الطور [24].

يمكن أن يتشقق النحاس الأصفر غير الممدن الذي تبقى به اجهادات داخلية ناشئة عن التشكيل بالضغط على البارد, اذا وجد لفترة زمنية طويلة في وسط نشط كيميائيا, او في وسط رطب. و تعرف هذه الظاهرة بالتشقق الموسمي, يمكن منع حدوثه بتلدين المنتجات عند 250 - 275°C , ولا يكون النحاس الأصفر عرضة للتشقق الموسمي اذا قل محتوى الزنك عن 20% [24].

النحاس الأصفر الرصاصي:

يتميز النحاس الأصفر بارتفاع متانته ولهذا عند تشكيل المنتجات المصنوعة بالقطع نحصل على سطح غير مستو و به كثير من الخدوش, حيث تضاف له كمية قليلة من الرصاص لتحسين قابليته للتشكيل بالقطع, و تسمى سبائك النحاس - زنك المحتوية على الرصاص بالنحاس الأصفر الرصاصي (النحاس الاصفر سهل القطع) [24].

1.1.2.5.I النحاس الأصفر الخاص:

هي سبائك النحاس - زنك التي يضاف اليها القصدير, السيليسيوم, المغنيز, الألمنيوم و الحديد لتحسين خواصها الكيميائية و الميكانيكية.

فعندما محتوى القصدير الى 0.5 - 1.5% تتحسن مقاومة النحاس الأصفر للصدأ و مقاومته للاحتكاك.

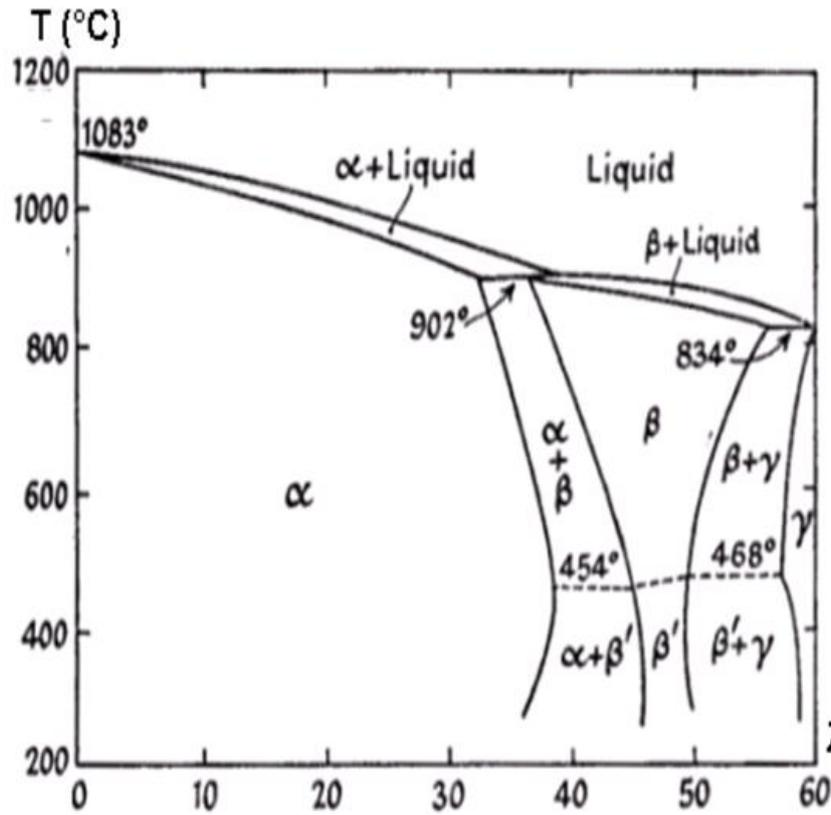
يؤدي الحديد الى اعاقه عملية اعادة التبلور و تقليل حجم الحبيبات, و زيادة الصلادة و اكساب النحاس الأصفر خواص مغناطيسية [24].

تحتوي أنواع النحاس الأصفر الخاص اللدن القابل للتشكيل بالضغط على كمية قليلة من عناصر الخلط السبائكي, و هذه الأنواع عبارة عن محاليل جامدة متجانسة أساسها النحاس.

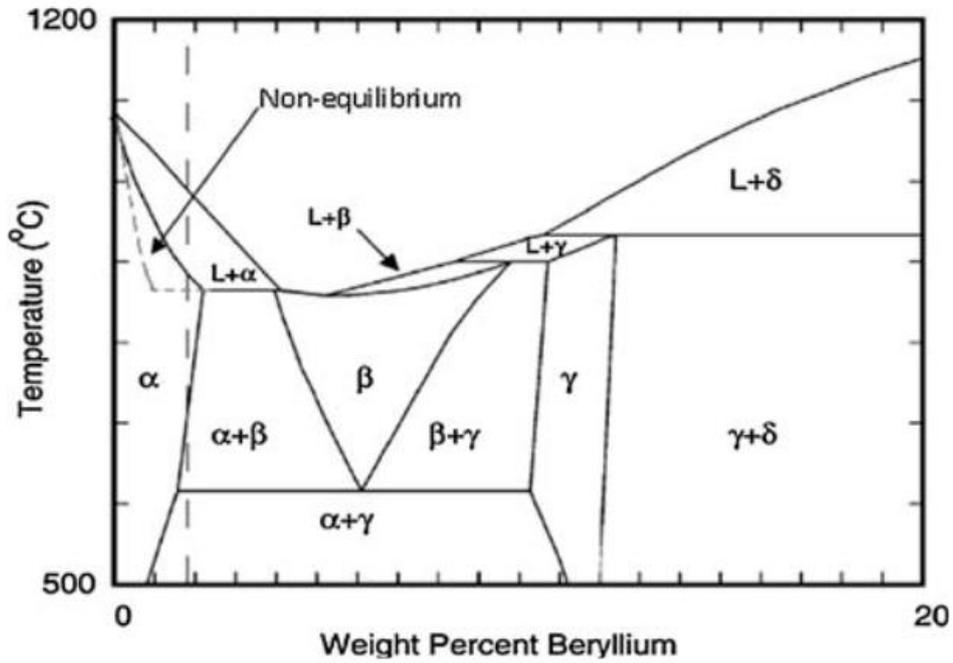
2.1.2.5.I استخدامات النحاس الأصفر:

من أهم استخدامات النحاس الأصفر:

- يقتل النحاس الأصفر الجراثيم وقاتل أيضا للميكروبات [28].
- يستخدم النحاس الأصفر ذو 30% زنك في صناعة غلاف الطلقات النارية، لذا يطلق على سبائك النحاس الأصفر بحساس الطلقات [29].
- تستخدم سبائك النحاس - زنك ذات المحتوى 63 و 68% نحاس في لحام النحاس.
- يستخدم النحاس الأصفر ذو 80% نحاس, 03% سيليسيوم و 17% زنك تقريبا لأجزاء الماكينات المقاومة للصدأ.
- يستخدم النحاس الأصفر ذو 77% نحاس, 02% ألنيوم, و النحاس الأصفر ذو 60% نحاس, 01% ألنيوم و 01% حديد للأجزاء التي تعمل في ماء البحر.
- سبيكة النحاس الأصفر ذو 52% نحاس, 04% منغنيز و 01% حديد عالية المقاومة للشد فهي تستخدم في المحامل و قضبان التسليح و أجزاء الطائرات شديدة التحميل [24].



الشكل 7: مخطط إتران الأطوار نحاس-زنك [24].



الشكل 8: مخطط إتران الأطوار نحاس-بيريليوم [30].

2.2.5.I سبائك نحاس - بيريليوم:

يبين مخطط التوازن الطوري (الشكل 8) أن النحاس يذوب 2.7% من عنصر البيريليوم في المحلول الجامد عند درجة 865°م وان هذه الذوبانية تنخفض إلى قيمة واطئة عند درجة حرارة الغرفة. فإذا أخذت السبيكة المحتوية على 2% بيريليوم، على سبيل المثال، من درجة 800°م فالحلول الجامد (α) سوف يستمر متواجدا عند درجة حرارة الغرفة [31].

إن هذا المنتج المحمد، الذي يمكن أن يوصف بأنه محلول فوق الإشباع لعنصر البيريليوم في النحاس، يكون شبه مستقر عند درجة حرارة الغرفة وسوف يتردد إلى البنية ($\alpha+\gamma$) حيثما تتهيأ له الظروف المواتية.

1.2.2.5.I الخواص الميكانيكية والاستخدامات:

تمتاز هذه السبيكة بصورة عامة بالليوننة والمطيلية العاليتين ومقاومتها للتآكل، وإمكانية تصليدها بالتشكيل على البارد. وإذا أجريت عليها بعض المعاملات الحرارية فإنها تكتسب خواص ميكانيكية عالية حيث يمكن أن تصل مقاومة الشد إلى 1400 نيوتن/مم² وهي الأعلى في سبائك النحاس.

وبصورة عامة يمكن استخدام سبائك النحاس بيريليوم في صناعة النواض في الأجهزة الكهربائية باعتبارها ذات موصلية مقبولة للكهرباء وخواصه المرنة الجيدة فضلا عن ثباتها أمام الصدأ. إن هذه السبائك ذات تكلفة عالية مقارنة بالسبائك الأخرى [31].

3.2.5.I سبائك نحاس - نيكل:

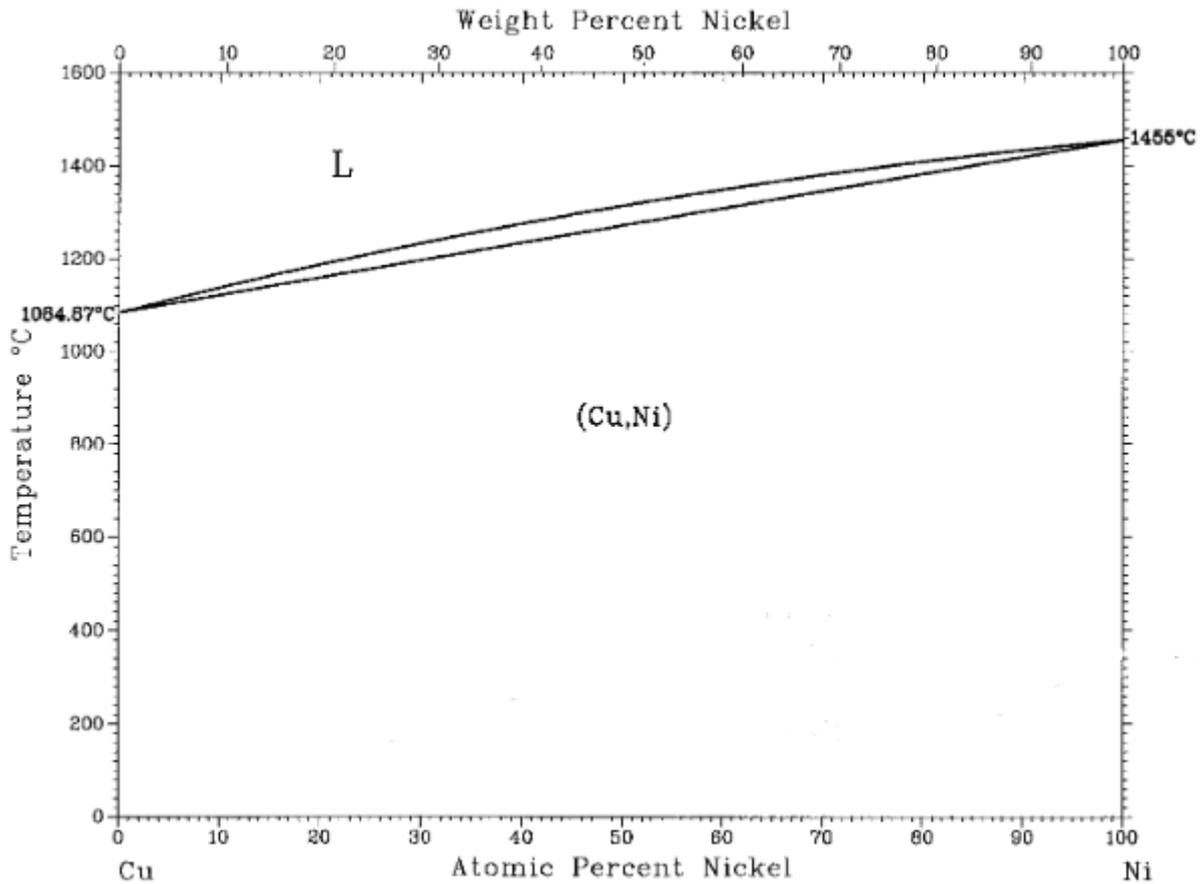
يذوب عنصر النيكل في النحاس ذوبانا تاما وبجميع النسب، ليكونا سلسلة من المحاليل الجامدة كما هو موضح في الشكل (9)، تؤثر إضافة النيكل للنحاس تأثيرا واضحا على خواصه، حيث تؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية ومقاومة التآكل والخواص الكهربائية والحرارية [32].

تدعى سبائك النحاس - نيكل المحتوية على 20% نيكل، والنحاس مع نيكل و الزنك بالفضة الألمانية، حيث تعتبر سبيكة النحاس - نيكل المحتوية على 20% نيكل أعلى مقاومة للصدأ في الكثير من الأحماض و الأسس مقارنة بالصلب غير القابل للصدأ، وهذه السبيكة تصلح للعمل في درجات مرتفعة.

سبيكة الفضة الألمانية الأوسع استعمالاً هي السبيكة المحتوية على 15% نيكل و 20% زنك و هذا لتمييزها بلون فضي جميل, و مقاومة تآكل عالية.

من أهم استخدامات سبائك النحاس - نيكل هي صناعة الأدوات الطبية و النقود و الزخارف, و تستخدم الفضة الألمانية في صناعة الأجهزة و أجزاء الساعات و الأدوات الطبية. للحصول على سطح أكثر نقاوة عند التشكيل بالقطع يضاف إلى الفضة الألمانية من 1 إلى 2% رصاص.

تسمى سبيكة النحاس - نيكل المحتوية على 40% نيكل و 1.5% منغنيز بالكونستنتان, لها مقاومة كهربائية نوعية مرتفعة وقوة دافعة كهربائية حرارية عالية و غير متغيرة مع درجة الحرارة. و يستخدم الكونستنتان لصناعة العناصر الأساسية في أجهزة التسخين, التي تعمل عند درجات حرارة تصل إلى 500°م, و صناعة المقاومات المتغيرة [16].



الشكل 9: مخطط إتران الأطوار نحاس-نيكل [33].

I.4.2.5 البرونز:

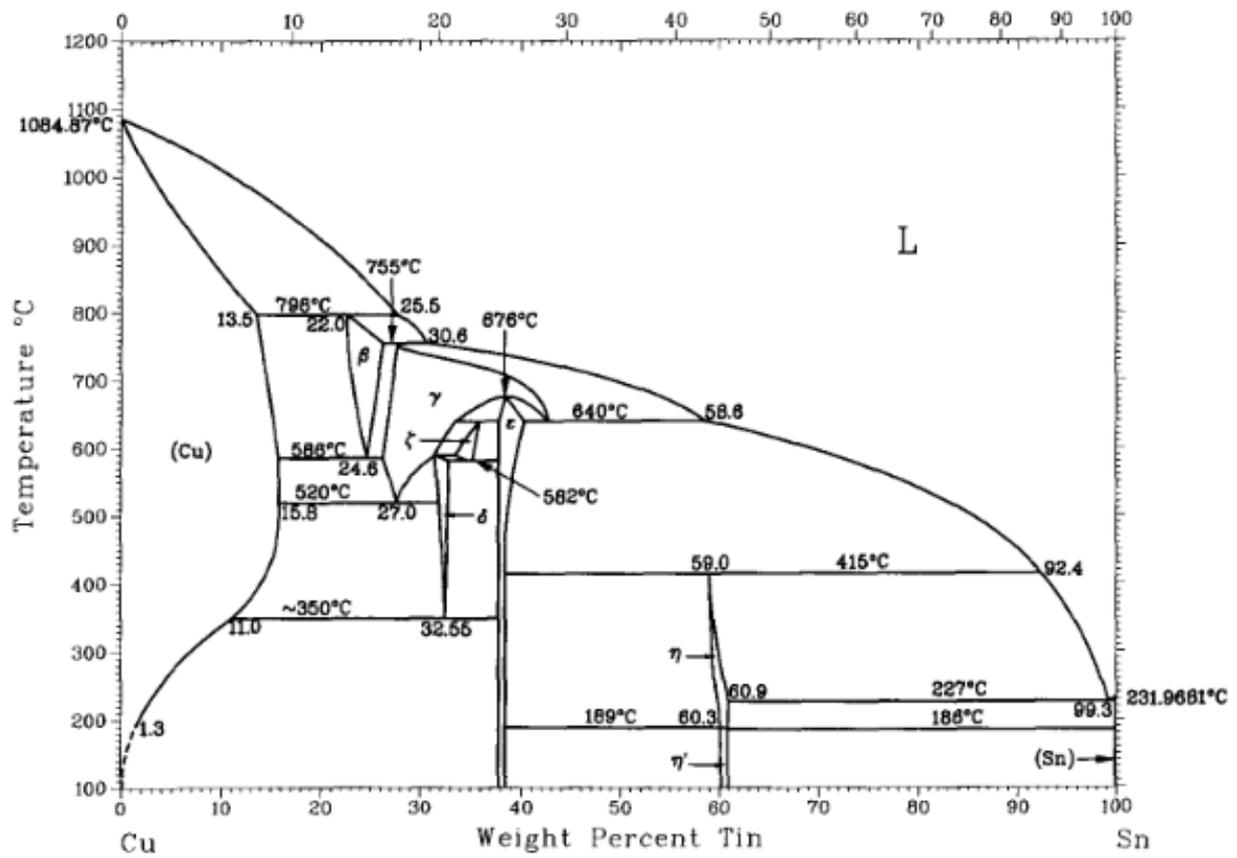
يعتبر البرونز أول السبائك المستعملة على وجه الأرض حيث سمية حقبة زمنية باسمه و هي العصر البرونزي الذي جاء بعد العصر الحجري, و هو سبائك النحاس مع عنصر آخر عدى الزنك و النيكل [34] و من أهم البرونزيات البرونز القصديري والبرونز الألمنيومي.

I.4.2.5.I البرونز القصديري:

هي سبائك النحاس و القصدير(Sn), تكون بلون أحمر نحاسي عندما يكون محتوى السبائك من القصدير أقل من 5%, و تبدى اللون الأصفر الذهبي بين 5 و 10% من القصدير, تميل إلى البياض عند أكبر من 25% قصدير [17].

البرونز القصديري الذي يحتوي على أقل من 5% قصدير يكون أحادي الطور α بنيته حبيبية متعددة السطوح أما اذا زاد محتوى القصدير عن 5% فيأخذ الطور α و اليوتكتويد $\delta + \alpha$.

تعد السبائك التي تحتوي على 10 - 12% قصدير الأكثر استعمالا اذ أن زيادة نسبة القصدير عن هذه النسبة تؤدي الى أن يكون البرونز ذو بنية هشّة, و تزداد مقاومة الشد الى غاية 18 - 20% قصدير ثم تنخفض بشكل حاد بسبب زيادة المركب δ , أما الاستطالة النسبية فانها تزداد لغاية 6% قصدير ثم تقل بسبب اليوتكتويد, لهذا لا يمكن تشكيل البرونز القصديري على البارد الا اذا كان محتوى البرونز أقل من 6% [35]. لكن أكبر من هذه النسبة والى غاية 20% قصدير البرونز لا يتم تشغيله الا على الساخن. بين درجات الحرارة 590 و 790°م البرونز الذي يكون محتوى القصدير فيه بين 4 و 10% يستعمل كثيرا في وسائل الصناعة الكيميائية, الصناعات البحرية, الصناعات الميكانيكية.



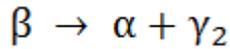
الشكل 10: مخطط إتران الأطوار نحاس-قصدير [36].

2.4.2.5.I البرونز الألمنيومي:

هي سبائك النحاس - ألنيوم, حيث تكون على شكل محلول جامد α إلى غاية أعظم نسبة لذوبان ألنيوم في النحاس وهي 9.4%. عند درجة حرارة الغرفة و حتى درجة حرارة 565°م , أما عند الوصول الى أعلى من هذه الدرجة فتبدأ قابلية الذوبان بالنقصان كلما ارتفعت درجة الحرارة والى غاية 1037°م, هذه السبائك قابلة للطرق علي البارد. أما البنية البلورية لهذا الطور فهي CFC [17].

الطور β هو محلول جامد أيضا للألنيوم في النحاس لكن نسبة الألنيوم في النحاس تكون أعلى مما في الطور α , وهذا الطور مستقر عند درجات الحرارة الأعلى من 565°م وعند انخفاض درجة الحرارة يتحول إلى خليط من الطورين $(\alpha + \gamma_2)$

يتم الحصول علي سبائك ثنائية الطور $\alpha + \gamma_2$ بعد التحول اليوتيكتويدي التالي:



البنية البلورية للطور β هي BCC.

وهو أيضا محلول جامد من الألنيوم في النحاس وتركيز الألنيوم فيه أعلى من الطور (β) . تكون هذه المرحلة صلبة وهشة معا. وله بيئة بلورية معقدة نسبيا.

الشريط الواقع بين 7.4 و 9% ألنيوم عند 1035°م, و 9.4 و 11.8% ألنيوم عند 565°م يكون خليط من الطورين α و β .

في المثلث الواقع بين 9% ألنيوم عند 1035°م و 14.2% عند 1048°م و 11.8% عند 565°م تأخذ سبائك نحاس - ألنيوم الطور β .

تحت 565°م في المجال 9.4 - 15.6% ألنيوم يكون الطور عبارة عن $\gamma_2 + \alpha$.

من 15.6 الى 20% ألنيوم عند أقل من 800°م تكون سبائك الألنيوم نحاس في الحالة γ_2 [17].

1.1.1.1.1 I.2.4.2.5.I الأطوار التي يشكلها النحاس و الألنيوم:

يعد نظام النحاس والألنيوم أحد تلك الأنظمة التي تمت دراستها على نطاق واسع , ليس فقط لأن استخدام هذا النظام له مجموعة واسعة من التطبيقات التكنولوجية ولكن أيضا بسبب الميزات المختلفة لهذا النظام مثل التحولات المارتنسيكية (سمية بالمارتنسية نسبة الى مارتينس مكتشفها، وهي تحولات بلورية تنتج عنها بنية بلورية ذات حبيبات تكون على شكل عدسي) [37].

الأطوار التي يشكلها النحاس و الألمنيوم هي:

α_{Cu} : محلول جامد للألمنيوم في النحاس

β : Cu_3Al , أقصى ما يكون صلبا عند 1048°م , و هو مكعب البنية.

χ : طور يتشكل بريتكتيكيا (تحول طوري من مزيج طورين سائل وصلب إلى طور صلب مخالف) عند درجة حرارة عالية 1035°م .

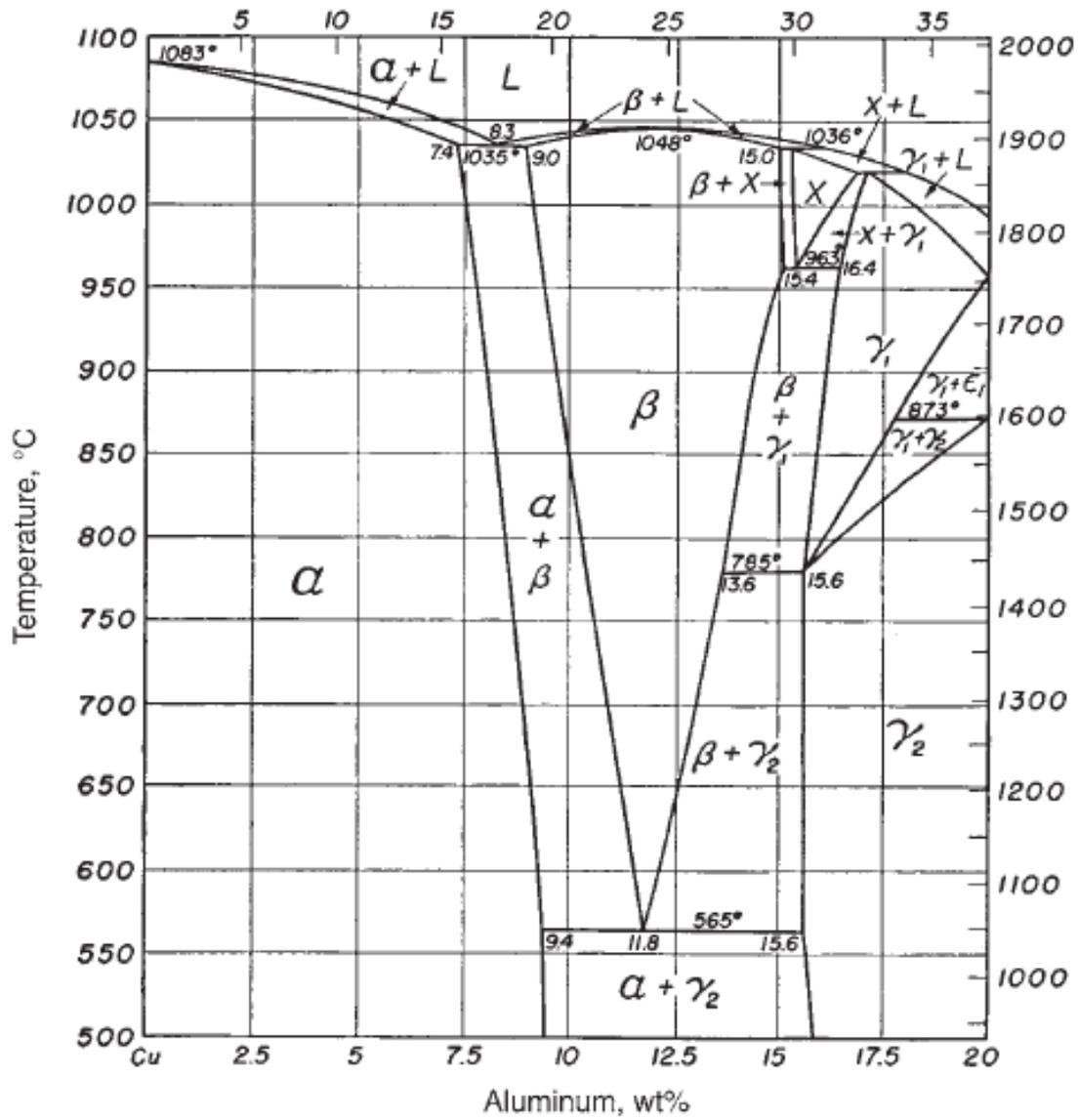
γ_2 : Cu_9Al_4 , يتشكل بريتكتويديا (تحول طوري من مزيج طورين صلبين إلى طور صلب مخالف لهما) عند 870°م , و هو مكعب البنية.

δ : Cu_3Al_2 , يتشكل بريتكتويديا عند 686°م , و هو مكعب البنية.

η_1 : $CuAl$, يتشكل بريتكتيكيا عند 624°م , و هو معين قائم البنية.

θ : $CuAl_2$, يتشكل بريتكتيكيا عند 591°م , و هو رباعي البنية.

α_{Al} : محلول جامد للنحاس في الألمنيوم [38].



الشكل 11: مخطط إتران الأطوار نحاس-ألومنيوم [17]

الفصل الثاني

الوسائل المستعملة و العمل المخبري

II. الوسائل المستعملة و العمل المخبري**1.II المواد المستعملة:**

المواد الأولية المستعملة هي:

1. مسحوق النحاس ذو النقاوة 99.5% , والنسبة المتبقية موزعة حسب الجدول التالي:

جدول 4: العناصر الأخرى الداخلة في تركيب مسحوق النحاس المستعمل

| الشائبة | Sn | Ag | Mn | Fe | Pb | Sb | $\neq ele$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------------|
| النسبة (%) | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.05 | 0.005 | 0.05 |

2. مسحوق الألمنيوم ذو النقاوة 99.5% , والنسبة المتبقية موزعة حسب الجدول التالي:

جدول 5: العناصر الأخرى الداخلة في تركيب الألمنيوم المستعمل

| الشائبة | Zn | Mg | Mn | Si | Cu | Fe |
|------------|--------|---------|--------|--------|---------|------|
| النسبة (%) | 0.0053 | 0.00160 | 0.0023 | 0.1313 | 0.00159 | 0.17 |

باستعمال جهاز قياس قطر الحبيبات من نوع HORIBA LA-950A2 في مخبر الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح LRPPS, وجدنا أقطار حبيبات مسحوق النحاس تتراوح من 6 الى 60 ميكرومتر, و أقطار حبيبات مسحوق الألمنيوم تتراوح من 10 الى 110 ميكرومتر.

2.II إعداد العينات:

مرت عملية تحضير العينات بثلاث مراحل وهي:

1. تحضير المساحيق
2. التليد
3. التلدين

1.2.II تحضير المساحيق:

تم تحضير المساحيق وفق ثلاث مراحل بسيطة:

1. حساب النسب الكتلية للمساحيق
2. وزن المساحيق
3. خلط المساحيق

1.1.2.II حساب النسب الكتلية للمساحيق:

قسمت العينات حسب النسب الكتلية للمسحوقين الى خمس سلاسل، سلسلة عينات النحاس النقي، سلاسل 5, 11, 14, و 18% ألنيوم، الكتلة الكلية للمسحوقين المكونة لكل عينة هي 3 غ، انطلاقا من هذا حسبت كتلة مسحوق النحاس وكتلة مسحوق الألنيوم لكل عينة.

2.1.2.II وزن المساحيق:

انطلاقا من الكتل المحسوبة تمت عملية وزن كتلي مسحوقي النحاس والألنيوم الداخلة في تركيب العينات عينة بعينة باستعمال ميزان حساس.

3.1.2.II خلط المساحيق:

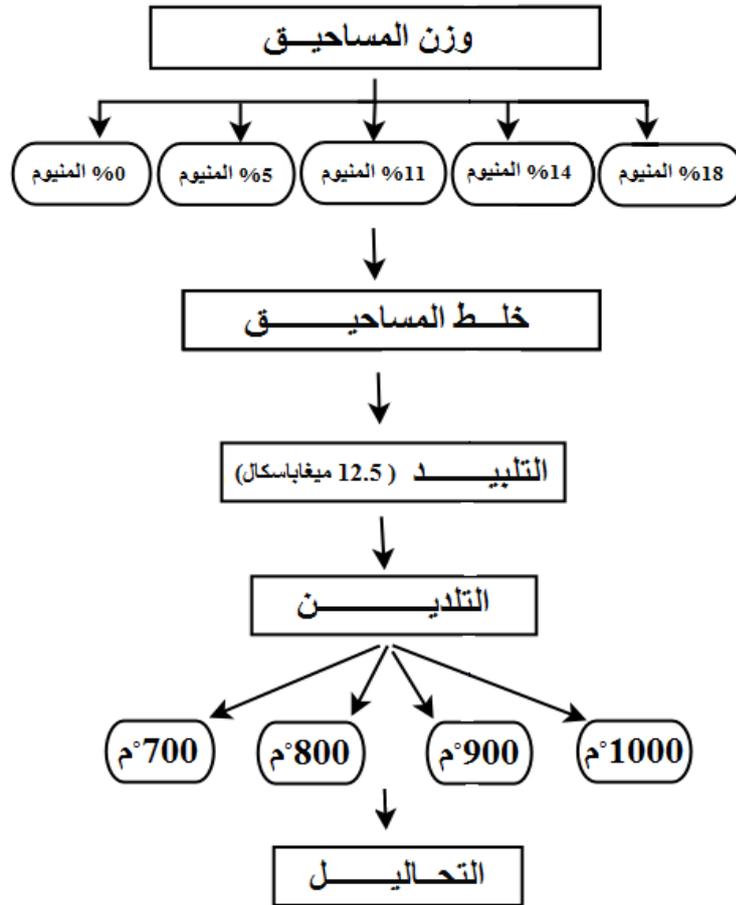
يؤثر تجانس خليط المسحوق بشكل كبير على جودة المركبات التي تنتجها تقنيات ميتالوجيا المساحيق، لذلك يعتبر الخلط من الخطوات الهامة في الكثير من الصناعات [39]. قمنا بهذه العملية يدويا لمدة 45 دقيقة باستعمال مهراس من السيراميك.



الشكل 12: الميزان المستعمل



الشكل 13: الجهاز المستعمل لقياس قطر حبيبات المسحوقين



الشكل 14: مخطط مراحل إعداد العينات

II.2.2 التلييد:

يمكن وصف التلييد على أنه تماسك مادة (مسحوق) يحصل عليه بإنقاص طاقة النظام بسبب مساهمة طاقة (حرارية، ميكانيكية....) لكن دون ذوبان مكوناتها [40].

تكون عملية التلييد مصحوبة بما يلي:

- نقص في الأبعاد الأولية للعينة وزيادة في الكتلة الحجمية الظاهرية.
- زيادة عدد الروابط بين الحبيبات والذي يؤدي إلى شدة التماسك.
- تحسين في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للعينة.
- نقص في الطاقة السطحية الإجمالية للمادة نتيجة نمو وكبر الحبيبات [41].

للتلييد أنواع مختلفة أهمها:

1.2.2.II التلييد الطبيعي:

تعتبر هذه التقنية الأكثر إستعمالاً، إذ تتمثل في تسخين عادي لقطع المادة المراد دراستها عند درجات حرارة مرتفعة (تقترب من درجة الذوبان).

التلييد تحت الشحن:

في هذه التقنية يتم التشكيل والتسخين معاً، وقد تعطي هذه الطريقة في بعض الأحيان قطع من المادة بتلييد كامل تقريباً (التقليل من الفراغات الى حد كبير).

2.2.2.II التلييد التفاعلي:

تساهم التفاعلات الكيميائية داخل القطعة الخزفية في تحسين التلييد. 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 تلييد عالية [42].

العوامل المؤثرة على التلييد:

يتأثر التلييد بعدة عوامل والتي تكون منشطة له أهمها:

- إستعمال السحق الجيد أو الطرق الكيميائية للحصول على حبيبات دقيقة.
- تجانس الخلائط.
- الضغط العالي.
- استعمال مسحوق ذو توزيع حبيبي غير متجانس، لتملئ الحبيبات الصغيرة الفراغات الموجودة بين الحبيبات الكبيرة.
- إضافة بعض المواد لتشكيل طور أو أطوار سائلة في درجة حرارة أقل [43].

3.2.2.II مراحل التلييد:

على أساس تغير الشكل الذي يحدث أثناء تطور البنية، من مجموعة حبيبات إلى بنية متعددة البلورات بكثافة أعلى يقسم التلييد إلى ثلاث مراحل أساسية:

- المرحلة الابتدائية

- المرحلة الوسيطة

- المرحلة النهائية

II.2.2.3.1 المرحلة الابتدائية:

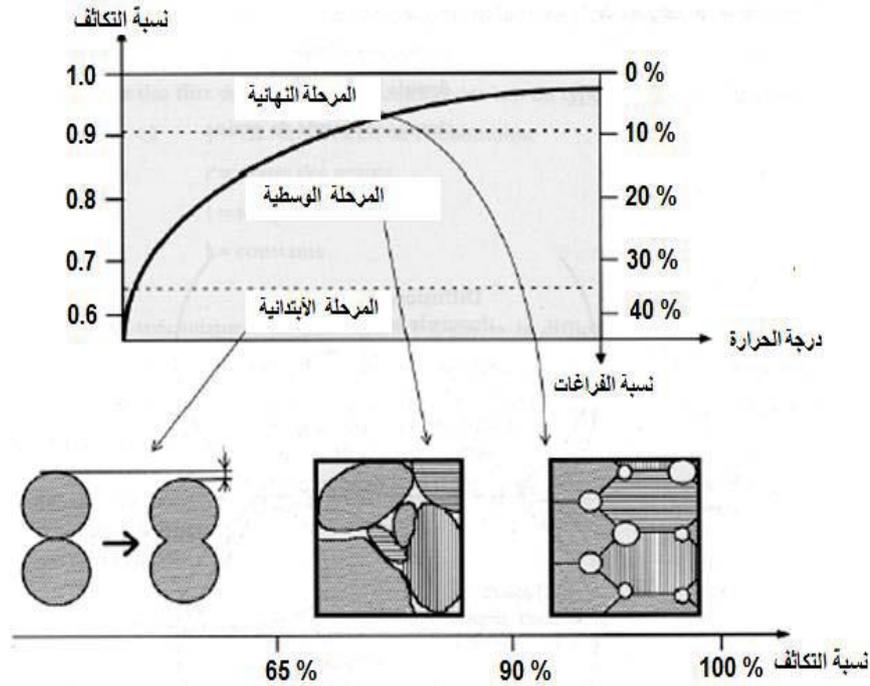
- الحبيبات المتلامسة تلتحم جزئياً.
- تبقى الفراغات مفتوحة.
- يصل التكاثف كحد أقصى إلى 65%.

II.2.2.3.2 المرحلة الوسيطة:

- إلتهام الحبيبات داخليا.
- نمو الحبيبات ما يؤدي إلى تناقص الفراغات.
- ظهور بنية جديدة.
- إنتشار الفراغات نحو السطح.
- تقطع الفراغات وانغلاقها عند زوايا الحبيبات.

II.2.2.3.3 المرحلة النهائية:

- تزداد الفراغات المغلقة.
- تأخذ الفراغات المغلقة الشكل الكروي.
- تتوقف الفراغات عن الحركة.
- تكون نسبة التكاثف أكبر من 90%.



الشكل 15: مراحل التلييد [44]

II.4.2.2 الكبس:

الكبس هي عملية ميكانيكية نحصل بها على جسم متين نسبيا إنطلاقا من مسحوق بواسطة الضغط. قمنا بهذه العملية من أجل تلييد مسحوق كل عينة في شكل أقراص باستعمال جهاز كبس هيدروليكي، في مخبر الإشعاع والبلازما وفيزياء السطوح LRPPS، تحت ضغط 12.5 ميغاباسكال لمدة دقيقتين. نتيجة هذه العملية أقراص صلبة لكنها سهلة الكسر، بأقطار 20مم ومختلفة السمك واللون حسب نسبة الألمنيوم الداخل في تكوين عينات كل السلسلة.

جدول 6: تغيرات سمك العينات بتغير نسبة الألمنيوم

| السلسلة | نحاس نقي | 5% ألمنيوم | 11% ألمنيوم | 14% ألمنيوم | 18% ألمنيوم |
|------------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| السمك (مم) | 1.6625 | 1.7725 | 1.9425 | 2.0280 | 2.1240 |



الشكل 16: الجهاز المستعمل للكبس

II.3.2 التلدين:

لتحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية عدة طرق من بينها المعالجة الحرارية بالمعالجة الحرارية يمكن:

- الحصول على بنية بلورية منتظمة ومتجانسة
- نمو الحبيبات
- إزالة الاجهادات المتبقية
- تطرية الخلائط المعدنية
- رفع الصلادة السطحية
- رفع قيمة المتانة

والمعالجة الحرارية لقطعة معدنية هي إخضاعها إلى تغيرات بنيوية بفعل دورات حرارية محددة من أجل تحسين خصائصها

[24] وتشمل الدورات الحرارية عمليات:

- التسخين
- الإبقاء
- التبريد.

والمعالجة الحرارية المستعملة بالنسبة للمعادن هي:

- التلدين
- التطبيع
- السقاية
- الإرجاع

يتم التلدين عن طريق تسخين القطعة (درجة الحرارة تكون على حسب المعدن) لمدة زمنية ثم التبريد في الفرن حتى تأخذ الشبكة وضع الاستقرار [45].

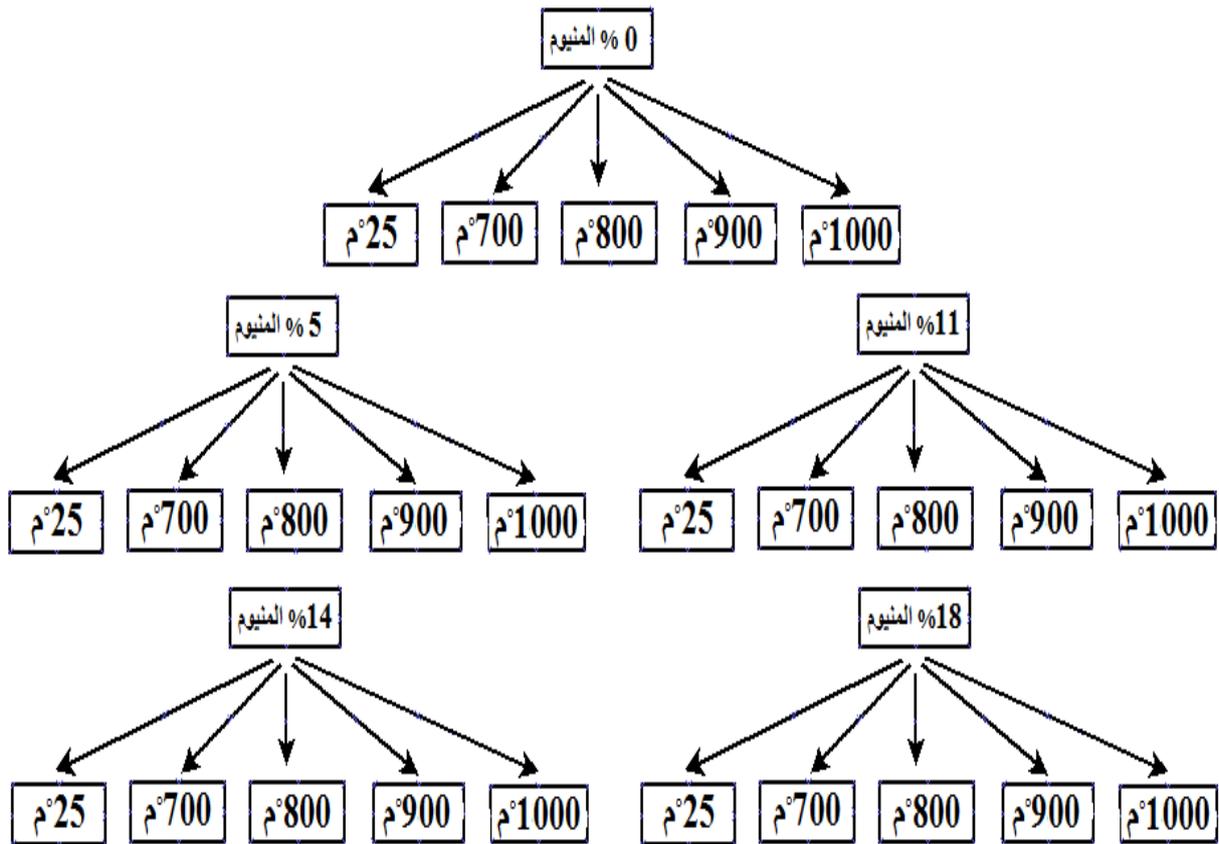
قمنا بعملية التلدين باستعمال فرن من نوع (Protherm furnaces PTF 14/75/450) مزود بأنبوب كوارتز للتفريغ من الهواء، ويتم التفريغ بواسطة نظام ضخ مزدوج مركب من مضختين، الأولى للتفريغ الابتدائي، أما الثانية للتفريغ الثانوي. حيث كان الضغط المستخدم 3.5×10^{-3} ميلي بار، قسمت العينات على حسب درجات الحرارة للمعالجة إلى خمس سلاسل هي 700, 800, 900, و 1000°م بالإضافة إلى سلسلة العينات الشاهدة غير المعالجة حرارياً، النتيجة خمسة وعشرون عينة.



الشكل 17: الفرن المستعمل



الشكل 18: صورة توضح شكل وأبعاد العينات



الشكل 19: مخطط يوضح عدد وصفة العينات

3.II المسامية:

هي نسبة حجم الفراغات في جسم إلى حجمه الكلي، وتكون المسامات كحجوم مفتوحة أو مغلقة داخل المواد المنتجة بتقنية ميتالوجيا المساحيق ولها آثار سلبية على الخواص الميكانيكية، والمسامية مطلوبة في بعض المنتجات مثل المرشحات، والقطع الميكانيكية ذاتية التشحيم، والأجزاء الماصة للاهتزازات، وكواتم الصوت.

1.1.3.II أنواع المسامات:

تقسم المسامات إلى ثلاثة أنواع هي:

1.1.1.3.II المسامات المغلقة:

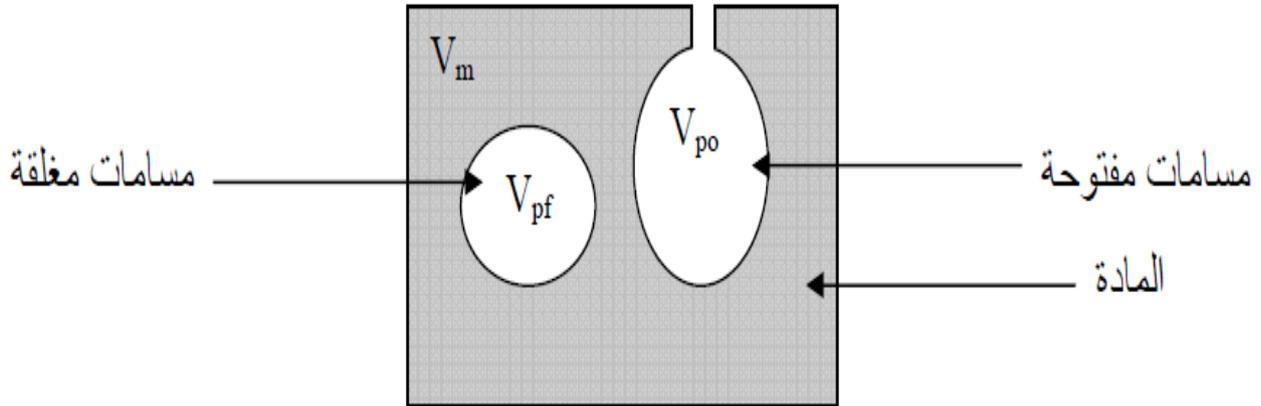
هي مسامات تكون داخل الجسم محاطة بالمادة من كل جهة.

2.1.1.3.II المسامات المفتوحة غير النافذة:

تكون على السطح الخارجي للجسم.

3.1.1.3.II المسامات المفتوحة المتصلة:

مجموعة مسامات مترابطة تمتد من داخل الجسم إلى السطح [46].



الشكل 20: المسامات المفتوحة والمغلقة

العوامل المؤثرة على المسامية:

تتأثر نسبة المسامية بعدة عوامل أهمها:

- إختلاف حجم الحبيبات يؤثر على نسبة المسامات، حيث أن زيادة نسبة الحبيبات الصغيرة الى الحبيبات الكبيرة تقلل المسامية، لأن الحبيبات الصغيرة تحتل الفراغات بين الحبيبات الكبيرة.
- ضغط الكبس المرتفع يؤدي إلى خفض المسامية.
- درجة حرارة وزمن التلييد يؤثران على المسامية، حيث تتحول نسبة كبيرة من المسامات إلى مسامات مفتوحة.

II.1.3.2 أقسام المسامية:

يمكن تقسيم المسامية إلى قسمين:

II.1.3.1 المسامية الظاهرية:

هي نسبة حجم المسامات المفتوحة الى الحجم الكلي [47].

II.2.1.3.2 المسامية الحقيقية:

هي نسبة حجم المسامات الكلي (مفتوحة ومغلقة) إلى الحجم الكلي للجسم

تحسب باستعمال العلاقة:

$$P = \frac{\rho_t - \rho_p}{\rho_t} \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

P : المسامية الحقيقية

ρ_t : الكتلة الحجمية النظرية

ρ_p : الكتلة الحجمية المقاسة [48].

4.II إنعراج الأشعة السينية:

أكتشفت الأشعة السينية من طرف روننتجن (1845-1923م) في سنة 1895م [15]، والذي تحصل على جائزة نوبل سنة 1913م نتيجة هذا الاكتشاف [49]. ولم تتأكد طبيعة الأشعة السينية الموجية إلا عام 1913م عندما أجريت أولى تجارب الحيود التي اقترحها " فون لاوي " ثم بينت التجارب اللاحقة أن الأشعة السينية موجات مستعرضة وأنها موجات كهرومغناطيسية [50].

تنشا الأشعة السينية عندما يصطدم إلكترون مسرع في مجال كهربائي بهدف مصنوع من مادة معدنية ويسمى هذا الهدف بالمصعد، ولا تتحول كل طاقة الإلكترون إلى طاقة إشعاعية ولذلك أصطلح على تعريف مقدار يسمى بكفاءة الأشعة السينية.

$$\eta = \frac{\text{طاقة الفوتون}}{\text{طاقة الإلكترون}} = 1.1 \times 10^{-9} \cdot Z \cdot V \dots\dots\dots(8)$$

η : كفاءة الأشعة السينية

Z: العدد الذري للمصعد.

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

قد تصل كفاءة مصعد التنغستن مثلاً إلى نحو 0.8% إذا كان يعمل عند جهد مقداره 100 كيلو فولط. [35]

من خصائص الأشعة السينية أنها إذا سقطت حزمت فوتونات منها على قطعة معدن متجانسة بسمك x فإنها تنشأ حزمة مخالفة وذلك حسب العلاقة:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho x} \dots\dots\dots(9)$$

I_0 : شدة الأشعة الأصلية (عدد الفوتونات / وحدة الزمن في وحدة المساحة)

I: شدة الأشعة بعد مسافة X

μ : معامل الامتصاص الخطي.

ρ : كثافة المادة [51].

يتراوح الطول الموجي للأشعة السينية بين 0.1 أنجستروم (وهو الحد الأدنى لأشعة جاما) و100 أنجستروم (وهو الحد الأقصى للموجات فوق البنفسجية)، ويناظر هذا المدى تراوح طاقتها من 0.1 إلى 100 إلكترون فولط وتحسب E (إلكترون فولط) طاقة الفوتون من الأشعة السينية والذي طول موجته λ (أنجستروم)

من العلاقة:

$$E = \frac{12400}{\lambda} \quad (ev) \quad \dots\dots\dots(10)$$

ويتراوح الطول الموجي للأشعة السينية المستخدمة في مجال دراسة التركيب البلوري بين 0.5 و 2.5 أنجستروم [17].

لحيود الأشعة السينية أهمية كبيرة في الكشف عن بنية البلورات، وقد اكتشف حيود الأشعة السينية في البلورات لاوي وزملاؤه في ميونخ سنة 1912 ثم طور هذه التقنية بعد ذلك براغ [52].

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

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad \dots\dots\dots(11)$$

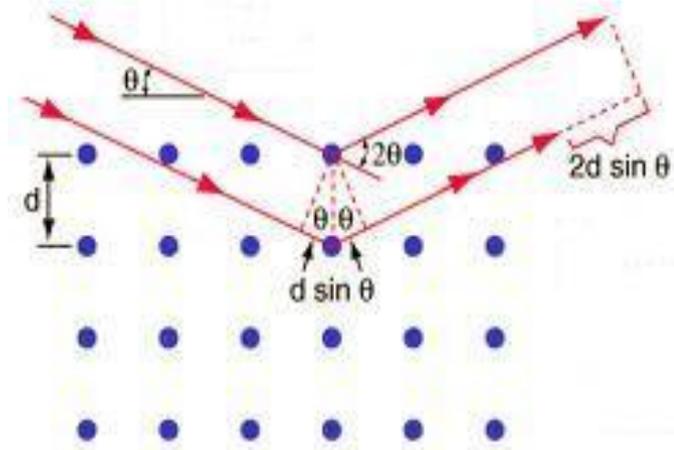
d البعد بين مستويين بلوريين

θ زاوية الانعكاس.

λ : طول موجة الإشعاع السيني (أنجستروم).

n : رتبة الانعكاس.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \quad \dots\dots\dots(12)$$



الشكل 21: مخطط يوضح انعراج 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، والأهداف 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 اجهادات داخلية للمعدن المدروس.

- بمعرفتنا لشدة النهايات العظمى لأي طيف نستطيع تحديد تركيز أو كثافة الأطوار المشكلة للمعدن.

- التغير في الشدة ΔI للنهايات العظمى يحدد النسيج البلوري للمعدن.

- معرفة ما إذا حدثت تشوهات على أطوار المعدن وتحديد الأبعاد الحبيبية يتضح من خلال أشكال أطياف الأشعة السينية [52].

انعكاس الأشعة السينية في الأجسام البلورية يمكننا من معرفة مكوناتها وبعض خصائصها والنتائج المتحصل عليها تعتمد على عدة عوامل منها نوعية الأجهزة المستعملة وكيفية معالجة النتائج [53]. وأيضا طريقة الانعراج.

توجد طريقتان أساسيتان في انعراج الأشعة السينية الأولى تعرف بطريقة دباي شرر ويتم فيها تسجيل الطيف على فلم حساس وهو عبارة عن شريط يوضع في غرفة تعرف بغرفة دباي، أما الطريقة الثانية فهي دقيقة في معلوماتها

ويتم التسجيل فيها باستعمال عداد حيث يوصل هذا الأخير بجهاز يقوم برسم مخطط الانعراج (شدة الخط بدلالة زاوية براغ) تسمح هذه التقنية بتأشير خطوط الانعراج الحادثة، ومعرفة الفاصلة (d_{hkl}) الموافقة للشدة (I) حيث ان (d_{hkl}) تحسب من قانون براغ.

استخدمنا في هذا العمل جهاز من نوع (SEIFERT XRD3003TT) في مخبر الإشعاع والبلازما وفيزياء السطوح LRPPS

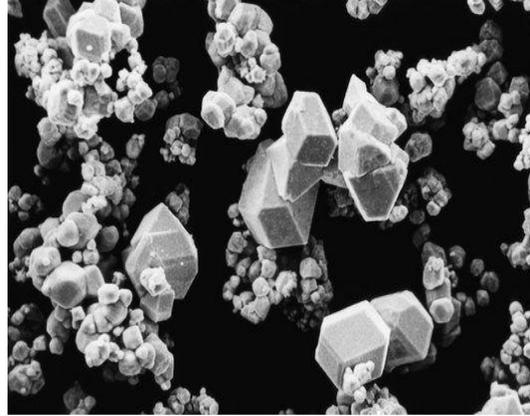


الشكل 22: جهاز إنعراج الأشعة السينية المستخدم

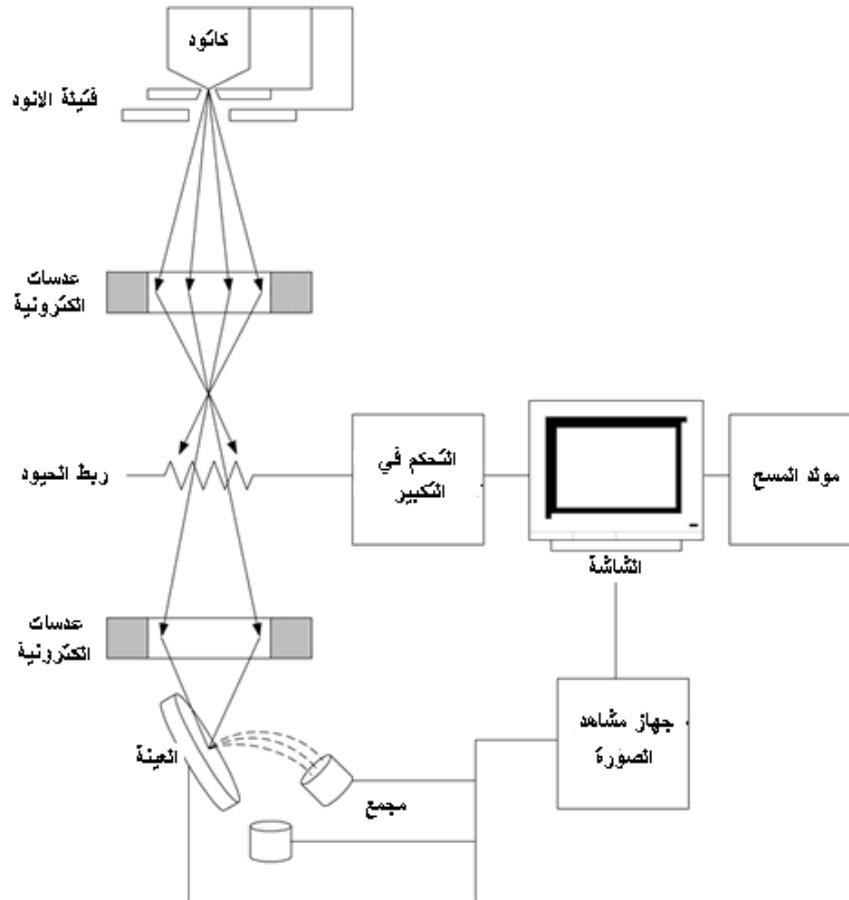
5.II المجهر الالكتروني الماسح :

يعتمد المجهر الالكتروني الماسح على انعكاس الالكترونات من سطح العينة، ويتم ذلك عن طريق تركيز إشعاع الالكترونات على سطح المادة المفحوصة، وتنعكس الأشعة من السطح مكونة الإشعاعات الثانوية التي تسطع على الشاشة الفلورية معطية صورة ذلك السطح ويوضح الشكل (24) رسم تخطيطي للمجهر الالكتروني الماسح.

ويستخدم المجهر الالكتروني الماسح لدراسة تفاصيل السطح الخارجي للمعدن أو المركب وإحدى هذه الصور موضحة في الشكل (23) أي أن المجهر الالكتروني الماسح يعتمد على انبعاث الالكترونات من سطح العينة (وهي ما تعرف باسم الالكترونات الثانوية الناتجة عن ارتطام الالكترونات الأولية بذلك السطح والالكترونات الثانوية هي التي تكون الصورة باستخدام نظام العدسات [54].

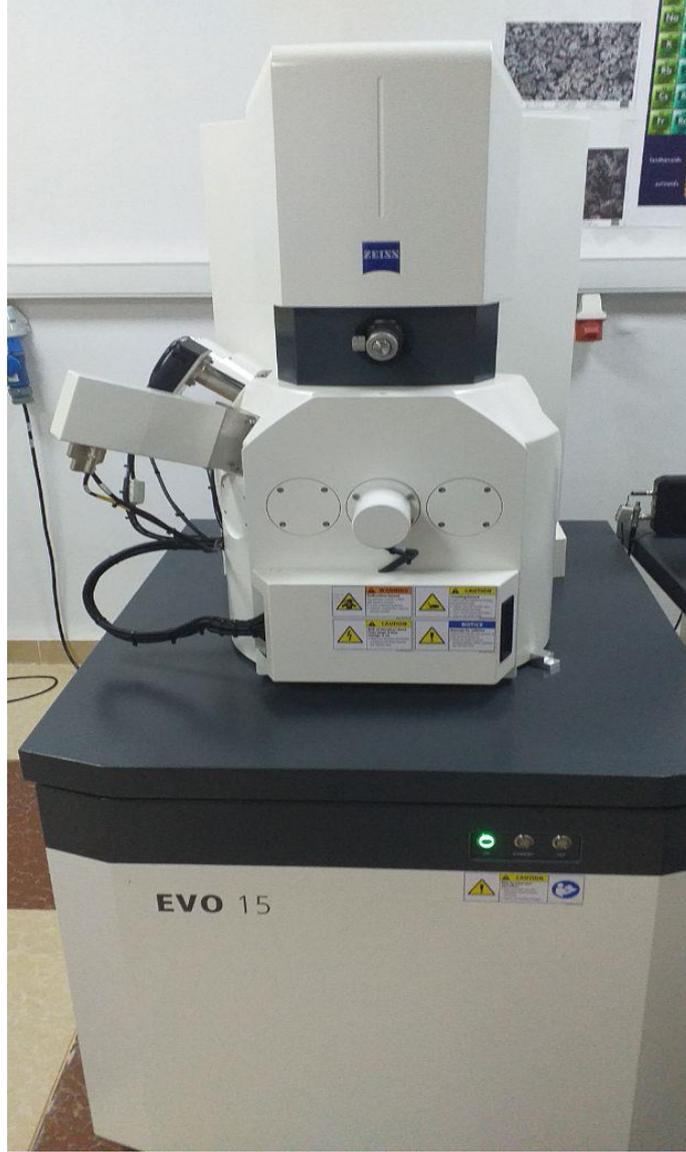


الشكل 23: صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لمسحوق التنغستن [54].



الشكل 24: رسم تخطيطي للمجهر الالكتروني الماسح [54].

استخدمنا في هذا العمل مجهر الكتروني من نوع (ZEISS-EVO 15) في مخبر الأرضية التقنية للتحاليل الفيزيائية و الكيمائية ورقلة CRAPC.



الشكل 25: المجهر الإلكتروني المستخدم

6.II اختبار الصلادة:

الصلادة هي إحدى الخصائص الميكانيكية للمادة، معرفتها مهمة جدا خاصة للمواد المستخدمة في صناعة القطع المعرضة للاحتكاك [55]. والصلادة هي مقاومة المواد للاختراق بمادة أخرى، ويمكن تعريفها أيضا بأنها مقاومة المادة للخدش أو التلثيم بتأثير ضربة أو حمولة مثبتة.

تقاس مقاومة الخدش وفق سلم موس وهو سلم وضعه فريدريك موس (1773-1839) والذي اختار عشرة معادن كنقاط مرجعية بدءا من الماس الذي صلادته 1 إلى الماس الذي صلادته 10 ويستخدم حاليا سلم موس المعدل مضافا إليه 9 معادن أخرى كنقاط مرجعية، وتقاس مقاومة التلثيم وفق سلم برينل وروكويل وفيكرز وغيرها [56].

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 (26) [57].

ويقدر رقم الصلادة كالاتي:

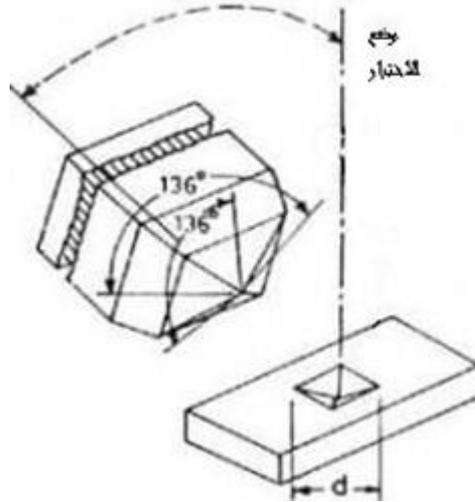
$$VHN = \frac{2p \sin \frac{\alpha}{2}}{d} \dots \dots \dots (13)$$

VHN: رقم فيكرز للصلادة.

d: قطر الأثر.

p: الحمولة المؤثرة بالكيلوغرام.

α: الزاوية ما بين كل وجهين متقابلين من المخترق الماسي [56].



الشكل 26: تخطيط توضيحي للهرم الماسي المستخدم في اختبار فيكرز للصلادة [56].



الشكل 27: جهاز قياس صلادة فيكرز المستخدم

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

III. النتائج والمناقشة

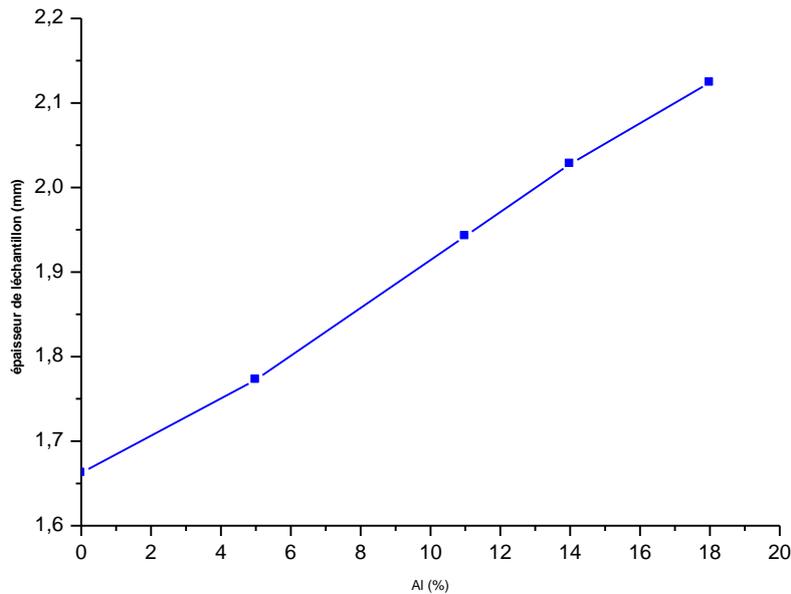
1.III. تغيرات سمك العينات مع نسبة الألمنيوم:

في تلييد العينات استخدمنا كتل 3 غ من المساحيق مختلفة التراكيز بحسب كل عينة وضغطاً ثابتاً لكل العينات مقدر بـ 12.5 ميغا باسكال لمدة 5 دقائق بـ قالب واحد، فكانت النتيجة عينات متساوية الأقطار مختلفة السمك.

الجدول 6: تغيرات سمك العينات بتغير نسبة الألمنيوم

| السلسلة (Al%) | 0 | 5 | 11 | 14 | 18 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| السمك (مم) | 1.6625 | 1.7725 | 1.9425 | 2.0280 | 2.1240 |

يبين الشكل (28) تغيرات السمك للعينات بتغير نسبة الألمنيوم، نلاحظ من خلال المنحنى أن التغير خطي حيث يزداد سمك العينات بزيادة نسبة الألمنيوم الداخلة في تركيب العينة، هذه الزيادة سببها الزيادة في حجم المسحوق بزيادة نسبة الألمنيوم لأن كثافته أقل من كثافة النحاس.



الشكل 28: تغيرات سمك العينات بتغير نسبة الألمنيوم

III.2 الكتلة الحجمية النظرية:

الكثافة هي واحدة من المقادير الفيزيائية الأساسية للمادة. وتمثل نسبة الكتلة الى الحجم، حيث تحسب بطريقة غير مباشرة بوزن كتلة العينة وحساب حجمها بإحدى الطريقتين:

1. قياس أبعاد العينة في حال كانت منتظمة.

2. باستعمال طريقة أرخميدس، حيث تغمر العينة في الماء وحجم العينة هو حجم الماء المزاح.

المساحيق ليست مادة صلبة منتظمة الشكل ويصعب تحديد كثافتها بطريقة أرخميدس، لهذا استخدمنا الكتلة الحجمية النظرية.

لحساب الكتلة الحجمية النظرية استعملنا العلاقة التالية:

$$\rho_{th} = X_{Cu}\rho_{Cu} + X_{Al}\rho_{Al} \dots\dots\dots (14)$$

حيث:

ρ_{th} : الكتلة الحجمية النظرية. ρ_{Cu} : الكتلة الحجمية النظرية للنحاس (8.95 غ/سم³).

X_{Cu} : نسبة النحاس. ρ_{Al} : الكتلة الحجمية النظرية للألمنيوم (2.7 غ/سم³).

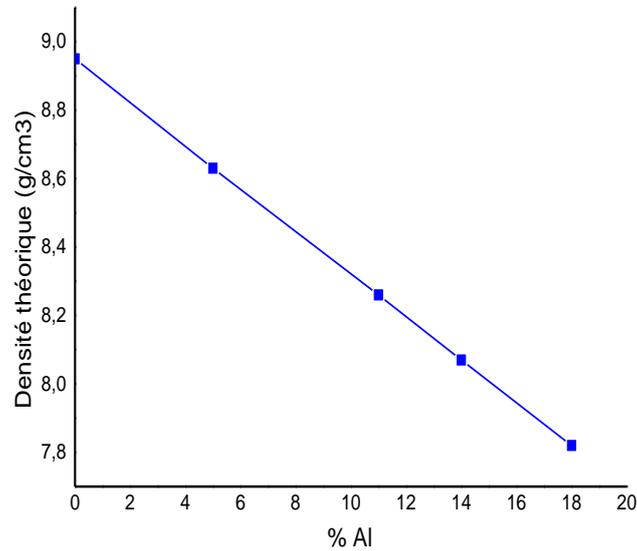
X_{Al} : نسبة الألمنيوم.

الكتلة الحجمية النظرية لسلاسل العينات حسب تركيز الألمنيوم موضحة في الجدول (7)

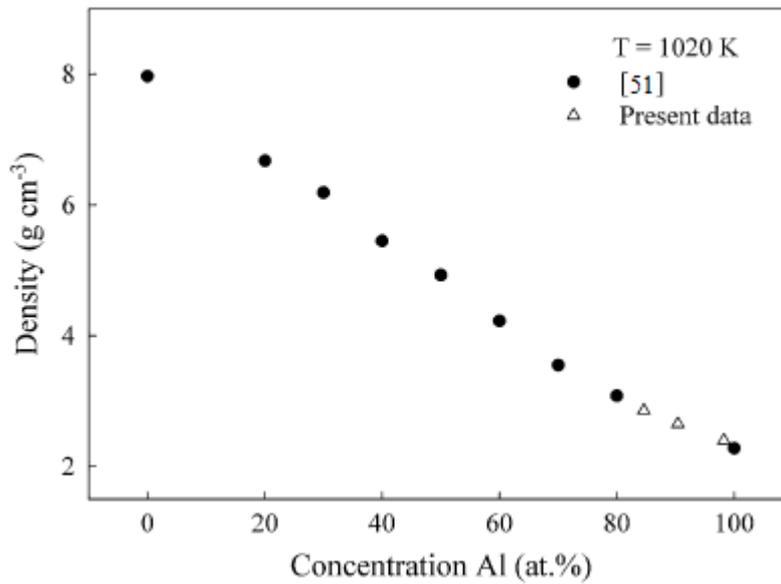
جدول 7: الكتلة الحجمية النظرية لسلاسل العينات

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|---|
| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (% ألمنيوم) |
| 7.82 | 8.07 | 8.26 | 8.63 | 8.95 | الكتلة الحجمية النظرية (غ/سم ³) |

واضح أن الكتلة الحجمية النظرية للسلاسل تتناقص بزيادة نسبة الألمنيوم، وهذا راجع لأن كثافة الألمنيوم أقل منها للنحاس.



الشكل 29: تغيرات الكتلة الحجمية النظرية للسلاسل مع نسبة الألمنيوم



الشكل 30: كثافة سبائك Cu-Al مقابل تركيز الألمنيوم [58].

3.III الكتلة الحجمية للعينات بعد الكبس (بدون معالجة):

حسبنا الكتلة الحجمية للعينات قبل معالجتها حرارياً، باستعمال قيمة كتلة المسحوق (3 غ لكل العينات)، وسمك العينة المقروء من جهاز الكبس، مع قطر العينات الذي هو قطر أسطوانة الكبس المقدر بـ 2 سم.

$$\rho_e = \frac{0.955}{h} \dots\dots\dots (15)$$

حيث:

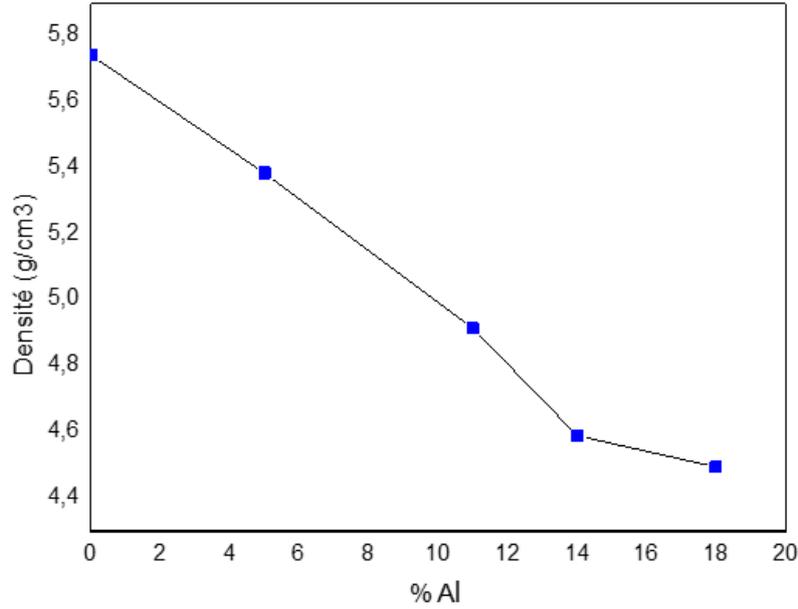
ρ_e : الكتلة الحجمية للعينات بعد الكبس مباشرة بالغمم على السنتيمتر مكعب.

h : سمك العينة بعد الكبس بالسنتيمتر.

جدول 8: الكتلة الحجمية للعينات غير المعالجة حرارياً

| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (Al%) |
| 4.496 | 4.591 | 4.916 | 5.387 | 5.744 | الكتلة الحجمية (غ/سم ³) |

المتغير الوحيد المؤثر على تغيرات الكتلة الحجمية للعينات بدون معالجة حرارية هو نسبة الألمنيوم، بالتالي فإن التغيرات هنا مشاهدة لتغيرات الكتلة الحجمية النظرية بتغير نسبة الألمنيوم.



الشكل 31: تغيرات الكتلة الحجمية للعينات غير المعالجة مع نسبة الألمنيوم



الشكل 32: توضيح سمك العينة

III.4 كثافة العينات المعالجة حرارياً:

بعد المعالجة الحرارية للعينات تم قياس الكتلة الحجمية لكل عينة، بقسمة كتلة العينة على حجمها، حيث قيست الكتلة باستعمال ميزان حساس، أما الحجم فحسب باستعمال أبعاد كل عينة، باعتبار كل عينة أسطوانة قطرها R وسمكها H, قيس سمك وقطر كل عينة بدقة باستعمال القدم القنوية.

$$\rho_{ex} = \frac{m}{H\pi R^2} \dots\dots\dots (16)$$

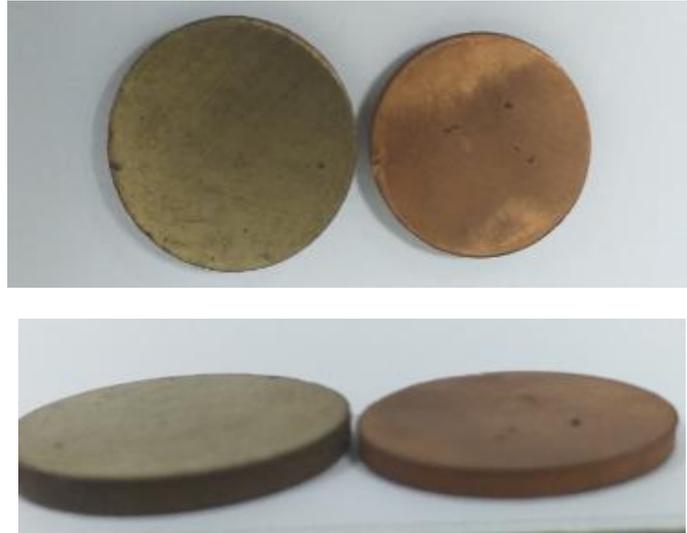
حيث:

ρ_{ex} : الكتلة الحجمية المحسوبة للعينة بعد المعالجة الحرارية.

m : كتلة العينة بعد المعالجة الحرارية.

H : سمك العينة بعد المعالجة الحرارية.

R : نصف قطر العينة بعد المعالجة الحرارية.



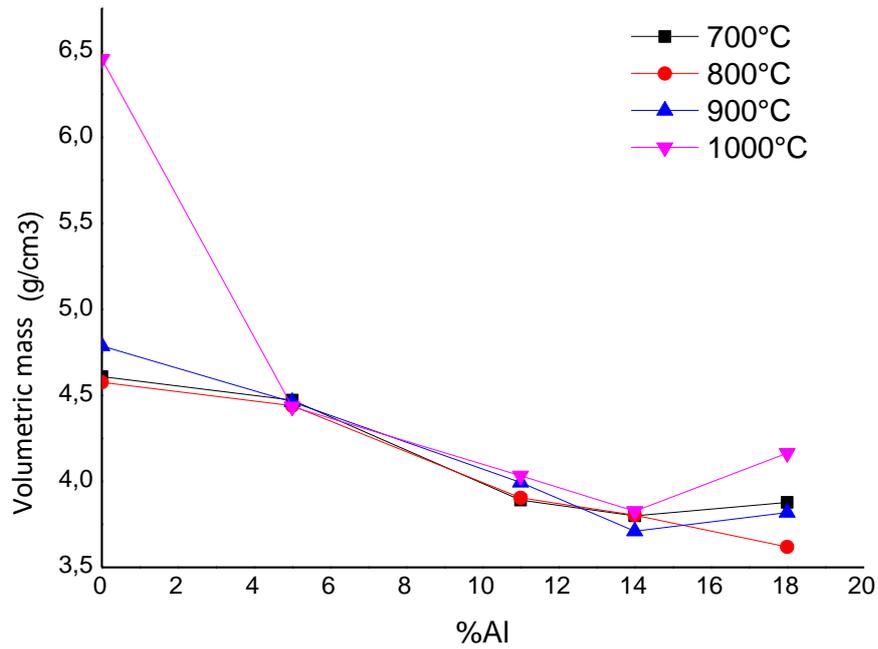
الشكل 33: تغيرات سمك وقطر العينة 0% مع تغير درجة الحرارة

جدول 9: الكتلة الحجمية للعينات المعالجة حراريا

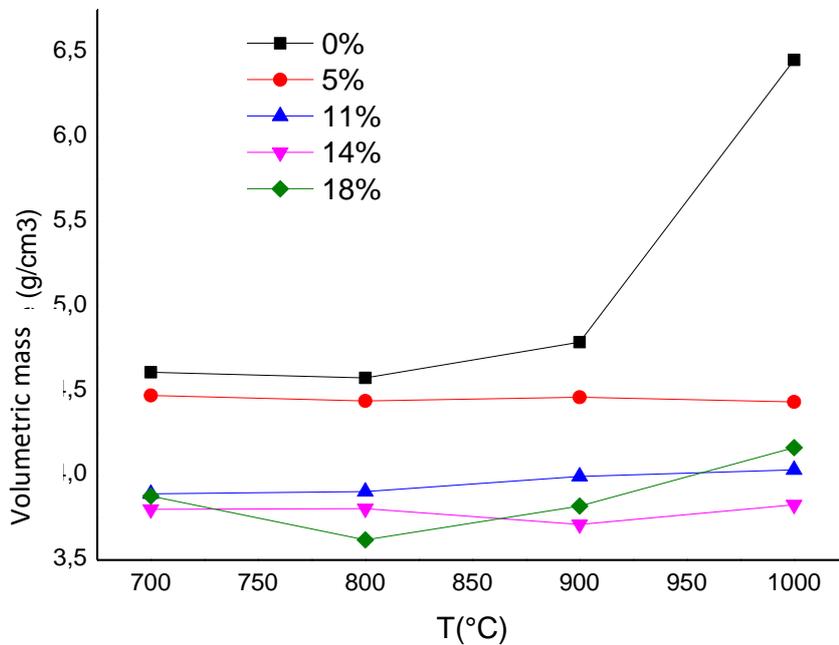
| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (% ألنيوم) |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 3.878 | 3.800 | 3.891 | 4.472 | 4.609 | ك.ح. للسلسلة 700°م (غ/سم ³) |
| 3.619 | 3.803 | 3.904 | 4.440 | 4.576 | ك.ح. للسلسلة 800°م (غ/سم ³) |
| 3.819 | 3.710 | 3.994 | 4.462 | 4.787 | ك.ح. للسلسلة 900°م (غ/سم ³) |
| 4.164 | 3.826 | 4.033 | 4.434 | 6.454 | ك.ح. للسلسلة 1000°م (غ/سم ³) |

ك.ح.: الكتلة الحجمية

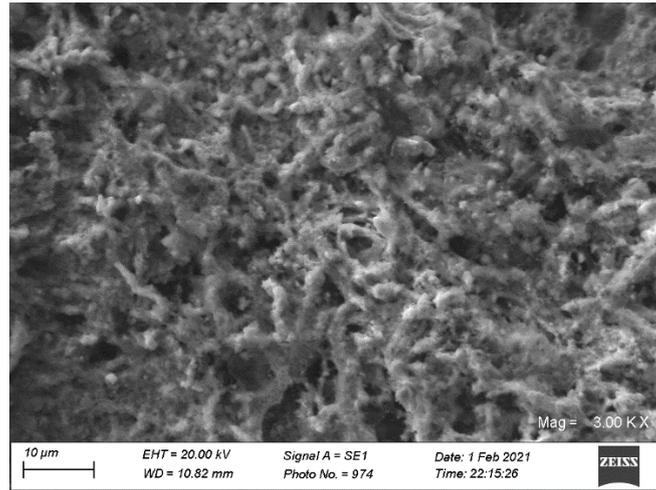
من الشكل (34) الذي يوضح تغيرات الكتلة الحجمية مع تغير نسبة الألمنيوم، والشكل (35) الذي يوضح تغيرات الكتلة الحجمية مع تغير درجة الحرارة للتلدين يتبين أن الكتلة الحجمية للعينات عموماً تتغير نزولاً من حوالي 4.7 غ/سم³ إلى 3.8 غ/سم³ بزيادة نسبة الألمنيوم. و هناك استثناء للعينات بنسبة الألمنيوم 18%، حيث تزداد عموماً الكتلة الحجمية مقارنة بكثافة العينات ذات نسبة الألمنيوم 14%، و هذا راجع إلى مسامية السلسلتين 18% و 14%، حيث مسامية السلسلة 14% عموماً أكبر من مسامية السلسلة 18% لأنه كلما كانت البنية أكثر مسامية كانت أقل كثافة، الشكل (37) يمثل صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينة 14% ألمنيوم المعالجة عند 1000°م، والشكل (36) يمثل صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينة 18% ألمنيوم المعالجة عند 1000°م، بالمقارنة بين الشكلان يتضح أن العينة 14% مساميتها أكبر من العينة 18%، هذا ينطبق أيضاً على العينة 0% ألمنيوم المعالجة عند 1000°م حيث تظهر كثافة أكبر و الصور بالمجهر الإلكتروني الشكل (38) تبين أنها الأقل مسامية.



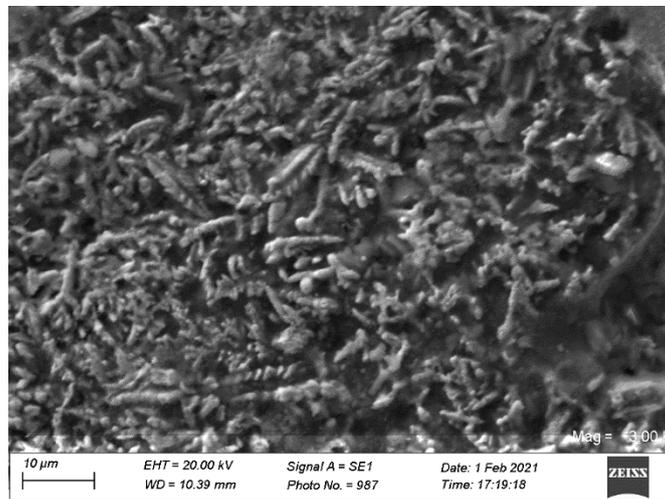
الشكل 34: تغير الكتلة الحجمية مع نسبة الألمنيوم للعينات المعالجة



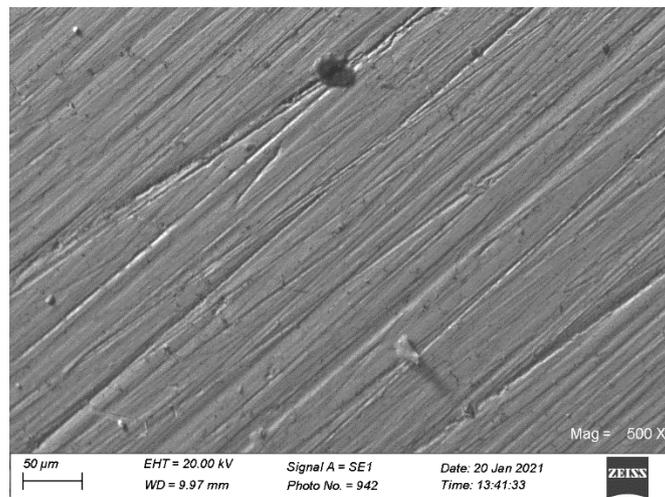
الشكل 35: تغيرات الكتلة الحجمية مع تغير درجة حرارة التلدين



الشكل 36: صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينة 18% ألومنيوم معالجة عند 1000°م



الشكل 37: صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينة 14% ألومنيوم المعالجة عند 1000°م



الشكل 38: صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للعينة 0% ألومنيوم المعالجة عند 1000°م

5.III نسبة التلييد:

قمنا بحساب نسبة التلييد بقسمة قيمة الكتلة الحجمية المقاسة على القيمة النظرية حسب العلاقة التالية:

$$p = \frac{\rho_{\text{exp}}}{\rho_{\text{th}}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (17)$$

حيث:

p : نسبة التلييد.

ρ_{exp} : الكتلة الحجمية المقاسة.

ρ_{th} : الكتلة الحجمية النظرية

من الشكل (39) الذي يوضح تغيرات نسبة التلييد مع تغير نسبة الألمنيوم، يتبين عموماً أن نسبة التلييد للعينات غير المعالجة حرارياً أعلى من نظيراتها المعالجة حرارياً، وهذا على عكس العلاقة التي تربط درجة حرارة التلييد والكثافة (بالتالي نسبة التلييد) حيث العلاقة بينهما طردية، إذ تزداد الكتلة الحجمية مع زيادة درجة حرارة التلييد بسبب نقصان المسامات [59] [60]، وهذا في حال التلييد يتزامن فيه الكبس والتسخين. بالعودة للعلاقة (16) نفسر ذلك بزيادة الحجم للعينات المعالجة (مع ثبات كتلة العينات) وهذه الزيادة ناتجة عن زيادة أبعاد العينات المعالجة بسبب التمدد، حيث يظهر الشكل (39) أن توضع المنحنيات بحسب درجة حرارة التلييد من الأعلى إلى الأسفل يكون 1000, 900, 800 و 700°م مع تقارب بين منحنبي 800 و 700°م، هذا نتيجة العلاقة الطردية بين التمدد ودرجة الحرارة، هذا ما يثبته مخطط التمدد الحراري لعينات نحاس ملبدة ذات 0, 5, 15% ألمنيوم (الشكل(41)).

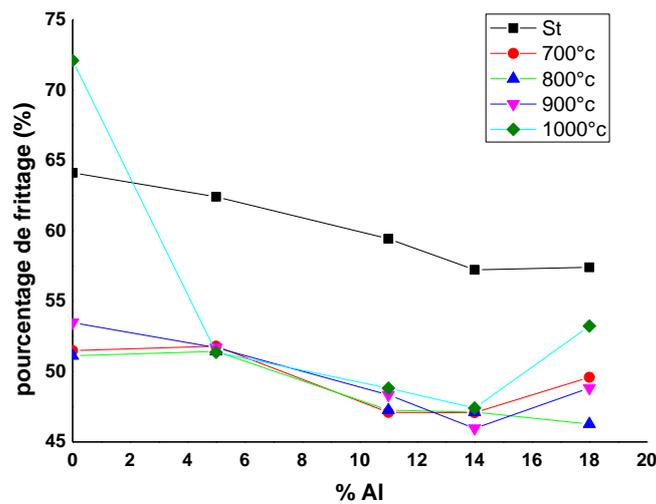
العينة 0% ألمنيوم المعالجة عند 1000°م سجلت أعلى نسبة تلييد 72.11% وهي الوحيدة التي وصلت إلى المرحلة الوسيطة من التلييد، يعود ذلك إلى التقصص في أبعاد هذه العينة (الخط 1 من الشكل (41)) أما العينات الأخرى فلم تتعدى 64,13% وبالتالي تبقى كل هذه العينات في المرحلة الأولية للتلييد.

عموما المنحنيات في الشكل (39) الذي يمثل تغيرات نسبة التلييد مع تغير نسبة الألمنيوم ذات ميل سالب، هذا يعني أنه كلما زادت نسبة الألمنيوم نقصت نسبة التلييد، بسبب نقص الكتلة الحجمية نتيجة لزيادة الحجم بزيادة نسبة الألمنيوم وهذا ما يبينه أيضا مخطط التمدد الحراري.

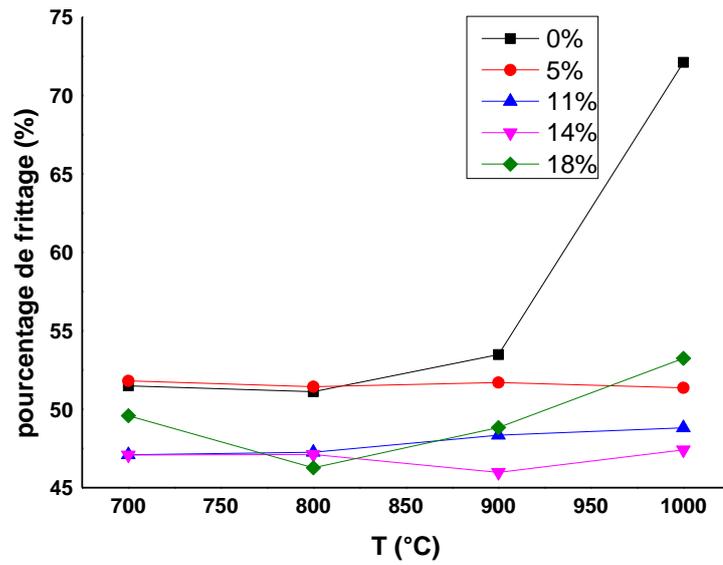
يظهر الشكل (40) الذي يمثل تغيرات نسبة التلييد بتغير درجة حرارة المعالجة أن الخط 18% أعلى من 11 و14%.

جدول 10: نسبة التلييد للعينات

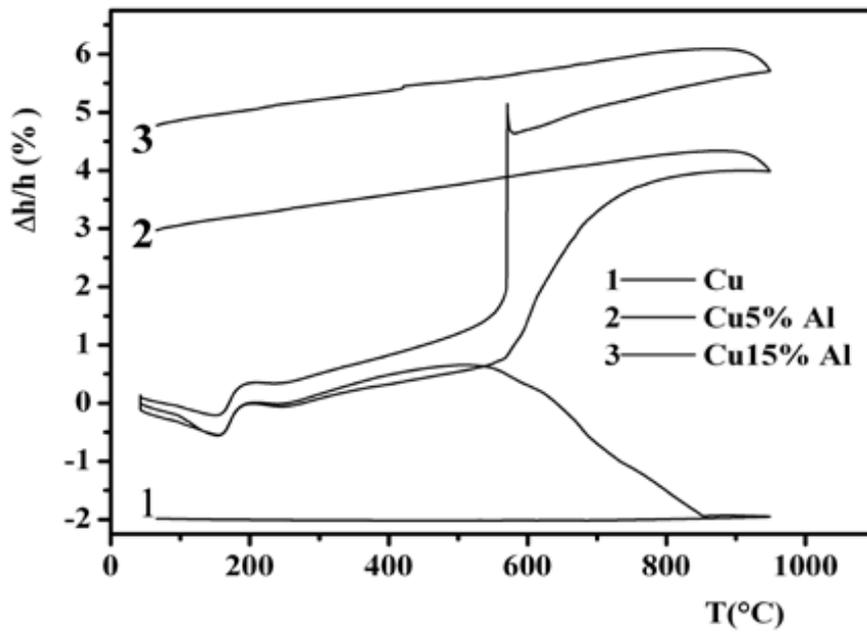
| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (% ألمنيوم) |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 57.41 | 57.23 | 59.44 | 62.42 | 64,13 | نسبة التلييد للعينات غير المعالجة حراريا (%) |
| 49.59 | 47.08 | 47.10 | 51.81 | 51.49 | نسبة التلييد لعينات السلسلة 700°م (%) |
| 46.27 | 47.12 | 47.26 | 51.44 | 51.12 | نسبة التلييد لعينات السلسلة 800°م (%) |
| 48.83 | 45.97 | 48.35 | 51.70 | 53,48 | نسبة التلييد لعينات السلسلة 900°م (%) |
| 53.24 | 47.41 | 48.82 | 51.37 | 72.11 | نسبة التلييد لعينات السلسلة 1000°م (%) |



الشكل 39: تغيرات نسبة التلييد مع نسبة الألمنيوم



الشكل 40: تغيرات نسبة التلييد بتغير درجة حرارة المعالجة



الشكل 41: مخطط التمدد الحراري للنحاس النقي و عينات ذات 5% ألنيوم و 15% ألنيوم [61].

III.6 المسامية الحقيقية:

هي نسبة حجم المسامات الكلي (مفتوحة ومغلقة) إلى الحجم الكلي للجسم.

حسبنا المسامية الحقيقية للعينات باستعمال العلاقة (18)، الكتلة الحجمية النظرية للعينات المعالجة، الظاهرة بالجدول (7)، والكتلة الحجمية المقاسة التي يظهرها الجدول (9) وباستعمال العلاقة التالية العلاقة:

$$P_r = \frac{\rho_{th} - \rho_p}{\rho_{th}} \times 100 \quad \dots \dots \dots (18)$$

حيث:

P_r : المسامية الحقيقية (%).

ρ_{th} : الكتلة الحجمية النظرية (غ/سم³).

ρ_p : الكتلة الحجمية المقاسة (غ/سم³).

النتائج موضحة في الجدول (11).

من العلاقتين (17) و(18) واضح أن المسامية ونسبة التليد متممتين لبعضهما (العلاقة (19))، فكلما قيل بالنسبة لنسبة التليد ينعكس بالنسبة للمسامية، لهذا فإن:

العلاقة بين درجة حرارة التليد والمسامية عكسية فكلما زادت درجة الحرارة قلت المسامية [62].

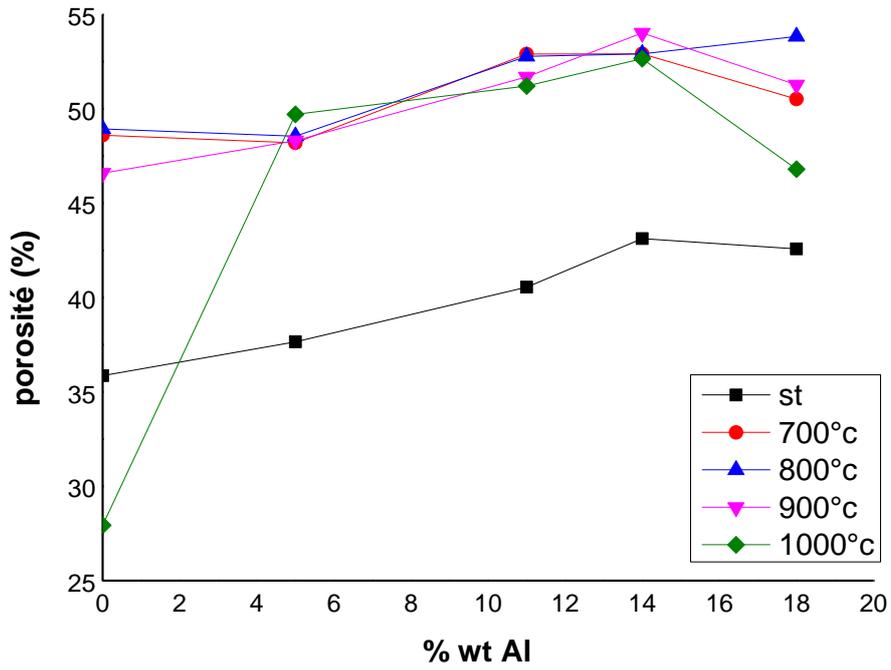
العينة 0% ألمنيوم المعالجة عند 1000م سجلت أقل نسبة مسامية 27.93%، أما العينات الأخرى فتراوحت مساميتها بين 35.86 و54.02%.

المنحنيات في الشكل (42) تبين أنه كلما زادت نسبة الألمنيوم كلما زادت المسامية لأن زيادة نسبة الألمنيوم تزيد من نسبة الحبيبات الكبيرة إلى الصغيرة حيث أن متوسط الأقطار للألمنيوم هو 60 ميكرومتر، بينما متوسط أقطار الحبيبات للنحاس هو 33 ميكرومتر، وزيادة نسبة الحبيبات الكبيرة الى الحبيبات الصغيرة تؤدي إلى زيادة المسامية.

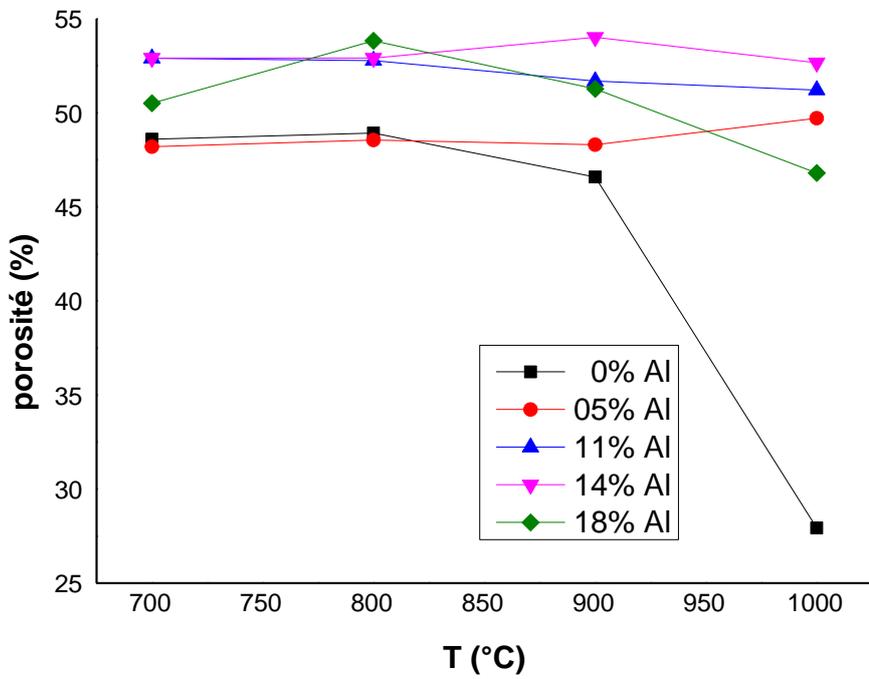
$$P_r = 1 - P \dots\dots\dots (19)$$

جدول 11: المسامية الحقيقية للعينات

| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (% ألنيوم) |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 42.58 | 43.12 | 40.55 | 37.65 | 35.86 | المسامية للعينات غير المعالجة حراريا (%) |
| 50.51 | 52.91 | 52.90 | 48.20 | 48,60 | المسامية لعينات السلسلة 700°م (%) |
| 53.83 | 52.91 | 52.78 | 48.55 | 48.93 | المسامية لعينات السلسلة 800°م (%) |
| 51.27 | 54.02 | 51.69 | 48.31 | 46.59 | المسامية لعينات السلسلة 900°م (%) |
| 46.80 | 52.66 | 51.21 | 49.71 | 27.93 | المسامية لعينات السلسلة 1000°م (%) |



الشكل 42: تغيرات المسامية مع نسبة الألمنيوم



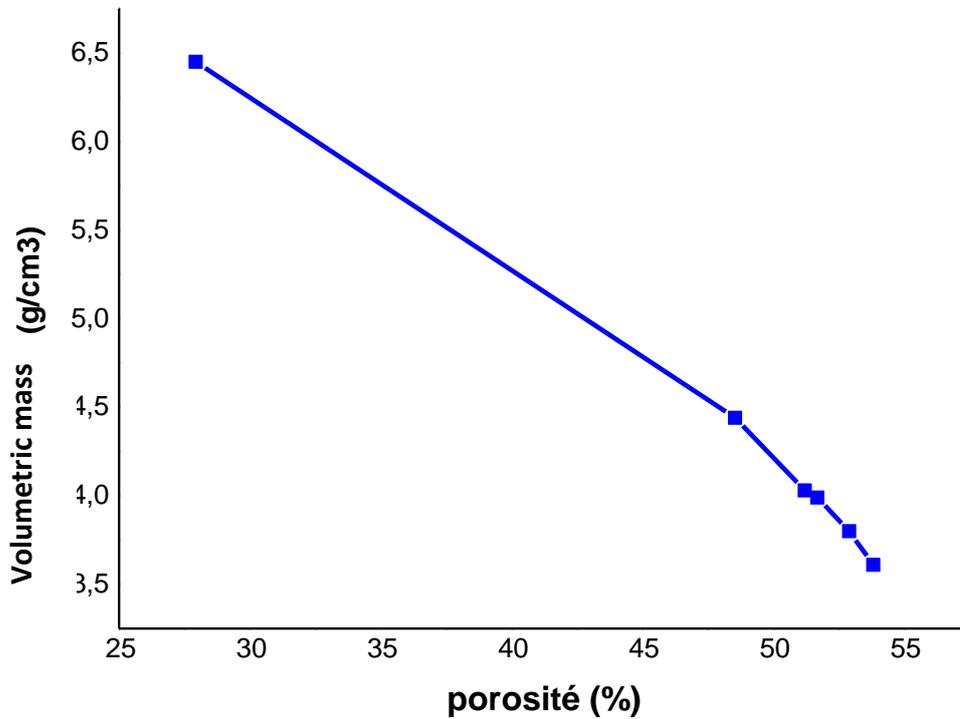
الشكل 43: تغيرات المسامية بتغير درجة حرارة المعالجة

7.III تغيرات الكتلة الحجمية مع مسامية العينات :

الشكل (44) يمثل تغيرات الكتلة الحجمية مع تغير المسامية، ويظهر أنه كلما زادت المسامية كلما قلت الكتلة الحجمية، وهذا آت من العلاقة (14) والتي تظهر بها الكتلة الحجمية بإشارة سالبة والكتلة الحجمية تقل بزيادة الحجم، والحجم يزداد مع التمدد، وفي دراسة سابقة وجد أن المسامية تزداد بزيادة التمدد [63].

جدول 12: تغيرات الكتلة الحجمية مع مسامية العينات

| المسامية (%) | 3.61 | 3.80 | 3.99 | 4.03 | 4.16 | 4.44 | 4.60 | 6.45 | الكتلة الحجمية (غ/سم ³) |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------------------------------------|
| 27.93 | 48.60 | 48.55 | 46.80 | 51.21 | 51.69 | 52.91 | 53.83 | | |



الشكل 44: تغيرات الكتلة الحجمية مع تغيرات المسامية

8.III إنعراج الأشعة السينية DRX :**1.8.III إنعراج الأشعة السينية للمسحوقين :**

للتأكد من نقاوة مسحوقي النحاس والألمنيوم قمنا بمعاينة كل منهما باستعمال إنعراج الأشعة السينية حيث يمثل الشكلان (46) و(47) مخططي إنعراج الأشعة السينية لمسحوقي النحاس والألومنيوم على التوالي المستخدمة في تحضير العينات. يظهر الشكل (46) بوضوح الأطياف النحاسية فقط، ويظهر الشكل (47) أطيايف الألمنيوم فقط، وهذا يؤكد نقاء كلا من المسحوقين.

2.8.III إنعراج الأشعة السينية للعينات 11% و 14% و 18% ألمنيوم غير المعالجة حراريا :

الشكل (45) يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 11% و 14% و 18% غير المعالجة حراريا.

تظهر هذه المخططات نهايات عظمية منعرجة عن النحاس، ونهايات عظمية منعرجة عن الألمنيوم، حيث تتزايد شدة النهايات المنعرجة عن الألمنيوم مع تناقص شدة النهايات المنعرجة عن النحاس بتزايد نسبة الألمنيوم، وهذا يدل على فعالية عملية الخلط.

3.8.III إنعراج الأشعة السينية للعينات 5% ألمنيوم :

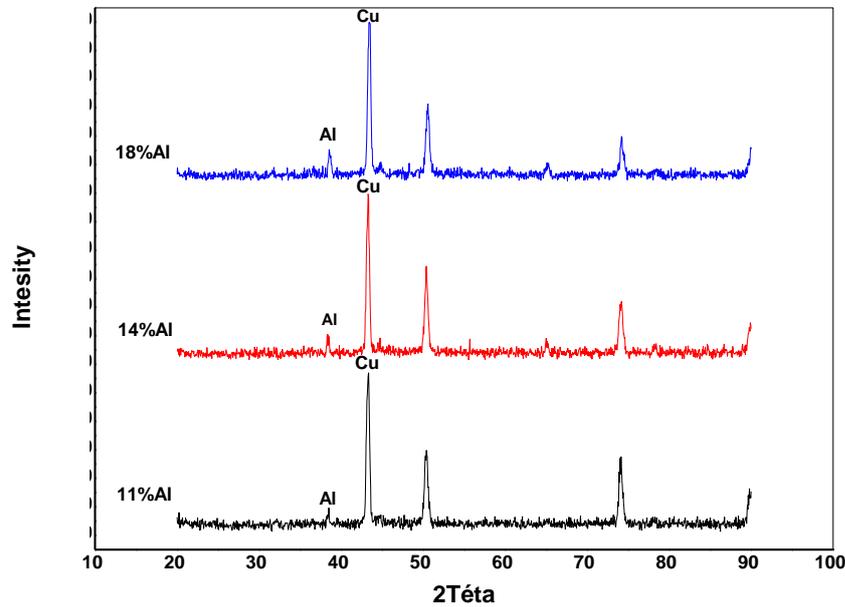
الشكل (48) يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 5%، معالجة عند درجات حرارة 700 و 800 و 900 و 1000°م.

يتضح من مخطط إنعراج الأشعة السينية للعيينة 5% ألمنيوم المعالجة عند درجة حرارة 700 مئوية ظهور نهايات عظمية منعرجة عن النحاس Cu، ونهايات عظمية منعرجة عن الطور α ، التي تكون أقل شدة من النهايات العظمية المنعرجة عن Cu، والشكل (53) هو صورة بالمجهر الإلكتروني للعيينة 5% المعالجة عند 700°م، حيث يظهر الطور α فاتح و Cu غامق والأسود تجمع لمسامات.

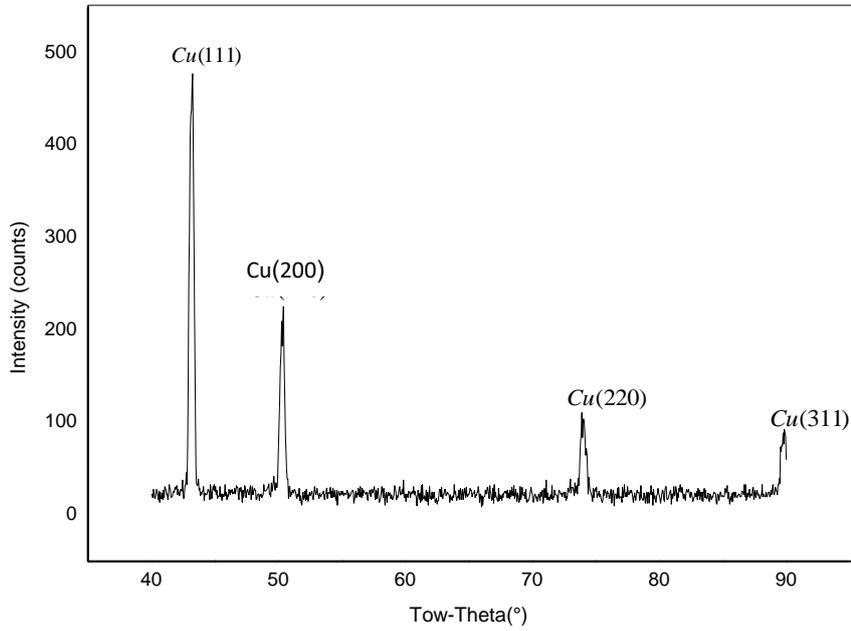
عند مقارنة مخطط إنعراج الأشعة السينية للعيينة 5% ألمنيوم المعالجة عند درجة حرارة 800 مئوية، بمثيله للعيينة المعالجة عند 700 درجة مئوية، يتضح تناقص شدة النهايات العظمية المنعرجة عن Cu، وزيادة النهايات العظمية المنعرجة عن الطور α .

مخططي إنعراج الأشعة السينية للعينة 5% ألنيوم المعالجة عند درجة حرارة 900 مئوية، وللعينة 5% ألنيوم المعالجة عند درجة حرارة 1000 مئوية يظهران نهايات عظمى منعرجة عن الطور α ، دون نهايات عظمى منعرجة عن Cu.

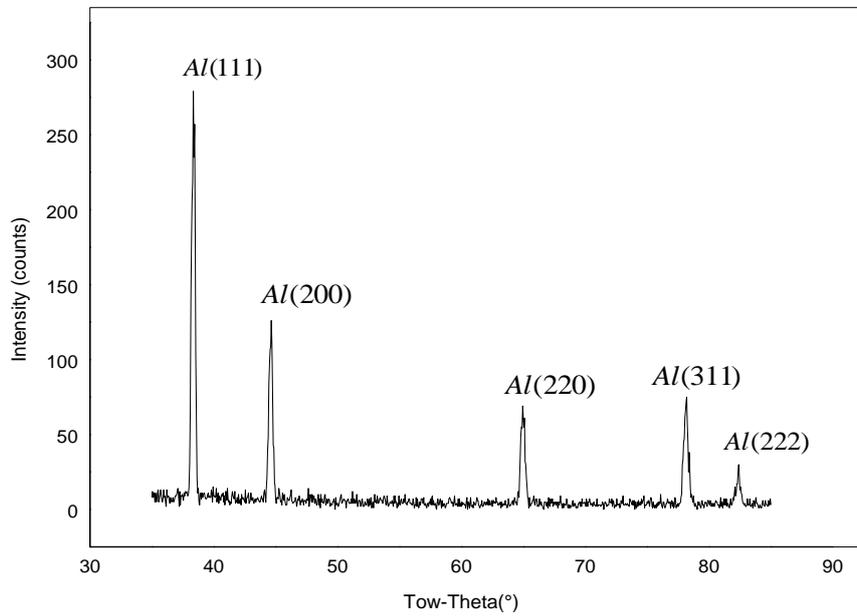
المقارنة بين المخططات الأربعة تبين أن الطور α يتشكل بفعل درجة الحرارة، ويزداد بزيادتها إلى غاية 900°م حيث يتم ذلك بانتشار ذرات الألنيوم في شبكة النحاس بفعل درجة الحرارة، يزداد الانتشار بزيادة درجة الحرارة إلى غاية التشبع بجوار 900°م



الشكل 45: يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألنيوم 11% و14% و18% غير المعالجة



الشكل 46: مخطط إنعراج الأشعة السينية لمسحوق النحاس



الشكل 47: مخطط إنعراج الأشعة السينية لمسحوق الألمنيوم

III.4.8 إنعراج الأشعة السينية للعينات 11% ألنيوم :

الشكل (49) يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألنيوم 11%، معالجة عند درجات حرارة 700 و 800 و 900 و 1000°م.

اللافت للانتباه في هذه المخططات هو تشابهها، حيث تظهر نهايات عظمى منعرجة عن الطور α ، وبداية الظهور للخط الأعظمي للطور γ_2 ، هذا التشابه سببه عدم ظهور تأثير لدرجة الحرارة، على عكس الملاحظ في مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألنيوم 5%، تفسير ذلك أنه عندما يكون تركيز الألنيوم صغيراً فإنه يحتاج درجة حرارة أكبر ليتم التشبع، هذا ما حدث في العينات ذات 5% ألنيوم، حيث يزداد الطور α بانتشار الألنيوم بزيادة درجة الحرارة من 700 إلى 800 مئوية إلى غاية التشبع كما يظهر مخطط إنعراج الأشعة السينية للعيينة 5% ألنيوم المعالجة عند 900°م، أما عندما يكون التركيز كبيراً فإن درجة الحرارة 700 مئوية كافية للتشبع.

ظهور الطور γ_2 يتوافق مع ما يبينه مخطط الأطوار نحاس-ألنيوم حيث يظهر أنه يبدأ عند حوالي التركيز 9.4% ألنيوم.

III.5.8 إنعراج الأشعة السينية للعينات 14% ألنيوم :

الشكل (50) يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألنيوم 14%، معالجة عند درجات حرارة 700 و 800 و 900 و 1000°م.

تظهر هذه المخططات نهايات عظمى للطور γ_2 ، ونهايات عظمى منعرجة عن الطور α ، وهي أقل شدة من النهايات العظمى المنعرجة عن للطور γ_2 .

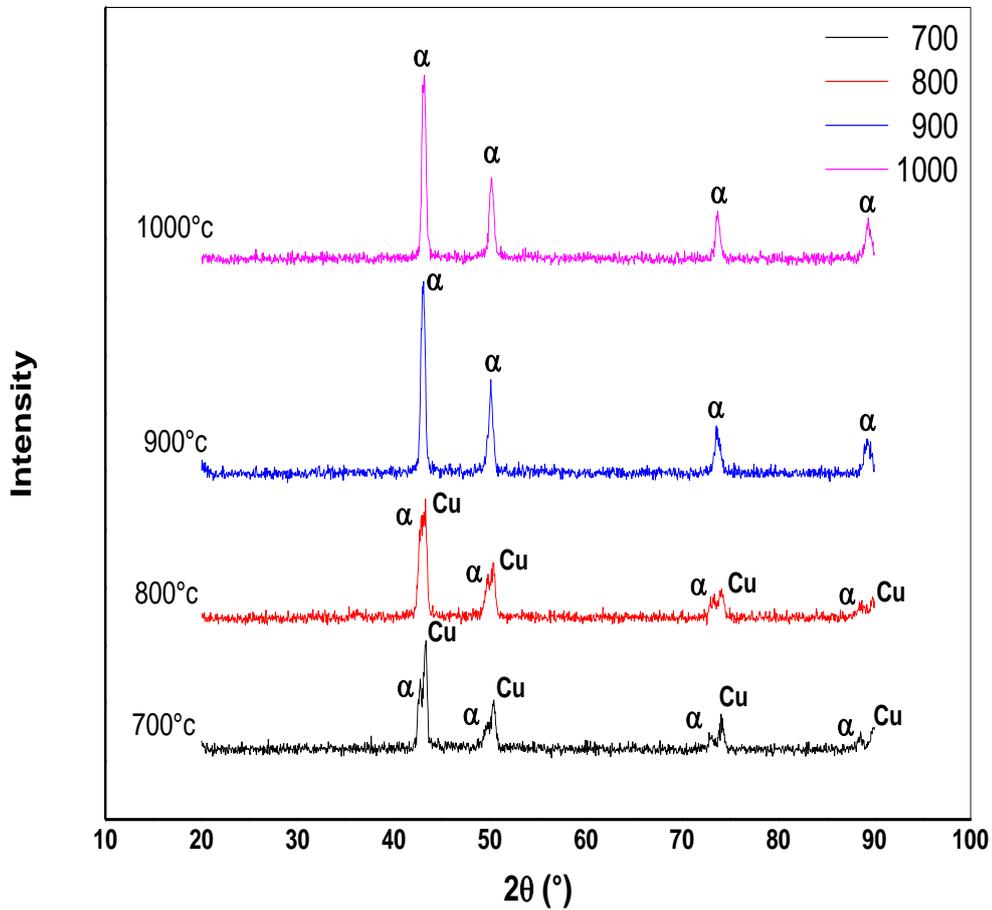
III.6.8 إنعراج الأشعة السينية للعينات 18% ألنيوم :

الشكل (51) يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألنيوم 18%، معالجة عند درجات حرارة 700 و 800 و 900 و 1000°م.

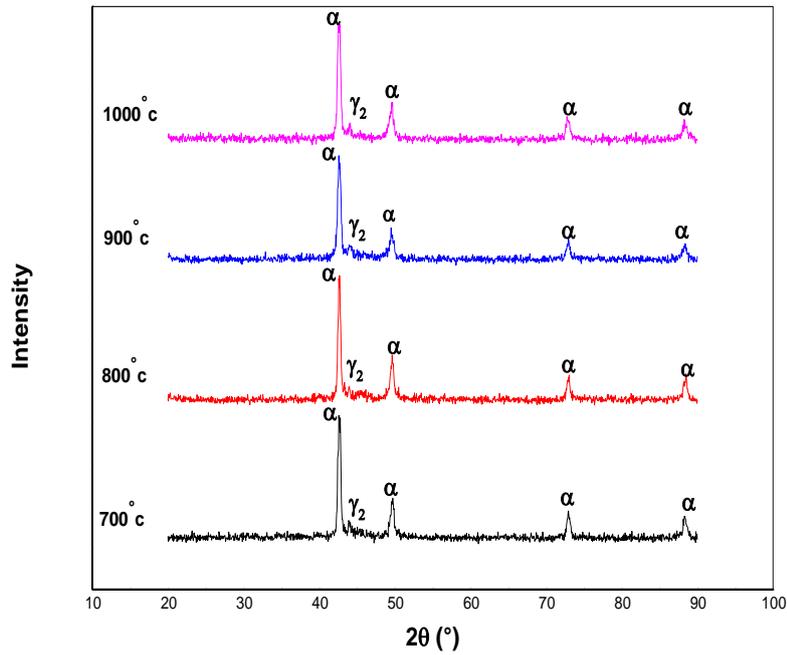
كل هذه المخططات تظهر نهايات عظمى للطور γ_2 ، هذا الطور ناتج من تحول الطور α ، حيث يبدأ عند حوالي التركيز 9.4% ألنيوم تحت خط درجة الحرارة 565°م كما يبين منحنى الأطوار نحاس-ألنيوم (الشكل (11))،

يزداد على حساب الطور α بزيادة تركيز الألمنيوم إلى غاية حوالي 16% وهو التركيز الذي يتحول عنده كل الطور α إلى الطور γ_2 .

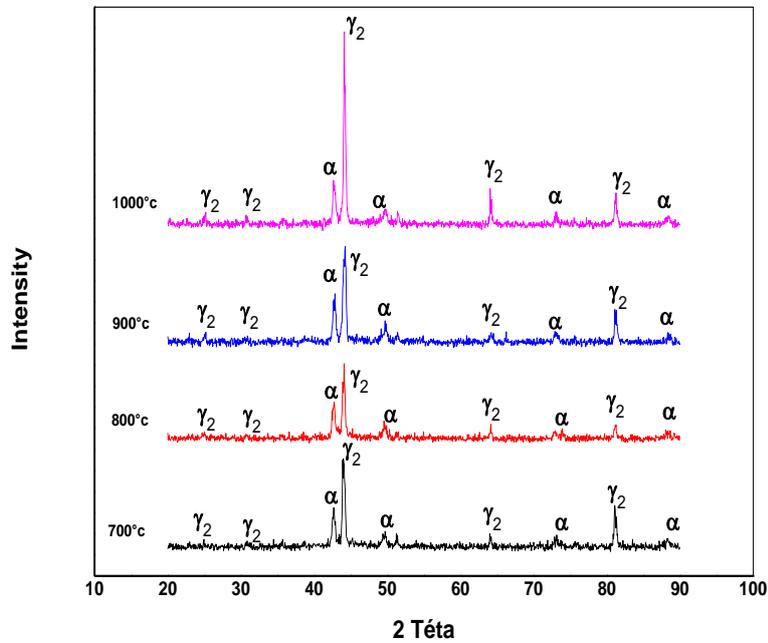
الشكل (52) يمثل مطابقة لمخططات إنعراج الأشعة السينية لثلاث عينات ذات نسبة 11% و 14% و 18% ألمنيوم، الذي يبين زيادة الطور γ_2 مع نقصان الطور α , بزيادة نسبة الألمنيوم من 11% إلى 14% وتغلبه عند 18%.



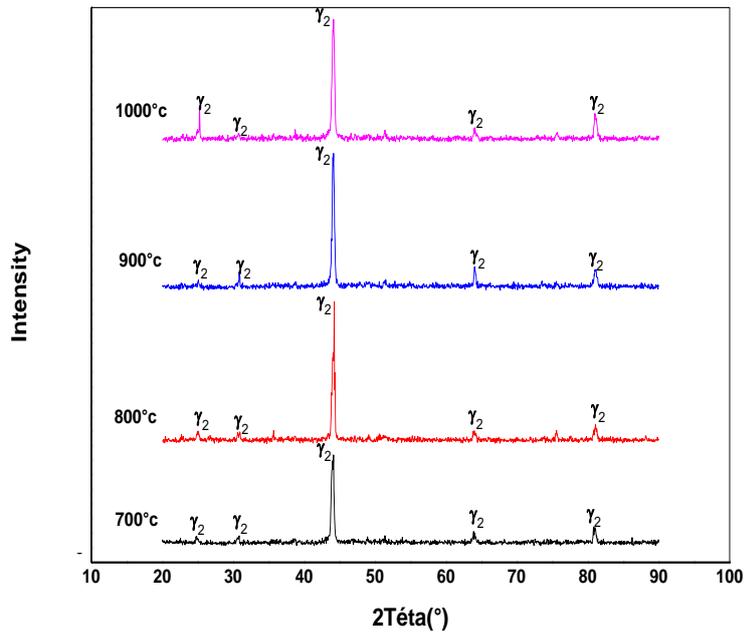
الشكل 48: يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 5%



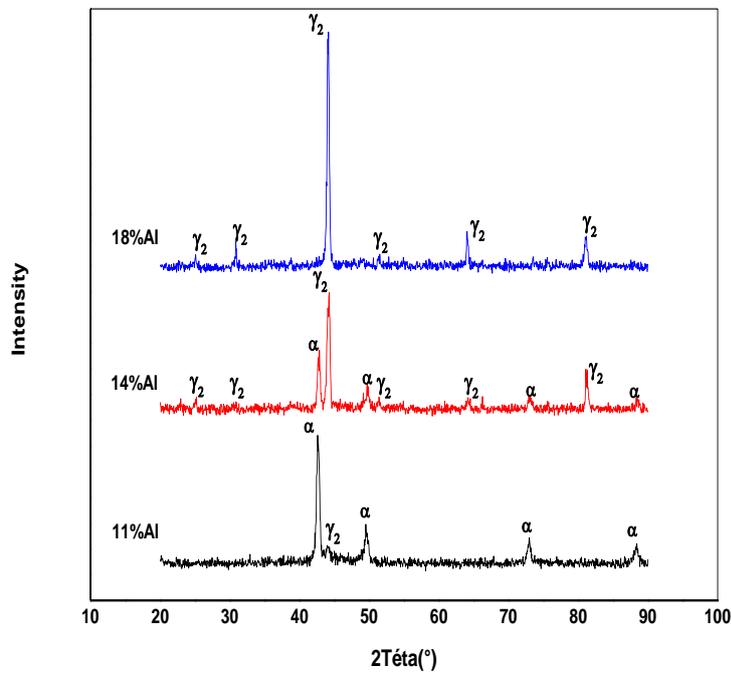
الشكل 49: يمثل مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 11%



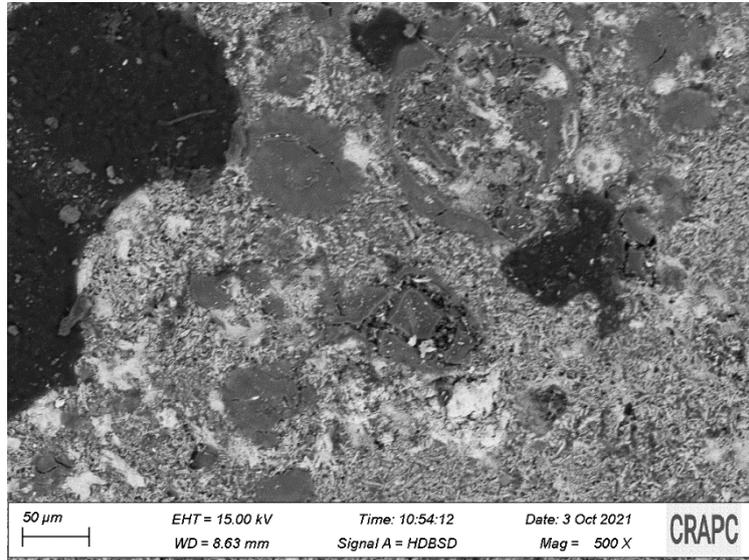
الشكل 50: مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 14%



الشكل 51: مخططات إنعراج الأشعة السينية للعينات ذات نسبة الألمنيوم 18%

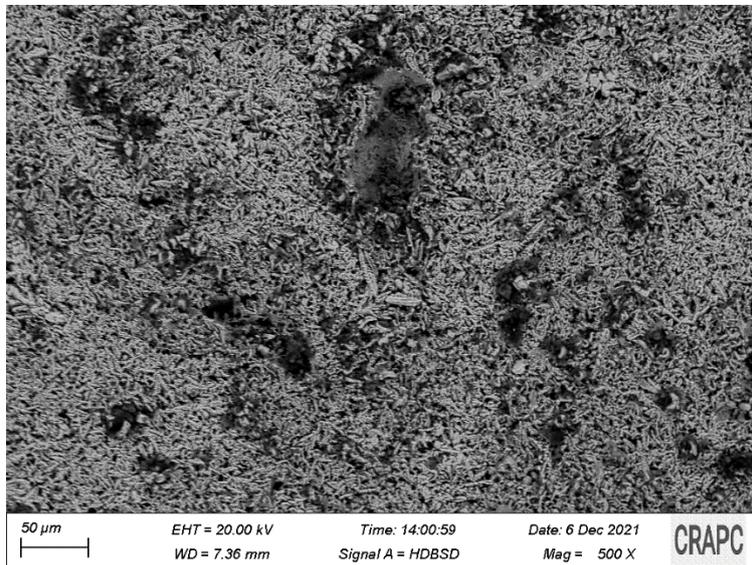


الشكل 52: تزايد الطور γ_2 مع نقصان الطور α بتزايد نسبة الألمنيوم.



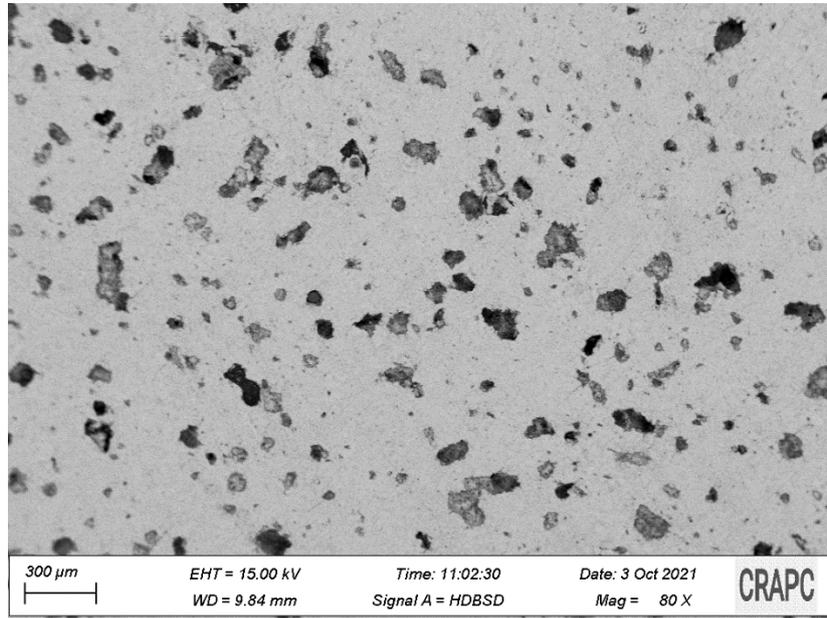
الشكل 53: صورة بالمجهر الالكتروني للعينه 5% المعالجة عند 700°م، يظهر الطور α فاتح

و Cu غامق والأسود تجمع لمسامات.



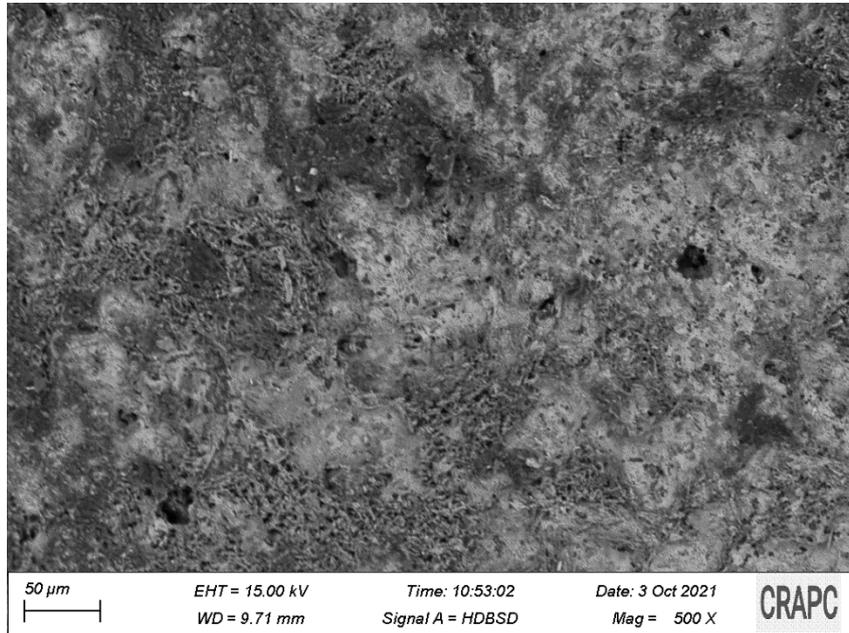
الشكل 54: صورة بالمجهر الالكتروني للعينه 11% المعالجة عند 900°م، يظهر الطور α فاتح

والأسود مسامات



الشكل 55: صورة بالمجهر الالكتروني للعينة 14% المعالجة عند 1000^م، يظهر الطور γ_2 فاتح

والداكن α .



الشكل 56: صورة بالمجهر الالكتروني للعينة 18% المعالجة عند 1000^م، يغلب عليه الطور γ_2

9.III حجم الحبيبات:

الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمادة تعتمد أساسا على بنيتها المجهرية [64]، حيث يلعب التركيب البلوري وحجم الحبيبات دورًا مهمًا في تحديد خصائصها [65] [66].

استخدمنا مخططات إنعراج الأشعة السينية لتحديد حجم حبيبات العينات، بحساب حجم البلورات من عرض منتصف الارتفاع للقمم، باستخدام علاقة شرر [67].

$$L = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \dots \dots \dots (20)$$

حيث:

L : قطر الحبيبات. k : ثابت شرر (0.89). θ : زاوية براغ.

λ : الطول الموجي للأشعة السينية المستعملة. B : عرض المنتصف للقمة الأعلى.

تراوحت قيم قطر الحبيبات للعينات المعالجة من 17.04 نانومتر وهي القيمة التي سجلتها العينة 5% ألومنيوم المعالجة عند 800°م إلى 40.44 نانومتر وهي القيمة التي سجلتها العينة 14% ألومنيوم المعالجة عند 1000°م

من الشكل (58) الذي يمثل تغيرات قطر الحبيبات مع نسبة الألومنيوم نلاحظ أنه كلما ازداد تركيز الألومنيوم، يزداد متوسط قطر الحبيبات نتيجة لذلك، وهذا يتوافق مع ما تبينه علاقة الانكماش

الخطي.

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \left(\frac{K \gamma a^3 Q^2}{k_B T d^n \pi c^2} \right)^m \dots \dots \dots (21)$$

حيث:

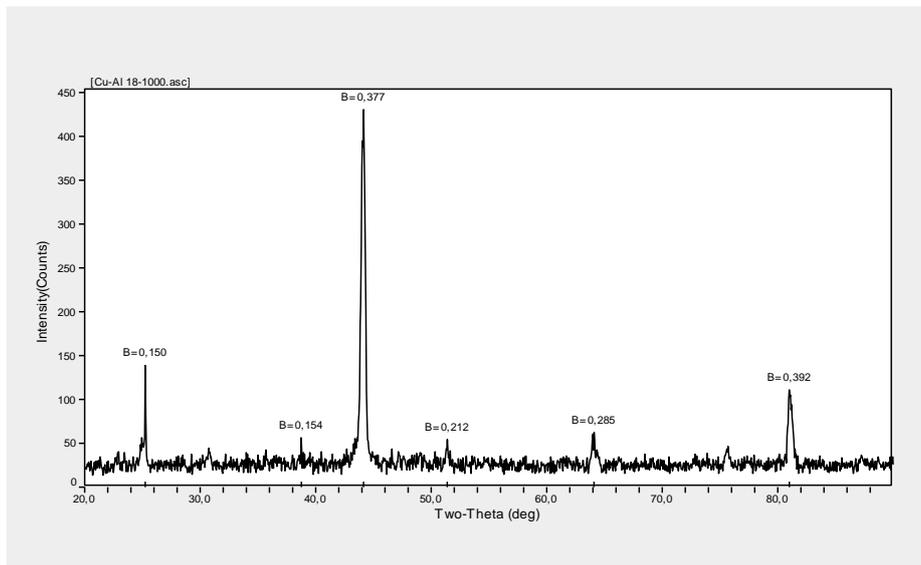
$\frac{\Delta L}{L_0}$: الإنكماش الخطي. a^3 : الحجم الذري T : درجة الحرارة

γ : طاقة السطح. k_B : ثابت بولتزمان K : ثابت يعتمد على البنية

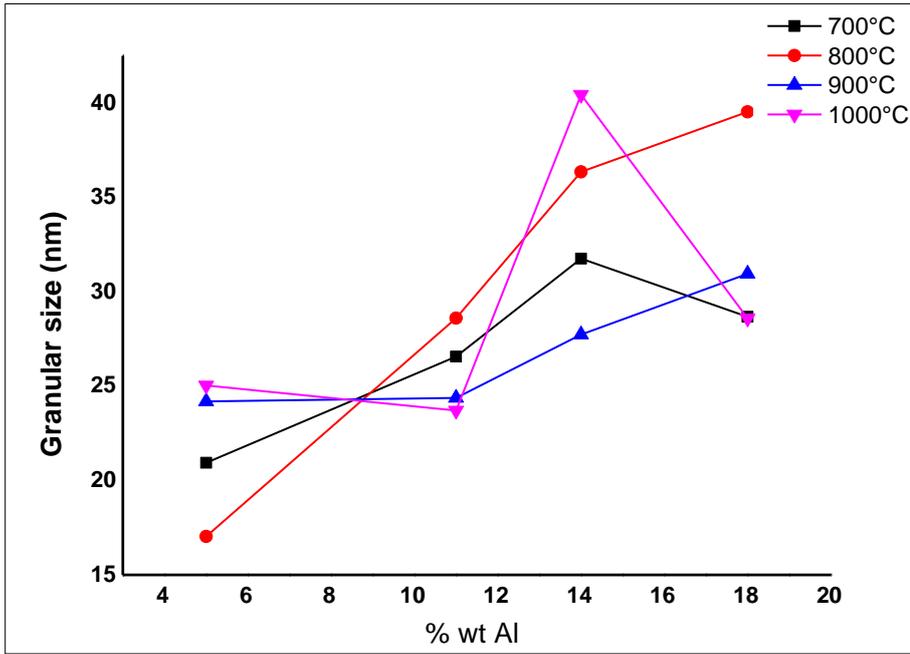
n بالتقريب 3 و m من 0.3 إلى 0.5، تمثل Q و c على التوالي تركيز الألومنيوم قبل التليد وبعده [68].

جدول 13: قطر الحبيبات للعينات

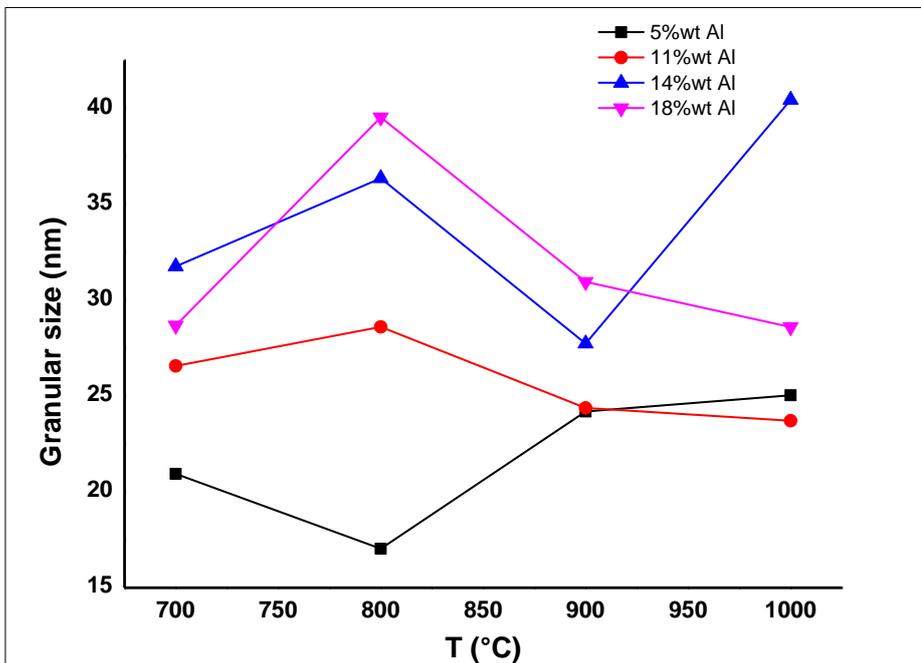
| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (% ألنيوم) |
|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| 28.673 | 31.756 | 26.565 | 20.939 | 29.983 | قطر الحبيبات لعينات السلسلة 700°م (نانومتر) |
| 39.528 | 36.354 | 28.600 | 17.040 | 27.899 | قطر الحبيبات لعينات السلسلة 800°م (نانومتر) |
| 30.955 | 27.730 | 24.373 | 24.187 | 29.795 | قطر الحبيبات لعينات السلسلة 900°م (نانومتر) |
| 28.592 | 40.442 | 23.708 | 25.033 | 27.559 | قطر الحبيبات لعينات السلسلة 1000°م (نانومتر) |



الشكل 57: عرض المنتصف للقمة الأعلى للعينة 18% ألنيوم معالجة في 1000°م



الشكل 58: تغيرات حجم الحبيبات مع نسبة الألمنيوم



الشكل 59: تغيرات حجم الحبيبات مع درجة حرارة التلبيد

10.III الصلادة :

الجدول (14) يمثل قيم صلادة فيكرز للعينات.

1.10.III تأثير درجة الحرارة على صلادة العينات :

من خلال الجدول (14):

- نلاحظ أن قيم الصلادة تتراوح بين 46.7 و 69.8 صلادة فيكرز للعينات غير المعالجة، أما بالنسبة للعينات المعالجة فتتراوح بين 52.3 و 698.8 صلادة فيكرز. من خلال مقارنة القيمة القصوى للصلادة المعالجة وغير المعالجة، يمكننا استنتاج فعالية درجة حرارة التليد، حيث تزداد الصلابة إلى عشرة أضعاف من 69.8 إلى 698.8 صلادة فيكرز.
- بالنسبة للعينات النقية ارتفعت قيمة الصلادة من 47.7 صلادة فيكرز للينة غير المعالجة، إلى 116.5 صلادة فيكرز للينة المعالجة عند 700°م.
- العينات 5٪ ألنيوم ارتفعت قيمة الصلادة من 69.8 صلادة فيكرز للينة غير المعالجة، إلى 160.5 صلادة فيكرز للينة المعالجة عند 700°م.
- العينات 11٪ ألنيوم ارتفعت قيمة الصلادة من 59.0 صلادة فيكرز للينة غير المعالجة، إلى 148.2 صلادة فيكرز للينة المعالجة عند 1000°م.
- العينات 14٪ ألنيوم ارتفعت قيمة الصلادة من 52.3 صلادة فيكرز للينة غير المعالجة، إلى 615.2 صلادة فيكرز للينة المعالجة عند 1000°م.
- العينات 18٪ ألنيوم ارتفعت قيمة الصلادة من 46.7 صلادة فيكرز للينة غير المعالجة، إلى 698.8 صلادة فيكرز للينة المعالجة عند 1000°م.

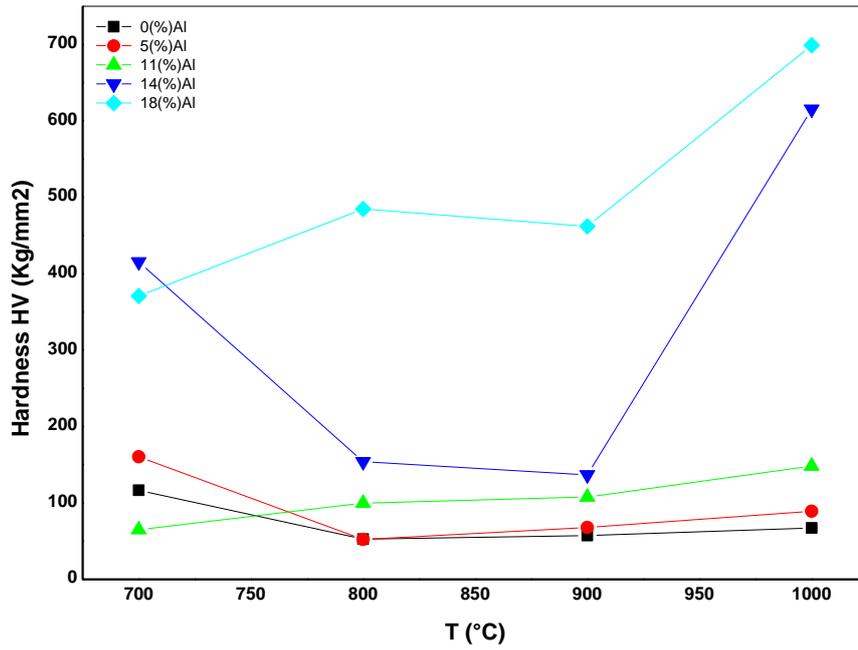
يبين الشكل (60) الذي يمثل تغيرات صلادة العينات مع تغيرات درجة حرارة المعالجة، والشكل (61) الذي يمثل تغيرات صلادة العينات مع تغيرات نسبة ألنيوم، أنه عموماً تتوضع المنحنيات حسب الأعلى صلادة حيث يكون منحنى 1000°م الأعلى ثم 700°م، ثم 800°م و 900°م حيث يكونان تقريباً متساويين، وفي الأخير منحنى العينات غير المعالجة حرارياً.

2.10.III تأثير نسبة الألمنيوم على صلادة العينات :

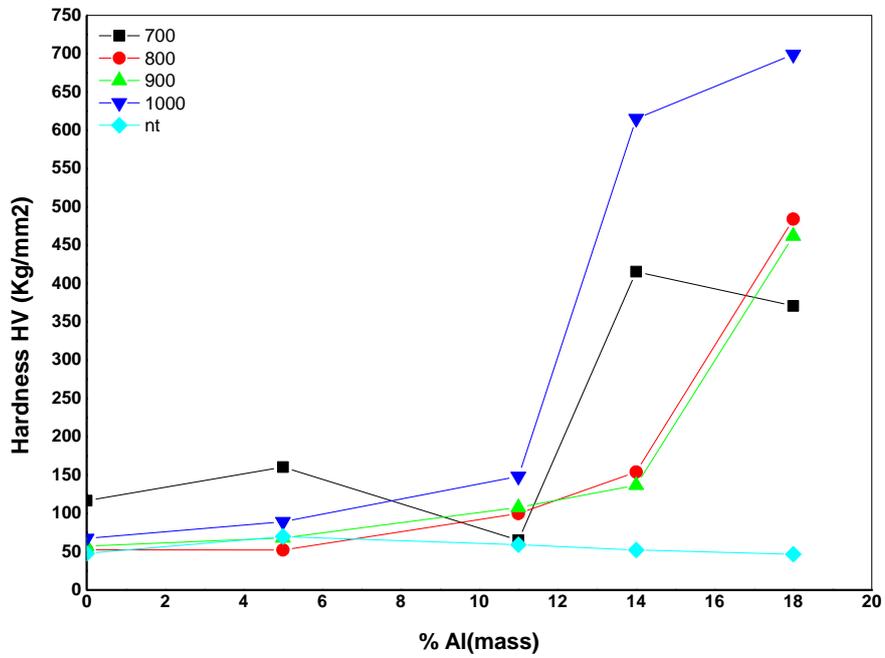
الشكل (61) يمثل تغيرات صلادة العينات مع تغيرات نسبة الألمنيوم، عموماً منحنيات الصلادة لسلاسل العينات المعالجة حرارياً تبين أن الصلادة تزداد بزيادة تركيز الألمنيوم، أما منحنى العينات غير المعالجة حرارياً فيكون مستقيماً تقريباً في منحنى ثابت.

جدول 2: صلادة فيكرز للعينات

| 18 | 14 | 11 | 5 | 0 | السلسلة (% ألمنيوم) |
|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 46.7 | 52.3 | 59.0 | 69.8 | 47.7 | الصلادة للعينات غير المعالجة حرارياً (Hv) |
| 370.9 | 415.5 | 65.0 | 160.5 | 116.5 | الصلادة لعينات السلسلة 700°م (Hv) |
| 484.7 | 154.0 | 99.8 | 52,3 | 52.7 | الصلادة لعينات السلسلة 800°م (Hv) |
| 462,0 | 136.8 | 107.8 | 68.0 | 57.4 | الصلادة لعينات السلسلة 900°م (Hv) |
| 698.8 | 615.2 | 148.2 | 89.1 | 67.2 | الصلادة لعينات السلسلة 1000°م (Hv) |



الشكل 60: تغيرات صلادة العينات مع تغيرات درجة الحرارة للمعالجة

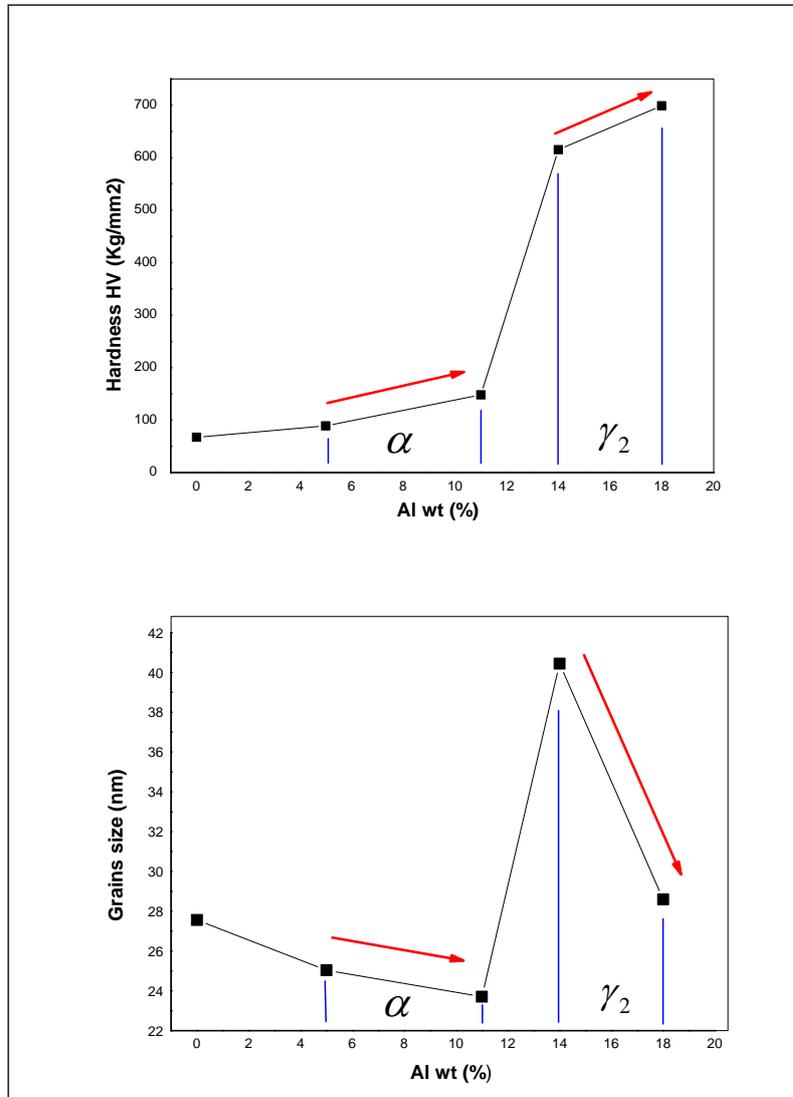


الشكل 61: تغيرات صلادة العينات مع تغيرات نسبة الألمنيوم

3.10.III علاقة الصلادة بحجم الحبيبات :

من الجدول (14) الذي يبين قيم الصلادة للعينات، يتضح أن العينات ذات الطور γ_2 تكون أعلى صلادة من العينات ذات الطور α التي تصل في أفضل قيمة لها إلى 160.5 صلادة فيكرز، أما بالنسبة لـ γ_2 فتصل إلى 698.8 صلادة فيكرز.

الشكل (62) يبين علاقة الصلادة بحجم الحبيبات حيث يظهر أنه كلما قل حجم الحبيبات تزداد الصلادة في مجال الطور الواحد، فتزداد الصلادة في مجال الطور α من 89.1 إلى 148.2 صلادة فيكرز، وتزداد في مجال الطور γ_2 من 615.2 إلى 698.8 صلادة فيكرز.



الشكل 62: علاقة الصلادة بحجم الحبيبات

الخلاصة

الخلاصة:

تطرقنا في هذا العمل إلى دراسة بنيوية وميكانيكية، لعينات نحاس-ألومنيوم ملبدة انطلاقاً من مسحوق النحاس، ذو النقاوة 99.5% وقطر حبيبي يتراوح بين 6 و60 ميكرومتر، ومسحوق الألومنيوم ذو النقاوة 99.5% وقطر حبيبي يتراوح بين 10 و110 ميكرومتر، حيث حضرنا سلسلة عينات بنسب 0 و5 و11 و14 و18% ألومنيوم، بضغط قدره 12.5 ميغا باسكال، وعالجناها عند 700 و800 و900 و1000°م، في الفراغ تحت ضغط 3.5×10^{-3} ميلي بار، لدراسة العينات استعملنا الطرق التالية: حساب الكتلة الحجمية، حساب نسبة المسامية، انعراج الأشعة السينية، المجهر الالكتروني الماسح واختبار فيكرز للصلادة.

بينت نتائج الكتلة الحجمية أن الكتلة الحجمية للعينات تتناقص بزيادة نسبة الألومنيوم، باستثناء العينات 14% ألومنيوم فهي ذات كتلة حجمية أكبر من الكتلة الحجمية للعينات 18% ألومنيوم، وهذا راجع إلى أن مسامية العينات 14% ألومنيوم أكبر.

نتائج نسبة التليد بينت أن:

- نسبة التليد للعينات غير المعالجة حرارياً أعلى من نظيراتها المعالجة حرارياً، يرجع ذلك لزيادة حجم العينات المعالجة، هذه الزيادة ناتجة عن تجمع الفراغات بجوار السطح.
- العينة 0% ألومنيوم المعالجة عند 1000°م سجلت أعلى نسبة تليد 72.11%.
- كل العينات ما عدى العينة 0% ألومنيوم المعالجة عند 1000°م لم تتعدى 64,13% وبالتالي تبقى كل هذه العينات في المرحلة الأولية للتليد.
- كلما زادت نسبة الألومنيوم نقصت نسبة التليد، بسبب نقص الكتلة الحجمية نتيجة لزيادة الحجم بزيادة نسبة الألومنيوم.

من نتائج حساب المسامية اتضح أن:

- كلما زادت درجة حرارة التليد قلت المسامية.
- كلما زادت نسبة الألمنيوم كلما زادت المسامية.
- تراوحت مسامية العينات بين 35.86 و 54.02%.
- العينة 0% ألمنيوم المعالجة عند 1000 م سجلت أقل نسبة مسامية 27.93%.

بينت مخططات انعراج الأشعة السينية أن:

- ظهور الطور α بالعينات 5% ألمنيوم، حيث يتشكل بفعل درجة الحرارة، ويزداد بزيادتها إلى غاية 900 م حيث يتم ذلك بانتشار ذرات الألمنيوم في شبكة النحاس بفعل درجة الحرارة، ويزداد الانتشار بزيادتها إلى غاية التشبع بجوار 900 م.
- أظهرت العينات 11% بداية ظهور الطور γ_2 ، مع غالبية للطور α ، حيث لا تتغير نسبة الطورين بتغير درجة الحرارة، ويرجع ذلك إلى أنه في هذه النسبة من الألمنيوم 700 م كافية للتشبع.
- يزداد الطور γ_2 على حساب الطور α ، بزيادة نسبة الألمنيوم من 11% إلى 14% وتغلبه عند 18%.
- كلما زاد تركيز الألومنيوم يزداد متوسط قطر الحبيبات.

بينت نتائج قياس الصلادة أن:

- بفعل درجة حرارة التليد تزداد الصلادة إلى عشرة أضعاف من 69.8 إلى 698.8 صلادة فيكرز.
- للعينات المعالجة حراريا تزداد الصلادة بزيادة تركيز الألمنيوم.
- العينات ذات الطور γ_2 سجلت أعلى قيم للصلادة.

- العينة 18% المعالجة عند 1000 م أبدت صلادة قدرها 698.8، والعينة 14% المعالجة عند 1000 م أبدت صلادة قدرها 615.2.
- في المجال الطوري الواحد تزداد الصلادة بتناقص حجم الحبيبات.

Conclusion:

In this work, we dealt with a structural and mechanical study of sintered copper-aluminum samples based on copper powder, with a purity of 99.5% and a grain diameter between 6 and 60 μm , and aluminum powder with a purity of 99.5% and a granular diameter between 10 and 110 μm . 0, 5, 11, 14 and 18% aluminum, at a pressure of 12.5 MPa, and treated at 700, 800, 900 and 1000 °C, in a vacuum under pressure 5×10^{-3} mbar. To study the samples, we used the following methods: Volumetric mass calculation, porosity ratio calculation, X-ray diffraction, scanning electron microscope and Vickers hardness test.

Volumetric mass results showed that the Volumetric mass of the samples decreases with the increase in the percentage of aluminum, except for the 14% aluminum samples, which have a greater Volumetric mass than the 18% aluminum samples, and this is due to the fact that the porosity of the 14% aluminum samples is greater.

The results of the sintering ratio showed that:

- The sintering percentage of untreated samples is higher than their heat treated counterparts, due to the increase in the volume of treated samples. This increase is due to the thermal expansion.
- The sample 0% aluminum treated at 1000°C recorded the highest sintering percentage of 72.11%.
- All samples except the sample 0% aluminum treated at 1000°C did not exceed 64.13% and therefore all these samples remain in the initial stage of sintering.
- The higher the percentage of aluminum, the lower the sintering percentage, due to the decrease in density as a result of increasing the volume by increasing the proportion of aluminum.

From the results of the porosity, it turns out that:

- The higher the sintering temperature, the lower the porosity.
- The higher the percentage of aluminum, the higher the porosity.
- The porosity of the samples ranged between 35.86 and 54.02%.
- The sample 0% aluminum treated at 1000°C recorded the lowest porosity ratio of 27.93%.

DRX diagrams showed that:

- The appearance of the α phase in samples of 5% aluminum, which is formed by temperature, and increases by increasing it up to 900° C.
- This is done by the diffusion of aluminum atoms in the copper network due to temperature, and the diffusion increases by increasing it until saturation near 900° C.
- The samples showed 11% of the beginning of the phase, with the majority of the α phase, where the ratio of the two phases does not change with the change in temperature, and this is due to the fact that in this percentage of aluminum 700 ° C is sufficient for saturation.
- The phase increases at the expense of the α phase, by increasing the percentage of aluminum from 11% to 14% and its predominance at 18%. As the concentration of aluminum increases, the average diameter of the particles increases.

The hardness measurement results showed that:

- Due to the sintering temperature, the hardness increases to ten times from 69.8 to 698.8 Hv. For thermally treated samples, the hardness increases with increasing concentration of aluminum. The phase samples recorded the highest hardness values.
- The 18% sample treated at 1000°C showed a hardness of 698.8, and the 14% sample treated at 1000°C showed a hardness of 615.2. In one phase domain, the hardness increases with decreasing particle size.

المراجع

- [1] Sverdrup, H.U., Ragnarsdottir, K.V., Koca, D., 2014. On modelling the global copper mining rates supply, copper price end of copper reserves. *Resour. Conserv. Recycl.* 87, 158–174
- [2] Li, L., Pan, D.A., Li, B., Wu, Y., Wang, H., Gu, Y., Zuo, T., 2017. Patterns and challenges in the copper industry in China. *Resour Conserv. Recycl.* 127, 1–7
- [3] Dinda, Gargi, Halder, Dipankar, Vazquez-Vazquez, Carlos, Arturo Lopez-Quintela, M., & Mitra, Atanu (2015). Green synthesis of copper nanoparticles and their antibacterial property (Vol. 2015, p. 6)
- [4] Foudaa, Amr, Saad, E. L., Elgamala, Mamdoh S., Mohamedb, Asem A., & Salema, Salem S. (2017). Optimal factors for biosynthesis of silver nanoparticles by *Aspergillus* sp. In *Azhar bulletin of science*, Vol. 9th ,Conf., March 2017, p. 161–172
- [5] Casey ,A.L., Adams, D., Karpanen, T.J., Lambert, P.A., Cookson, B.D., Nightingale, P., Miruszenko, L., Shillam, R. et al. (2010) Role of copper in reducing hospital environment contamination. *J Hosp Infect* 74, 72–77
- [6] P. Ramakrishanan, *Powder Metallurgy*, New Age International, 2008.
- [7] G.A. Gohar, T. Manzoor, A. Ahmad, H. Raza, A. Farooq, I. Karim, W. Iftikhar, M. Umar, F. Asad, (2020), Synthesis and investigate the properties of Cu–Al–Ni alloys with Ag addition using powder metallurgy technique, *Journal of Alloys and Compounds*.
- [8] L. F. P. Ferreira, E. Bayraktar, I. Miskioglu, D. Katund, (2017), Design of Hybrid Composites from Scrap Aluminum Bronze Chips, *Mechanics of Composite and Multi-functional Materials*, Volume 7 pp 131–138.
- [9] GURSKIKH A.V., Effect of aluminum content and strain regimes on the structure and properties of sintered aluminum bronze, *Basic problems of material science*, 2018, pp 9–13

- [10] محمد فتحي عوض الله، الأنسان والثروات المعدنية، المجلس الوطني للثقافة والعلوم، الكويت، سبتمبر 1980.
- [11] Valérie LEBRETON, Etude metallurgique et optimisation de la fabrication d'alliages a base de cuivre coules en continu Analyse de la ségrégation et des phénomènes de précipitation dans les alliages CuNi15Sn8, CuNi6Si1.8Cr, CuTi3Al2 et CuTi3Sn2.75, These doctorat, Juine 2007 Ecole des Mines de Paris .
- [12] Schroeder HA, Nason AP, Tipton IH, Balassa JJ (1966) Essential trace metals in man: copper. J Chronic Dise 19:1007–1034.
- [13]: جعفر الحيدري، النحاس وسبائكها، الجامعة التكنولوجية بغداد، 2013.
- [14] Hawker, W., Vaughan, J., Jak, E., Hayes, P.C., 2018. The synergistic copper process concept. Miner. Process. Extr. Metall. 127, 210–220.
- [15] Li, F., Zhong, H., Xu, H., Jia, H., Liu, G., 2015. Flotation behavior and adsorption mechanism of α -hydroxyoctyl phosphinic acid to malachite. Miner. Eng. 71, 188–193.
- [16] Li, L., Zhao, J., Xiao, Y., Huang, Z., Guo, Z., Li, F., Deng, L., 2019a. Flotation performance and adsorption mechanism of malachite with tert-butylsalicylaldoxime. Sep. Purif. Technol. 210, 843–849.
- [17] Bensaada S, Bouziane M.T, Science des matériaux tom2, Office des publications universitaires, Alger, 2015.
- [18] H.R. Watling ; The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides — A review ; Hydrometallurgy 84 (2006) 81 – 108.
- [19] JJ Harrison (<https://www.jjharrison.com.au/>). 2009.
- [20] Daniel J. Lane; Selective leaching of penalty elements from copper concentrates, Minerals Engineering 98 (2016) 110–121.
- [21] L Krishna Reddy , Principles of Engineering Metallurgy, 1996 New age International(P) Ltd,Publishers Reprint,2001.
- [22] William G.I. Davenport, M. King, M. Schlesinger, A.K. Biswas, Extractive Metallurgy of Copper 4 th e, Elsevier 2002.
- [23] M. Cao, D.-B. Xiong, Z. Tan, G. Ji, B. Amin-Ahmadi, Q. Guo, G. Fan, C. Guo, Z. Li, D. Zhang, aligning graphene in bulk copper: Nacre-inspired nanolaminated architecture coupled with in-situ processing for enhanced mechanical properties and high electrical conductivity, Carbon (2017), doi: 10.1016/j.carbon.2017.02.089.

- [24]: يولاختين، علم المعادن والمعاملة الحرارية للمعادن " دار مير " للطباعة والنشر الاتحاد السوفييتي موسكو، 1983.
- [25] Puigdomenech, Ignasi. "Revised Pourbaix Diagrams for Copper at 5–150 C." (1995).
- [26] Joseph R. Davis, Copper and Copper Alloys, ASM International, 2001
- [27] J. R. Davis, Copper and Copper Alloys, ASM International, 2001.
- [28] Noyce, J.O.; Michels, H.; and Keevil, C.W. "Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic methicillin-resistant Staphylococcus aureus in the healthcare environment" , Journal of Hospital Infection. 63 (3): 289–297, (2006).
- [29] Qurix, W. B., et al. "The application of waste brass cartridges for gamma radiation shields and bullet proofing." Journal of Materials Research and Technology 9.5 (2020): 9831–9837.
- [30] Akbari Mousavi, S. A. A., and S. T. Niknejad. "An investigation on microstructure and mechanical properties of Nd: YAG laser beam weld of copper beryllium alloy." Metallurgical and Materials Transactions A 40.6 (2009): 1469–1478.
- [31] https://ceng.tu.edu.iq/med/images/5_معادن.pdf; June 2022.
- [32] د. قحطان خلف الخزرجي، د. عبد الجواد محمد الشريف، التآكل، دار دجلة الطبعة الأولى 2010.
- [33] Gupta, K. P. "The Cu–Ni–Ti (copper–nickel–titanium) system." Journal of phase equilibria 23.6 (2002): 541–547.
- [34] Sergr E, David L, Emilie G, Philippe L, Julian L, Jean S, Les matériaux de A à Z, Dunod, Belgique, Aout 2008.
- [35] Emilian Koller, Dictionnaire encyclopédique des sciences des matériaux Imprièrie chirat ,France 2008.
- [36] Gupta, K. P. "The Cu–Ni–Ti (copper–nickel–titanium) system." Journal of phase equilibria 23.6 (2002): 541–547
- [37] X.J. Liu, I. Ohnuma, R. Kainuma, K. Ishida ,Phase equilibria in the Cu-rich portion of the Cu–Al binary system ,Journal of Alloys and Compounds 264 (1998) 201–208.

- [38] K. Wieczorek-Ciurowa, K. Gamrat and Z. Saw_owicz ,characteristics of $\text{CuAl}_2\text{-Cu}_9\text{Al}_4/\text{Al}_2\text{O}_3$ nanocomposites synthesized by mechanical treatment , Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 80 (2005) 619–623.
- [39] Chieh Kung, Te-Tan Liao, Kuo-Hwa Tseng, Kuo-Ying Chen, Ming-Shuing Chuang ,The influences of powder mixing process on the quality of W-Cu composites ,Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol. 33, No. 3, 2009.
- [40] G. Cizeron, le frottage, institute de céramique, France,1968.
- [41] رغدي أميرة, دراسة آلية و حركية كل من التليد و التحولات الطورية لمواد حرارية قاعدتها أكسيد الزركونيوم و الجيسيت مضافا لها الكاولان المحلية, جامعة محمد بوضياف بالمسيلة, 2018.
- [42] J. L. Cherment,les céramique thermomécanique, Presse du CNRS, p 20–40 1989.
- [43] G Cizeron , Le frittage sous son aspect physico-chimique. Paris, (1968).
- [44] S Somiya and Y. Hirata, Mullite powder technology and applications in Japan. American Ceramic Society Bulletin, 1991. **70**(10): p. 1624–1632.
- [45] صالح عبد الرحمان العذل، علم المواد، مجلة العلوم والتقنية، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، العدد السابع، نوفمبر 1998.
- [46] سيف صباح أرحيم مرزوك العلكاوي, دراسة تأثير متغيرات ميتالورجيا المساحيق على الخواص الميكانيكية والميتالورجية لمتراكبات النحاس كرافيت,مذكرة ماجستير جامعة تكريت 2013.
- [47]M.B.Berger , " The Importance and Testing of Density / Porosity / Permeability / Pore Size for Refractories " The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Refractories 2010 Conference.
- [48] ASTM C373 – 88 " Standard Test Method For Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, And Apparent Specific Gravity of Fired White Ware Products « Reapproved 2006.
- [49] الدكتور سامي مظلوم صالح، فيزياء الحيود، الجامعة التكنولوجية مركز التعريب والنشر بغداد 1982.
- [50] أ.د. نعيمة عبد القادر احمد، أ.د. محمد أمين سليمان، علم البلورات والأشعة السينية، دار الفكر العربي 2005.

[51] Anthony Le bras", Exploration des potentialités de système EOSTM pour la caractérisation mécanique de structures osseuses: Application à l'extrémité supérieure de fémur ". Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Paris. 2004 .

[52] Christopher Hammond, The Basics of Crystallography and Diffraction Third Edition ,Oxford, June 15, 2009.

[53] René Guinebretière, x-ray diffraction by polycrystalline materials, Hermès science , 2002 France.

[54] د. محمد عز الدهشان، د. إبراهيم بن صالح المعتاز، د. منصور بن إبراهيم الهزاع، الهندسة التطبيقية للمواد، النشر والمطابع جامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية، 1997.

[55] Dodi Sofyan Arief, Muftil Badri, M. Dalil, Agus Reforiandi, and Agus Surya Permana ,Calibration of Vickers Hardness Test Equipment Using Standard Block (Case study in PT. Tenaris SPIJ, Cilegon) ,Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace -Science and Engineering30th November 2020. Vol.64 No.3

[56] د. أمجد إبراهيم شحادة، م. محمد رياض علي، خواص المواد، دار الفجر للنشر والتوزيع مصر 2005.

[57] Pramana, A.S, (2018). Hardness Testing Machine Style Calibration ISO 6507-2: 2018.

[58] Y. Plevachuk, V. Sklyarchuk, A. Yakymovych, S. Eckert, B. Illers, and k. eigenfeld, density, viscosity, and electrical conductivity of hypoeutectic al-cu liquid alloys, the minerals, metals & materials society and asm international, volume 39a, december 2008.

[59] Chesters, J. H, "Refractories:Production and properties", 5th edition Published by the Iron and steel Institute, House press London, (1973).

[60] Essen, S.H., "The Chemical and Physical Reactions in Heavy Clay Bodies During Firing", Ziegler Industries International, (1981).

[61] 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 élaborés par frittage, 2013 Poudres et Matériaux Frittés 22 au 24 mai 2013 Belfort.

- [62] Y.M.Z. Ahmed, M.I. Riad, A.S. Sayed, M.K. Ahmed, M.E.H. Shahlabi, correlation between factors controlling preparation of porous copper via sintering technique using experimental design, *Powder Technology* 175, 2007.
- [53] Itin, V.I., Savitskii, A.P., Savitskii, K.V. *et al.* Sintering in Cu–Al powders. *Soviet Physics Journal* 8, 93–95 (1965).
- [64] Seshadev Sahoo and Kevin Chou ,Modeling of microstructure evolutions: application to electron beam additive manufacturing ,Review on phase-field proceedings of the ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2014 June 9–13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
- [65]:Grong, Ø., Shercliff, H.R., 2002, “Microstructure modelling in metals processing”, *Progress in Materials Science*, 47, pp.163–282.
- [66] Moelans, N., Blanpain, B., Wollants, P., 2008, “An introduction to phase field modeling of microstructure evolution”, *Computer coupling of phase diagrams and Thermochemistry*, 32, pp. 268–294.
- [67] C.S. Barret, T.B. Massalski, *Structure of Metals*, Mc Graw–Hill, New York, 1996.
- [68]D. Slimani, A. Souigat, R. Gheriani, O. Bentouila, Effect of Sintering Temperature and Aluminum Concentration on the Hardness, Microstructure and Density of Copper–Aluminum Alloys, *Journal of Nano- And Electronic Physics*, Vol.13No4,04022(4pp)(2021).

الملخص

ملخص:

لغرض تحديد العوامل المؤدية الى رفع المسامية وانعكاساتها على الخواص الميكانيكية بالخصوص الصلادة، تم استخدام تقنية ضغط المساحيق لتحضير عينات من سبائك الألمنيوم والنحاس بتركيزات 0، 5، 11، 14 و 18%. باستخدام ضغط 12.5 ميغاباسكال. تمت معالجة العينات في الفراغ $10 \times 3.5 \times 10^{-3}$ ميلي بار عند 700، 800، 900 و 1000°م. أظهرت مخططات حيود الأشعة السينية ظهور الطور α في العينات 5% وهيمنتته في العينات 11Al%. أظهرت المخططات كذلك بداية تشكل الطور γ في هذه العينات ويستمر في النمو على حساب الطور α مع زيادة تركيز الألمنيوم من 11% إلى 14% وبأعلى نسبة للعينات 18Al%. أما بالنسبة لمتوسط قطر الحبيبات فإنه يزداد كلما زاد تركيز الألمنيوم؛ بينت نتائج قياس الصلادة أنها تزداد إلى عشرة أضعاف من 69.8 إلى 698.8 صلادة فيكرز بفعل درجة حرارة التليد كما تزداد بزيادة تركيز الألمنيوم. سجلت أعلى قيم للصلادة في العينات ذات الطور γ_2 فكانت العينة الأعلى صلادة هي العينة 18% المعالجة عند 1000°م التي أبدت صلادة قدرها 698.8 صلادة فيكرز، والعينة 14% المعالجة عند 1000°م أبدت صلادة قدرها 615.2 صلادة فيكرز، ووجدنا انه في المجال الطوري الواحد تزداد الصلادة بتناقص حجم الحبيبات.

الكلمات المفتاحية: انعراج الأشعة السينية، ألمنيوم، تليد، صلادة، مسامية، نحاس

Résumé

Dans le but de déterminer les facteurs conduisant à l'augmentation de la porosité et ces réflexions sur les propriétés mécaniques notamment la dureté ; on a utilisé la technique de pression des poudres pour préparer des échantillons d'alliages cuivre-aluminium avec les concentrations de 0, 5, 11, 14 et 18% Al, en utilisant une pression de 12,5 MPa. Les échantillons ont été traités sous vide de 5.10^{-3} mbar à 700, 800, 900 et 1000°C. Les diagrammes de diffraction des rayons X ont montré l'apparition de la phase α dans les échantillons de 5% et sa prédominance dans les échantillons de 11%. Les diagrammes ont aussi montré le début de la germination de la phase γ dans ces derniers et continue de se croître et remplace la phase α avec l'augmentation de la concentration d'aluminium de 11% à 14% et d'une façon plus élevée pour les échantillons de 18% Al. Les mesures montrent L'augmentation de la taille moyenne des grains avec l'augmentation de la concentration en aluminium. Les résultats de mesure de la dureté ont montré qu'elle décuple de 69,8 à 698,8 kg/cm² en raison de la température de frittage, et qu'elle augmente avec l'augmentation de la concentration en aluminium. Les valeurs importantes de la dureté ont été enregistrées sur les échantillons avec la phase γ ; la plus élevée, 698,8 kg/cm², a été trouvée pour l'échantillon de 18% Al traité à 1000°C. Cependant l'échantillon de 14% traité à 1000°C a montré une valeur

de 615,2 kg/cm²; Nous avons constaté que dans un domaine de phase unique, la dureté augmente avec la diminution de la taille des grains.

Mots clés : aluminium, cuivre, frittage, porosité, dureté, diffraction des rayons X

Abstract

In order to determine the factors leading to the increase of the porosity and these reflections on the mechanical properties in particular the hardness; we used the powder pressure technique to prepare samples of copper-aluminum alloys with the concentrations of 0, 5, 11, 14 and 18% Al, using a pressure of 12.5 MPa. The samples were treated under vacuum of 5.10^{-3} mbar at 700, 800, 900 and 1000°C. X-ray diffraction patterns showed the appearance of the α phase in the 5% samples and its predominance in the 11% samples. The diagrams also showed the beginning of the germination of the γ phase in these late samples and continues to grow and replaces the α phase with the increase in the concentration of aluminum from 11% to 14% and with higher rate for 18% Al samples. Measurements show the increase in average grain size with increasing aluminum concentration. The hardness measurement results showed that it increases tenfold from 69.8 to 698.8 kg/cm² due to the sintering temperature, and increases with increasing aluminum concentration. Significant hardness values were recorded on samples with γ phase; the highest, 698.8 kg/cm², was found for the 18% Al samples treated at 1000°C. However, the 14% sample treated at 1000°C showed a value of 615.2 kg/cm²; We found that in a single-phase domain, hardness increases with decreasing of grain size.

Keywords: aluminum, copper, sintering, porosity, hardness, X-ray diffraction