الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي

تطوير خلائط النحاس الخالية من الرصاص باستخدام الغرافيت وعناصر أخرى

رسالة مقدمة إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في علم المواد وهندستها

إعداد:

م.عمار محسن زهور

إشراف:

أ.د.م. خالد شرف

أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكة والكهربائية

جامعة دمشق

2022 م

شكر وتقدير

الشكر و الامتنان إلى من تفضل بالإشراف على هذا الأطروحة و لم يبخل بأي معلومة و مساعدة أو نصيحة وقدم كل التسهيلات في دربي لإنجاز هذا العمل إلى المثال في المحبة و التواضع كل التقدير و الاحترام للأستاذ الدكتور خالد شرف.

كما أشكر عمادة كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ممثلة بعميدها الدكتور محمد مصطفى الموالدي والسادة النائبين.

وختاماً أتوجه بالشكر للسادة أعضاء لجنة الحكم الذين كلفوا أنفسهم عناء قراءة هذا العمل وستكون توجيهاتهم لي دافعاً لتجويد العمل والارتقاء به....

المهندس عمار محسن زهور

الفهرس

مدخل عام 8

الفصل الأول : مبادئ ومفاهيم أساسية

(1-1) النحاس 13

(1-2) خواص النحاس 13

(1-2-1)الخواص الكيميائية.....13

(1-2-2)الخواص الميكانيكية.....14

(1-2-3)الخواص الفيزيائية.....14

(1-3) خلائط النحاس.....16

(1-4)خلائط النحاس الحاوية على الرصاص.....16

(1-5) الغرافيت.....19

(1-5-1)خواص الغرافيت.....20

(1-5-2)استخدام الغرافيت.....21

(1-6) دور الغرافيت في خلائط النحاس.....22

الفصل الثاني:إزالة الرصاص من سبائك النحاس وإضافة الغرافيت

(2-1) مقدمة.....25

(2-2) استخلاص الرصاص من النحاس.....25

(2-1-2)دراسة النتائج.....33

(2-3) تعدين المساحيق.....34

(2-4) دراسة توزع جزيئات الغرافيت والبزموت.....36

(2-4-1)المنحنيات والبنية المجهرية لتوزع جزيئات الغرافيت والبزموت.....37

(2-5) الاستنتاجات.....42

الفصل الثالث : تطوير صب سبائك النحاس مع الغرافيت

(3-1) مقدمة.....44

(3-2) تقنية الخلط والتقليب.....45

(3-2-1)دراسة المسبوكة.....46

(3-3) الدراسة النظرية لنمذجة المياه.....52

(3-4) الدراسة النظرية للسيولة.....56

(3-4-1)تحليل البنية المجهرية.....58

(3-4-2)التصلب الأتجاهي.....59

(4-3)الاستنتاجات.....60

الفصل الرابع: دراسة الخواص الميكانيكية لسبائك النحاس الخالية من الرصاص.

(4-1) مقدمة.....63

(4-2) الأختبارات الميكانيكية.....64

(4-2-1)المواد.....64

(4-3) القابلية الميكانيكية.....65

(4-4) البنية المجهرية والخواص الميكانيكية.....66

(4-4-1)مؤشر التشغيل الألي.....70

(4-4-2)آلية تعتمد على قوة القطع.....71

(4-4-3)القدرة الميكانيكية على أساس أرتداد الأداة.....74

(4-4-4)القدرة الميكانيكية على أساس خشونة السطح..... 77

(4-4-5) القدرة الميكانيكية على أساس نوع الرايش..... 78

(4-5) مناقشة النتائج.....80

الخاتمة.....81

.....قائمة الأشكال.....

الشكل (1-1) فلز النحاس.....13

الشكل (1-2) تآكل الرصاص في أنابيب المياه 15

الشكل (1-3) البنية المجهرية وتقصف سبائك النحاس الحاوية على الرصاص.....18

الشكل (1-4) الغرافيت المعدني المستخدم في قلم الرصاص.....20

الشكل (2-1) صور(a) عينات نحاس و (b)عينات برونز توضح البقع البيضاء توضع الرصاص.....26

الشكل (2-2) فرن حث كهربائي عالي التردد.....27

الشكل (2-3) العلاقات بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ومقدار مركب (ca-si).....29

الشكل (2-4) العلاقة بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ووقت الانتظار.....29

الشكل (2-5) العلاقة بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ودرجة حرارة إزالة مركب الرصاص.....30

الشكل (2-6) تحليل (EPMA) للنحاس بعد المرحلة الأولى.....31

الشكل (2-7) تحليل (EPMA) للنحاس بعد المرحلة الثانية.....31

الشكل (2-8) مخطط الأتزان الحراري لخليطة Ca-Pb.....33

الشكل (2-9) تطبيق نموذجي لبعض قطع السيارات.....35

الشكل (2-10) التحليل الحراري التفاضلي (أ) والحراري الوزني (ب) لمسحوق النحاس الأصفر cu-40zn مع البزموت.....38

الشكل (2-11) ملاحظة SEM-EDS على المقطع العرضي كمسحوق ذرات ومسحوق صلب لسبائك Cu-40Zn مع البزموت....39

الشكل (2-12) اعتماد الاستطالة على جزء الحجم من العناصر القابلة للتشغيل الآلي لسبائك النحاس المبثوق Cu-40Zn.....41

الشكل (3-1) التحليل الكيميائي للكربون على طول القضيب قطره 1 إنش (DOE 7 و 8).....47

الشكل (3-2) التحليل الكيميائي للكربون على طول القضيب قطره 1 إنش (DOE 9 و 10).....47

الشكل (3-3) تحسن في استعادة الغرافيت بسبب التحريك على مرحلتين.....50

الشكل (3-4) تشكل الفقاعات والدوامة عند استخدام شفرات -90 درجة لتحريك المياه بسرعات مختلفة.....54

الشكل (3-5) تشكل الفقاعات والدوامة عند استخدام شفرات 60 درجة لتحريك الماء بسرعات مختلفة.....55

الشكل(3-6)المواقع المرقمة التي أُخذت العينات منها لفحص المعادن.....57

الشكل(3-7) الصور المجهرية للسيولة من النحاس الأصفر 1.5% غرافيت ، 1% تيتانيوم.....59

الشكل (4-1) اختبار القابلية المكيانيكية للآلة 65

الشكل (4-2) تباين البنية المجهرية لسبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص المصبوب مع محتوى Si يصل إلى 4%: (أ) الصور المجهرية التي تشير إلى المراحل ومواقعها و (ب) تباين جزء حجم الطور.....68

الشكل (4-3) تباين الخواص الميكانيكية لسبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص مع محتوى Si يصل إلى 4%.....70

الشكل (4-4) تأثير عمق القطع على قوة القطع لسبائك النحاس المصبوب بمحتوى Si يصل إلى 4% لأداة H123.....72

الشكل (4-5) تأثير عمق القطع على قوة القطع لسبائك النحاس المصبوب بمحتوى Si يصل إلى 4% لأداة H20.....73

الشكل (4-6) مؤشر تصنيف القوة النسبية "RFRI": (أ) للأداة H123، (ب) للأداة H20 74

الشكل (4-7). تأثير محتوى Si في سبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص حتى 4% على أرتداد الأداة للأداتين: (أ) H20، (ب) H123.....76

الشكل (4-8) تأثير محتوى Si في سبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص حتى 4% على مؤشر تصنيف تآكل الأداة النسبي RTRI: (a) H123، (b) H20.....77

الشكل (4-9) تأثير محتوى Si في سبائك النحاس المصبوبة الخالية من الرصاص بنسبة تصل إلى 4%: (أ) خشونة السطح "Ra" و (ب) مؤشر الخشونة النسبي للسطح المشكل آليًا "RRRI".....78

.....فهرس الجداول.....

الجدول (2-1) التركيب الكيميائي لسبائك النحاس المستخدمة.....25

الجدول (2-2) التركيب الكيميائي لمركب (ca-si).....28

الجدول (3-1) أختبارات للتحسين بإضافة عامل ترطيب.....47

الجدول (3-2) تحليل مصبوبتين للتكرار.....50

الجدول (3-3) بعض الملاحظات على بيانات الجدول (3-2).....54

الجدول (3-4) تقييم السيولة الحلزونية لسبيكة مركبة من النحاس الأصفر والغرافيت.....57

الجدول (4-1) التركيب الكيميائي (تحليل EDX) للنحاس الحاوي على السيلكون الخالي من الرصاص.....64

الجدول (4-2) زوايا أداة أدوات القطع المستخدمة في التشغيل الآلي.....66

الجدول (4-3) شروط القطع المستخدمة في اختبار التشغيل الآلي.....66

الجدول (4-4) أنوارع الرايش المنتج ل cu/40zn.....79

الملخص:

تم هذا البحث دراسة تحضير سبائك النحاس الخالية من الرصاص باستخدام الغرافيت ، حيث تحتوي هذه السبائك على كل من النحاس والغرافيت وبعض المواد الأخرى.

الإيجابي في هذا البحث هو أن استخدام هذه السبائك بدأت تتوفر بكثرة في السوق الصناعية بعد إجراء بعض التعديلات عليها والحصول على المواصفات القياسية المطلوبة، حيث درست تقنيتان مختلفتان لتحضير السبائك النحاسية وهما تقنية نمذجة المياه والسيولة و تقنية تعدين المساحيق، سمحت لنا هاتان التقنيتان من الحصول على سبائك نحاسية خالية من الرصاص تحتوي على الغرافيت، بالنسبة للعناصر الأخرى التي استخدمت للحصول على هذه السبائك فقد حضرت بطرق الخلط والمزج.

درست الخصائص الميكانيكية لهذه السبائك وتشغيلها الآلي وقوة القطع لديها وخشونة سطحها. حيث كانت إضافة الغرافيت بنسبة تصل إلى 0.5 % والسيلكون 4% مع استخدام معامل ترطيب كالتيتانيوم تأثير جيد على هذه السبائك حسنت من خواصها الميكانيكية بمقدار 80% مقارنة بسبائك النحاس الحاوية على الرصاص. كما توصل البحث إلى أن سبائك النحاس الخالية من الرصاص لها كفاءة عالية يمكن استخدامها في تمديدات أنابيب المياه وأعمال صناعية أخرى دون حدوث أي ضرر أو تأثير على البيئة وصحة الإنسان.

الكلمات المفتاحية:

النحاس، الغرافيت، التيتانيوم، البزموت

مدخل عام

استُخدم النحاس في عصور ما قبل التاريخ ومن الجائز أن يكون أحد أول العناصر التي استعملها الإنسان نتيجة لوجوده حراً في الطبيعة، بالإضافة إلى ألوانه المميزة والبراقة. كما تم في صناعة الحلى أو الأواني المنزلية. ذهب العلماء إلى القول أنَ أول استعمال للنحاس كان وليد الصدفة عندما قامت النار بإذابة النحاس الملتصق بالأحجار المحاطة بها، وتكررت هذه الصدفة مراراً، وقد استخدم قدماء المصريين خلائط النحاس في تلوين الزجاج ومن المحتمل أنهم أول من قاموا باستخلاص النحاس منذ حوالي خمسة آلاف عام على الأقل، حيث كانت الأواني القديمة التي قاموا بصناعتها من النحاس الخالص وليست من سبائكه، ولهذا السبب كانت هناك حاجة لإضافة عنصر آخر إلى معدن النحاس ليزيد من صلابته، وأسهمت الطبيعة في تحقيق ذلك بل وقدمت للإنسان نحاساً مخلوطاً، شديد الصلابة لاحتوائه على القصدير والزنك ليكون بذلك معدن البرونز الطبيعي أو النحاس الأصفر. وبالرغم من ذلك فقد ظل الإنسان مدة طويلة قبل أن يتجه للخطوة الثانية في هذا الصدد، حيث تم خلط معدن بمعدن بهدف الحصول على مركبات متعددة الاستخدامات وربما تكون مثل هذه الحادثة هي الدافع في استخدام الإنسان لهذا الخلائط، حيث جعل من هذه المادة المرنة مصدراً يتخذ منه معداته وأسلحته إذ إنها تتميز بالسهولة في الاستخدام ودوام البقاء مقارنةً بالأحجار[1].

يخلط النحاس مع العديد من العناصر الأخرى بهدف الحصول على خلائط بمواصفات قياسية أفضل يتم استخدامها في الصناعة كخلائط النحاس والبرونز وخلائط النحاس القصدير وخلائط النحاس الحاوي على الرصاص وغيرها..... ولكن مع مرور الزمن وتطور العلم لوحظ أن للرصاص تأثيرات ضارة على الإنسان والبيئة وتم العمل والدراسة على إزالتها واستبدالها بعناصر أخرى غير ضارة مع المحافظة على الخواص الأساسية [2].

استخدم الغرافيت كبديل للرصاص من أجل الحفاظ على إمكانية تشغيل مكونات الخلائط النحاسية بمستوى مماثل للنحاس المحتوي على هذه العناصر. بما أن الغرافيت لا يرطب بواسطة سبائك النحاس المنصهرة، فقد استخدم التيتانيوم كعامل ترطيب لتحسين قابلية الغرافيت للتبلل في مصهور النحاس. يُعرف الكروم أيضاً بأنه عامل ترطيب جيد للغرافيت.

تتوزع جزيئات الغرافيت في خلائط النحاس بشكل موحد، حيث دُرس سلوك التدفق للغرافيت في خلائط النحاس عن طريق اختبارات السيولة وتعدين المساحيق، وتحديد تأثير معدل التبريد على توزيع جزيئات الغرافيت لخلائط النحاس المحتوية على جزيئات الغرافيت. أيضاً، حددت كمية سلوك تعويم جسيمات الغرافيت في مصهور النحاس لمعرفة أوقات الاحتفاظ المسموح بها للسبائك المنصهرة في الفرن [2].

أسباب القيام بالبحث:

السبب الرئيسي للقيام بالبحث هو اتساع نطاق استخدام السبائك النحاسية في مضمار الصناعات وتخفيف من تأثر الرصاص الضار على هذه السبائك لذلك سنحاول على :

1) دراسة سبائك نحاسية خالية من الرصاص باستخدام الغرافيت وعناصر أخرى، وإنتاج سبائك نحاسية حاوية على غرافيت بطريقة ونمذجة المياه والسيولة و تعدين المسحوق.
2) دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه السبائك بعد إضافة الغرافيت باستخدام مواد مساعدة مثل الكروم والتيتانيوم والبزموت أثناء عملية الخلط والمزج.
3) دراسة البنية المجهرية للعينة الممزوجة والمضاف لها الغرافيت والخصائص الميكانيكية والحرارية للسبيكة باستخدام مادة مساعدة (السيليكون) .

مساهمات البحث:

نلخص مساهمات البحث كالآتي:

- اقتراح سبيكة نحاسية خالية من الرصاص تحتوي على الغرافيت لها مواصفات وخواص ميكانيكية مناسبة ليس لها أي تأصير على البيئة وضرر للإنسان.
- دراسة سبيكة نحاسية حاوية على الغرافيت وعناصر أخرى كالبزموت باستخدام تقنية تعدين المساحيق والسيولة استنادا إلى دراسات مرجعية سابقة، وإجراء محاكاة لخصائصها الميكانيكية بعد إضافة السيلكون بنسبة 4%، حيث بينت نتائج المحاكاة أن الخصائص الميكانيكة للسبيكةجيدة وثابتة وأفضل من السبائك الحاوية على الرصاص بنسبة تصل إلى 80%.

الدراسات السابقة في هذا المجال:

الدراسة الأولى (2013):

[8] K. Okuma, R. Ikeda, E. Yoshida and T. Nakamura: J. the Japan Copper and Brass Research Association 34 (2013) 201-205.

يتم في هذه الدراسة العمل على تقنية لإزالة الرصاص من سبائك النحاس المحتوية على الرصاص. نظرًا لأن طرق إزالة الرصاص يوجد بها صعوبات، فقد تم تطبيق طريقة التبخر باستخدام الكلور وطريقة الأكسدة حتى الآن. **المشكلة في هذا البحث** أنه يتم تطبيق هذه الطرق اليوم على الرغم من آثارها البيئية الكبيرة ووقت المعالجة الطويل. لذلك تم العمل على إزالة الرصاص عن طريق الفصل المركب للنحاس. حيث يتم تم فحص طريقة الفصل المركب التي يتم فيها نزع الرصاص من سبائك النحاس المنصهرة في كل من النحاس الأصفر والبرونز.

الدراسة الثانية (2015):

[13] H. Imai, K. Kondoh, Y. Kosaka, A. Kojima, G. Katano and J. Umeda: J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall. 55 (2015) 746.

في هذه الدراسة تم العمل على تم استبدال الرصاص بعد إزالته بالغرافيت والبزموت باستخدام تقنية نمذجة المياه والسيولة. **المشكلة في هذا البحث** أنه تم حدوث اضطرابات في السبيكة المنصهرة وتشكيل فقاعات من الهواء. لذلك تم الاعتماد على استخدام تقنية تعدين المساحيق المكونة من مرحلتين خلط ومزج من أجل الحصول على نتائج أفضل لسبائك نحاس خالية من الرصاص باستخدام الغرافيت والبزموت.

الدراسة الثالثة (2018):

[24] ASM source book in copper and copper alloys. Metals Park: American Society for Metals; (2018).

في هذه الدراسة استخدم السيلكون لاستكمال عمليات التصنيع لسبائك النحاس الحاوية على الرصاص. **المشكة في هذا البحث** أن المواد التي تحتوي على الرصاص تمثل واحدة من أكبر المشاكل البيئية في الإنتاج العالمي. لذلك تم العمل على إنتاج سبائك نحاسية خالية من الرصاص ومضاف لها السيلكون بنسبة 4% وتم اختبار قابلية هذه المواد على قوة القطع وخشونة السطح ونوع الرايش المتشكل.

تنظيم الأطروحة:

تم تنظيم الأطروحة كما يلي:

يقدّم الفصل الأول مجموعة من المبادئ والمفاهيم الأساسية في النحاس والغرافيت وخواصهم الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية وخلائطهم .

في الفصل الثاني تم دراسة فصل سبائك النحاس الحاوية على الرصاص باستخدام طريقة الفصل المركب وإضافة الغرافيت والبزموت بطريقة تعدين المساحيق استنادا إلى دراسات مرجعية سابقة.

يوضح الفصل الثالث دراسة تحسين سبائك النحاس الحاوية على الغرافيت باستخدام تقنيتي نمذجة المياه والسيولة واستخدام التيتانيوم كمعامل ترطيب في هذه المرحلة استنادا لدراسة مرجعية.

يتصدّى الفصل الرابع لمرحلة دراسة الخواص الميكانيكة لسبيكة النحاس الحاوية على الغرافيت مع أضافة السيلكون وإحراء محاكاة لمنحتيات الخواص باستخدام برنامج (MATLAP)، والتي تتضمن ما يلي:

- دراسة إمكانية التشغيل الألي.
- دراسة القدرة الميكانيكية على أساس ارتداد الأداة.
- دراسة القدرة الميكانيكية على أساس خشونة السطح.

أخيراً، نقدّم خاتمة عامة وآفاق مستقبلية للبحث

الفصل الأول : مبادئ ومفاهيم أساسية

(1-1) النحاس:

عبارة عن فلز محمر اللون يتغير لونه وخواصه عندما يتحد مع عناصر أخرى مشكلاً مركبات مختلفة. من الناحية الصحية يحتوي جسم الإنسان على كمية من النحاس تقدر بحوالي 100 ملجم ولا تقل عن ذلك [1]. حيث تسهم في الوقاية من أمراض فقر الدم، وكذلك يدخل النحاس أيضاً في تركيب بعض الأنزيمات. أما في المجال الصناعي فيستخدم النحاس بشكل واسع في صناعة الأسلاك الكهربائية، حيث يستهلك 40% من نسبة النحاس الذي يُنتج سنوياً في هذا المجال [1].



الشكل (1-1) فلز النحاس

(1-2) خواص النحاس:

(1-2-1) الخواص الكيميائية:

تُعد مقاومة النحاس للتآكل من أهم خواصه الكيميائية، حيث تعتمد مقاومة النحاس وسبائكه للتآكل على قدرته في تكوين مركبات مستقرة توفر بعض الحماية من التآكل. وعند التعرض للغلاف الجوي تتشكل طبقات واقية من الأكاسيد والأملاح الأساسية ضعيفة الذوبان على سطح النحاس وسبائكه، بالإضافة إلى كونه عنصراً خاملاً نسبياً ضد المواد الكيميائية.

في معظم مركباته يمكن أن يكون له التكافؤ (حالة الأكسدة) I + أو (حالة التكافؤ) II + ،المحاليل المائية لأيونات النحاس في حالة الأكسدة (II +) لها لون أزرق، بينما أيونات النحاس في حالة الأكسدة (I +) عديمة اللون تعطي مركبات النحاس لوناً مخضراً للهب. بالإضافة إلى خواص كيميائية أخرى:

- لا يتفاعل النحاس مع الماء.
- يتفاعل النحاس ببطء مع الأكسجين الجوي.
- يتآكل النحاس عند تعرضه للكبريتيدات.

(1-2-2) الخواص الميكانيكية:

تعتمد الخواص الميكانيكية للنحاس على حالتها، وتحدد من خلال هيكلها الشبكي، وتحدد الخواص الميكانيكية الأساسية للنحاس (الصلابة والقوة والليونة) من حالة المادة في المعايير إما بالحرف H الذي يمثل الحد الأدنى من الصلابة، أو الحرف R الذي يمثل الحد الأدنى من مقاومة الشد. وزيادة قوة النحاس وصلابته عن طريق صناعة السبائك تؤدي إلى انخفاض في التوصيل الكهربائي.

(1-2-3) الخواص الفيزيائية:

إن الخواص الفيزيائية للنحاس متعددة حيث يعد مادة موصل جيد للكهرباء والحرارة وتصنع منه المبادلات الحرارية وأسلاك التوصيل الكهربائيي، ويستعمل في صنع البطاريات والأجهزة الكهربائية مثل الوشيعة الكهربائية، وهو سهل في عملية الطرق والسحب. من أهم خواصه:

- **التوصيل الكهربائي:**

أدى توليد الكهرباء ونقلها واستخدامها إلى إحداث تحول في العالم الحديث، أصبح ذلك ممكناً بفضل النحاس (بنسبة نقاء لا تقل عن 99.9٪)، فهو يتمتع بأفضل توصيل كهربائي من أي معدن آخر وهذا أحد أكثر الخواص الفيزيائية المعروفة للنحاس. وكما يدخل في صناعة الأسلاك والكابلات والشرائط وقضبان التوصيل.

- **التوصيل الحراري:**

يعد النحاس موصلاً جيداً للحرارة (حوالي 30 مرة أفضل من الفولاذ المقاوم للصدأ و1.5 مرة أفضل من الألومنيوم). ويؤدي هذا إلى استخدامه في التطبيقات التي تتطلب النقل السريع للحرارة مثل المبادلات الحرارية في وحدات تكييف الهواء، ومشعات المركبات، والمشتتات الحرارية في أجهزة الكمبيوتر، وآلات الختم الحراري وأجهزة التلفزيون، ومكونات الأفران المبردة بالماء. تحتوي شمعات الإشعال عالية الجودة على قطب نحاسي مركزي لتمكين إزالة الحرارة ومنع ارتفاع درجة الحرارة.

- **سهولة الربط:**

يمكن ربط النحاس بسهولة بالنحاس أو اللحام أو الصهر أو المواد اللاصقة. في الصناعة يعد هذا مفيداً جداً لأنابيب السباكة وربط قضبان التوصيل، التي تعد عناصر حيوية لأنظمة توزيع الطاقة. من ناحية أخرى، يعد أيضاً ميزة مهمة للفنانين الذين يصنعون المنحوتات والتماثيل، ولصناع المجوهرات وغيرهم من الحرفيين الذين يتعاملون مع هذا المعدن.

(1-3) خلائط النحاس:

لصناعة خلائط النحاس يمزج النحاس مع عدد كبير من المعادن الأخرى لإنتـاج أكثر من (1000 سبيكة) مختلفة لكل منها صفات صناعية تختلف باختلاف المعادن التي خلطت بالنحاس، وكذلك تتغير ألوان السبائك باختلاف ألوان المعادن المخلوطة [2]. حيث يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات:

1. الخلائط التي لها نطاق تجميد ضيق، أي نطاق 50 درجة مئوية بين المنحنيات السائلة والصلبة، وهي النحاس الأصفر والمنغنيز، والألمنيوم والبرونز، والنيكل والبرونز، وسبائك البرونز، والمنغنيز والنحاس، والكروم والنحاس.
2. الخلائط التي لها نطاق تجميد متوسط، أي نطاق تجميد يتراوح من 50 إلى 110 درجة مئوية بين المنحنيات السائلة والصلبة. وهي نحاس البريليوم، وبرونز السيليكون، ونحاس السيليكون، وسبائك النحاس والنيكل.
3. السبائك التي لها نطاق تجميد واسع. تتمتع هذه السبائك بنطاق تجميد يزيد عن 110 درجة مئوية، وحتى 170 درجة مئوية. وهي النحاس الأحمر وشبه الأحمر المحتوي على الرصاص، والبرونز والقصدير، والقصدير المحتوي على الرصاص، والقصدير عالي الرصاص.

(1-4) خلائط النحاس الحاوية على الرصاص:

يعد الرصاص من أقدم العناصر المكتشفة، استعمل في صنع العملات المعدنيّة وأواني الطبخ، ودخل في العديد من المجالات الصناعية بالإضافة إلى استخدامه خليطاً مع عناصر أخرى وتشكيل خلائط متعددة ليستخدم في المجالات الصناعية لكن مع مرور الزمن تبيّن أنه مادّة سامّة ذات تأثير ضار.

في الآونة الأخيرة، أصبحت مشكلة البيئة على نطاق عالمي قضية حرجة في المواد المعدنية، لا يلزم فقط خفض التكلفة وتحسين الخواص الميكانيكية فقط بل يجب أيضا تقليل التلوث. في خلائط النحاس أضيفت نسبة معينة من الرصاص لتحسين التشغيل الآلي. ومع ذلك، نظراً للسمية الضارة للرصاص والتي تضر بالصحة، فرضت لائحة جديدة للحد من كمية الرصاص المسموح بها في إمدادات مياه الشرب التي تصل إلى 0.1%، حيث يبين الشكل (1–2) تأكل الرصاص في أنابيب مياه الشرب.

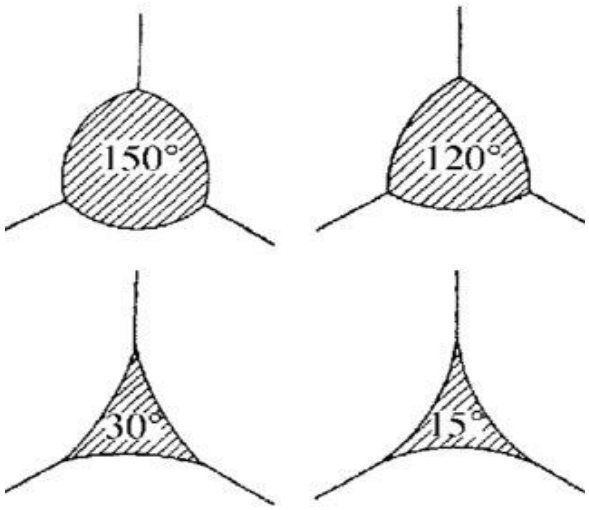


الشكل (1–2) تأكل الرصاص في أنابيب مياه الشرب

استخدمت خلائط النحاس التي تحتوي على نسبة مئوية من الرصاص على نطاق واسع في صنابير المياه وأنابيب إمدادات المياه العذبة نظراً لقدرتها الجيدة على مقاومة التآكل والخواص الميكانيكية العالية. ومع ذلك، فإن الرصاص ضار بصحة الإنسان ومن أجل الحد من كمية الرصاص المسموح بها في إمدادات مياه الشرب خفضت القيمة القياسية للرصاص بشدة إلى 0.01 مغ / لتر في اليابان في أبريل عام (2003) كتدبير مضاد. كما أنه أيضا تُستخدم خلائط النحاس المحتوية على الرصاص في صنع الموصلات الكهربائية والمحامل الميكانيكية، خاصة في صناعة السيارات، حيث يتطلب الأداء العالي والموثوقية. يمكن أن تحتوي المحامل الميكانيكية على نسبة عالية من الرصاص [3] .

كما أن خلائط النحاس التي تحتوي على حوالي 2–4%من الرصاص تدخل في تطبيقات النحاس المُشَكَّلة، حيث يعمل محتوى الرصاص على تزييت النحاس وتسهيل عملية التشغيل الآلي، وهي تشمل الموصلات الكهربائية عالية الجودة التي تتطلب قدرة تيار عالية ومقاومة كهربائية منخفضة. تُستخدم هذه الوصلات في الأتمتة الصناعية وصناعة السيارات [3] .

في خلائط النحاس الحاوية على الرصاص يوجد الرصاص على شكل شوائب منفصلة، وغالباً ما توجد على طول حدود حبيبات النحاس، حيث تكون الزاوية بين حبيبات النحاس مابين ل120 ل 150 درجة لكن عند إضافة الرصاص تتقصف الزاوية ثنائية بين السطوح وتقل إلى 15 ل 30 درجة الشكل (1–3).



الشكل (1–3) البنية المجهرية وتقصف سبائك النحاس المحتوية على الرصاص [3]

(1-5) الغرافيت:

الغرافيت شكل من أشكال الكَربون، يوجد كمعدن في الطبيعة، كما يمكن تكوينه صناعياً. ومَعدن الغرافيت أسود وقد يميل إلى اللون الرمادي، وله بريق فِلزي أو مَظهر ترابي مَلْمَسُه شَحمي، وهو رخْو يترك أثراً بسهولة على الأجسام، وهاتان الخاصِّيتان تجعلان منه مادةً مناسبة لصناعة المزلقات، أي المواد التي تساعد على سهولة حركة أجزاء الآلات، وأيضاً لصناعة أقلام الكتابة الشكل (1-4).

ويوجد الغرافيت في الطبيعة على هيئتين: إما كصفائح أو قشور تتكون من بلورات صغيرة مسطحةٍ من الفصيلة السداسية، وإما على شكل كُتَلٍ ترابية المظهر من بَلُّورات مِجْهرية (لا ترى إلا بالمجهر) وتوجد هذه الأشكال من خام الغرافيت منتشرة فيما يُسمى بالصخور المتحولة، أي الصخور التي تعرضت في تاريخها الطويل إلى درجات عالية جداً من الضغط والحرارة، فانصهرت أو قارَبت درجة الانصهار ثم تصلبت بعد ذلك.مثل هذه الصخور عندما تكون محتوية على كميات كبيرة من الكربون (أصله نباتي غالباً)، فإن هذا الكربون عندما يتعرض لعملية التحوُّل هذه ينصهر ثم يتصلب مُتبلْوراً على هيئة غرافيت. يتفاعل الغرافيت مع كميات من بخار الماء الموجودة في طبقات الجو، حيث تتكون طبقة رقيقة تقلل من عملية احتكاك السطوح مع بعضها بعضاً. هذا و يمتاز الغرافيت بمقاومته للحرارة العالية، الأمر الذي يجعله يتحمل أي ظرف أو عامل قد يصيبه ويحيط به دون حدوث أي تغير أو ضرر [4].

وأهم أماكن وجود خام الغرافيت في العالم جزيرتا سريلانكا (سيلان) إلى الجنوب الشرقي من الهند، ومَدْغَشقر إلى الجنوب الشرقي من قارة أفريقيا، وتوجد أيضاً رواسبُ جيدةٌ من هذا الخام في النمسا وإيطاليا والهند وكوريا والمكسيك وروسيا وبالرغم من وجود الغرافيت في الطبيعة بكميات لا بأس بها، إلا أنه يُصنعُ بكميات أكبرَ من تلك التي تستخرج من الطبيعة، ذلك لما يمتاز به الغرافيت المُصَنَّع من نقاوة يفتقر إليها الغرافيت المستخرج من الطبيعة [4] .



الشكل (1-4) الغرافيت المعدني المستخدم في قلم الرصاص

(1-5-1) خواص الغرافيت:

1. يعد في تصنيفه معدناً طبيعياً.
2. له صيغة كيميائية خاصة به يرمز لها بالرمز "C"
3. له نظام بلوري هرمي سداسي الشكل.
4. متباين الألوان قد يظهر باللون الأزرق أو الأسود المائل إلى الرمادي.
5. يمتاز بتصدعه الذي قد يكون متقشراً، وقد يكون خشناً يظهر عندما لا يكون الغرافيت منفلقاً.
6. من المعادن المرنة القابلة للقطع.
7. يمتاز بموصليته العالية للحرارة وانخفاض قابليته للتبلل.

8. يمتاز ببريقه المعدني الترابي.

9. له مخدش يظهر باللون الأسود.

10. من المعادن المعتمة غير الشفافة.

(1-5-2) استخدامات الغرافيت:

- يدخل في صناعة المزلقات التي تساعد على تسهيل حركة الآلات، لكونه يمتاز بملمسه الشحمي إضافةً إلى كونه من المعادن الرخوة.
- يستخدم لصناعة أقلام الرصاص وذلك عندما يقوى بمادة الصلصال خصوصاً.
- يدخل في صناعة أنواع متعددة من الخزانات التي تقوم بحفظ كمية كبيرة من الحموض القوية وذلك نظرا لصعوبة ذوبانه في تلك الحموض.
- يدخل في صناعة الأقطاب الكهربائية، وفي أنواع قليلة من الطلاء.
- يدخل ولكن بكميات قليلة في صناعة الأفران الحرارية والبوابات المنزلقة، إضافةً إلى استخدامه في فوهات صب المعادن وصناعة أنواع عديدة من بواتق صهر المعدن.
- يدخل أحياناً في صناعة أجزاء الطائرات وبعض من الأقمار الصناعية.
- يمكن استخدامه في تطوير البلاستيك وتحسين خواصه لجعله موصلاً للحرارة.
- يعد الغرافيت المادة الخام الأساسية والرئيسية لصناعة الألماس الصناعي.

(1-6) دور الغرافيت في خلائط النحاس:

في العمليات الصناعية، يعد الخلط عملية مهمة تتضمن التلاعب بالنظام الفيزيائي غير المتجانس بقصد جعله أكثر تجانساً، حيث يتم إجراء الخلط للسماح بنقل الحرارة والكتلة بين واحد أو أكثر من التدفقات أو المكونات خلال مراحل عدة. تتضمن المعالجة الصناعية الحديثة دائماً نوعاً معيناً من الخلط حيث يمكن خلط مادة صلبة أو سائلة أو غازية مع مادة صلبة أو سائلة أو غازية أخرى، ويقوم الخلط على الجمع بين محتويات منتج معين عن طريق تقليبها باعتدال مراراً وتكراراً حتى تصبح كتلة واحدة. وتستخدم هذه التقنية في صناعة الخلائط المهمة التي تشكل دوراً مهماً في تقدم الصناعة، فقد انتشر استعمال هذه الطريقة باستخدام خلاطات وأفران تحضير خاصة من أجل الحصول على سبائك تستخدم في تطوير العملية الصناعية.

أحد الأسباب الرئيسية لاستخدام الغرافيت في صناعة الخلائط النحاسية هو وجود الطور السائل للنحاس في بداية التلبيد (1120 درجة مئوية). حيث يتسبب انتشار النحاس السائل في حدوث اضطراب في الهيكل، وهذا بدوره يمكن أن يسبب تغيراً عالياً في الأبعاد، وإذا لم يتم التحكم فيه بشكل صحيح فقد يتسبب في حدوث تشويه، لذلك من المهم التحكم في انتشار النحاس. إن الغرافيت المضاف يقلل من انتفاخ النحاس عن طريق تغيير الزاوية ثنائية السطوح. يعتمد تأثير الغرافيت على انتشار النحاس وعلى نوع الغرافيت، وحجم الجسيمات من الغرافيت ومعدل التسخين، بالإضافة إلى تأثير نوع الغرافيت وحجم جزيئات الغرافيت على انتشار النحاس [5].

أظهرت الدراسات أنه في المستويات المنخفضة من الغرافيت (0.2٪)، لم يكن تأثير نوع الغرافيت أو حجم الغرافيت قوياً على انتشار النحاس. لكن في المستويات العالية من الغرافيت (0.8٪)، كان الغرافيت الاصطناعي أكثر فعالية في تقليل اضطراب النحاس. لم يكن حجم تأثير جزيئات الغرافيت الاصطناعية على انتشار النحاس مقارنة بتأثير حجم الغرافيت الطبيعي كما كان هناك أيضاً تأثير كبير لمعدل التسخين على انحلال الغرافيت واضطراب النحاس [6] .

تمت مراجعة الأبحاث الحديثة حول دمج الغرافيت في خلائط النحاس بالتفصيل. وقُدِم حساب شامل لعدد كبير من طرق المعالجة التي يمكن استخدامها لإعداد خلائط النحاس الحاوية على غرافيت مع وصف الهياكل الدقيقة التي يمكن إنتاجها. وصفت طرق المعالجة التي استخدمت بما في ذلك طرق المسحوق والمعالجة الكهروكيميائية، وترسيب البخار الكيميائي، وتدخل المعدن السائل بين عدد من الطرق الأخرى. كما وصفت الخواص الميكانيكية للخلائط بالتفصيل مع حساب العوامل الهيكلية التي تتحكم في السلوك الميكانيكي. ونوقشت آليات التشوه، ووصف تأثير العوامل مثل محتوى الغرافيت ونوع الغرافيت المستخدم، جنباً إلى جنب مع ظروف المعالجة لتصنيع الخلائط. أيضاً تم مراجعة الخواص الوظيفية لخلائط النحاس الحاوية على غرافيت بما في ذلك خواصها الكهربائية والحرارية، والسلوك الترا بيولوجي والتآكل [6].

الفصل الثاني : دراسة إزالة الرصاص من سبائك النحاس وإضافة الغرافيت

(2-1) مقدمة:

في الآونة الأخيرة، أصبحت مشكلة البيئة على نطاق عالمي قضية حرجة في المواد المعدنية، لا يلزم فقط خفض التكلفة وتحسين الخواص الميكانيكية ولكن أيضاً تقليل التلوث البيئي. حيث في سبائك النحاس الحاوية على الرصاص كانت نسبة الرصاص لا تقل عن 6%. و نظراً للسمية الضارة للرصاص والتي تضر بالصحة، تم فرض لائحة جديدة للحد من كمية الرصاص المسموح بها في إمدادات مياه الشرب. لحل هذه المشكلات كان هناك حاجة إلى تطوير تقنية جديدة لإزالة الرصاص من سبائك النحاس المحتوية على الرصاص. نظرًا لأن طرق إزالة الرصاص يوجد بها صعوبات، فقد طبقت طريقة التبخر باستخدام الكلور وطريقة الأكسدة حتى الآن، ومع ذلك قد لا تطبق هذه الطرق اليوم بسبب آثارها البيئية الكبيرة ووقت المعالجة الطويل. لذلك تم في هذه الدراسة إجراء عملية الفصل المركب التي ينزع فيها الجسيمات الكبيرة العائمة لمركب الرصاص من سبائك النحاس المنصهرة في كل من سبائك النحاس الأصفر وسبائك النحاس برونز [7].

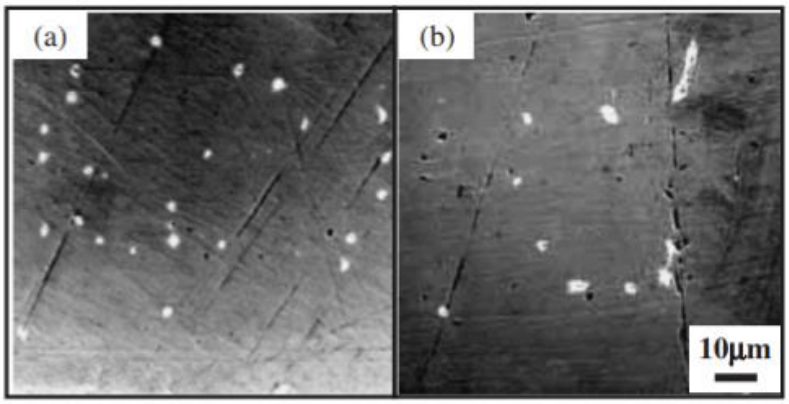
(2-2) استخلاص الرصاص من النحاس:

تم استخدام خليطة نحاس (CAC203) تحتوي على كتلة من الرصاص 2.15%، وبرونز (CAC406) يحتوي على كتلة من الرصاص 5.5% كعينات اختبار. ويوضح الجدول (2-1) التركيب الكيميائي للنحاس والبرونز [7].

الجدول (2-1) التركيب الكيميائي لسبائك النحاس المستخدمة

	Cu	Pp	Sn	P	Fe	Mn	Al	Si	Zn
النحاس	58.51	2.15	0.07	__	0.05	0.005	0.6	<0.005	38.58
البرونز	38.11	5.50	4.56	0.011	0.28	<0.005	<0.005	<0.005	6.33

يوضح الشكل (2–1) صوراً لعينات النحاس والبرونز. تشير البقع البيضاء في الشكل إلى الرصاص الذي يظل غير منحل داخل المصفوفة ويتشتت كجسيمات يبلغ حجمها ميكرونات عدة 0.1 ملم ميكرون. حيث تم صهر النحاس (3 كغ) والبرونز (5 كغ) باستخدام فرن الحث عالي التردد (20 كيلو وات) الذي يستخدم لصهر سبائك النحاس تحت غاز النيتروجين ويعمل هذا الفرن لمدة ثلاث ساعات متواصلة دون توقف الشكل (2–2). تم استخدام بوتقة الكربون في وعاء الصهر حيث كانت أبعاد البوتقة (القطر الداخلي: 110 مم، الارتفاع: 250 مم). ومن أجل تكوين مركبات (Pb–Ca)، استخدم سيليد الكالسيوم (ca–si) كمركب مساعد [8].



الشكل (2–1) صور (a) عينات نحاس و (b)عينات برونز، وتوضح البقع البيضاء توضع الرصاص [8].



الشكل (2–2) فرن حث كهربائي عالي التردد

يوضح الجدول (2–2) التركيب الكيميائي لمركب (ca–si). وفقاً لتقسيم الأشعة السينية (XRD)، يتكون هذا المركب من(CaSi2) وSi. في حالة النحاس الأصفر أتم إضافة مركب (ca–si)إلى النحاس المصهور عند 1183 كلفن. بعد التحريك والضغط، ارتفعت الجزيئات الكبيرة المتكونة لمركب الرصاص عبر النحاس المنصهر. تم إزالة بعد ذلك مركبات الرصاص هذه من النحاس المصهور ك "مرحلة أولى". ثم بعد عملية الفصل تم القيام بعملية التجميع للمركب باستخدام (NaF) لإزالة مركبات الرصاص الصغيرة المتبقية من النحاس المنصهر حيث يعمل مركب فلوريد الصوديوم عند إضافته إلى رفع جزيئات الرصاص الصغيرة لسطح النحاس المصهور ونطلق على هذه العملية "المرحلة الثانية" [8].

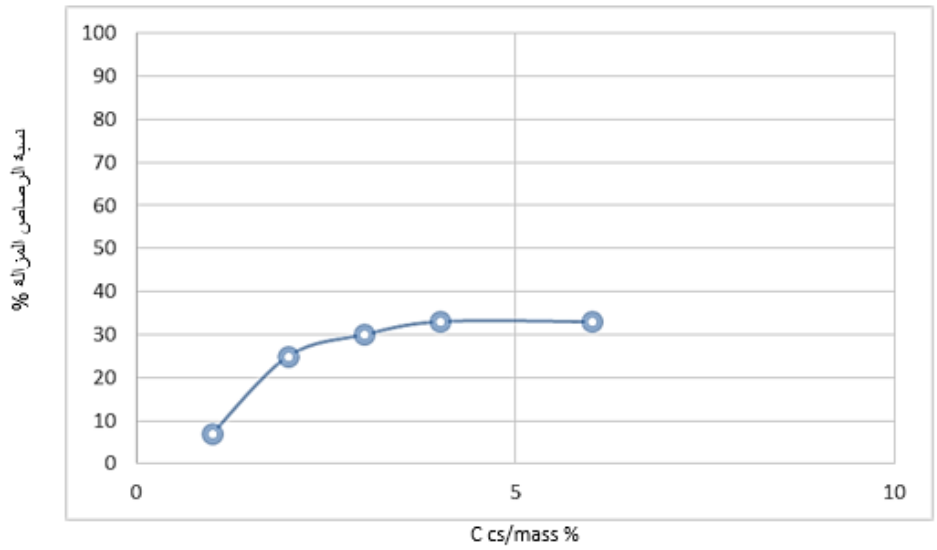
الجدول (2–2) التركيب الكيميائي لمركب (ca–si)

Ca	Si	Al	Fe	C
28.8	61.0	1.48	5.1	0.64

تم إضافة مركب (ca–si) إلى البرونز المصهور، حيث كانت النسبة المئوية لإزالة الرصاص حوالي 20٪. بما أن تفاعل Sn مع F في وجود Ca أفضل من تفاعل Ca مع Sn في وجود Pp، تم إضافة فلوريد الكلور (NaF) بنسبة 2.24% إلى البرونز المصهور لتكوين مركب (Sn–F)، متبوعاً بإضافة مركب (ca–si) عند 1323 كلفن. وهذا أدى إلى نزع الجسيمات الكبيرة لمركب الرصاص من البرونز المصهور.

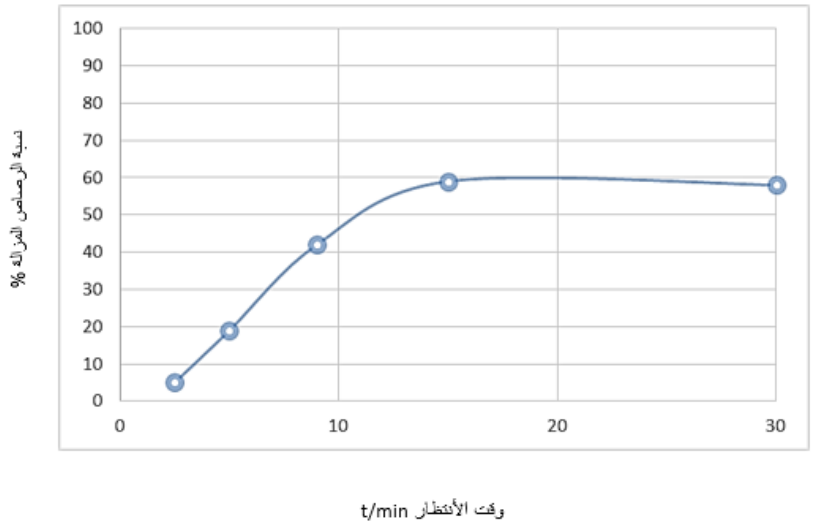
تم تغيير وقت الاحتفاظ بسبائك النحاس المنصهرة ودرجة حرارة إزالة مركب Pb بعد التجربة، ثم أجري التحليل الدقيق للمسبار الإلكتروني (EPMA) وتحليل الأشعة السينية الفلورية (XRF). أظهرت النتائج أنه يمكن تحقيق نسبة عالية لإزالة الرصاص تصل إلى 56% مع وقت انتظار 15 دقيقة [8].

يوضح الشكل (2–3) العلاقات بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص من النحاس الأصفر في المرحلة الأولى ومقدار مركب (ca–si) كما هو مبين تزداد النسبة المئوية لإزالة الرصاص مع زيادة كمية مركب (ca–si) حيث بلغت النسبة المئوية لإزالة الرصاص حوالي 32% [9].



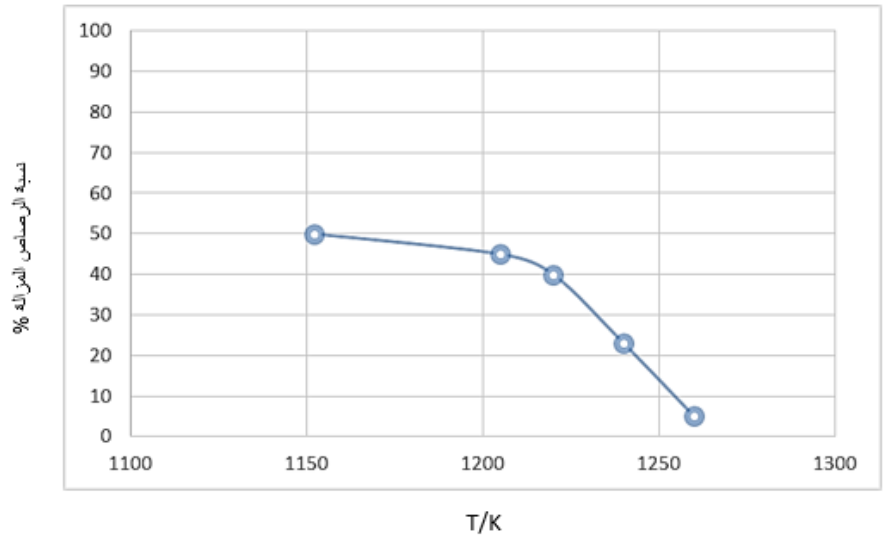
الشكل (2–3) العلاقة بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ومقدار مركب (ca–si) [9]

يوضح الشكل (2–4) العلاقة بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ووقت الاحتفاظ بالنحاس المنصهر. تزداد النسبة المئوية لإزالة الرصاص بشكل مفاجئ مع استمرار الانتظار حتى 10 دقائق وتشبع بعد 15 دقيقة. يشير هذا إلى أن مركب (ca–si) يتفاعل بسرعة مع الرصاص، ثم تنتقل معظم مركبات الرصاص المشكلة من الطور الصلب إلى سطح النحاس المصهور في حوالي 15 دقيقة [9].

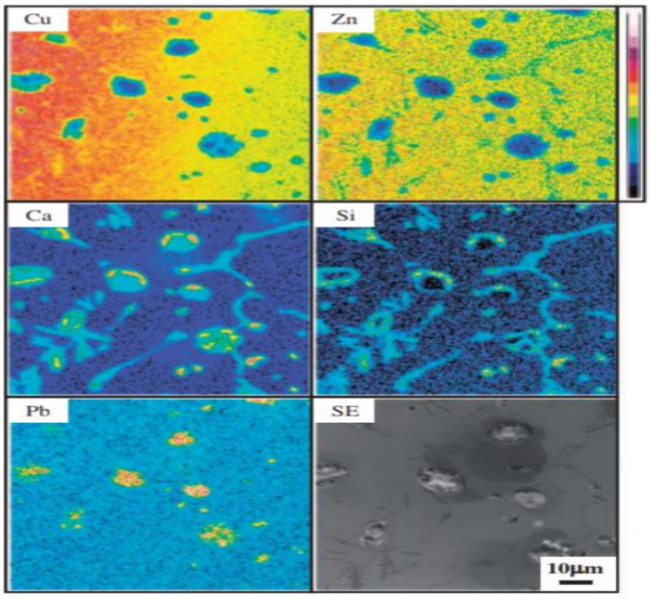


شكل (2–4) العلاقة بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ووقت الانتظار [9]

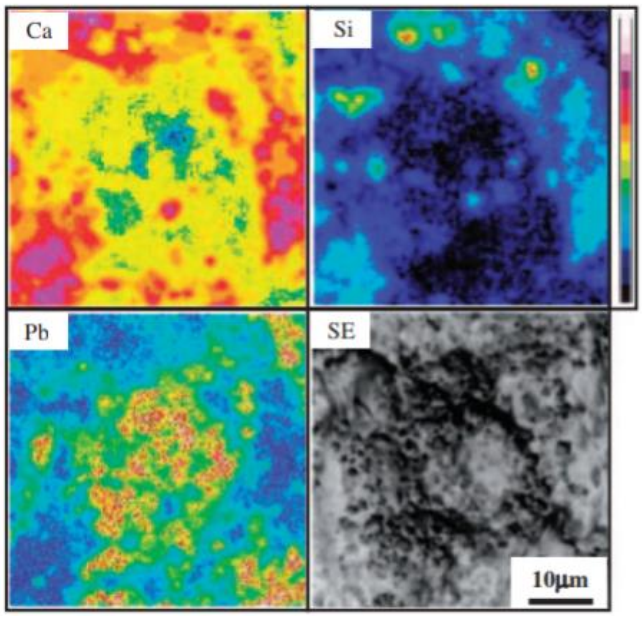
يوضح الشكل (2–5) العلاقات بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ودرجة حرارة إزالة مركب الرصاص. في كل من النحاس الأصفر (المرحلة الأولى) ، حيث تنخفض نسبة إزالة الرصاص مع ازدياد درجة حرارة عملية إزالة مركب الرصاص. ولكن في البرونز، عندما تكون درجة حرارة إزالة مركب الرصاص أقل من 1183 كلفن، تنخفض النسبة المئوية لإزالة الرصاص. وعند القيام بإضافة مركب (ca–si) إلى النحاس المصهور بعد المرحلة الأولى كان توزع الرصاص مشابه لتوزع الكالسيوم ويتوضع السيلكون حول مركبات الرصاص يوضح الشكل (2–6) تحليل (EPMA) للنحاس بعد المرحلة الأولى حيث حجم جزيئات مركبات الرصاص صغير جداً. من ناحية أخرى، تمت ملاحظة جسيمات مركب (ca–si) غير المتفاعلة مع الرصاص في الشكل (2–7). وهذا يشير إلى أن مركب سيليد الكالسيوم المضاف بنسبة 4% كان كثيراً جداً بالنسبة لمحتوى الرصاص في النحاس [9].



شكل (2–5) العلاقات بين النسبة المئوية لإزالة الرصاص ودرجة حرارة عملية إزالة مركب الرصاص [9]

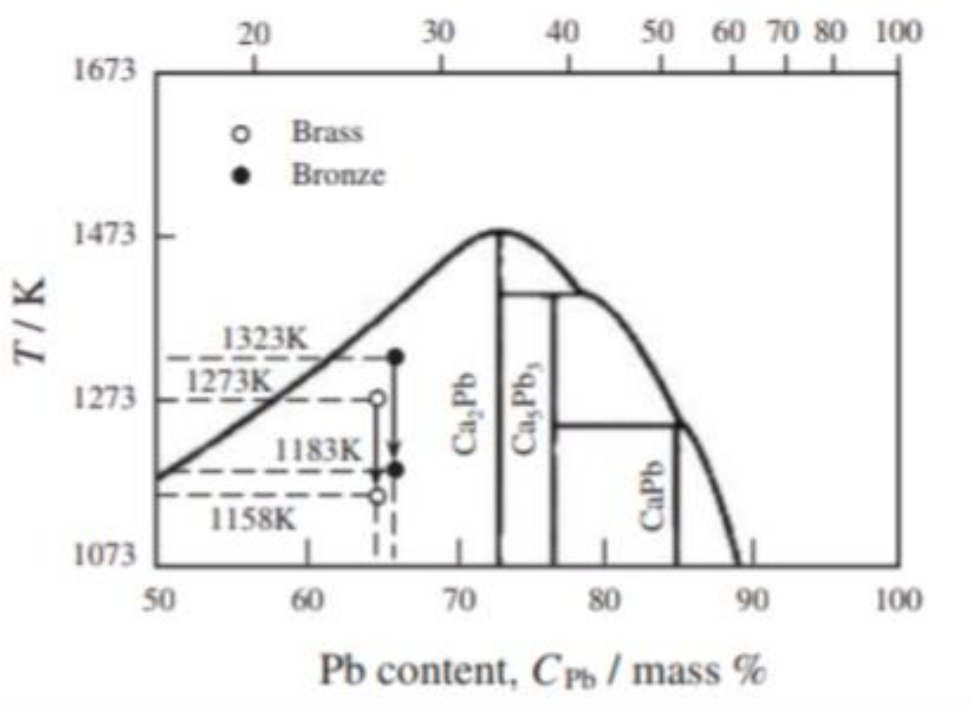


شكل (2–6) تحليل (EPMA) للنحاس بعد المرحلة الأولى [9]



الشكل (2–7) تحليل (EPMA) للنحاس بعد المرحلة الثانية [9]

تمت مناقشة النتائج المذكورة أعلاه بناءً على مخطط طور التوازن لنظام (Ca – Pb)، حيث يوضح الشكل (2–8) مخطط طور التوازن لنظام Ca – Pb. افترضنا أن كل Ca يتفاعل مع Pb. عند إضافة مركب 4% من (ca–si) إلى النحاس المصهور، يصبح تركيز الرصاص في مكون (Ca–Pb) 65.1 %. عند إضافة 10% مركب (ca–si) إلى البرونز المصهور، يصبح تركيز Pb في مركب (Ca–Pb) 65.5 %. درجة حرارة إضافة مركب Ca – Si هي 1273 كلفن في النحاس، و1323 كلفن في البرونز. وفقاً لمخطط طور التوازنى في كل من النحاس والبرونز يوجد كل من الطور السائل والمرحلة الصلبة (Ca2Pb) وتكون نسبة الطور السائل في البرونز أكبر من تلك الموجودة في النحاس. بعد الانتظار لمدة من الوقت حوالي 15 دقيقة لوحظ أن الأطوار السائلة تتحد مع بعضها بعضاً، ويزداد هذا الطور بشكل كبير. عندما تنخفض درجة الحرارة، تزداد نسبة المرحلة الصلبة بمعنى آخر، يتبلور الطور الأكثر صلابة في الطور السائل. ومن ثم في كل من النحاس والبرونز، تزداد كمية الطور الصلب مع انخفاض درجة الحرارة. نظراً لأن الجزيئات الكبيرة من مركب الرصاص في الطور الصلب تصبح أسهل في الانتقال إلى سطح سبائك النحاس المنصهرة، تزداد النسبة المئوية لإزالة الرصاص مع انخفاض درجة حرارة إزالة مركب الرصاص. ومع ذلك، في البرونز، عندما تكون درجة حرارة إزالة مركب الرصاص أقل من 1183 كلفن، تنخفض النسبة المئوية لإزالة الرصاص، وذلك لأن مركبات الرصاص في الطور الصلب لا يمكن أن تتحرك للأعلى بسهولة بسبب اللزوجة العالية للبرونز المصهور عند درجة حرارة قريبة من درجة حرارة التصلب. علاوة على ذلك، حتى عندما تكون درجة حرارة إزالة مركب الرصاص هي نفسها في النحاس والبرونز، فإن النسبة المئوية لإزالة الرصاص في النحاس تكون أقل من تلك الموجودة في البرونز. يشير هذا إلى أنه من أجل إزالة مركبات الرصاص الصغيرة ذات الطور الصلب، يجب أن تتحرك صعوداً إلى سطح النحاس المصهور [10].



شكل (2–8) مخطط الأتزان الحراري لخليطة Ca–Pb [10].

تبلغ في البرونز النسبة المئوية لإزالة الرصاص 98% عند 1183 كلفن من درجة حرارة إزالة مركب الرصاص. وفقاً لمخطط طور التوازن الشكل (2–8) ، ليس فقط الطور الصلب إنما أيضاً في الطور السائل الموجود عند نفس درجة الحرارة تظل المرحلة السائلة من البرونز المصهور، لأنه لا يمكن إزالة الفائض من الرصاص في البرونز المصهور. كما ذكر أعلاه، كانت النسبة المئوية لإزالة الرصاص في النحاس منخفضة بسبب مركبات الرصاص الصغيرة في الطور الصلب. من أجل تجميع مركبات الرصاص الصغيرة هذه تمت إضافة (NaF) إلى النحاس المنصهر بعد المرحلة الأولى، ونتيجة لذلك، حسنت نسبة إزالة الرصاص لتصل إلى 99.5% [10].

(2–1–2) دراسة النتائج:

تم فحص طريقة إزالة الرصاص من سبائك النحاس المحتوية على الرصاص بطريقة الفصل المركب. في حالة إزالة الرصاص من النحاس، يضاف مركب (ca–si) إلى النحاس المنصهر بنسبة 4%، يليه إزالة مركبات الرصاص الكبيرة

التي تطفو على سطح النحاس المصهور. بعد ذلك، من أجل تجميع مركبات الرصاص الصغيرة المتبقية، تضاف (NaF) إلى النحاس المصهور بنسبة 2.24%.

باستخدام هذه الطريقة، يمكن أن يكون 99.5% من الرصاص قد أزيل من النحاس الأصفر المحتوي على 2.15% من الرصاص. في حالة إزالة الرصاص من البرونز، تضاف (NaF) إلى البرونز المصهور بنفس النسبة ، متبوعاً بإضافة مركب (Ca – Si). لذلك، يعزز تفاعل الكالسيوم مع الرصاص بدون تفاعل الكالسيوم مع القصدير، وهذا ينتج عنه نسبة عالية من إزالة الرصاص. باستخدام هذه الطريقة يمكن إزالة 98%من الرصاص من البرونز المحتوي على 5.5%بالرصاص. حيث لم يتم إزالة الرصاص بشكل كامل بنسبة 100% من سبيكة انحاس والبرونز حيث يتبقى مقدار من الرصاص لا يتجاوز 2% لكن عند دراسة إضافة البزموت لاحقاً سيتم التخلص من الرصاص بشكل كامل من سبائك النحاس والبرونز [10].

(2-3) تعدين المساحيق:

يعرف تعدين المساحيق (PM) بأنه مصطلح يغطي مجموعة واسعة من الطرق التي تصنع بها المواد أو المكونات من مساحيق المعادن . وتقلل إلى حد كبير الحاجة إلى استخدام عمليات إزالة المعادن ، ومن ثم تقلل بشكل كبير من خسائر الغلة في التصنيع وغالباً ما تؤدي إلى انخفاض التكاليف. كما هي تقنية عملية لتحضير المعدن أو استخدام مسحوق معدني (أو خليط من مسحوق معدني ومسحوق غير معدني) كمواد خام ، وتشكيل وتلبيد ، لإنتاج المواد المعدنية والمواد المركبة وأنواع مختلفة من المنتجات. وتشمل صناعة منتجات مسحوق المعادن بالمعنى الواسع أدوات الحديد والحجر ، والكربيد الأسمنتي ، والمواد المغناطيسية ومنتجات المسحوق المعدني [11].

تتكون عملية تعدين المسحوق والتلبيد عموماً من ثلاث خطوات أساسية: مزج المسحوق (السحق) ، الضغط ، والتلبيد. تجري عملية الضغط عموماً في درجة حرارة الغرفة ، وعادة ما تجرى عملية التلبيد عند ارتفاع درجة الحرارة عند الضغط

الجوي وتحت جو متحكم فيه بعناية. غالباً ما تتبع المعالجة الثانوية الاختيارية مثل المعالجة الحرارية للحصول على خواص أفضل و دقة أعلى [11].

نطاق تطبيق منتجات ميتالورجيا المساحيق واسع جدًا ، بدءًا من تصنيع الآلات العامة إلى الأدوات الدقيقة ، ومن أدوات الأجهزة إلى الآلات واسعة النطاق ، ومن صناعة الإلكترونيات إلى تصنيع المحركات ، ومن الصناعة المدنية إلى الصناعة العسكرية ، ومن التكنولوجيا العامة إلى أحدث التقنيات تكنولوجيا. شخصية الحرفية المعدنية. يمكن تقسيم مواد تعدين المساحيق إلى مواد مسامية لمسحوق المعادن، وأجزاء هيكلية لمسحوق المعادن، ومواد تعدين المساحيق المضادة للاحتكاك ، وأداة تعدين المساحيق ومواد القوالب، ومواد احتكاك مسحوق تعدين المعادن، ومواد كهرومغناطيسية لمسحوق المعادن ، ومواد تعدين المساحيق ذات درجة حرارة عالية [12].

يوضح الشكل (2–9) تطبيق نموذجي لقطع السيارات حيث يمكن أن تتمتع مقاعد صمام تعدين المساحيق ، وأدلة الصمامات والعجلات المسننة ، وما إلى ذلك ، بقوة عالية ومقاومة عالية للتآكل ومقاومة ممتازة للحرارة. مثل مقاعد صمام السحب والعادم والتروس.



الشكل (2–9) تطبيق نموذجي لبعض قطع السيارات

(2-4) دراسة توزع جزيئات الغرافيت والبزموت:

يفحص توزيع جزيئات الغرافيت والبزموت في مسحوق النحاس الأصفر المحضر بعملية التصلب السريع، ويتم التحقق من تأثير توزيع الغرافيت على استطالة المواد المبثوقة وقابلية تشكيلها. علاوة على ذلك ، قورنت الخواص الميكانيكية وإمكانية التشغيل الآلي للنحاس الأصفر بإضافة جزيئات الغرافيت والبزموت للنحاس الأصفر.

تم دراسة تأثير العناصر التي يمكن تشكيلها آلياً على استطالة خلائط النحاس الخالية من الرصاص وقابليتها الميكانيكية. حيث أنتج مسحوق النحاس (Cu-40Zn) وأضيف له البزموت بنسبة من 0 إلى 3.23 %من خلال عملية التصلب السريع، فوجد أن البزموت كان مشتتاً حوالي 5 ميكرون في خليطة النحاس. عند إضافة 2.2% أو أكثر من البزموت ، ازدادت كمية البزموت ظهوراً على سطح خليطة النحاس بسبب الكمية المشبعة من عناصر البزموت في خليطة النحاس الأصفر، وكان حجم جزيئات البزموت بعشرات الميكرونات في النحاس المبثوق لكن مع إضافة 2.2% كتلة أو أكثر من البزموت، خفض حجم جزيئات البزموت هذه من استطالة المواد المبثوقة. ثم استخدمت جسيمات الغرافيت بمتوسط حجم جسيمي يبلغ 5 ميكرون كمسحوق خام، خلط 5% كتلة من جزيئات الغرافيت مع خليط النحاس الأصفر. كانت استطالت سبائك النحاس المبثوق تزداد بازدياد كل من جزيئات البزموت والغرافيت. حيث أشار النحاس المبثوق باستخدام مسحوق النحاس الأصفر مع 2.2% كتلة من البزموت و 5% كتلة من جزيئات الغرافيت إلى قابلية تشغيل ممتازة بالمقارنة النحاس التقليدي المحتوي على الرصاص. وكان تأثير التآكل لجزيئات البزموت والغرافيت على تحسين استطالة سبائك النحاس الأصفر وقابليتها الميكانيكية أفضل مقارنةً بالنحاس الذي يحتوي على الرصاص [13].

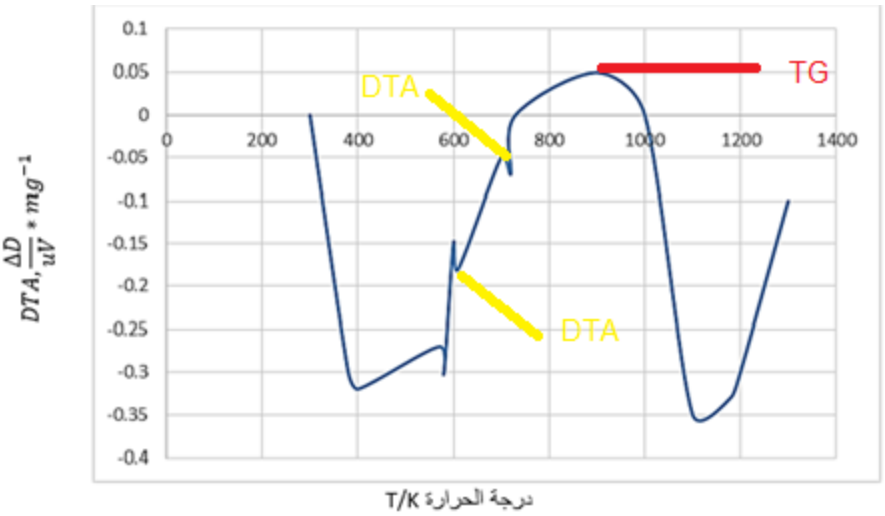
تم تحضير مسحوق سبيكة نحاسية تحتوي على 40% زنك (Cu-40Zn) ويحتوي الزنك على عناصر البزموت، بمتوسط حجم جسيمي يبلغ حوالي 150 مم. كانت إضافات البزموت للنحاس الأصفر 0 ، 1.0 ، 2.2 ، 2.62 ، 2.91 ، و 3.23% على التوالي [14]. فحصت التغيرات في البنية المجهرية بسبب السلوك الحراري للمسحوق المستلم أثناء التلدين من خلال التحليل الحراري التفاضلي (DTA) والتحليل الحراري الوزني (TG) تحت معدل تسخين 0.17

ك / ثا. و 0.03 ك / ثا في الغلاف الجوي للغاز من درجة حرارة الغرفة حتى 1273 كلفن [14]. أُضيفت جزيئات الغرافيت 0 و 0.25 و 0.5% كتلة إلى المساحيق الصغيرة على التوالي. وتم خلط جزيئات المسحوق والغرافيت في شكل ذرات بواسطة آلة خلط لمدة 14 ساعة تحت 120 دورة في الدقيقة مع إضافات مختلفة من جزيئات البزموت. تم إجريت عملية الدمج للمضغوط الملبدة عالية الكثافة باستخدام درجة حرارة 1053 كلفن ل 1.8 كيلوجرام تحت ضغط 40 ميجا باسكال في الفراغ.

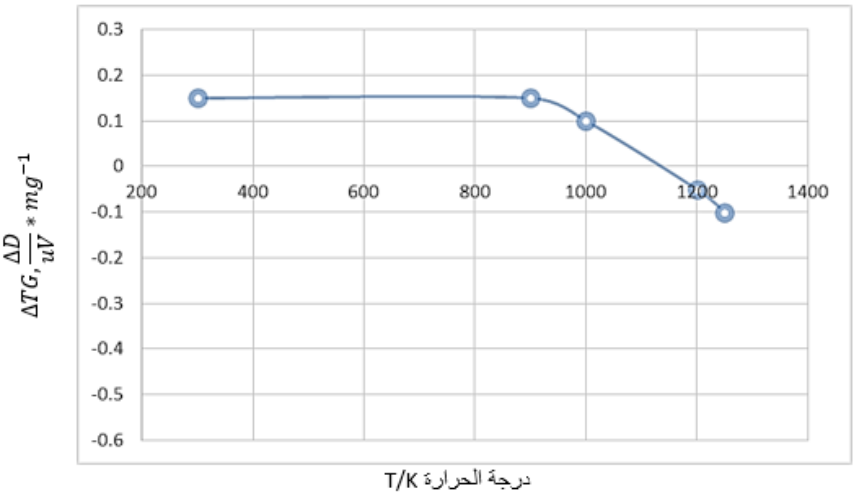
سخنت كل سبيكة عند 873 كلفن لمدة 180 ثانية في جو غاز حاوي على النتروجين باستخدام معدل تسخين قدره 0.65 كلفن / ثا في فرن قابل للبثق. بعد ذلك ، بثقت على الفور باستخدام آلة الضغط الهيدروليكية [14]. ونفذت الملاحظة الهيكلية المجهرية عن طريق مسح المجهر الإلكتروني (SEM، JSM) المجهزة بمطياف تشتت طاقة الأشعة السينية (EDS EX-64175JMU: JEOL) على العينات المدمجة للتحقيق في التشكل وتوزيع العناصر القابلة للقطع. قيمت الخواص الميكانيكية للمواد المبثوقة بواسطة آلة اختبار الشد (Autograph AG-X 50 kN: SHIMADZU)، وقيمت قابلية التشغيل الآلي لسبائك النحاس (Cu-40Zn) من خلال اختبار حفر باستخدام أداة حفر (EX-SUS-GDS: OSG Co.) بقطر 4.5 مم. في ظل ظروف جافة كانت سرعة دوران المثقب 900 دورة في الدقيقة ، وكان الحمل المطبق أثناء الحفر 9.8 نيوتن. قيس وقت الحفر لعمل ثقب بعمق 5 مم [15].

(2-4-1) المنحنيات والبنية المجهرية لتوزع جزيئات الغرافيت والبزموت:

يوضح الشكل (2-10) ملامح DTA-TG لمسحوق النحاس الخام مع البزموت. كشف عن فقدان في وزن كل من نتائج التحليل الحراري الوزني (TG) عند درجة 903 كلفن الناتج عن تبخر الزنك. كما اكتشف تفاعل حراري طارد للحرارة عند 623 كلفن وتفاعل حراري ماص للحرارة عند 723 كلفن في كل من نتائج تحليل الحراري التفاضلي (DTA). حيث أنتجت المساحيق الخام باستخدام عملية التصلب السريع [16].



(أ)

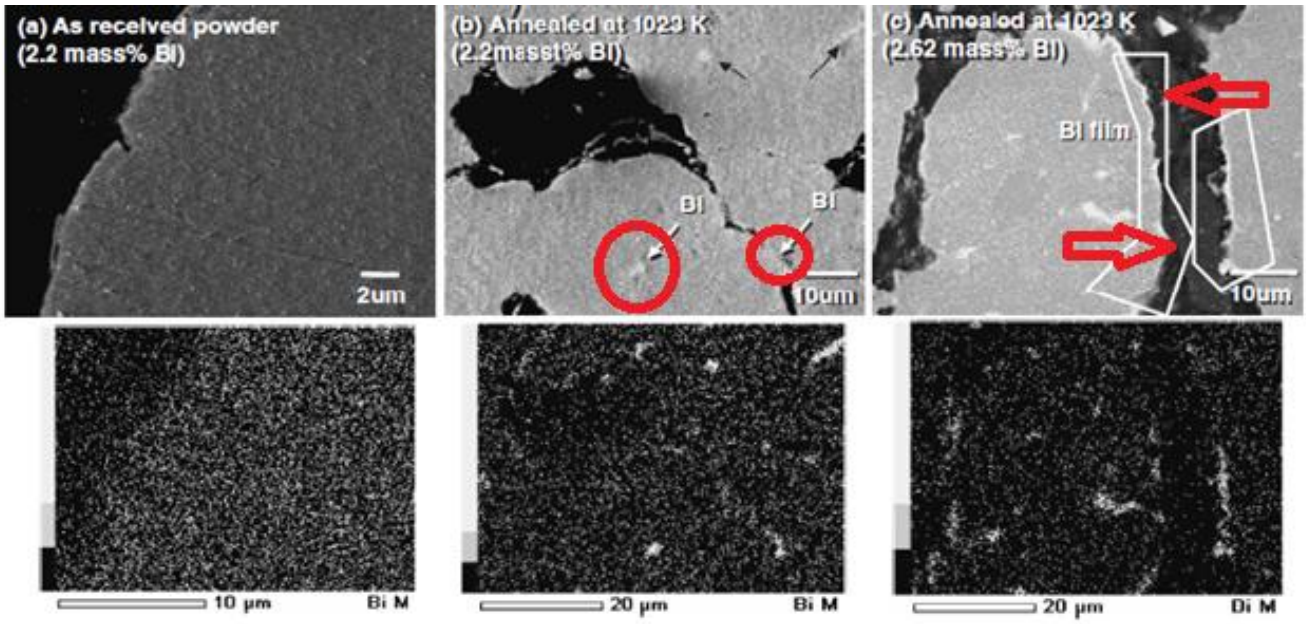


(ب)

الشكل (2–10) التحليل الحراري التفاضلي (أ) والحراري الوزني (ب) من مسحوق النحاس الأصفر Cu–40Zn مع البزموت [16].

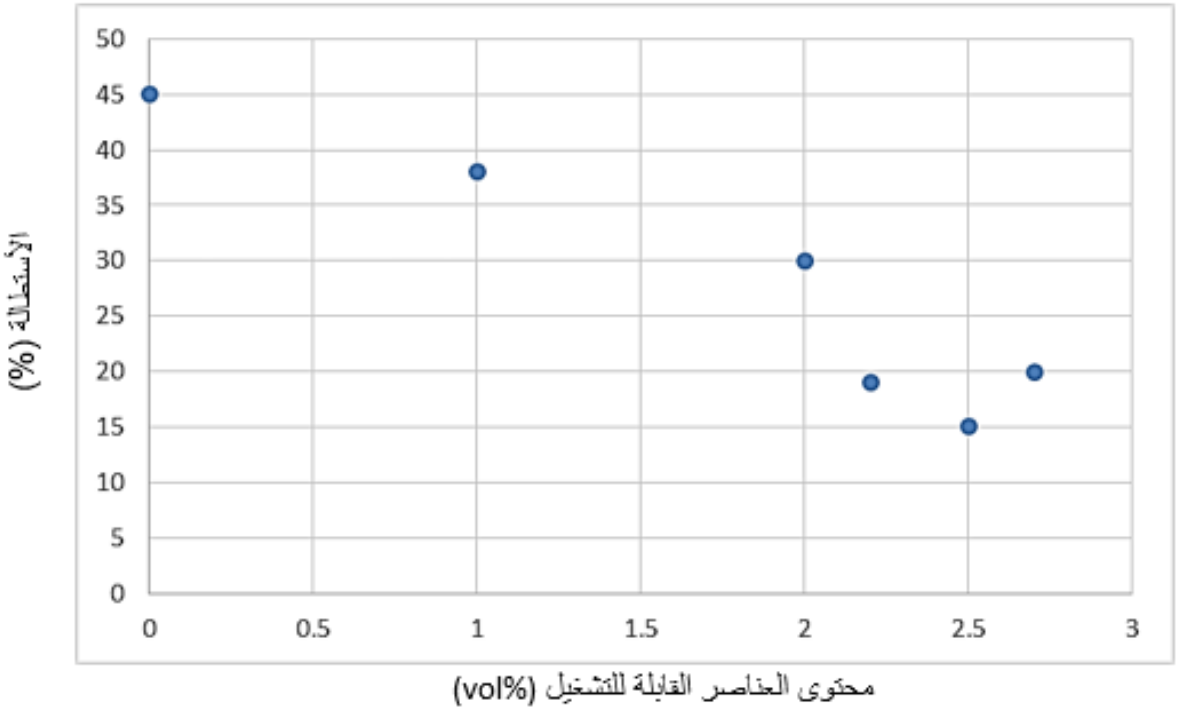
يوضح الشكل (2–11) ملاحظات (SEM–EDS) على المقطع العرضي للعينة المتشكلة من النحاس والبزموت. تم تسخين كل مسحوق عند 1023 كلفن ل 1.8 كيلو جرام في جو غاز باستخدام معدل تسخين قدره 0.65 كلفن / ثانية في فرن مقفل. لا يمكن ملاحظة البزموت وهذا يعني أن البزموت لم يظهر في مصفوفة النحاس الصغيرة الشكل (2–

11) (a). وعد أن البزموت يذوب إجبارياً في مصفوفة من النحاس الأصفر باستخدام عملية التصلب السريع. بعد المعالجة الحرارية ، شتت البزموت بشكل موحد حوالي 5 ميكرون في مصفوفة مسحوق النحاس ، وظهرت على سطح مسحوق النحاس. في المصفوفة النحاسية ، تم فصل جزر البزموت واعتبر البزموت مفرط التشبع في مسحوق النحاس المسال عند درجة حرارة فوق نقطة انصهار البزموت، ويتصلب داخل مسحوق النحاس أو خارجه أثناء عملية التبريد. أظهرت كمية البزموت التي تظهر على سطح مسحوق النحاس قيمة أعلى للمسحوق مع إضافة 2.62 % كتلة البزموت الشكل (2–11) (c) ، مقارنة بالمسحوق مع إضافة 2.2% كتلة البزموت (b). من ناحية أخرى ، كانت نسبة مساحة البزموت في المسحوق مع 2.2 % كتلة البزموت مساوية تقريباً لتلك الموجودة في مسحوق النحاس مع 2.62% كتلة من البزموت الشكل (2–11) (c). عند استخدام النحاس مع كتلة 2.2% أو أكثر من البزموت ، زادت كمية البزموت التي تظهر على سطح مسحوق النحاس الأصفر بسبب الكمية المشبعة من البزموت في مسحوق النحاس الأصفر [16].

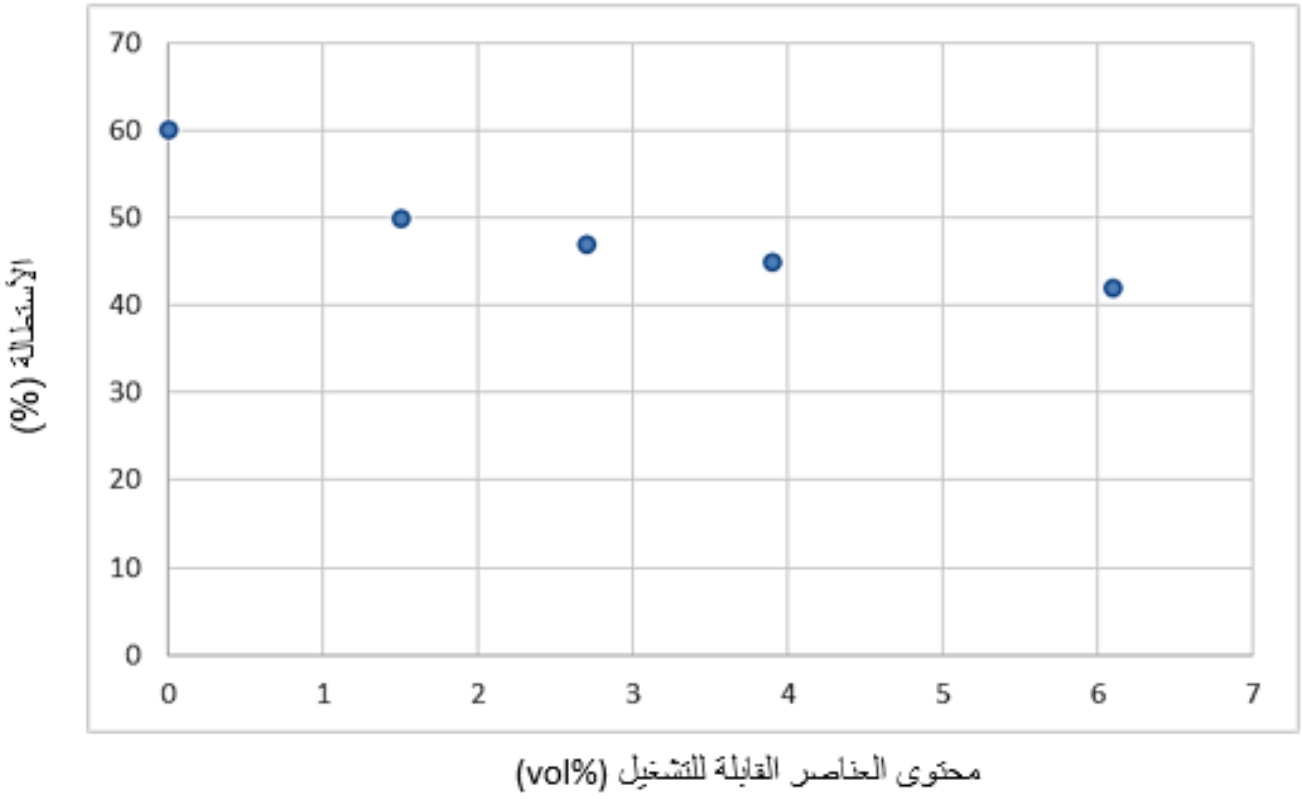


الشكل (2–11) ملاحظة SEM–EDS على المقطع العرضي كمسحوق ذرات ومسحوق صلب لسبائك Cu–40Zn مع البزموت [16].

يوضح الشكل (2–12) اعتماد الاستطالة على جزء الحجم من العناصر القابلة للتشغيل في سبائك Cu–40Zn. كما عرضت نتائج النحاس المبثوق مع جزيئات الغرافيت فقط في الشكل نفسه وكانت إضافة البزموت ذات تأثير أكبر على الاستطالة من إضافة جسيمات الغرافيت. كانت هناك مناطق كسر هشة بحجم عشرات الميكرونات على عينة من النحاس الأصفر لكن مع إضافات بزموت بنسبة 2.62% في السبيكة وإجراء تحليل (EDS). كان لجزيئات البزموت بمقدار عشرات الميكرونات إلى خفض استطالة المواد المبثوقة. من ناحية أخرى ، كانت قوة الشد القصوى (UTS) للنحاس المبثوق مع عناصر قابلة للتشغيل حوالي 400 ميجا باسكال بغض النظر عن نوع العناصر القابلة للقطع وكميتها [16]. حيث في الحالة (أ) من الشكل (2–12) مع وجود الغرافيت في السبيكة بمقدار 0.5% نلاحظ انخفاض الاستطالة من 45% إلى 15%، لكن في الحالة (ب) لنفس الشكل ومع وجود البزموت بمقدار 2.62% يكون انخفاض الاستطالة أقل مقارنة بالغرافيت.



(أ) مع الغرافيت



(ب) مع البزموت

الشكل (12–2) اعتماد الاستطالة على جزء من حجم العناصر القابلة للتشغيل الآلي لسبائك النحاس المبثوق Cu–40Zn: (أ) مع الغرافيت، (ب) مع البزموت [16]

(2-5) الاستنتاجات:

تم دراسة سبيكة نحاس Cu-433Zn وتشتيتها بجزيئات البزموت والغرافيت بواسطة عملية تعدين المسحوق. حيث درست تأثير جزيئات البزموت والغرافيت في سبائك النحاس الأصفر على الاستطالة، ويمكن تلخيص نتائج هذه الدراسة على النحو الآتي:

1- شُتت البزموت بشكل موحد كجزيئات بحوالي 5 مم في مصفوفة مسحوق النحاس ، وظهرت على سطح مسحوق النحاس الأصفر بعد المعالجة الحرارية فوق نقطة انصهار البزموت. عند إضافة 2.2% أو أكثر من البزموت تزداد كمية البزموت التي تظهر على سطح مسحوق النحاس الأصفر [15].

2- توجد عناصر البزموت وجزيئات الغرافيت مستقلة في المواد المبثوقة باستخدام مسحوق النحاس مع إضافة 2.2%كتلة أو أقل من البزموت وجزيئات الغرافيت. حيث كانت سبائك النحاس الزنك المضاف لها 0.5% من جزيئات الغرافيت و 2.2% البزموت تتمتع بخواص عالية [16].

الفصل الثالث : تطوير صب سبائك النحاس مع الغرافيت

(3-1) مقدمة:

أُستخِدم الغرافيت كبديل للرصاص من أجل الحفاظ على قابلية تشغيل السبيكة ولتحسين توزيع جزيئات الغرافيت في مصفوفة سبائك النحاس ، حيث أجريت التجارب الآتية: تجارب نمذجة المياه ، التعويم ، السيولة ، وتجارب التصلب الاتجاهي. بناءً على هذه الدراسات، طُورِت طريقة تقليب ذات مرحلتين للحصول على عوائد أعلى ، وتوزيع أكثر اتساقاً لجزيئات الغرافيت في سبائك النحاس ، بالإضافة إلى تطوير استخدام التيتانيوم كعامل ترطيب لتحسين قابلية الغرافيت في النحاس بنسبة 70%. لوحظ تحسن استخلاص الغرافيت نتيجة إضافة التيتانيوم واستخدام تقنية الخلط المثلى. بالإضافة إلى ذلك ، تم تقليل تكتل جزيئات الغرافيت بإضافة مسحوق الألمنيوم [17] .

إن وجود الغرافيت في سبيكة النحاس يضفي آلية جيدة ويقلل حجم الرقائق أثناء المعالجة مكونات بطريقة مماثلة للرصاص، يمكن صب سبائك النحاس التي تحتوي على جزيئات الغرافيت المشتتة بنجاح و التي أظهرت معدل تآكل و قابلية لحام جيدة. بالإضافة إلى ذلك، تم بنجاح صنع أسطوانات مصنوعة من سبائك النحاس المصبوبة بطريقة نمذجة المياه والتي تحتوي على جزيئات الغرافيت. حيث تعمل تقنية نمذجة المياه على إجبار جزيئات الغرافيت بالتوزع بشكل صيحي في سبيكة النحاس [17].

لذلك يمكن استخدام هذه الأسطوانات لتحمل التطبيقات ، كبدائل لسبائك النحاس الحاوية على الرصاص. أظهرت نتائج الخواص الترايبولوجية لأسطوانات سبائك النحاس المصبوبة بنمذجة المياه والتي تحتوي على جزيئات الغرافيت تحسن خواص التآكل. وتشير النتائج إلى أن سبائك الغرافيت النحاسية التي طُورِت لديها إمكانات كبيرة لاستبدال سبائك النحاس المحتوية على الرصاص في كل من تطبيقات السباكة والعمليات الصناعية. الغرافيت هو بديل أقل تكلفة للرصاص (مقارنة بالبزموت والسيلينيوم) ، وهو غير سام ومتوفر بكثرة.

(3-2) تقنية الخلط والتقليب:

تم في هذه الدراسة، استخدم الغرافيت كبديل للرصاص من أجل الحفاظ على إمكانية تشغيل مكونات السبيكة بمستوى مماثل للنحاس المحتوي على الرصاص. نظراً لأن الغرافيت لا يرطب في سبائك النحاس المنصهرة، فقد استخدام التيتانيوم كعامل ترطيب لتحسين قابلية تبلل الغرافيت للتبلل في مصهور النحاس. تم إجراء دراسة نموذجية لتطوير تقنية الخلط والتقليب على مرحلتين للحصول على معدلات استرداد أعلى وتوزيع موحد للجسيمات في المسبوكات المركبة. في المرحلة الأولى، استخدمت تقنية الخلط لتسهيل شفط جزيئات الغرافيت الأكثر كثافة في أثناء الذوبان في سبائك النحاس. في المرحلة الثانية، وزعت جزيئات الغرافيت المدمجة في سبائك النحاس المذابة بشكل موحد وثُبِتت لتجنب تكون الدوامة في المصهور. تمت دراسة سلوك التدفق لسبائك النحاس المحتوية على جزيئات الغرافيت في قنوات ضيقة عن طريق اختبارات السيولة. وحُدِد تأثير معدل التبريد على توزيع جزيئات الغرافيت لتصميم القوالب المثلى لسبائك النحاس المحتوية على جزيئات الغرافيت [18].

نظراً لأن كثافة جزيئات الغرافيت أقل من كثافة سبائك النحاس ، فإن جزيئات الغرافيت تطفو لأعلى ، وهذا يسبب توزيعاً غير منتظم لجزيئات الغرافيت في المصفوفة. بالإضافة إلى ذلك ، يعتمد التوزيع النهائي لجزيئات الغرافيت في المصفوفة على تقنيات الخلط التي تحدد التوزيع والسرعة النهائية لجزيئات الغرافيت في المصفوفة. كانت سرعة التعويم لجزيئات الغرافيت ذات الأحجام المختلفة في الذوبان أعلى. كما تم أيضاً تطوير تقنية الخلط على مرحلتين لتحسين توزيع جزيئات الغرافيت. ومع ذلك ، فإن هذه تقنية الخلط والمزج تميل إلى تقليل درجة حرارة الذوبان ، ومن ثم ، فإن درجة حرارة الذوبان المرتفعة ضرورية لتجنب انخفاض درجة الحرارة أثناء الخلط ، حُلت هذه المشكلة عن طريق إضافة الكمية المناسبة لعامل الترطيب التيتانيوم التي وصلت إلى 1% ، وهذا يحسن التبلل بين الغرافيت وسبائك النحاس المنصهر. يؤدي التحسن في قابلية التقصف بين جزيئات الغرافيت وذوبان سبائك النحاس إلى تقليل سرعة الدوران المطلوبة للمحرك إلى 350 دورة وهذا يقلل من كمية المسامية في المصفوفة [18].

لذلك تم توجيه الجهود الأولية نحو:

1. تطوير تقنيات إدارة توزيع جزيئات الغرافيت في مصفوفة سبائك النحاس.

2. دراسات عن خواص صب سبائك النحاس المحتوية على الغرافيت المشتت.

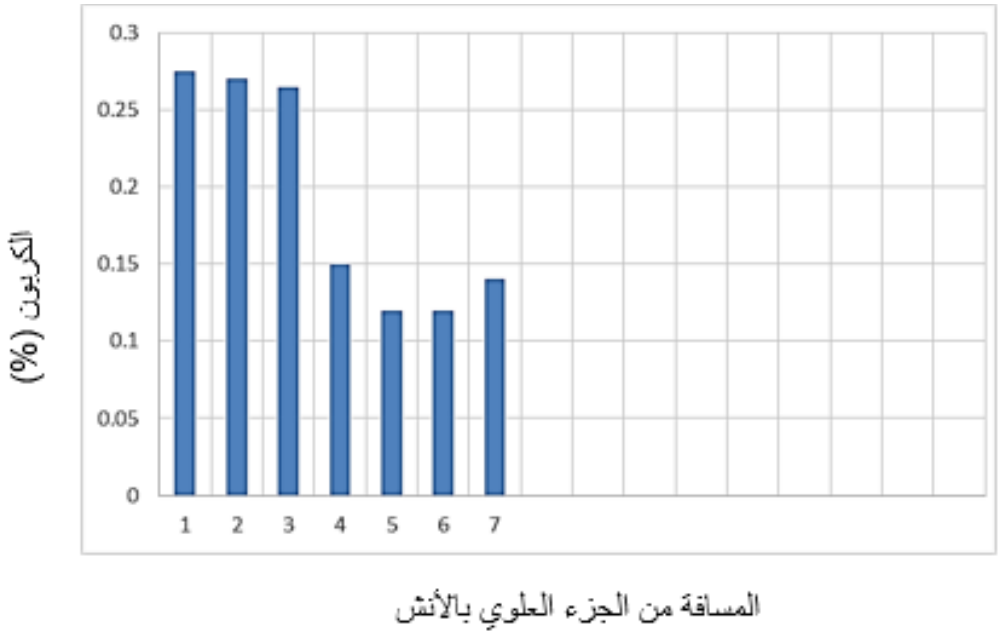
3. توصيف الخواص المختارة لسبائك النحاس المحتوية على الغرافيت المشتت.

4. المكننة من سبائك النحاس المحتوية على الغرافيت المشتت.

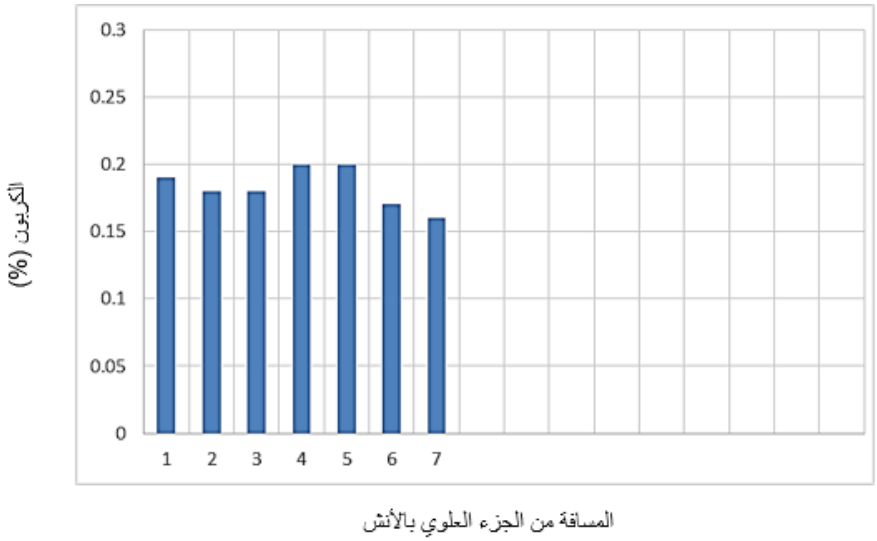
(3-2-1) دراسة المسبوكة:

أتم إجراء مجموعة واسعة من التجارب لتحديد: (1) توزيع الغرافيت و (2) الحد الأدنى المطلوب من التيتانيوم لإدخال كمية معروفة من الغرافيت في المعدن السائل. أُضيف 0.5%، 1%و 1.5%بالتدريج من التينتانيوم إلى كميات قليلة من النحاس الأصفر (Cu-40Zn60) و (Cu88-Sn8-Zn4) جنباً إلى جنب مع الذوبان. وأُضيف الغرافيت أثناء تقليب المصهور. يعطي الجدول (3-1) ملخصاً لست عينات أجريت لتحسين كمية عامل الترطيب. أُجريت التحليلات الكيميائية للمسبوكات المركبة لتحديد كمية الغرافيت بطول 0.5 متر وقطر 1 متر للمصبوبات وبكميات مختلفة من الغرافيت المضافة إلى المصهور [19] حيث تم إجراء هذه التجربة بتقنية الخلط والمزج كما ذكر سابقا مع إضافة التيتانيوم بشكلي تدريجي حتى تصل نسبته إلى 1%. يعطي هذا النوع من التحليل فكرة عن الاسترداد الفعلي للغرافيت والتوحيد في توزيع الغرافيت على طول الصب عند تقليب المصهور مرة واحدة فقط ، دون تحسين العلاقة بين أبعاد المحرك والبوتقة. لغرض التحليل الكيميائي، أخذت المبردات على المحور الطولي للصب. يوضح الشكلان (3-1) و (3-2) التوزيع النموذجي للكربون في شكل مخططات شريطية للمسبوكات 1% و 2%. الاستنتاجات المستخلصة تستند إلى مسبوكات عدة. يشير فحص الأشكال إلى أنه على الرغم من أن النسبة المئوية المستهدفة للوزن من الغرافيت في السبائك تختلف من 1 إلى 2%، فإن جميع المسبوكات تظهر بحد أقصى 0.27% من الكربون، وهذا يشير إلى

أنه في ظل هذه الظروف التجريبية مع التحريك أحادي المرحلة ، يكون استرداد الغرافيت ضعيفاً جداً. وقد لوحظ أن استعادة الغرافيت كانت تتراوح من 10 إلى 15 % وتوضح هذه النتيجة أنه في مرحلة واحدة من تقليب الغرافيت في سبائك النحاس كان استرداد الغرافيت بعد التصلب أقل [19].



الشكل (3–1) التحليل الكيميائي للكربون على طول القضيب قطره 1 إنش (DOE 7 و 8).



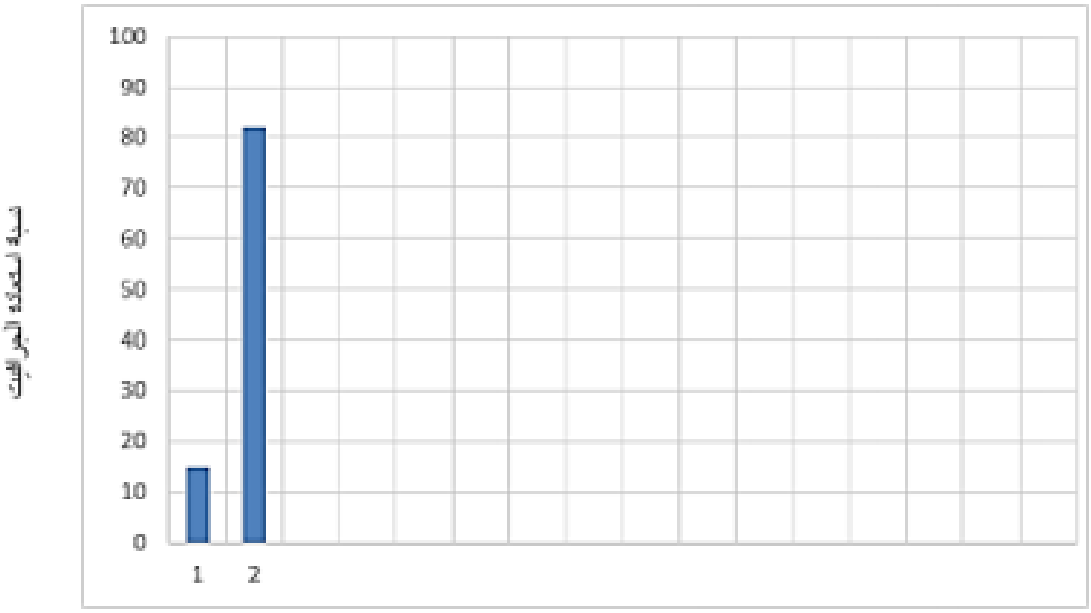
الشكل (3–2) التحليل الكيميائي للكربون على طول القضيب قطره 1 إنش (DOE 9 و 10) [19].

رقم العينة	السبيكة	عامل الترطيب ووزن التيتانيوم %	وزن الغرافيت %	الملاحظات
1 (DOE3)	النحاس الأصفر	0	1.0	تشير الملاحظة المرئية إلى عدم وجود الغرافيت في الذوبان بعد التقليب لمدة 30 ساعة.
2 (DOE4)	النحاس الأصفر	0.25	0.42	أُوقِف إضافة مسحوق الغرافيت في اللحظة التي لوحظ فيها الغرافيت على السطح.
3 (DOE7)	النحاس الأصفر	0.5	1	لوحظ أن 0.5%من التيتانيوم كان كافياً فقط لإضافة 1%من الغرافيت.
4 (DOE8)	النحاس الأصفر	0.5	1	إنه تكرار لـ DOE 7 للتحقق من التكرار.
5 (DOE9)	النحاس الأصفر	1	2	إضافة 2%الغرافيت مع 1٪التيتانيوم. ومع ذلك ، كان الذوبان المركب لزجاً جداً.
6 (DOE10)	النحاس الأصفر	1	2	تكرار ل DOE 9

الجدول (3–1) اختبارات لتحسين بإضافة عامل الترطيب [19].

لتحسين هذه الجوانب ، خُلط الغرافيت على مرحلتين باستخدام شفرة بزاوية 90 درجة في المرحلة الأولى وشفرة بزاوية 60 درجة في المرحلة الثانية. في المرحلة الأولى، أُدخل الغرافيت عن طريق تكوين دوامة عالية في السائل الذائب. وأُنشِئت هذه الدوامة لتسهيل إدخال الغرافيت بسهولة في المعدن السائل وكانت ضرورية بسبب اختلاف الكثافة بأربعة أضعاف بين جزيئات الغرافيت وذوبان النحاس.

أثناء الخلط ، أُضيف التيتانيوم لتحسين قابلية الترطيب بين ذوبان النحاس وجزيئات الغرافيت. في المرحلة الثانية استخدمت شفرة بزاوية 60 درجة لتحسين عملية توزع الغرافيت المُدخل بالفعل داخل السائل بشكل موحد ، دون تكوين دوامة وفقاعات في المصهور. كان الخيار الرئيسي للمرحلة الثانية هو تثبيت جسيمات الغرافيت في الذوبان. الشكل (3–3) مقارنة الاسترداد الكلي للغرافيت بين التقليب أحادي الطور والتحريك على مرحلتين. تم أخذ التحليل الكيميائي لمصبوبتين أثناء تقنية التحريك على مرحلتين كما هو موضح في الجدول (3–2). في حين أن البيانات محدودة يمكن استخلاص العديد من الاستدلالات من بيانات الجدول (3–3). مع احتواء تقنيات جديدة لفك تكتل مسحوق الغرافيت الذي استلم والذي قد يصل إلى 5µm من جسيمات عدة في مجموعات من 500 إلى 800 µm ، وتقنيات التحريك ذات المرحلتين المصممة بشكل صحيح ، من المتوقع أن 80%من الغرافيت استرجع وعملية توحيد الغرافيت على طول السبيكة يمكن أن يتحقق [19].



الشكل (3–3) تحسن في استعادة الغرافيت بسبب التحريك على مرحلتين

الجدول (3–2). تحليل مصبوبتين للتكرار [19]

No. DOE 20			No. DOE 21		
مكان الحفر	تحليل محتوى الكربون %	استعادة الكربون %	مكان الحفر	تحليل محتوى الكربون %	استعادة الكربون %
1	1.261	90.1	1	1.071	76.5
2	1.307	93.3	2	1.024	73.1

3	1.255	89.6	3	1.094	78.1
4	1.320	94.3	4	1.069	76.4
5	1.183	84.5	5	1.068	76.3
6	0.990	70.7	6	0.849	60.6
7	0.998	71.3	7	1.048	74.9
8	0.981	70.1	8	1.048	74.9
المعدل الوسطي	1.162	83.0	المعدل الوسطي	1.033	73.9

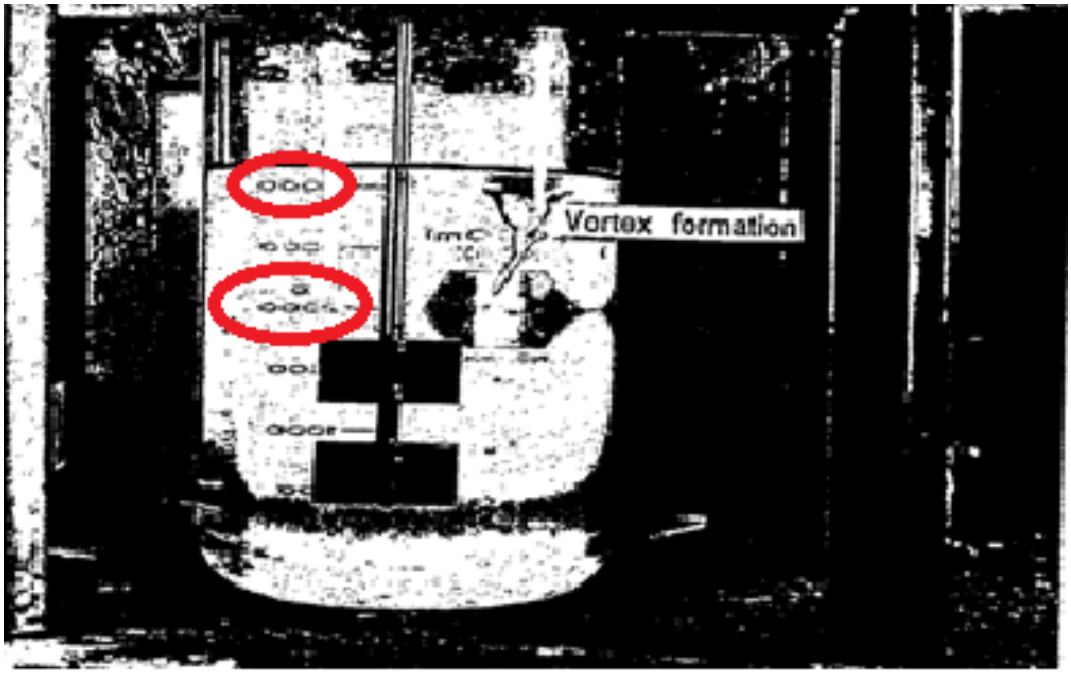
العناصر	DOE 20	DOE21
1- مجموعة من التباين الأقصى في محتوى الغرافيت.	من 0.981 إلى 1.320 أو 0.339	من 0.849 إلى 1.094 أو 0.245
2- تمت إضافة الحد الأقصى من التباين ككسر من الغرافيت.	24	18
3- أقصى تباين بين مستويات الغرافيت العلوية والسفلية.	أعلى 1.261 أسفل 0.981 المتوسط 0.28	أعلى 1.07 أسفل 1.048 المتوسط 0.022
4- موقع الحد الأدنى لمستوى الغرافيت.	أسفل	أعلى
5- جزء استرداد الغرافيت في النصف العلوي من السبيكة.	91.8	76.0
6- استعادة الغرافيت بشكل عام.	83.0	73.9

الجدول (3-3) بعض الملاحظات على بيانات الجدول (3-2) [19].

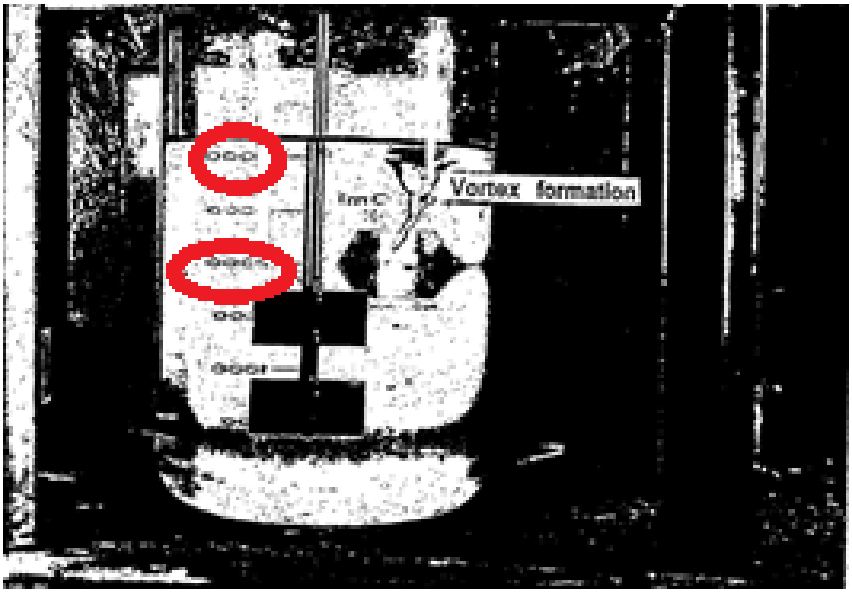
(3-3) الدراسة النظرية لنمذجة المياه:

نظرًا لأن لزوجة النحاس المصهور تبلغ 3.6 سي بي عند نقطة الانصهار، يمكن استخدام الماء الذي يحتوي على لزوجة 1 سي بي بوصفه سائلاً نموذجياً. تم دراسة تجارب نموذجية لتحديد فعالية الأنواع الثلاثة من الريش المصممة والمصنعة لتحسين جودة الجرافيت في سبائك النحاس. واستخدمت ثلاثة أنواع من أدوات التحريك بزوايا ريش مختلفة ، 90 درجة و 60 درجة و 45 درجة لهذا الغرض. في كل زاوية من زوايا الشفرة وكانت سرعة المحرك تتفاوت من 625 إلى 1500 دورة في الدقيقة [20].

يوضح الشكل (3–4) تكوين الدوامة والفقاعات في الماء، عند استخدام شفرة بزاوية 90 درجة بسرعات مختلفة. تظهر الصورة أن الدوامة تتشكل في مرحلة مبكرة من الدوران بسرعة 625 دورة في الدقيقة. ويلاحظة أن الماء يختلط باضطراب شديد وتتشكل كميات كبيرة من الفقاعات بسرعة 750 دورة في الدقيقة، ويكون لتكوين الفقاعات أثناء الخلط تأثير ضار على الصب، نظراً لأن كثافة الفقاعة أقل من كثافة المصهور، وحجمها أكبر من تلك الموجودة في الجسيمات [20].



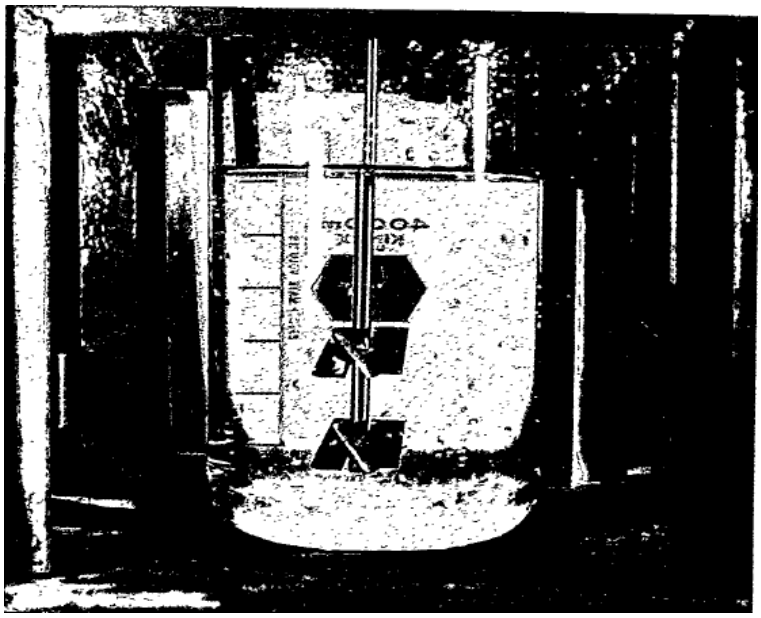
(أ) 625 دورة



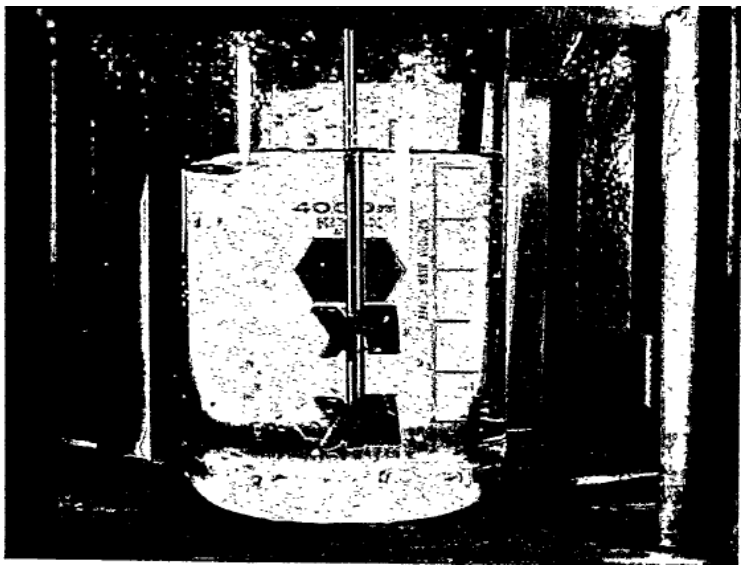
(ب) 750 دورة

الشكل (3–4) تشكل الفقاعات والدوامة عند استخدام شفرات –90 درجة لتحريك المياه بسرعات مختلفة [20]

على عكس ما سبق ، فإن أداة التقليب بزاوية 60 درجة تعطي نتائج مثيرة للاهتمام. يوضح الشكل (3–5) سلوك الماء عند تدوير محرك ذي نصل بزاوية 60 درجة بسرعات مختلفة. توضح الصور أن الدوامة لن تتشكل بأقصى سرعة تبلغ 1250 دورة في الدقيقة في ظل الظروف التجريبية الحالية. بالإضافة إلى ذلك لوحظ أنه حتى عند السرعات العالية جداً لم يكن هناك تكوين فقاعي كبير في الماء. وتشير التجارب الحالية إلى أن الظروف التجريبية التي درست على نطاق أوسع ، تعمل فيها أداة التقليب ذات الشفرة بزاوية 60 درجة بشكل أكثر كفاءة في توزيع الجسيمات دون تكوين دوامة أو فقاعات هواء. فحص هذا النوع من أدوات التحريك بزاوية 60 درجة للمرحلة الثانية في تركيب مركبات الجرافيت النحاسي بينما استخدم 90 درجة للمرحلة الأولى [20].



(أ) 1000 دورة



(ب) 1250 دورة [20]

الشكل (3–5) تشكل الفقاعات والدوامة عند استخدام شفرات 60 درجة لتحريك الماء بسرعات مختلفة [20]

(3-4) الدراسة النظرية السيولة:

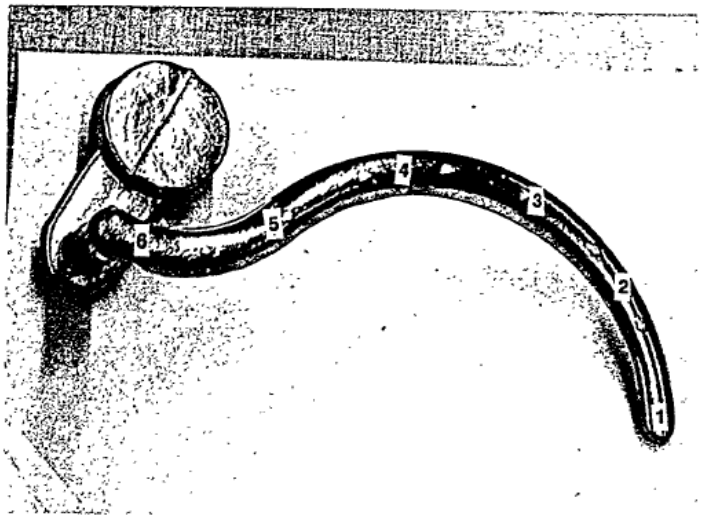
من المعروف أن تعليق الجسيمات الصلبة في السوائل يزيد اللزوجة ويقلل السيولة، بالإضافة إلى التأثير على عمليات التصلب والبنية المجهرية المصبوبة لمعدن المصفوفة. في ضوء ذلك من الضروري تحديد خواص السيولة والتصلب للذوبان المركب من سبائك النحاس والغرافيت من أجل الصب الناجح لهذه المركبات ، لأن ذلك سيحدد حجم المصبوبات وشكلها التي يمكن تصنيعها.

تم استخدام النحاس الأصفر (Zn: 40٪ ،CU: 60%) في اختبارات السيولة، وتضمنت العملية المستخدمة لتخليق مركب النحاس–الغرافيت عملية تقليب على مرحلتين. قيست سيولة السبائك المركبة من النحاس والغرافيت عن طريق صب حلزونات السيولة في قوالب فولاذية دائمة. سخن القالب الفولاذي مسبقاً إلى 260 درجة مئوية باستخدام قالب تسخين مدمج. واستخدم كوب صب حراري مغطى بنتريد البورون للحفاظ على السرعة والتدفق للمصهور المركب في القالب [21].

يوضح الشكل (3–6) مواقع مرقمة أخذت منها العينات لفحصها دوامة سيولة نموذجية لمركب النحاس الغرافيت. يزداد الطول اللولبي لسبائك النحاس الأصفر الأساسي (بدون التيتانيوم) بحوالي 60 درجة مع زيادة درجة الحرارة من 950 إلى 975 درجة مئوية. عند 960 درجة مئوية مع إضافة 1.5% تيتانيوم تقل السيولة مع زيادة محتوى الغرافيت ، كما هو متوقع، ومع ذلك تبقى سيولة النحاس الأصفر المحتوية على 1.5% من التيتانيوم وما أن يصل إلى 1% من الغرافيت تصبح كافية لعمل مجموعة متنوعة من المسبوكات ، كما هو موضح من طول اللوالب. على الأكثر ربما تكون درجة حرارة السكب الأعلى قليلاً مطلوبة لصب الغرافيت المحتوي على النحاس الأصفر مقارنة بالنحاس الأصفر التقليدي من تركيبة المصفوفة نفسها كما هو موضح في الجدول (3–4).

عينة DOS	محتوى التيتانيوم %	محتوى الغرافيت %	درجة حرارة الصب C	الطول اللولبي Cm
30	0	0	950	15.6
32	0	0	975	24.0
34	1.5	0	960	19.1
35	1.5	1	960	13.6

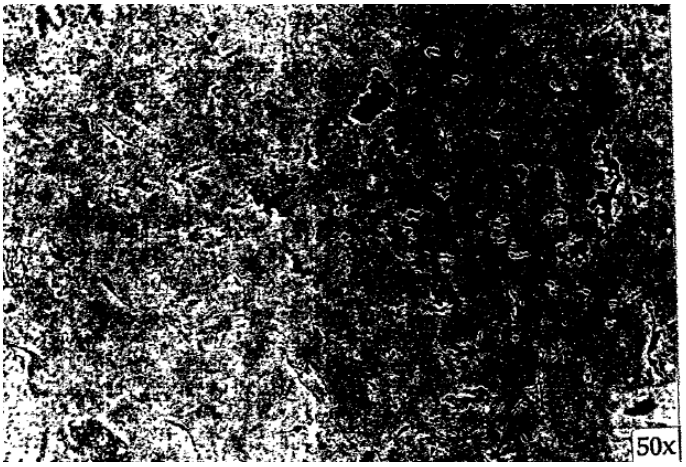
الجدول(3–4). تقييم السيولة الحلزونية لسبيكة مركبة من النحاس الأصفر والغرافيت [21]



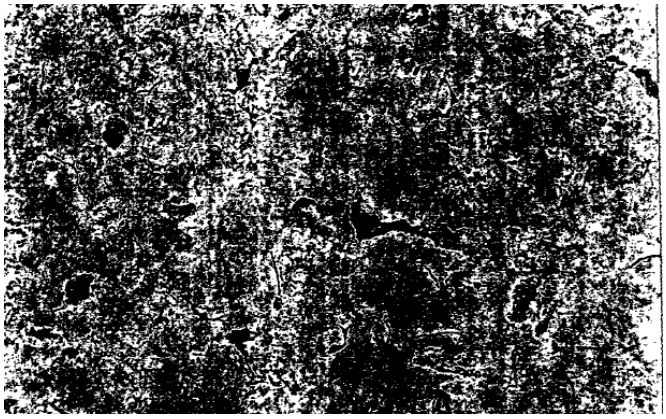
الشكل (3–6) المواقع المرقمة التي أُخِذت العينات منها لفحص المعادن [21].

(3-4-1) تحليل البنية المجهرية:

فحصت عينات معدنية من مواقع مختلفة للولب السيولة التي أخذت من المواقع المركمة في الشكل (3-6) تحت المجهر الضوئي لملاحظة وجود جزيئات الغرافيت والبنية المجهرية للمصفوفة المعدنية. حيث كانت من السمات المهمة للصب المركب من سبائك النحاس والغرافيت طبيعة توزيع جزيئات الغرافيت على الرغم من الصب. أظهرت نتائج قياسات توزيع الجسيمات أن الكسر الحجمي للجسيمات في لولب السيولة يختلف باختلاف المواقع داخل اللولب. وتظهر البنية المجهرية النموذجية في موقعين من حلزونات السيولة لمركب الغرافيت وسبائك النحاس في الشكل (3-7). يتضح من هذا الشكل أن جسيمات الغرافيت التي يبلغ حجمها 5µm موجودة في مجموعات كبيرة متكتلة في حلقات سبائك النحاس ؛ بالإضافة إلى ذلك هناك تباين في كمية الغرافيت الموجودة في أجزاء مختلفة من اللولب. يبدو أن هذا التكتل يسهم في التفكك الكبير للغرافيت في المسبوكات الأسطوانية واللولبية [21].



(أ) المركز رقم 3



(ب) المركز رقم 4

الشكل (3–7) الصور المجهرية للسيولة من النحاس الأصفر 1.5% غرافيت ، 1% تيتانيوم [21]

(3–4–2) التصلب الاتجاهي:

أجريت تجارب التصلب الاتجاهي لتحديد تأثير معدل التبريد على انتظام توزيع جزيئات الغرافيت والبنية المجهرية. كما ذكرنا سابقاً ، يعتمد توزيع الغرافيت المنتظم على نزع تكتل جزيئات الغرافيت المضافة إلى الذوبان. بالإضافة إلى ذلك يتأثر توزيع جزيئات الغرافيت بمعدل التبريد بسبب التفاعل بين أذرع التغصنات المتنامية وجزيئات الغرافيت، وعندما تتفاعل أذرع التغصنات المتنامية مع جسيمات الغرافيت ، فإنها تدفع عادةً جسيمات الغرافيت إلى المناطق المتداخلة. أيضاً ، يعتمد توزيع جزيئات الغرافيت على معدل التبريد الذي يؤثر على تباعد ذراع التغصنات. تم استخدام سبائك النحاس C90300 مع 1.5% من الغرافيت 2% من التيتانيوم. حيث قيس التغير في درجة حرارة النحاس المنصهر بمرور الوقت باستخدام مزدوجات حرارية موضوعة في القالب. و وصلت المزدوجات الحرارية بجهاز تسجيل لتسجيل تغير درجة حرارة المعدن المنصهر باستمرار مع مرور الوقت. ثم سُخِن القالب الخزفي المطلي بغسول نيتريد البورون إلى 1500 درجة مئوية في فرن المقاومة الكهربائية. تم تبريد مبرد نحاسي مسبقًا في المجمد عند درجة حرارة −12 درجة مئوية قبل وضعه تحت القالب، واستخلصت الحرارة سريعاً عمودياً للأسفل [22].

لوحظ في البنية المجهرية الحصول على بنية دقيقة جداً بالقرب من السطح وهياكل أكثر خشونة تدريجياً في الأجزاء الوسطى والعلوية. ربما كان هذا بسبب سرعة التعويم العالية لجزيئات الغرافيت وهذا أدى إلى تكتل جزيئات الغرافيت الموجودة مسبقاً. عموماً ، من المتوقع أن يتحسن توزيع جزيئات الغرافيت في ظل معدلات التبريد العالية في مصبوبات المقاطع الرقيقة بسبب تقليل وقت تعويم جزيئات الغرافيت. ومع ذلك تظهر هذه الملاحظات أن معدل التبريد البالغ 20 درجة مئوية قد لا يكون كافياً للمساعدة بشكل كبير في تحسين توزيع جزيئات الغرافيت في ظل الظروف التجريبية الحالية [22].

ومن ثم لتحسين توزيع الغرافيت ، يجب فصل جزيئات الغرافيت بشكل كبير قبل إضافتها وكذلك أثناء الخلط ويجب تحسين معدل التبريد. بالإضافة إلى الفصل الكبير في الجزء العلوي من الصب ، وعُثِر على جزيئات الغرافيت في مناطق بين السبيكة، نتيجة الدفع بواسطة بلورات التغصنات المتنامية، وهذه إحدى المشكلات التي يجب حلها لتحسين توزيع جزيئات الغرافيت في المصفوفة الصلبة [22].

(3-4-3) الاستنتاجات:

1. من الممكن تشتيت 1.0 إلى 2.0% بالوزن من الغرافيت في سبائك النحاس المنصهرة في المسبوكات بإضافة 0.5 إلى 1.0٪ تيتانيوم إلى الذوبان [20].
2. لوحظ أن النسبة المئوية لاسترداد الغرافيت في مصبوبات الغرافيت النحاسي تكون أعلى مع إضافة نسبة مئوية أعلى من التيتانيوم إلى ذوبان النحاس [21].
3. يمكن تحقيق معدل دمج 80% من الغرافيت المضاف بواسطة تقنية التحريك على مرحلتين مع مقدار إضافة Ti. عمليات استرداد الغرافيت باستخدام تقنية التحريك على مرحلتين أعلى بكثير من تلك التي حصل عليها في التحريك بمرحلة واحدة [20].

4. لم يتأثر تباعد فرز التغصنات الثانوية بشكل كبير بسبب إضافات الغرافيت التي تصل إلى 1.5%، وهذا يشير إلى أن معدل تبريد سبائك النحاس لم يتأثر بشكل كبير بإضافات الغرافيت[22].
5. تتكون منطقة خالية من الغرافيت في بعض المصبوبات نتيجة لتعويم جزيئات الغرافيت مع زيادة وقت التثبيت متساوي الحرارة [21].
6. يؤدي وجود جزيئات الغرافيت إلى تحسين حجم الحبيبات في سبائك النحاس [21].

الفصل الرابع : دراسة الخواص الميكانيكية لسبائك النحاس الخالية من الرصاص

(4-1) مقدمة:

الهدف من هذا العمل هو تقييم إمكانية التشغيل الآلي للنحاس الخالي من الرصاص باستخدام السيليكون بنسبة وزنية (من 1%إلى 4%)، والتي حُضِرت باستخدام سبائك نحاسية بنسبة 60% خالية من الرصاص وزنك 40% وسيليكون نحاسي 80%. اختبِرت قابلية تشكيل السبائك التي فُحِصت على أساس قوة القطع، وتآكل الأداة، وخشونة السطح، ونوع الرقاقة في سبيكة سيليكون بنسبة وزنية 1٪، والتي تُظهر أقصى قوة، تقاس قوة القطع القصوى وينتج نوع رايش غير مرغوب بها، في حين أن تآكل الأداة وخشونة السطح لها قيم أقل. تؤدي زيادة محتوى السيليكون من 1%إلى 4٪، إلى زيادة تآكل الأداة بنسبة 40٪، وخشونة سطح الآلة بنسبة 25%، بينما تتغير نوع الرايش من النوع المستمر إلى النوع المتقطع، وتقليل قوة القطع بنسبة 50% [23].

تقسم سبائك النحاس فيما يتعلق بإمكانية التشغيل الآلي إلى ثلاث مجموعات، وهي السبائك التي يمكن تشكيلها آلياً بدرجة عالية (القطع الحر)، والقابلة للتشكيل بشكل معتدل، والسبائك التي يصعب تصنيعها آلياً. تحسن قابلية تصنيع النحاس وسبائك النحاس بواسطة الرصاص والكبريت والتوريوم والزنك بينما تتدهور عند إضافة القصدير والحديد. يؤدي استخدام الرصاص في سبائك النحاس بتركيزات حوالي 2% إلى تحسين قابلية التشغيل الآلي من خلال العمل بمثابة قاطع رقاقات مجهري ومزلق للأداة، بينما يزيد من هشاشة السبيكة. وبالمثل، فإن الكبريت والتوريوم يضافان إلى النحاس بكميات صغيرة لتحسين القدرة الميكانيكية. أدت المخاوف البيئية المتزايدة إلى زيادة الطلب على النحاس الأصفر الخالي من الرصاص في مختلف الصناعات، و نظر في تطوير النحاس الخالي من الرصاص بسهولة من قبل عدد من الباحثين، حيث استبدل Pb بـ Bi و Se. كما يمكن إضافة عناصر أخرى مثل الفوسفور والإنديوم بكميات صغيرة لهذا الغرض إلى السبيكة، في النحاس الخالي من الرصاص تؤدي الزيادة في محتوى الزنك من 0% إلى 30% إلى تحسين معدل التشغيل الآلي. والزيادة الإضافية في محتوى الزنك إلى ما بعد حد الذوبان يظهر مزيداً من التحسن في التشغيل الآلي. واستخدم السيليكون أيضاً ليحل محل الرصاص [23].

(4-2) الاختبارات الميكانيكية:

(4-2-1) المواد:

تم تحضير السبائك عن طريق إضافة سبيكة رئيسية من النحاس والسيليكون (80% من النحاس إلى 20% سيليكون) تدريجياً في سبيكة نحاسية رئيسية محضرة ومصهورة من النحاس الأصفر 60% والزنك 40% مُسخنة إلى 1200 درجة مئوية. عرضت التركيبات الكيميائية لسبائك النحاس الحاوية سيايكون المحضرة في الجدول (4-1). يوضح الجدول أيضاً التركيب الكيميائي للسبيكة الرئيسية الخالية من الرصاص المستخدمة في تحضيرها وسبائك النحاس المحتوي على الرصاص C37700. تم صب السبائك المحضرة في قالب فولاذي منخفض الكربون لصب سبيكة أسطوانية الشكل بقطر 33 مم وطول 130 مم [23].

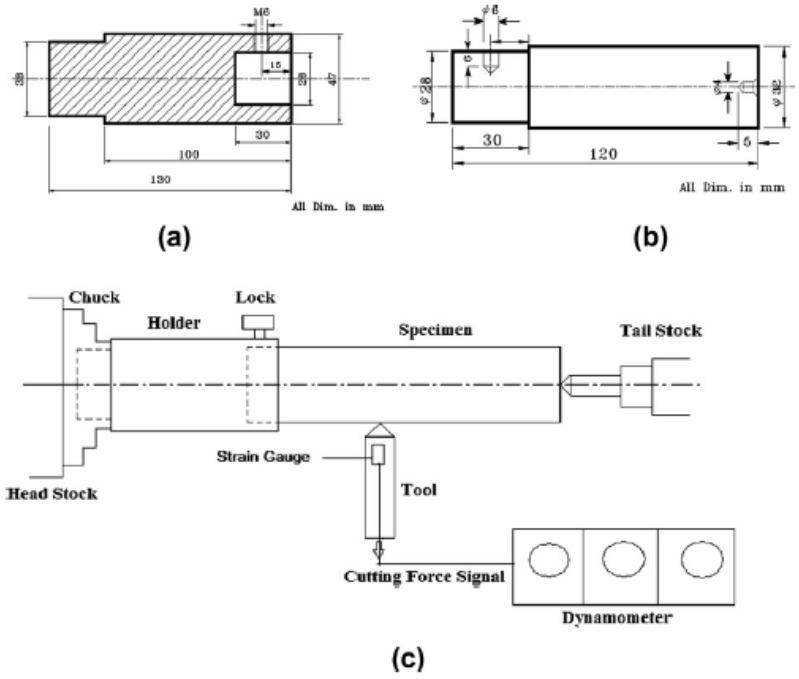
الجدول(4-1). التركيب الكيميائي للنحاس الحاوي على السيلكون الخالي من الرصاص ، والسبائك الرئيسية الخالية من الرصاص، والنحاس المرجعي المحتوي على الرصاص [23].

Element	Cu	Pb	Fe	Si	Al	S	Sn	Zn
Alloy 1 (1% Si)	60.2	0.005	0.032	1.11	0.445	0.003	0.001	Rest
Alloy 2 (2% Si)	60.1	0.003	0.127	1.92	0.55	0.009	0.001	Rest
Alloy 3 (3% Si)	60.4	0.003	0.081	2.89	0.489	0.005	0.013	Rest
Alloy 4 (4% Si)	60.2	0.003	0.074	3.94	0.498	0.004	0.001	Rest
Master alloy 60Cu/40Zn	60.92	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001		0.0052	Rest
Reference Leaded Brass Alloy (C37700)	Rest	1.947	0.217	0.002	0.047		0.195	39.5

(4-3) القابلية الميكانيكية:

تم اختبار القابلية الميكانيكية باستخدام مخرطة مركزية تقليدية بثماني سرعات دورانية تتراوح من 32 إلى 1000 دورة في الدقيقة ، وتغذية تتراوح من 0.063 إلى 0.64 ملم / دورة. ثُبِتت عينات الآلة في حامل خاص بين الطرف والمركز ، مما يضمن استقرار العينة ودقة نتائج التشغيل الآلي. أخذ كل قياس للقدرة الميكانيكية كمتوسط ثلاث عينات ، مع مدى تشتت يبلغ 5%. وأجري قياس قوة القطع (Fc) باستخدام مقياس ديناميكي متصل بمقياس إجهاد مركب على

سطح أداة القطع المقابلة. حيث يوضح الشكل (4–1) حامل العينة وعينة الاختبار والرسم التخطيطي لترتيب الاختبار على التوالي [24].



الشكل (4–1). اختبار القابلية الميكانيكية للآلة: (أ) حامل العينة ، (ب) العينة ، و (ج) رسم تخطيطي لترتيب الاختبار [24]

تم استخدم نوعان من أدوات الخراطة مع أطراف كربيد الأسمنت ؛ وهي H123 و H20. تردد زوايا أدواتهم في الجدول (4–2). تم إجراء ثلاث مجموعات من التجارب من أجل دراسة تأثير سرعة القطع (v) والتغذية (mm / rev) وعمق القطع على معدلات التشغيل الآلي. يوضح الجدول (4–3) شروط القطع المختارة المطبقة [24] .

تم تقييم القابلية الماكينة على أساس أربعة معايير للقدرة الميكانيكية ؛ وهي قياسات قوة القطع ، وقياسات تآكل الأدوات ، وقياسات خشونة السطح. أنشئت آلية تعتمد على قياسات قوة القطع عن طريق قياس قوة القطع الرئيسية (Fc). ومن أجل التشغيل الآلي على أساس تآكل الأداة ضبط وقت المعالجة المحدد مسبقاً لمدة دقيقتين. تم قياس التآكل على جانب الأداة عن طريق قياس ثخانة الطبقة التي تعرضت للتأكل. من أجل التشغيل الآلي على أساس خشونة السطح،

قيس متوسط خشونة السطح (Ra) باستخدام نوع اختبار خشونة السطح (MITUTOYO Surf Test 301) [24].

تم جمع الرايش المنتج باستخدام كلتا أدوات القطع ، في ظروف القطع المختلفة ، وتصويرها وتصنيفها في شكل مجدول.

الجدول (4–2) زوايا أداة أدوات القطع المستخدمة في التشغيل الآلي.

أداة القطع	α (°)	γ (°)	æ (°)	β (°)	r (mm)
H123	12	10	60	60	حادة
H20	13	-10	60	60	0.4

الجدول (4–3) شروط القطع المستخدمة في اختبار التشغيل الآلي.

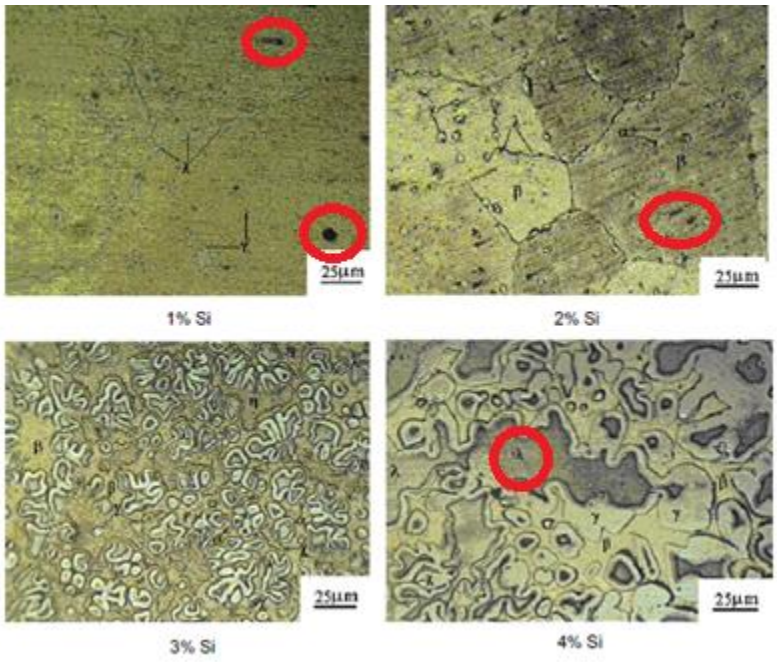
No	شروط القطع	سرعة القطع (*v*) (m/min)	التغذية (*s*) (mm/rev)	عمق القطع (*a*) (mm)
01	تأثير سرعة القطع	اهتزاز: 22.6، 41.5، 65.8، 104	ثابت حتى 0.8	ثابت حتى 0.5
02	تأثير التغذية	ثابت حتى 104	اهتزاز: 0.8، 0.14، 0.2	ثابت حتى 0.5
03	تأثير عمق القطع	ثابت حتى 104	ثابت حتى 0.08	اهتزاز: 0.5، 0.75، 1

(4–4) البنية المجهرية والخواص الميكانيكية:

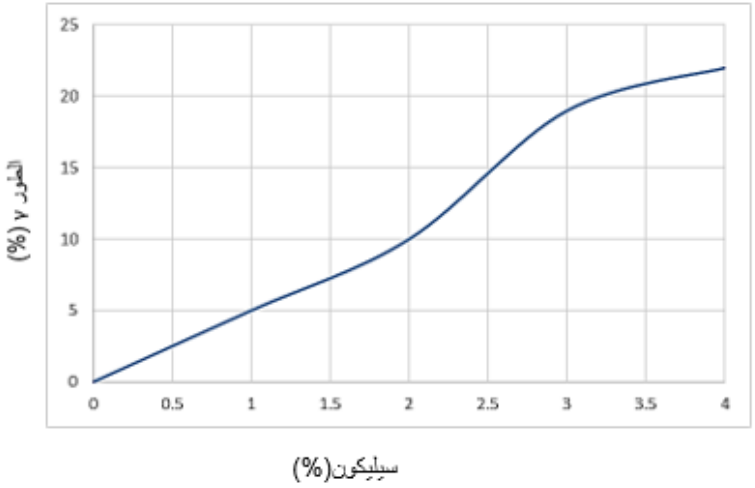
يظهر الشكل المجهري لسبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص في الشكل (أ) (4–2) اعتماداً على محتوى السيليكون، اكتشفت مراحل عدة من خلال تحليل الأشعة السينية الذي أجري على عينات قرصية بقطر 15.5 مم وثخانة 2 مم استنادا للمواصفات القياسية ISO التي تشير إلى تكوين هذه المراحل. كما هو مبين في الشكل (ب) (4–2)، ظهرت المراحل بكسور مختلفة. ويوضح الشكل تباين الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد النهائية ، والاستطالة والصلابة) باستخدام ألة شد حيث لوحظ مع زيادة محتوى السيلكون إلى 1.5% تصل قوة الشد إلى الحد الأعظم 650 Mpa ثم تعود للأنخفاض تدريجيا إلى 550 Mpa عندمايصل محتوى السيلكون إلى 4%، في حين عند إجراء اختبار الليونة لوحظ انخفاض الليونة إلى 260% مع زيادة محتوى السيلكون إلى 4%، أما الصلابة تزداد مع زيادة

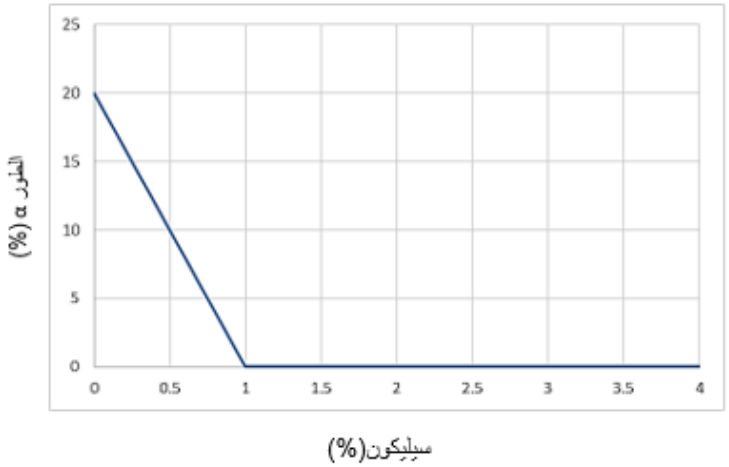
محتوى السيلكون كما هو موضح في الشكل (4-3). وتشير النتائج إلى أن إضافة Si حتى 1% بالوزن يؤدي إلى تكوين الطور β وتقليل الطور α ضمن السبيكة ويعزى ذلك لتأثير السيلكون المضاف.

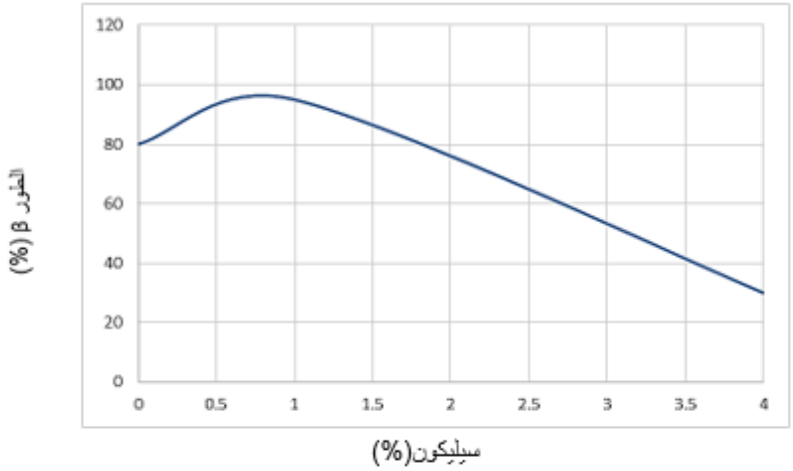
.



(أ)

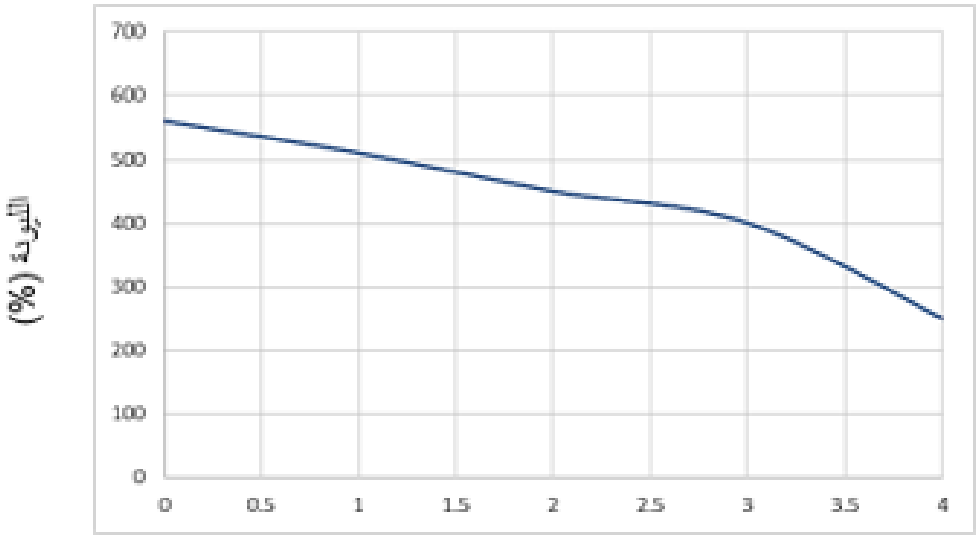




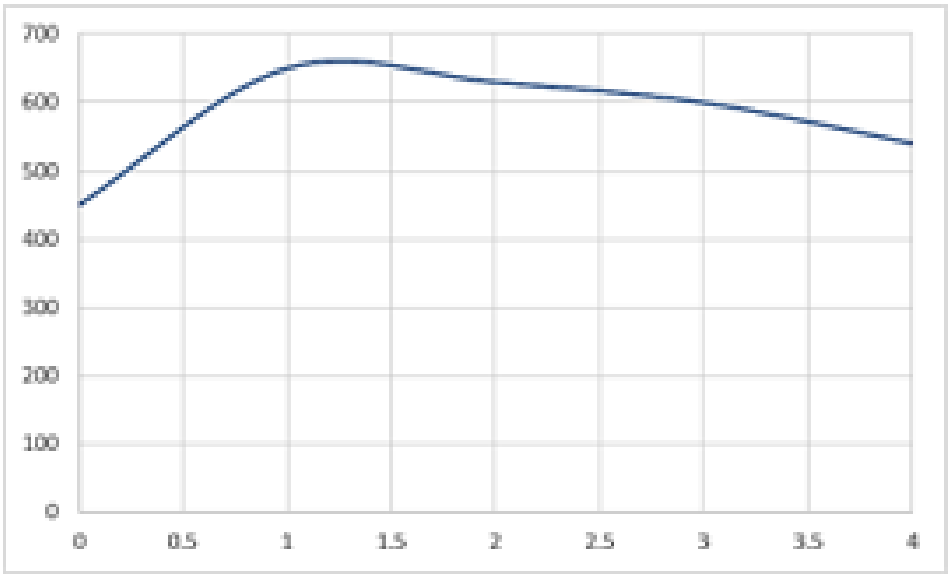


(ب)

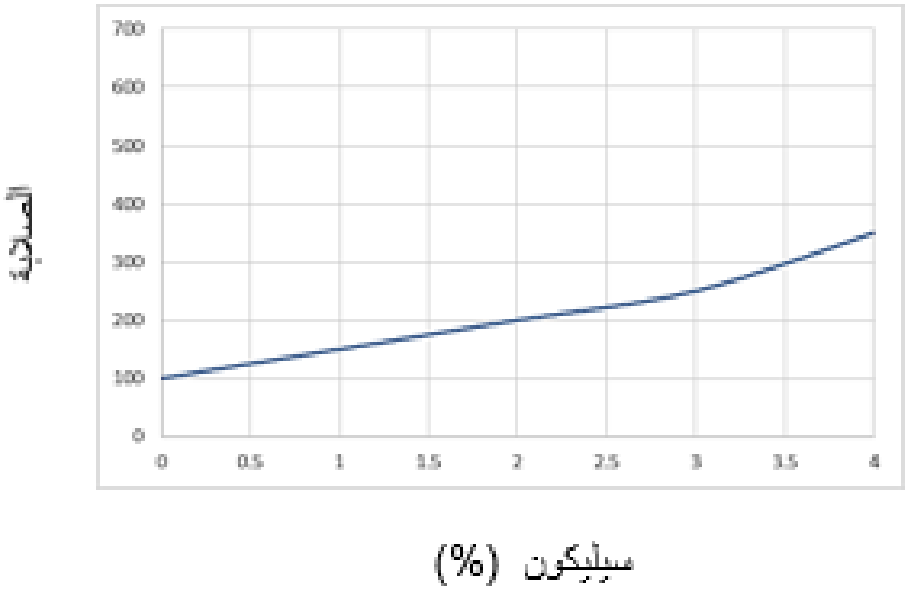
الشكل(4–2) تباين البنية المجهرية لسبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص المصبوب مع محتوى Si يصل إلى 4%: (أ) الصور المجهرية التي تشير إلى المراحل ومواقعها و (ب) تباين جزء حجم مع الأطوار (α، β، γ) مع محتوى Si.



سيليكون (%)



سيليكون (%)



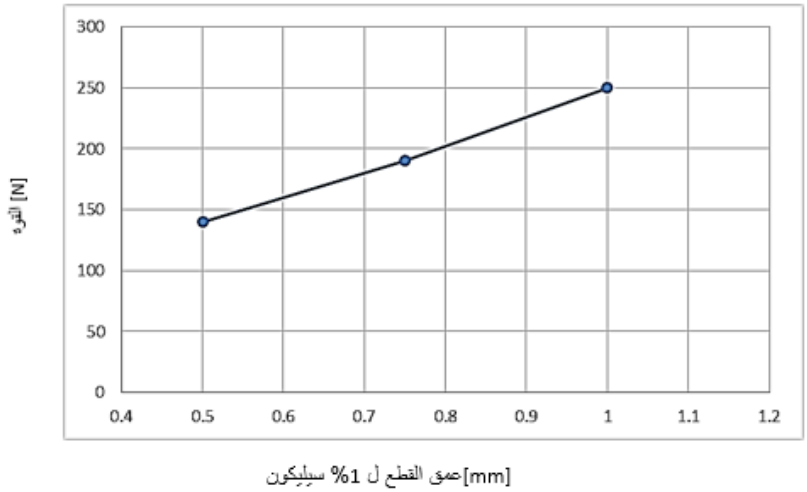
الشكل (4–3) تباين الخواص الميكانيكية لسبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص مع محتوى Si يصل إلى 4%.

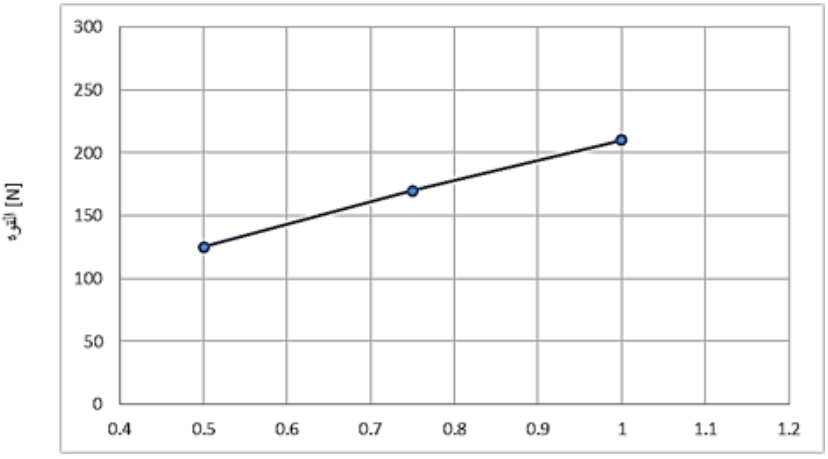
(4–4–1) مؤشر التشغيل الآلي:

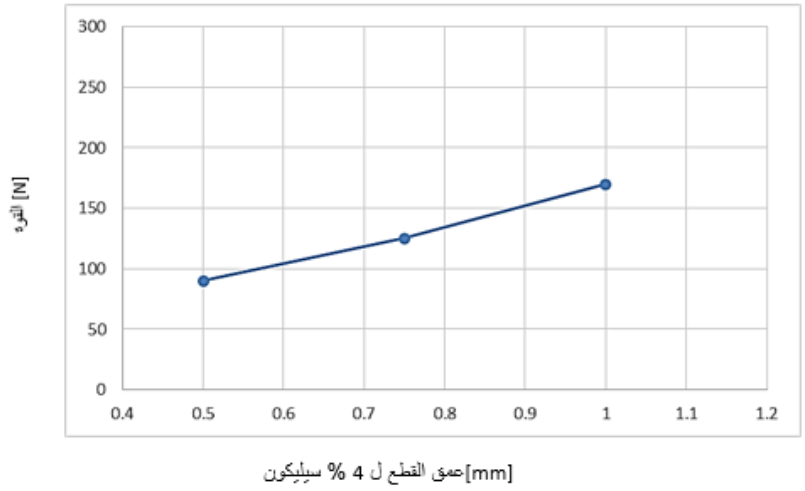
استخدم تصنيف مؤشر التشغيل الآلي بشكل شائع لتصنيف السبائك المختلفة بناءً على السهولة النسبية في القطع. حيث حددت مؤشرات آلية مختلفة. بناءً على قوة القطع، حسب مؤشر تصنيف القوة النسبية RFRI ، عن طريق قسمة قوة القطع للنحاس المرجعي المحتوي على الرصاص على سبيكة Si النحاسية الخالية من الرصاص. وبالمثل ، تُحسب أيضاً مؤشرات أخرى تستند إلى تآكل الأداة (مؤشر تصنيف تآكل الأداة النسبي ، RTRI) ، وخشونة السطح (مؤشر تصنيف الخشونة النسبي ، RRRI). كما يعد نوع الرايش التي شكلت أيضاً دور في تقييم التشغيل الآلي، حيث يُحسب مؤشر التصنيف النسبي لنوع الرايش (RCRI) عن طريق قسمة رتبة نوع الرايش لسبائك نحاسية Si الخالية من الرصاص تحت ظروف قطع معينة على تلك الخاصة بالنحاس المرجعي المحتوي على الرصاص.

(4-4-2) آلية تعتمد على قوة القطع:

عثر على تأثير معاملات مختلفة على قوة القطع مشابهاً لكل من أدوات H123 و H20. يوضح الشكل (4-4) و (4-5) أنه بالنسبة لجميع السبائك المحتوية على الرصاص والخالية من الرصاص ، فإن قوة القطع (Fc) تتناسب مع عمق القطع. يمكن أن يُعزى السلوك إلى زيادة مقاومة تكوين الرقاقة نتيجة لزيادة حجم الطبقة غير المشوهة.

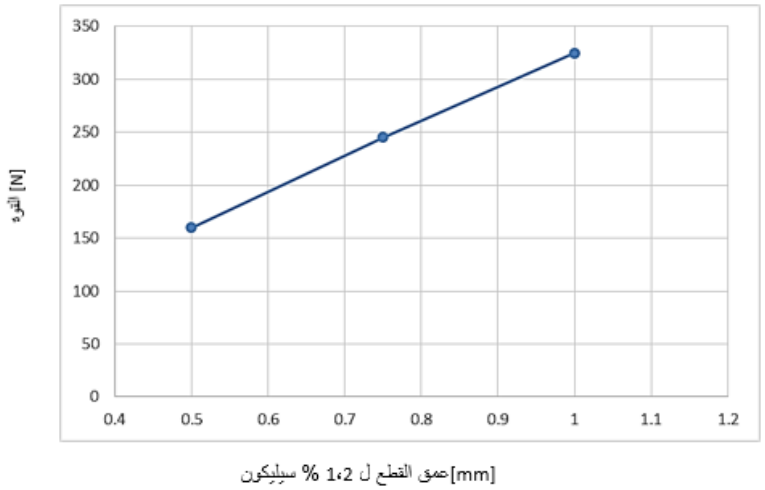


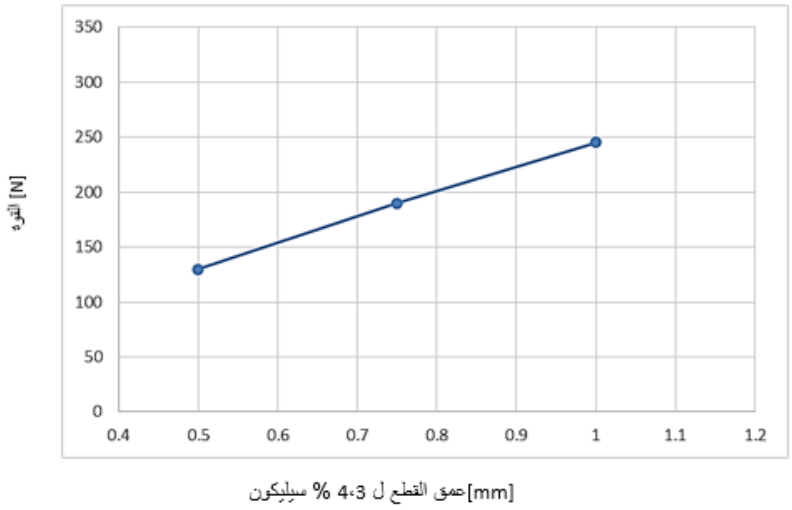




(أ)

الشكل (4–4) تأثير عمق القطع على قوة القطع لسبائك النحاس المصبوب بمحتوى Si مختلف يصل إلى 4%
(تغذية ثابتة تبلغ 0.08 مم / دورة وسرعة 104 م / دقيقة): (أ) الأداة H123

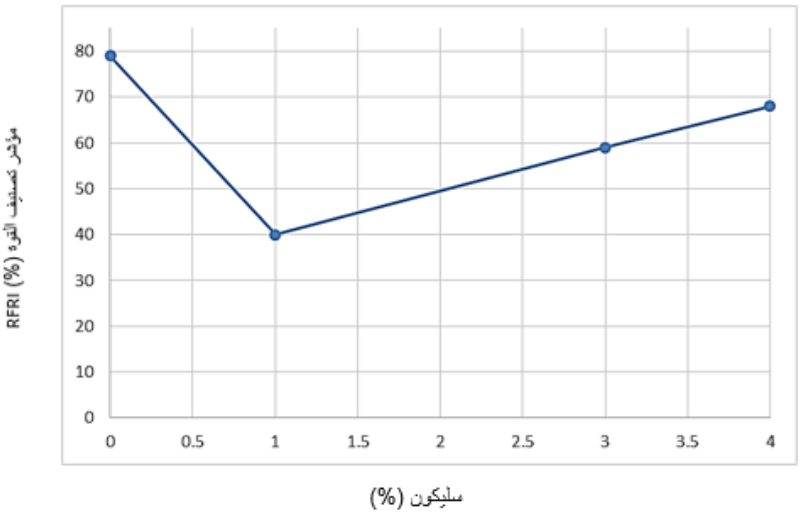




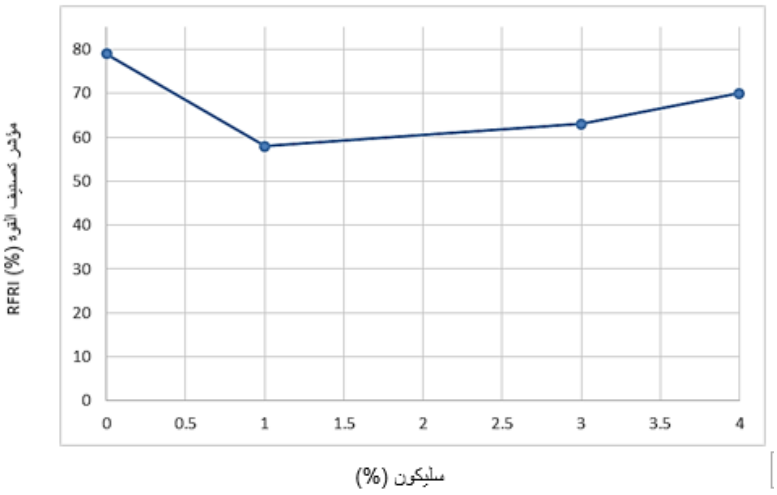
(ب)

الشكل (4–5) تأثير عمق القطع على قوة القطع لسبائك النحاس المصبوب بمحتوى Si مختلف يصل إلى 4% (تغذية ثابتة تبلغ 0.08 مم / دورة وسرعة 104 م / دقيقة): (ب) أداة H20.

يمكن أن تُعزى قوة القطع القصوى المقاسة عند 1%Si إلى أعلى قوة للسبيكة. السلوك مشابه للعمل السابق على السبائك الأخرى. لكل من الأداتين H20 و H123 ، تظهر تأثيرات محتوى Si على "مؤشر تصنيف القوة النسبية" RFRI المحسوب في الشكل (4–6) على التوالي للأداتين H123, H20. مع وجود نقطة انعطاف عند 1%Si. انخفض RFRI من الحد الأقصى (بين 70%و 80٪) للنحاس الخالي من الرصاص Cu60 / Zn40 إلى الحد الأدنى (بين 40%و 55٪) لسبائك Si بوزن 1%. أدت الزيادة الإضافية في وزن ل Si إلى زيادة RFRI إلى قيمة تتراوح بين 64%و 68%عند 4% بالوزن من Si. ترتبط نتائج التشغيل الآلي بمراحل البنية المجهرية وقوة السبائك. مع زيادة Si (من 0%إلى 1%Si).



(أ)



(ب)

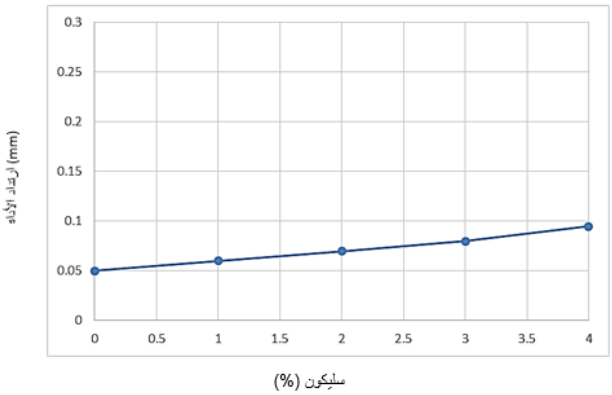
الشكل (4–6) مؤشر تصنيف القوة النسبية "RFRI": (أ) للأداة H123، (ب) للأداة H20

(4–4–3) القدرة الميكانيكية على أساس ارتداد الأداة:

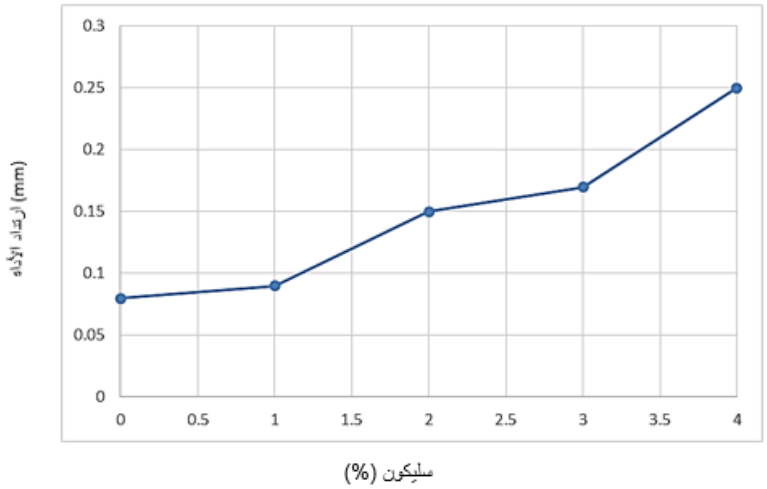
توضح الأشكال (4–7) و (4–8) أنه لم يحدث سوى قدر ضئيل من تآكل الأداة أثناء قطع النحاس المحتوي على الرصاص ، في حين أن النحاس الخالي من الرصاص له تآكل أعلى للأداة يزيد مع زيادة وزن Si%. يوضح الشكل

أيضاً أن قيم تآكل الأداة للأداة H20 أصغر من القيم التي حصل عليها للأداة H123. يمكن أن يُعزى ذلك إلى التأثير المشترك للصلابة العالية ونصف القطر الأكبر لأداة H20.

ترتبط نتائج التآكل في الشكل (4–7) بمراحل البنية المجهرية وقوة السبائك. مع زيادة وزن Si (من 0%إلى Si%1) ، يزداد التآكل بشكل. أدت الزيادة الإضافية في محتوى السيليكون (من 1%إلى Si%4) إلى زيادة معتدلة في تآكل الأداة بسبب التكوين وزيادة جزء الحجم من الأطوار الصعبة γ و λ و η. أظهرت الأداة H20 معدل تآكل أقل من الأداة H123 نظراً لصلابته العالية ونصف قطر الأنف الأكبر ، وهذا أدى إلى وجود علاقة خطية تقريباً بين تآكل الأداة ومحتوى السيليكون. مع زيادة محتوى السيليكون (من 0%إلى Si%4) ، زاد تآكل الأداة تدريجياً مع عدم وجود تأثير معنوي للصلابة وتغيرات البنية المجهرية. عموماً، حسب مؤشر تصنيف تآكل الأداة النسبي المنخفض [RTRI] لكلتا الأداتين نتيجة لزيادة نسبة Si بالوزن. يتم التعرف على التأثيرات المتناقضة لمحتوى Si على أنها تأثير إيجابي على [RFRI] وتأثير سلبي على [RTRI]. هذا التأثير هو نتيجة مباشرة لاعتماد قوة القطع على قوة السبيكة ، واعتماد تآكل الأداة على صلابة السبيكة ، وهذا يؤكد أهمية النظر في كل من مقاييس القابلية للماكينة. بالإشارة إلى التحسن النسبي في [RTRI] باستخدام الأداة H20 ، يمكن استنتاج أنه من خلال اختيار أداة القطع المناسبة ذات الصلابة المناسبة وهندسة الأداة المناسبة ، يمكن تحقيق معدلات تآكل أقل للأداة وعمر الأداة الاقتصادي أثناء تصنيع سبائك النحاس السليكونية المفحوصة.

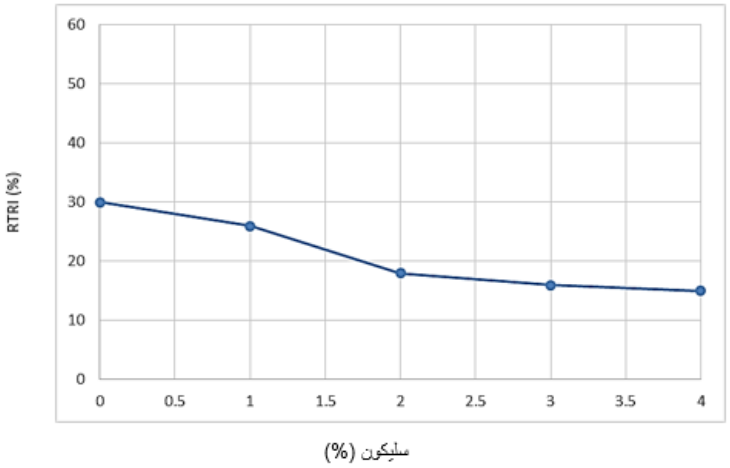


(أ)

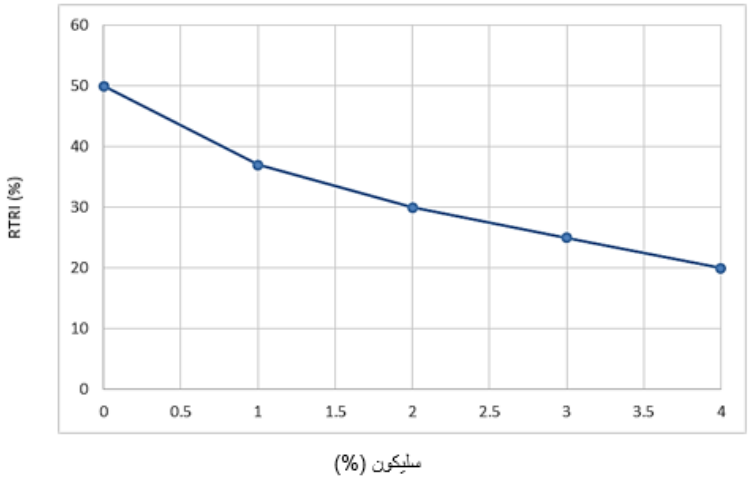


(ب)

الشكل (4–7). تأثير محتوى Si في سبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص حتى 4% على ارتداد الأداة للأداتين: (أ) H20، (ب) H123



(أ)



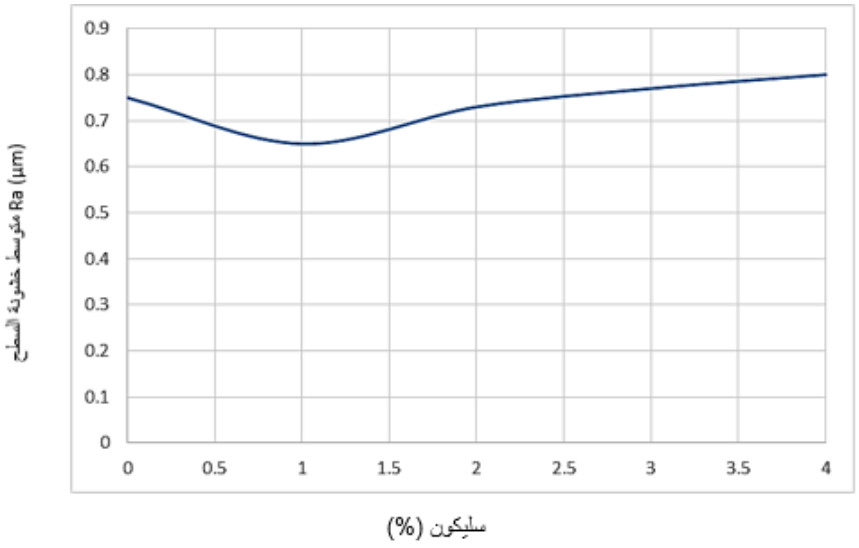
(ب)

الشكل (4–8). تأثير محتوى Si في سبائك النحاس المصبوب الخالية من الرصاص حتى 4% على مؤشر تصنيف تآكل الأداة النسبي RTRI: (أ) H123، (ب) H20

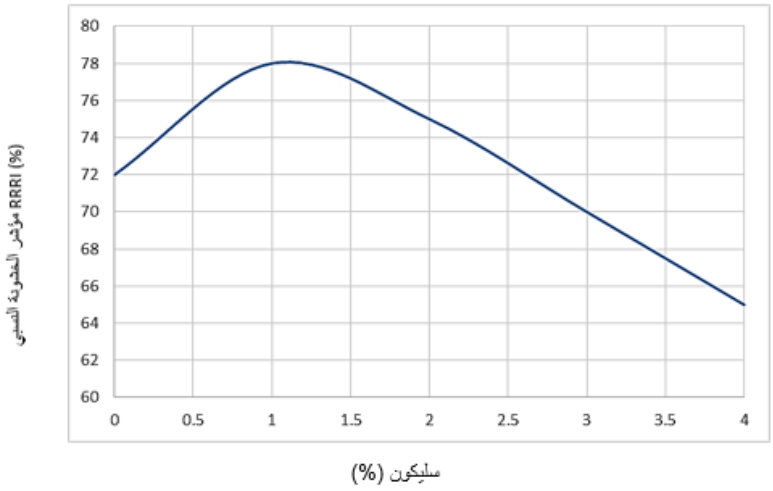
(4–4–4) القدرة الميكانيكية على أساس خشونة السطح:

قيمت قابلية التشغيل الآلي على أساس جودة السطح المُشَكَّلة عن طريق قياس متوسط خشونة السطح المُشَكَّلة (Ra) في ظروف قطع محددة باستخدام الأداة H20. يكون (Ra) ثابتاً تقريباً مع اختلاف عمق القطع ، بينما يزداد مع زيادة تغذية القطع وتنخفض تدريجياً مع زيادة السرعة. حيث أشير إلى قيم خشونة السطح الأعلى لسبائك (Si%3) ثم (Si%4) ، بحيث تزداد (Ra) بنسبة (40%) حيث يزيد محتوى السيليكون من 1% إلى 4%.

تأثيرات محتوى Si على (Ra) وما يقابلها من مؤشر خشونة السطح المشكل آلياً ؛ يظهر "RRRI" في الشكل (4–9) (أ) و (ب) على التوالي. تتعارض العلاقات مع بعضها بعضاً مع وجود نقطة انعطاف عند Si%1 ، حيث يكون (Ra) هو الحد الأدنى مع الحد الأقصى لـ (RRRI). تبلغ القيمة القصوى لـ (RRRI)، 78% للسيلكون مقارنة بـ 72% للنحاس الحاوي على الرصاص. يمكن الإشارة إلى تحسن السطح عند 1% Si إلى انخفاض طفيف في الليونة وزيادة الصلابة. يمكن تصنيف السبائك الحالية على أنها ذات خشونة سطح ممتازة ، تتراوح من 0.5 إلى 1.5 µ



(أ)



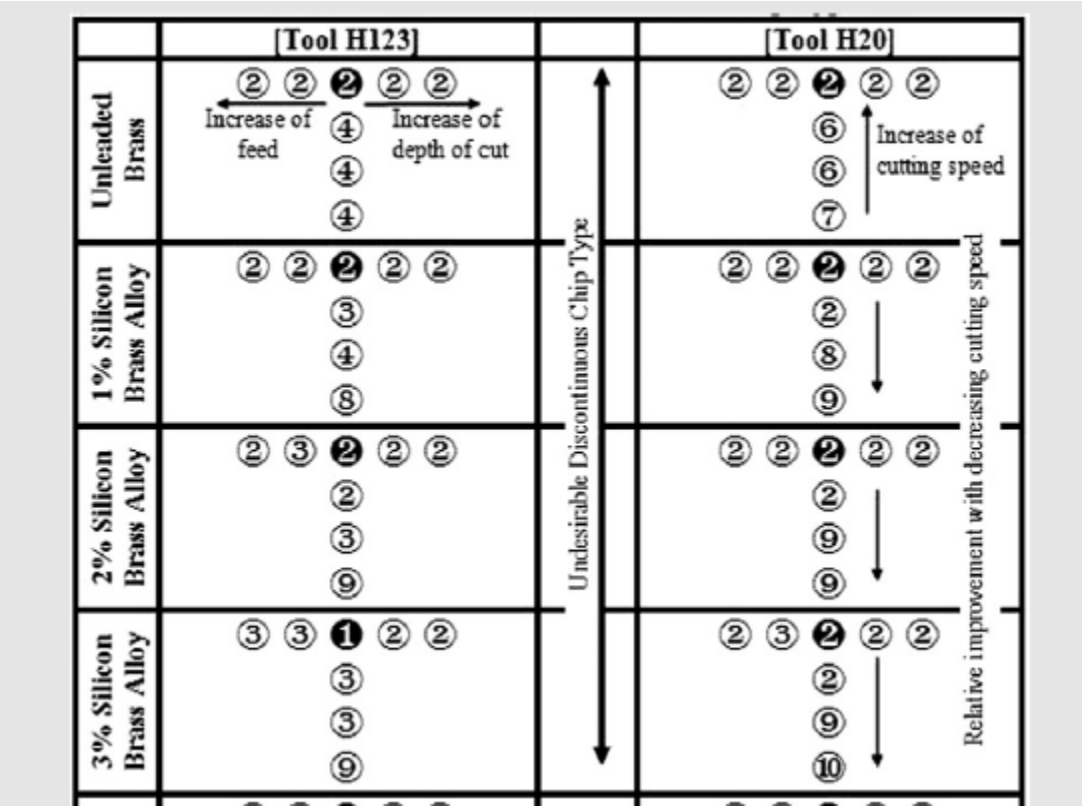
(ب)

الشكل (4–9) تأثير محتوى Si في سبائك النحاس المصبوبة الخالية من الرصاص بنسبة تصل إلى 4%: (أ) خشونة السطح "Ra" و (ب) مؤشر الخشونة النسبي للسطح المشكل آلياً "RRRI".

(4–4–5) القدرة الميكانيكية على أساس نوع الرايش:

تشير التجارب إلى أن تصنيف الرايش يتم بناءً على نوع الرايش المتكون [25]. حيث يشمل تصنيف الرايش إلى طويلة غير المرغوب فيها (النوعان 1 و 2) ، متبوعًا بنوعين مائلين طويلين وطويلين أسطوانيين (النوعان 3 و 4) ، ثم ثلاثة أنواع جيدة من الرايش القصير (الأنواع 5 و 6 و 7 و 8) ، وأخيراً نوعان ممتازان من الرايش المكسور (النوعان 9 و

10). بناءً على هذا التصنيف ، يتم تحديد نوع الرايش المكونة لنحاس السليكون الذي تم فحصه ، في ظل ظروف قطع مختلفة لعمق القطع، والتغذية، والسرعة لكل من الأداتين H123 و H20 ، بناءاً على الجدول (4–4) [25]. حيث يشير الجدول ، ضمن النطاق الذي تم فحصه للتغذية وعمق القطع ، لا يوجد تأثيرعلى نوع الرايش المنتج لكل سبيكة. ومع ذلك ، فإن سرعة القطع المتغيرة (v) لها تأثير كبير حيث يتغير الرايش من النوع المستمر إلى النوع المتقطع مع انخفاض سرعة القطع. وتجدر الإشارة إلى أنه لا يوصى بتقليل سرعة القطع لأنه يؤديإلى إنتاج رايش غير مرغوب به. تم توضيح تأثير محتوى السيلكون في الجدول (4–4). حيث أن بإضافة السيلكون إلى النحاس الخالي من الرصاص Cu 60 / Zn 40 ، يتغير الرايش من النوع المستمر غير المرغوب فيه إلى الأنواع المائلة الطويلة والأسطوانية الطويلة المقبولة ومع زيادة محتوى السيلكون إلى 4% . لوحظ وجود نوع ممتاز للرايش.



الجدول (4–4) أنواع الرايش المنتج لZn40 / Cu [25].

نلاحظ من الجدول أن (1,2): رايش طويل غير مرغوب به ، (3,4) : رايش طويل وأنواع أسطوانية طويلة ،(5,6,7,8): رايش قصير جيد ، (9,10): رايش مكسر ممتاز.

(4-5) مناقشة النتائج:

بالمقارنة مع دراسات سابقة في هذا المجال سجلت نتائج جديدة تمثلت في الخواص الميكانيكية للسبائك الغير حاوية على الرصاص ومضاف لها الغرافيت وعناصر أخرى (البزموت والسيلكون) بالإافة ألى التعرف على البنية المجهرية للسبيكة.

بالنظر إلى الخواص الميكانيكية الناتجة للسبيكة الغير حاوية على الرصاص والمضاف لها السيلكون بنسبة من 1 إلى 4% كانت ترتبط نتائج قابلية التشغيل الميكانيكي لهذه السبائك النحاسية بقوة السبيكة والمراحل الموجودة في البنية المجهرية. حيث أدى تكوين الطور في سبيكة 1 Si%إلى أقصى مقاومة شد نهائية حوالي 650 Mpa في حين عند إجراء اختبار الليونة لوحظ انخفاض الليونة إلى 260% مع زيادة محتوى السيلكون إلى 4%، أما الصلابة تزداد مع زيادة محتوى السيلكون ، ومن ثم فإن قوة القطع (Fc) تتناسب مع عمق القطع. بالنسبة لهذه السبيكة تم أنتاج نوع رايش مستمر غير مرغوب به ، في حين صنف رايش مكسر ممتاز بدرجة عالية استناداً إلى كل من مؤشر تصنيف قابلية تآكل الأداة النسبي "RTRI" وتقديرات مؤشر خشونة السطح النسبي "RRRI".

اما فيما يخص دراسة البنية المجهرية ف استنادا للدراسات المرجعية [9] [8] فإن سبائك النحاس الحاوي على الرصاص يؤثر بشكل كبير على خواص البنية المجهرية بالإضافة إلى التأكل مع مرور الزمن، بينما عندما تم سحب الرصاص واستبداله بالغرافيت والبزموت وإضافة مادة ترطيب التيتانيوم تم ملاحظة تحسن في خواص البنية المجهرية وتقليل مقدار التأكل بشكل كبير.

الخاتمة:

تمكننا من خلال هذا البحث من اطلاع على دراسات سابقة لاستخلاص الرصاص من سبائك النحاس ثم القيام بإجراء محاكاة لخواصه الميكانيكية ودراسة البنية المجهرية.

العمل الإيجابي في هذا البحث هو استخدام سبائك النحاس الخالية من الرصاص بكثرة في العمليات الصناعية، تم هذا البحث دراسة تحضير سبائك النحاس الخالية من الرصاص باستخدام الغرافيت ، حيث تحتوي هذه السبائك على كل من النحاس والغرافيت وبعض المواد الأخرى. حيث تم دراسة تقنيتان مختلفتان لتحضير السبائك النحاسية وهما نمذجة المياه وتعدين المساحيق، استطعنام من خلال هذين التقنيتين والاعتماد على الدراسات المرجعية بالحصول على سبائك نحاسية خالية من الرصاص تحتوي على الغرافيت، بالنسبة للعناصر الأخرى التي استخدمت للحصول على هذه السبائك فقد حضرت بطرق الخلط والمزج. كما توصل البحث إلى أن سبائك النحاس الخالية من الرصاص لها كفاءة عالية يمكن استخدامها في تمديدات أنابيب المياه وأعمال صناعية أخرى دون حدوث أي ضرر أو تأثير على البيئة وصحة الإنسان.

التوصيات والآفاق المستقبلية:

- يمكن استخدام سبائك نحاسية خالية من الرصاص بإضافة مواد أخرى والمفاضلة بين هذه المواد لاستخدامها في العمليات الصناعية.
- يمكن استخدام إضافات من معادن أخرى تسهم في تحسين خصائص السبائك النحاسية بشكل أكبر.
- يمكن العمل في المستقبل على دراسة خصائص لهذا النوع من السبائك (خصائص كيميائية)
- يمكن دراسة خصائص السبيكة الناتجة من تقنية الخلط والمزج وتحديد مجال استخدامها المناسب بدقة

المصادر والمراجع:

[1] A Timeline of Copper Technologies, Copper Development

Association (2008).

[2] Zhang, P.; Zhang of graphite type on the contact plateaus and friction properties of copper-based friction material for high-speed railway train. Wear (2009), 432.

[3] Singh, M.K.; Gautam, P.K. Mechanical and electrical behaviour of developed copper based hybrid composites. Mater. Today Proc. (2010), 5, 5692–5700.

[4] Mahdi, F.M.; Razooqi, R.N.; Irhayyim, S.S. The influence of graphite content and milling time on hardness, compressive strength and wear volume of copper-graphite composites prepared via powder metallurgy. Tikrit J. Eng. Sci. (2010), 24, 47–54.

[5] Meher, A.; Chaira, of graphite and SiC addition into Cu and SiC particle size on fabrication of Cu–Graphite–SiC MMC by powder metallurgy. Trans. Indian Inst. Met. (2012), 70, 2047–2057.

[6] Liu, B.; Zhang, D.Q.; Li, X.F.; He, Z.; Guo, X.H.; Liu, Z.J.; Guo, Q.G. of graphite flakes particle sizes on the microstructure and properties of graphite flakes/copper composites. J. Alloys Compd. (2012), 766, 382–390

[7] Japan Foundry Engineering Society: Cyuzo-kogaku Binran, (Maruzen, Tokyo, (2008) p. 437.

[8] K. Okuma, R. Ikeda, E. Yoshida and T. Nakamura: J. the Japan Copper and Brass Research Association 34 (2013) 201‑205.

[9] K. Yamada, N. T. Rochman, R. Fujimoto, S. Suehiro and H. Sueyoshi: J. Adv. Sci. 13 (2007) 273‑276.

[10] ASM International: ASM Handbook Vol. 3 Alloy Phase Diagrams (ASM International, Ohio, USA, (2009) p. 2.120.

[11] C. Vilarinho, J. P. Davim, D. Soares, F. Castro and J. Barbosa: J. Mater.Process. Technol. 170 (2009) 441‑447.

[12] B. Suresha, Siddaramaiah, Kishore, S. Seetharamu and P. Sampath Kumaran: Wear 267 (2013) 1405‑1414.

[13] H. Imai, K. Kondoh, Y. Kosaka, A. Kojima, G. Katano and J. Umeda: J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall. 55 (2015) 746.

[14] H. Imai, S. Li, H. Atsumi, Y. Kosaka, A. Kojima and K. Kondoh: Trans. JWRI 38 (2015) 25‑30.

[15] Kyoto Brass Co., Ltd: JP 2008-214760 (2015).

[16] H. Imai, S. Li, H. Atsumi, Y. Kosaka, A. Kojima and K. Kondoh: Trans. JWRI 38 (2015) 25‑30.

[17] M. Kestursaty J.K. Kim, and P.K. Rohatgi, “Tribological Properties of Centrifugally Cast Copper Alloy Containing Graphite Particles Against Steel”, Preseaed at TMS Materials Week Conference, Rosemont, IL, 2016.

[18] M. Kestursaty J.K. Kim and P.K. Rohatgi, Role of Surfaces on Tribological Behavior of Copper Graphite Composites”, AVS Proceedings, June 14-17 (2016).

[19] P. K. Rohatgi, J. K. Kirn J. Sobczak, N. Sobczak, S. Ray, “Centrifugal Casting of Lead-Free Copper Graphite Alloys”, AFS Transactions, (2016), vol. 104, pp. 1217-1222.

[20] J. K. Kim and P. K. Rohatgi, “Effect of Interactions Between Bubbles and Graphite Particles on Microstructure formed During Centrifugal Casting: Experiments Part II”, Metallurgical and Materials Transactions, (2017).

[21] J. K. Kim and P. K. Rohatgi, “Interaction Between Moving Solidification Front and Graphite Particles During Centrifugal Casting”, Materials Science and Engineering A244, (2017), pp. 168-177.

[22] J. K. Kim and P. K. Rohatgi, “Effect of Interactions Between Bubbles and Graphite Particles on Microstructure formed During Centrifugal Casting: Analytical Solution Part I“, ‘ Metallurgical and Materials Transactions, (2017)
[23] QuanLi Z, WeiDong W, KaiZhou L, GengChun C, WeiPing C.Study on microstructure and properties of brass containing Sb and Mg. Sci China Ser E – Special Topic Mater Sci (2017) ;52:2172–217.

[24] ASM source book in copper and copper alloys. Metals Park: American Society for Metals; (2018).

[25] US Patent 7354489. Lead-free copper alloy and a method of manufacture, April 8 (2018).

Abstract

Through this research, we were able to study the preparation of lead-free copper alloys using graphite, as these alloys contain both copper, graphite and some other materials.

The positive in this research is that the use of these alloys began to be widely available in the industrial market after making some modifications to them and obtaining the required standard specifications. Two different techniques for preparing copper alloys were studied, namely, the water and fluidity modeling technique and the powder mining technique. These two techniques allowed us to obtain Lead-free copper alloys containing graphite, as for the other elements that were used to obtain these alloys, they were prepared by mixing and mixing.

The mechanical properties of these alloys, their machining, cutting strength and surface roughness were studied. The addition of graphite up to 0.5% and silicon 4% with the use of a wetting factor such as titanium had a good effect on these alloys, improving their mechanical properties by 80% compared to copper alloys containing lead. The research also found that lead-free copper alloys have a high efficiency that can be used in water pipes and other industrial works without causing any harm or impact on the environment and human health.

The key words:

Copper, graphite, titanium, bismuth

Syrian Arab Republic

Damascus University

Electrical and Mechanical Engineering

Mechanical Design Engineering Department

Development of copper alloys from lead using graphite and other elements

a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master in materials science engineering

Prepared by

A. M. Zhour

Supervised by

Dr. Khaled Sharaf

Professor in Mechanical Design Engineering

university of Damascus

2022