

دراسة انهيار لوحات الوصل وتحسين خواص التعب للسلاسل الناقلّة في آلة قطع التبغ

د.م. علي هترة*

د.م. نيرودا بركات**

م. يوسف سمير ديب***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/١/٤ . قُبِلَ للنشر في ٢٠٢٣/٨/٢٤)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى تحسين خواص التعب للوحدات الوصل المعدنية المستخدمة في السلاسل الناقلّة في آلة قطع التبغ (Hauni)، بغية تقليل زمن الأعطال والصيانة والتكاليف الناجمة عنها، وبالتالي تحسين عمر خدمتها والتوصل لنظام سير ناقل جيد وآمن طويل الأمد يحقق شروط العمل المطلوبة.

تم دراسة سلوك لوحات الوصل للسلاسل الناقلّة المعدنية النحاسية أثناء العمل تحت تأثير الحمولة ، والتحقيق في أسباب انهيارها، وقد تبين أن حالات الإتهيار المتكررة، كانت بسبب ظهور شقوق في مكان محدد من لوحات الوصل النحاسية تنمو وتزداد وتنتشر على طول لوحة الوصل مع ازدياد دورات التحميل، نتيجة تعرضها لقوى دورية متغيرة شد وضغط مسببة نشوء ظاهرة التعب، وبالتالي انهيار السلاسل الناقلّة وخسائر كبيرة جدا في مادة التبغ والوصلات النحاسية الغالية الثمن ونقص في الإنتاجية. تم دراسة تأثير المعالجة الحرارية على خواص التعب (مقاومة التعب وعمر التعب) ، حيث كان الهدف الأساسي تحسين خواص التعب للوحدات الوصل للسلاسل الناقلّة، اعتماداً على إحداث تغييرات في بنيتها وبالتالي في خصائصها الميكانيكية ، من خلال تطبيق برنامج معالجة حرارية وميكانيكية مناسب على مادة لوحات الوصل.

تم إجراء التحليل الكيميائي على جهاز (Foundry-Master) لمعرفة النسب المئوية للعناصر الداخلة في تركيب السبيكة النحاسية المستخدمة (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al). تم تحضير عينات اختبار التعب على آلة (CNC) وفق المواصفات القياسية ثم إجراء اختبارات التعب للعينات على آلة التعب الدورانية (SM 1090).

تم دراسة تأثير العناصر السبائكية على خواص التعب للسبائك النحاسية القابلة للمعالجة الحرارية واختيار السبيكة النحاسية (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al) وإجراء المعالجة الحرارية و الميكانيكية المناسبة عليها بغية تحسين خواص التعب.

أجريت الدراسة بشكل تجريبي، وأظهرت نتائج الإختبارات من خلال المقارنة بين النتائج تحسناً في نسب زمن الإتهيار بين السبيكة الأولى والثانية تراوح بين (٢١.٦% - ٧.٥%)، نتيجة تحسن الخواص الميكانيكية بعد المعالجة الحرارية والميكانيكية. **الكلمات المفتاحية:** سبيكة النحاس الأصفر - خواص التعب - المعالجة الحرارية لسبائك النحاس - السلاسل الناقلّة.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين.

** مدرس - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين .

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين .

Study of breakdown of joint plates and improvement of fatigue properties of conveyor chains in a tobacco cutting machine

Dr. Eng. Ali Hatra*
Dr. Neruda Barakat**
Eng. Youssef Smier Deeb***

(Received 4/1/2023 . Accepted 24/8/2023)

□ ABSTRACT

This research aims to improve the fatigue properties of the metal link plates used in the conveyor chains of the (Hauni) tobacco cutting machine in the Tobacco Directorate in Lattakia, in order to reduce the time of breakdowns and maintenance and the resulting costs, and thus improve its service life and reach a good and safe long-term conveyor belt system that meets working conditions required.

This research aims to improve the fatigue properties of the metal link plates used in the conveyor chains in the Hauni tobacco cutting machine, in order to reduce the breakdown time, maintenance and costs resulting therefrom, and thus improve its service life and reach a good and safe long-term conveyor belt system that meets the required working conditions.

The effect of heat treatment on the fatigue properties (fatigue resistance and fatigue life) was studied, where the primary objective was to improve the fatigue properties of the conveyor chain hubs, depending on bringing about changes in their structure and thus in their mechanical properties, by applying an appropriate thermal and mechanical treatment program on the hubs material .

The analysis was carried out on the machine (foundry - master) to find out the percentages of the elements included in the composition of the copper alloy (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al). Fatigue test samples were prepared on a CNC machine according to standard specifications, and samples were tested on a rotary fatigue machine (SM 1090).

The effect of alloying elements on the fatigue properties of heat-treatable copper alloys was studied, and the copper alloy (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al) was selected and the appropriate mechanical and thermal treatment was performed on it in order to improve the fatigue properties.

The study was conducted experimentally, and the results of the tests, by comparing the results, showed an improvement in the percentage of breakdown time between the first and second alloys, ranging between (21.6%-7.5%). As a result of the improvement of mechanical properties after thermal and mechanical treatment.

Keywords: brass alloy - fatigue properties - Heat treatment of copper alloys- conveyor chains.

* Assistant Professor, Department of Design and Production Engineering , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen Univesity , Lattakia , Syria.

** Professor, Department of Design and Production Engineering , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen Univesity , Lattakia , Syria.

*** Postgraduate Student (PhD) , Department of Design and Production Engineering , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen Univesity , Lattakia , Syria.

المقدمة Introduction:

يعاني الفنيون والعاملون في معمل تحضير التبغ في مديرية التبغ باللاذقية، من نقص عمر الخدمة للسلاسل الناقلة – المكونة من لوحات وصل نحاسية – في آلة قطع التبغ (Hauri) على خط قطع السجائر، حيث أكدت التقارير الخاصة بالصيانة الصادرة عن شعبة الشؤون الفنية في المعمل أن عمر خدمة السلاسل الناقلة قليل جداً (لا يتجاوز أسبوعين) مقارنة بعمر الخدمة للسلاسل الأساسية سابقاً (المكونة من سبيكة نحاسية مجهولة الهوية وطريقة التحضير) الذي كان (يتجاوز الشهرين)، والتي باتت من الصعب تأمينها في ظل هذه الظروف والأزمات الإقتصادية والعقوبات المفروضة، وأن المشاكل التي تسبب انقطاع السلاسل الناقلة في آلة قطع التبغ تتجلى بانكسار حواف لوحات الوصل في السلاسل الناقلة. لطالما أن التبغ يصل إلى آلة القطع من خط سابق (خط معالجة وتعسيل التبغ)، برطوبة مثلى (20-25%)، ودرجة حرارة عادية (20-25°C) ومعالج بمواد كيميائية، وإضافات ومنكهات عديدة منها (الكحول – السوس – عطر المشمش – عطر الموز – البروبيلين – عطر الكاكاو – مواد مساعدة على الإشتعال... إلخ). يجب أن تكون لوحات الوصل المعدنية المكونة للسلاسل الناقلة في آلة قطع التبغ من سبيكة ذات خواص ميكانيكية جيدة. ولأن لوحات الوصل بالأصل مصنوعة من سبيكة نحاسية – أساسها النحاس الذي يصنف بأنه من الفلزات المقاومة للتآكل – تركزت الدراسة على السبائك النحاسية، إذ تم اعتماد الطريقة التجريبية في:

- البحث عن تأثير النسب المئوية للعناصر الداخلة في تركيب السبائك النحاسية القابلة للمعالجة الحرارية على الخواص الميكانيكية، بغية التوصل لسبيكة تعطي خواص ميكانيكية أفضل بعد تطبيق برنامج معالجة حرارية مناسب عليها، خاصة في المرونة ومقاومة الشد والضغط والتعب والتآكل.
- والتوجيه باتباع وتنفيذ استراتيجية الصيانة الدورية الوقائية بحيث يتم خفض تكلفة الصيانة المستقبلية، وتحسين العمر الإستثماري للوحات الوصل والسلاسل الناقلة، وتحقيق الربح للشركة.

الدراسات المرجعية Reference Studies:

- [1] قام (Wu و Yang وآخرون) في عام ٢٠٠٥ بدراسة تأثير التشكيل على البارد والتآكل على خصائص التعب وسلوك الكسر لسبائك النحاس والنيكل والسليكون. حيث تم اختبار خصائص التعب على العينات المشكلة على البارد وغير المشكلة على البارد، وقد أظهرت النتائج بأن الإستطالة تتخفف من خلال إجراء عملية التشكيل على البارد.
- [2] قام (Su و Zhou) في عام ٢٠١٠ بابتكار سبيكة جديدة من النحاس والنيكل والزنك والألمنيوم مع مقاومة شد عالية، من خلال استخدام طريقة التقسية بالترسيب، حيث يمكن استبدال هذه السبيكة بسبيكة النحاس والبيريليوم Cu-Be. لقد وصلت مقاومة الخضوع ومقاومة الشد لهذه السبيكة عند قيم عالية حتى (1034 MPa و 1112 MPa) على التوالي. كما توصلوا إلى استطالة حتى (2.1%) وقيمة إيصالية كهربائية (10.4% IACS). لقد وجد الباحثون بأن السبب وراء هذا التغيير في الخصائص كان الرواسب الناعمة من النوع (L12)، الموجهة والتي نشأت عن عملية التقسية بالترسيب وتشكلت بشكل متجانس في الأرضية خلال عملية التعتيق عند حرارة ثابتة، كما أن الانخلاقات التي حدثت خلال عملية التشوه سببت أيضاً زيادة في صلادة السبيكة.

[3] قام (Haris وآخرون) في عام ٢٠١٣ بتحليل فشل وصلات السلاسل الناقلة من خلال دراسة حالة، وقاموا بالتحقيق في أسباب فشل السلاسل من خلال توصيف مكونات الفشل، وقد بينوا بأن حالات الفشل التي ظهرت كانت بسبب عمليات اللحام ما بين الوصلات، وقد أظهر التحليل أن عيوب اللحام تؤدي إلى حدوث شقوق ويتم انتشار هذه الشقوق مع ازدياد دورات التحميل مما يسبب فشل تعب، حيث أن فشل التعب يحدث بسبب الشق الناشئ عند محيط الدرزة للحامية، وهذا النوع من العيوب يمكن أن يصنف كعييب تصميمي كما قال الباحثون. استخدم الباحثون المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Microscopy) لإظهار أنواع البنى المجهرية الناتجة عند مناطق اللحام. كما استخدموا اختبار القساوة باستخدام جهاز (روكويل) وأوجدوا قيم القساوة عند مناطق مختلفة من القطعة، ووجدوا بأن أكبر قيمة من القساوة ظهرت بالقرب من مناطق اللحام. كما استخدم الباحثون طريقة تحليل العناصر المنتهية باستخدام (ANSYS) من أجل دراسة تأثير تغيير السماكات في الوصلات وتأثير ذلك على توزيع الإجهادات، وقد وجدوا بأن الإجهاد يمكن أن ينخفض من خلال زيادة سماكة القطعة.

[4] قام (Mallik وزملاؤه) في عام ٢٠١٤ بدراسة البنية المجهرية وتأثير اللدونة في سبائك النحاس والزنك والنيكل، حيث تم استخدام طريقة (XRD) والمجاهر الضوئية في عملية تحليل النتائج، وأظهرت النتائج أن هناك عملية إعادة تبلور تحدث في سبائك (Cu-Zn-Ni) عند إجراء عملية التخمير لها عند الدرجة (800°C) ويكون للسبيكة مطيلية جيدة وقدرة جيدة على استعادة الشكل.

[5] درس (Velmurugan وزملاؤه) في عام ٢٠١٤ المشاكل التي تحدث في السيور الناقلة، وقد بينوا بأن عمر عمل السلاسل لا يعتمد فقط على التصميم الجيد وطرق التصنيع والتركيب، وإنما يعتمد أيضاً على الانتباه عند أدائها للعمل ومعالجة الأخطاء عندما تظهر بأسرع ما يمكن، وقد أكد الباحثون أن الأضرار الرئيسية تحدث في السلاسل الناقلة للمواد حيث قد يحدث تفاعلات كيميائية مع المواد المنقولة وهذا يسبب فشلاً في السلاسل، كما أكدوا ان المشاكل دائماً تحدث للسلاسل ويجب أن يكون هناك صيانة دائمة.

[6] قام (Jha و Balakumar) في عام ٢٠١٥ بإجراء تحليل للبنية المجهرية والخصائص الميكانيكية للسبائك القائمة على النحاس والنحاس الأصفر، حيث كانت الغاية من البحث دراسة تأثير إضافة عدد من العناصر السبائكية على سبائك النحاس والنحاس الأصفر على البنية المجهرية و الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الشد، القساوة. وتم توصيف الخصائص الميكانيكية لسبائك النحاس والنحاس الأصفر المدروسة في البحث من خلال مقاومة الشد، مقاومة الصدم والقساوة وفق (روكويل).

[7] قام (Yang و زملاؤه) بدراسة عن توقع عمر التعب لسبائك النحاس في عام ٢٠١٨ تم الحصول فيها على منحنيات (SN) للنحاس النقي (C1100P-1 / 4H) والنحاس الأصفر (C2801P-1 / 4H) عن طريق اختبار إجهاد الإنحناء العادي. أظهرت النتائج التجريبية أنه لا توجد حدود إجهاد لجميع السبائك، كما أن العمر الافتراضي للسبائك يتناقص مع زيادة الضغط المطبق. يكون عمر التعب للسبائك المدرفلة أطول من عمر السبائك المدلنة في حالة نفس الإجهاد المطبق. استناداً إلى قاعدة (Manson-Coffin) والعلاقة بين نطاق الإجهاد البلاستيكي وعدد دورة الإجهاد، يتم حساب منحنيات SN النظرية للسبائك ومقارنتها ببيانات التجربة. تم توضيح أن منحنيات (SN) النظرية تتفق مع بيانات التجارب، لذلك يمكن استنتاج أنه يمكن استخدام منحنيات (SN) النظرية للتنبؤ بعمر التعب لسبائك النحاس.

[8] قام (Golla و Shaik) في عام ٢٠١٩ بتطوير سبيكة نحاسية حاوية على ألومنيوم مقاومة للاهتراء بشكل كبير من خلال استخدام تقنية تصنيع المساحيق، وقاموا بدراسة تأثير محتوى الألومنيوم على مقاومة الاهتراء للسبيكة النحاسية عند نسب معينة (Al: 0, 3, 5, 10 & 15 wt%)، حيث تم تصنيع السبائك النحاسية الحاوية على الألومنيوم باستخدام مكبس ساخن ذو ضغط عالي جداً، وقد بين الباحثون بأن الضغوط العالية تكون ذات فائدة على السبيكة حيث أنها تشجع على الحصول على بنى مجهرية ناعمة وتحسن من الخصائص الميكانيكية بشكل عام، وقد أظهرت النتائج أخيراً بأن زيادة محتوى الألومنيوم في سبيكة النحاس قد أعطى زيادة في مقاومة الاهتراء.

[9] قام (Jiang وآخرون) في عام ٢٠١٩ بدراسة تأثير المعالجة الميكارارية ثنائية المراحل على البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية لسبيكة من النوع (Cu-15Ni-8Sm-1.0Zn-0.5Al-0.2Si)، حيث تم معاينة البنية المجهرية من خلال المجاهر الضوئية، المجهر الإلكتروني الماسح والمجهر الإلكتروني النافذ، كما تم اختبار الخصائص الميكانيكية والكهربائية. لقد وجد الباحثون بأن السبيكة من النوع (Cu-15Ni-8Sm-1.0Zn-0.5Al-0.2Si) والتي تعرضت لعملية معالجة ميكارارية ثنائية المرحلة كان لها خصائص أفضل بشكل عام من تلك السبيكة المعالجة بمرحلة واحدة، حيث أنه بعد عملية التعتيق الأولية عند الدرجة (400⁰c) لمدة (30 دقيقة)، والدرفلة على البارد مع (٦٠ %) تخفيض، ومن ثم التعتيق عند الدرجة (450⁰c) لمدة (٣٠ دقيقة) (مرحلة التعتيق الأساسية)، قد أظهرت السبيكة خصائص مثل قساوة بمقدار (387 HV)، وإيصالية كهربائية بمقدار (8.5% IACS)، ومقاومة شد بمقدار (1176 MPa)، ومقاومة خضوع بمقدار (1106 MPa)، واستطالة بمقدار (3.86%) ومطيلية شد للمنتج بمقدار (4539 MPa%). كما ذكر الباحثون أنه بزيادة زمن التعتيق إلى ساعتين (2h) فقد احتفظت السبيكة بمقاومة الشد العالية (1090 MPa). لقد لاحظ الباحثون وجود تحلل عرضي (spinodal decomposition) ورواسب من النوع (β-Ni₃Sn) مع ترتيب للبنية من نمط (L1₂). إن توجه البلورات بين الأرضية النحاسية ورواسب (β-Ni₃Sn) كانت على الشكل (β [001] | | [001] Cu | | [100] β، (200) Cu | | (110) β و (220) Cu | | [112] β | | [112] Cu). من الممكن تفسير زيادة مقاومة الشد للسبيكة الجديدة من خلال عملية التقوية بالترسيب والتقوية البينية داخل البنية. إن التفاعل ما بين الحبيبات الناقية الجديدة التي تتشكل في مرحلة التعتيق الأولية وشكل الانخلاعات التي تتشكل خلال عملية التشكيل على البارد تعزز من الرواسب في الأرضية matrix وتكبح تشكيل الرواسب الخشنة عند الحدود الحبيبية، مما يحسن من خصائص السبيكة بشكل عام.

[10] وجد (زهرة وزملاؤه) في دراسة تأثير المعالجات الحرارية على خواص التعب للمعادن في عام ٢٠١٩ تحسناً في مقاومة الشد وحد الخضوع وعمر التعب لسبيكة النحاس Cu z121 (Cu -Zn37.8) نتيجة المعالجة الحرارية التي أجريت على السبيكة، بدءاً من التخمير الذي أدى إلى التخلص من الإجهادات الداخلية إلى عملية المراجعة بعد التقسية التي أدت لتكون الطور (α) ذي البنية الإبرية الشبيهة بالمارتنسيت المراجع، التي تتمتع بقساوة عالية (البنية المناسبة لتحسين مقاومة التعب). حيث بعد إزالة الإجهادات الداخلية و القساوة من المعدن. تمت عملية التقسية بالتسخين إلى المجال (β) ثم التبريد السريع بحيث لا تسمح للعناصر (بالإنفصال خلال التبريد و انخفاض قابليتها للإذابة) أي يعيق التحول من (β → α)، و لذا كان التبريد بالماء هو الوسط التبريدي، الذي لا يسمح لظاهرة الإنتشار أن تأخذ مجراها.

وبالمراجعة عند إعادة التسخين إلى درجة الحرارة (٢٠٠-٣٠٠)C° تم الحصول على الطور (α) الجيد الخواص وتجنب الطور (β') الهش المنخفض الخواص.

كل سبائك (Cu - Zn) ، التي تحتوي نسبة (6٢-٤٠ Cu) والتي تقع ضمن مجال التحول ($\beta \rightarrow \alpha$)، يمكن أن تجري عليها عملية تحسين الخواص بالتسخين والتبريد السريع والمراجعة.

المشكلة العلمية للبحث :The scientific problem of research

تتطلب من أن التطور التكنولوجي والثورة الصناعية يفرضان الحاجة الدائمة إلى تطوير المواد الهندسية المعروفة سواءً بالتركيب أو بالتصميم، لتوسيع ساحة الاستخدام الصناعي لها، وتتلخص المشكلة العلمية للبحث بتشقق و كسر لوحات الوصل النحاسية في السلاسل الناقلية في آلة قطع التبغ بفعل قوى الشد والضغط الدورية وظاهرة التعب، وبالتالي نقص عمر خدمة تلك اللوحات، وارتفاع ثمنها، عدا عن تكاليف الصيانة المرتفعة، وهدر الوقت بتبديل اللوحات التالفة و هدر التبغ نتيجة اختلاف الرطوبة ودرجة الحرارة عند توقف العمل، وتوقف خط الإنتاج، الأمر الذي يسبب خسارة كبيرة لمؤسسة التبغ وارتفاع ثمن المنتج بالنسبة للمستهلك.

هدف البحث :The novelty of the search

يهدف البحث إلى زيادة العمر الإجمالي للوحات الوصل، وتحقيق اقتصادية عالية، وبما لا يتناقض مع الوثوقية وعوامل الأمان.

أهمية البحث :Research Importance

تأتي أهمية هذا البحث من:

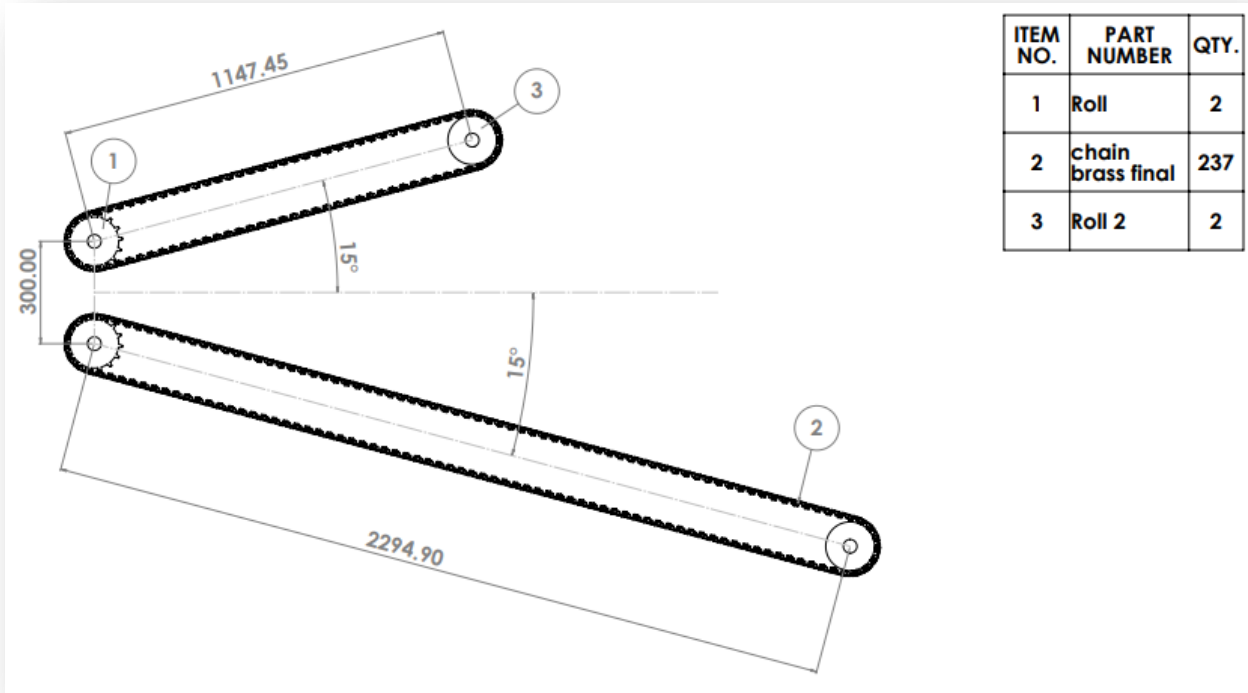
- ✓ تحسين عمل السلاسل الناقلية في آلة قطع التبغ من خلال تحسين الخواص الميكانيكية للوحات الوصل المكونة لها وجودة تصنيعها وتصميمها ، بما يتوافق مع حاجات الصناعات الحديثة المحلية و يحقق أهم المتطلبات التصميمية والتكنولوجية للتطبيقات الهندسية في مختلف القطاعات الصناعية.
- ✓ تقليل الهدر والتلف في مادة التبغ ولوحات الوصل النحاسية الغالية الثمن للسلاسل الناقلية في آلة قطع التبغ.
- ✓ تقليل الوقت والمال المهدورين في أعمال الصيانة ، وبالتالي زيادة الإنتاجية و تقديم المنتج النهائي بسعر منافس في ظل التنافس التجاري في الأسواق.
- ✓ إغناء البحث العلمي الذي يتناول مشاكل انهيار السلاسل الناقلية المكونة من لوحات وصل معدنية نحاسية نظراً لندرة الأبحاث المتوفرة بهذا الخصوص ، بحيث تتمكن من تطبيق ذلك على سبائك أخرى لاحقاً والإستفادة منها في الصناعات الحديثة المحلية فيما بعد.

طرائق البحث ومواده :Research method and materials

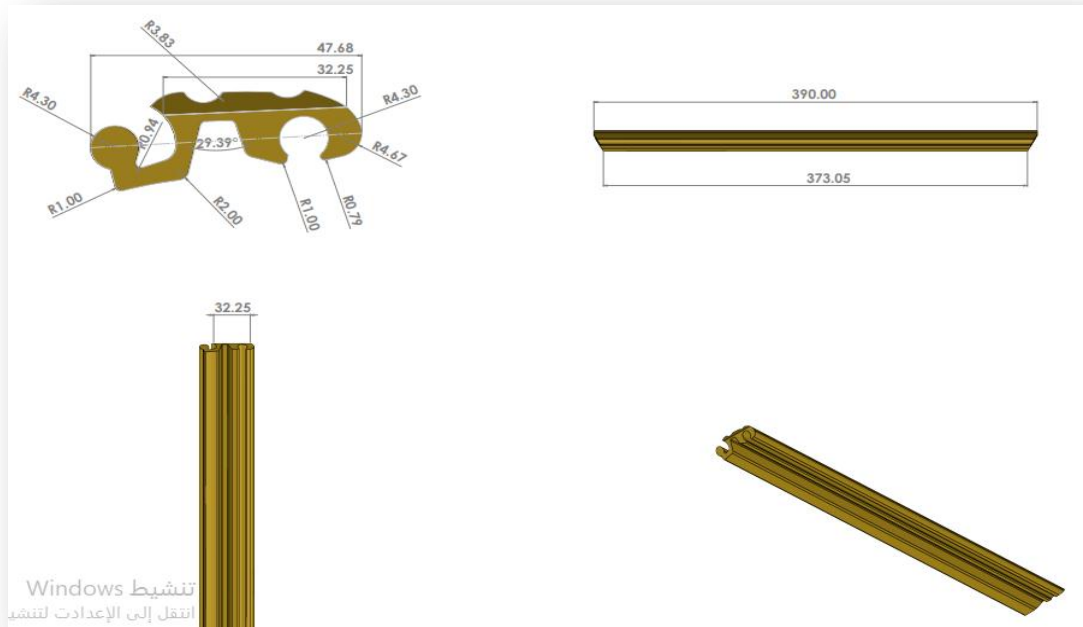
١- سبائك النحاس الأصفر المدروسة:



الشكل (١) مراحل تشكل الشقوق وانفصال جزء من لوحة الوصل النحاسية عنها بعد تشققها و انكسارها (الملاحظات المرئية في موقع العمل)



الشكل (٢) مجموعة من لوحات الوصل النحاسية ، متصلة من خلال فتحات منحنية للوصلات (الأقواس المتعرجة من نفس السبيكة) تشكل السلسلتين الناقلتين العلوية والسفلية في البيئة الثنائية والبيئة الثلاثية الأبعاد.



الشكل (٣) أبعاد لوحة الوصل في البيئة الثنائية والبيئة الثلاثية الأبعاد

٢- الجانب العملي في المخابر **The practical side in laboratories**

(١) اختبارات التحليل الكيميائي:

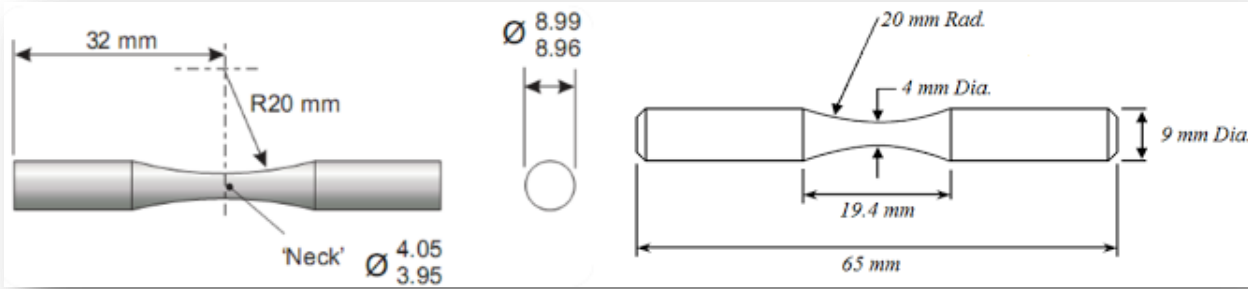
تم إجراء اختبارات التحليل الكيميائي في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين للتحقق من النسب المئوية للعناصر الداخلة بتركيب السبائك المعدنية النحاسية المدروسة بواسطة جهاز التحليل الكيميائي (Foundry-Master) الموضح في التالي:



الشكل (٤) جهاز التحليل الكيميائي Foundry-Master

(٢) تحضير عينات اختبار التعب :

تم تحضير عينات اختبار التعب على آلة CNC (Computer Numerically Controlled machine) في المنطقة الصناعية في اللاذقية ، وفقاً لمعيار (ISO1143) لعينات اختبار التعب لكلا السبائك (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al), (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al) الموضحة في الشكل التالي:



الشكل (٥) أبعاد عينة التعب القياسية الخاصة بألة اختبار التعب الدورانية " SM 1090 "

(٣) المعالجة الحرارية و الميكانيكية : ST + 80CR + PA (Aged at 500 C° for 1 h treated)

ST(solution)+80CR(cold rolled%) + PA(peak aged)



الشكل (٦) الفرن المستخدم نوع (Curbolite, Hope Watt: 3100 W)

لإجراء المعالجة الحرارية على عينات من السبيكة (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al).

بالاعتماد على نتائج التحليل الكيميائي السالف الذكر وبالرجوع إلى جداول المعالجات الحرارية للمعادن حسب المراجع (ASTM) لمعرفة برامج المعالجة الحرارية الخاصة بسبائك النحاس تم إجراء المعالجة الحرارية و الميكانيكية على السبيكة المختارة (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al) في المنطقة الصناعية باللاذقية كالآتي:

I. التلدين عند درجة حرارة (850 C°) لمدة (12 h) بغرض تجانس السبيكة والتخلص من الإجهادات الداخلية.

II. المعالجة المحلولية - حيث تم تسخين السبيكة إلى درجة حرارة أقل من نقطة الانصهار إلى منطقة أحادية الطور لإذابة المرحلة الزائدة بشكل كاف في المحلول الصلب- عند درجة حرارة (925 C°) لمدة (1 h).

III. تبريد بالماء حيث تم إخمادها أو تبريدها بسرعة للحصول على محلول صلب مفرط التشبع (حتى لا يسمح لظاهرة الإنتشار أن تأخذ مجراها ويحدث انفصال خلال التبريد و انخفاض القابلية للإذابة لزيادة قوة الشد للسبيكة وتحويلها إلى محلول صلب والتحكم في معدل العودة إلى الهيكل المتغير لخليطها الميكانيكي.

IV. عملية الدرفلة على البارد والتخفيض بمقدار (80%) عن طريق تشويه المعدن في درجة حرارة الغرفة دون تجزئة. يعطي العمل على البارد قوة شد أكبر وقدرة أفضل على تشكيل المعدن. بغرض إنشاء شرائح معدنية أرق بدقة أبعاد جيدة وجودة سطح أعلى.

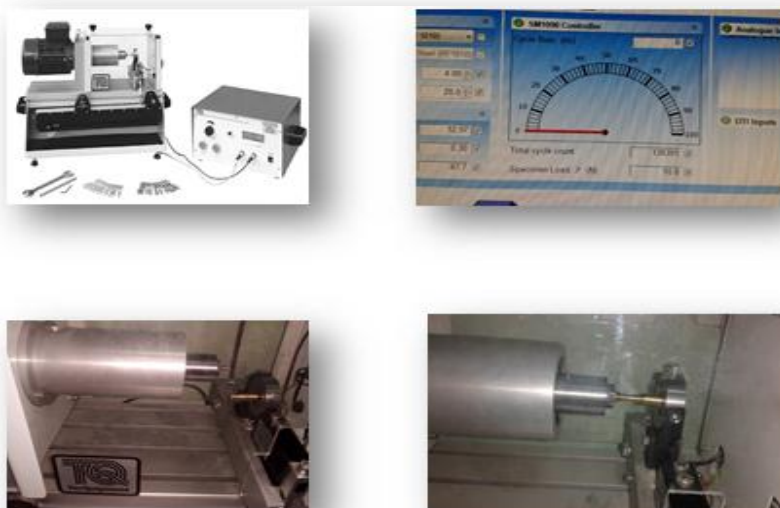
V. تعتيق القطع المدرفلة على البارد عند درجة حرارة واحدة تبلغ (500 C°) لمدة (1h) قبل التبريد؛ إذ إن التقادم أو التصلب بالترسيب من خلال الاحتفاظ بالمعدن في درجات حرارة مرتفعة دون تبريد عملية تساعد العناصر في السبيكة على الترسب من المحلول الصلب و زيادة قوة الخضوع للمواد القابلة للطرق وتعطي معدناً ناعماً إذ يسمح لعناصر السبائك بالانتشار وتشكيل جزيئات بين العناصر، مما يساعد على زيادة قوة السبيكة.

VI. تبريد بالماء.

VII. إزالة طبقات التأكسد السطحية عن الصفائح بالتجليخ.

٤) اختبارات التعب:

تم إجراء اختبارات التعب على عدد من العينات لكل سبيكة على حدا ، على آلة التعب الدورانية (SM 1090) تحت تأثير أحمال ثابتة ومتغيرة السعة في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين. ولا بد من الإشارة إلى أنه من عيوب اختبار التعب ، أن العينات تحتاج إلى عدد كبير من الدورات، إذ تحتاج كل عينة إلى وقت كبير لإحداث الانهيار بها مما قد يجعل هذا الاختبار يحتاج وقتاً طويلاً.



الشكل (٧) آلة اختبار التعب الدورانية " SM 1090 "

النتائج Results:

١. نتائج التحليل الكيميائي:

كانت نتائج التحليل الكيميائي بعد إجراء ٣ اختبارات لكل عينة وأخذ المتوسط الحسابي كما يلي:

الجدول (١) التحليل الكيميائي لسبيكة النحاس المستخدمة A : (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al)

| Cu % | Zn % | Pb % | Sn % | P % | Mn% | Fe % | Ni % | Si % | Mg % |
|--------|------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| ٥٥.٢ | ٢٤.٨ | ١.٤٠ | ١.٠٣ | ٠.٤٣٠ | ٢.٣٨ | ١.٧٨ | ٧.٨٥ | ١.٨٤ | ٠.٠١٧١ |
| Cr % | Al % | S % | As % | Be % | Ag % | Co % | Bi % | Cd % | Sb % |
| ٠.١٦٧ | ١.٠٨ | ٠.٠٠٢٠ | ٠.٢٦٩ | ٠.٠٢٦٠ | ٠.٠٩٧٠ | ٠.٣٥٦ | ٠.٤٢٩ | ٠.٠٧٦٨ | ٠.٦٠٠ |
| Zr % | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ٠.٠٨٠٨ | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

الجدول (٢) التحليل الكيميائي لسبيكة النحاس المختارة B: (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)

| Cu % | Zn % | Pb % | Sn % | P % | Mn% | Fe % | Ni % | Si % | Mg % |
|--------|------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| ٥٥.٦١ | ٢٠ | ١.٣٠ | ١.٠٣ | ٠.٤٢٩ | ٢.٣٧ | ١.٩٤ | ١١.٨١ | ١.٧٨ | ٠.٠١٧١ |
| Cr % | Al % | S % | As % | Be % | Ag % | Co % | Bi % | Cd % | Sb % |
| ٠.١٦٧ | ٢ | ٠.٠٠٢٠ | ٠.٢٦٩ | ٠.٠٢٦٠ | ٠.٠٩٧٠ | ٠.٢٥٦ | ٠.٣٣٠ | ٠.٠٨٠٨ | ٠.٤٠٠ |
| Zr % | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ٠.٠٧٦٨ | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

٢. نتائج اختبار التعب:

الجدول (٣) نتائج اختبارات التعب لعينات من سبيكة النحاس (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al)

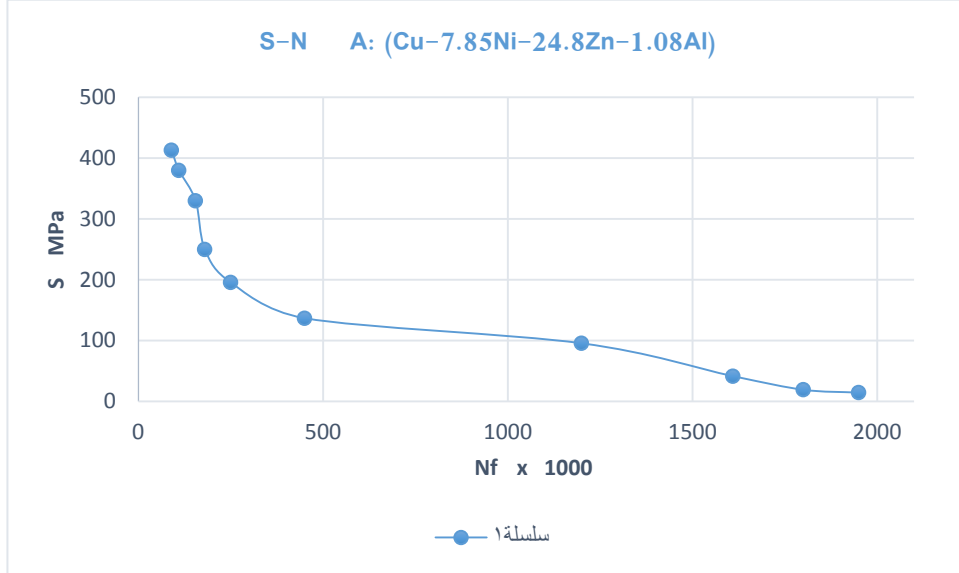
| رقم العينة | قطر عنق العينة D mm | المسافة بين الحمل وعنق العينة mm | الحمولة المطبقة على العينة F N | عدد الدورات الكلي N _f x(10) ³ | إجهاد الانحناء الأعظمي S MPa | معدل الدوران دورة / ثانية Hz | زمن انهيار العينة Min |
|------------|---------------------------|--|---|---|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Cu 1 | ٤ | ٢٨ | ٩٣ | ٩٠ | ٤١٣ | 10 | 150 |
| Cu 2 | ٤ | ٢٨ | ٨٥ | ١١٠ | ٣٨٠ | 10 | 183 |
| Cu 3 | ٤ | ٢٨ | ٧٣.٥ | ١٥٥ | ٣٣٠ | 10 | 258 |
| Cu 4 | ٤ | ٢٨ | ٥٦.٢ | ١٨٠ | ٢٥٠ | 10 | 300 |
| Cu 5 | ٤ | ٢٨ | ٤٣.٨ | ٢٥٠ | ١٩٥.٧ | 20 | 208 |
| Cu 6 | ٤ | ٢٨ | ٣٠.٧ | ٤٥٠ | ١٣٦.٨ | 40 | 187.5 |
| Cu 7 | ٤ | ٢٨ | 27 | 800 | 120 | 80 | 166 |
| Cu 8 | ٤ | ٢٨ | ٢١.٧٤ | ١٢٠٠ | ٩٥.٥ | 80 | 250 |
| Cu 9 | ٤ | ٢٨ | ٩.٥ | ١٦١٠ | ٤١.٤ | 85 | 315 |
| Cu 10 | ٤ | ٢٨ | ٤.٤ | ١٨٠٠ | ١٩.١ | 90 | 333 |
| Cu 11 | ٤ | ٢٨ | ٣ | ١٩٥٠ | ١٤.٣ | 95 | 342 |

الجدول (٤) نتائج اختبارات التعب لعينات من سبيكة النحاس (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)

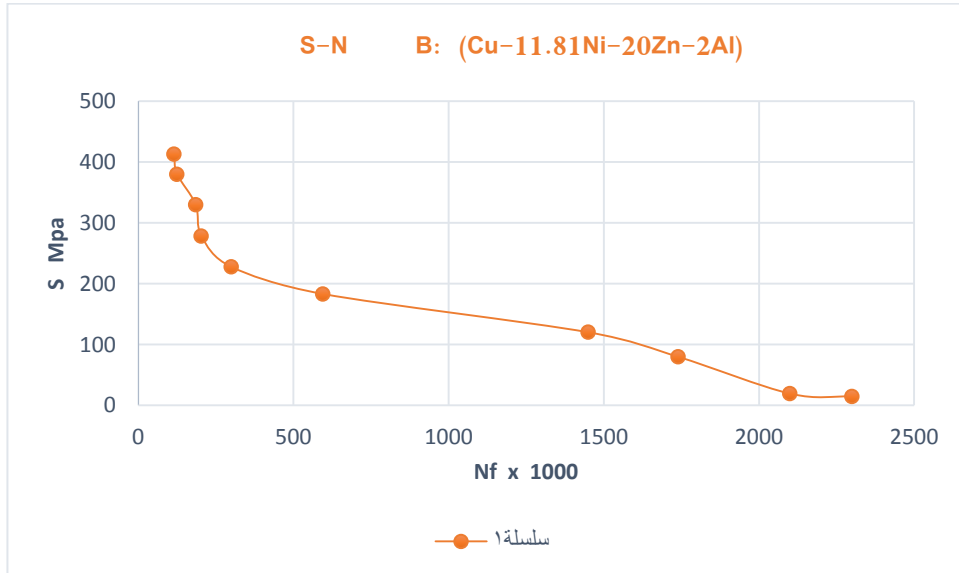
| رقم العينة | قطر عنق العينة D mm | المسافة بين الحمل وعنق العينة mm | الحمولة المطبقة على العينة F N | عدد الدورات الكلي N _f x(10) ³ | إجهاد الانحناء الأعظمي S MPa | معدل الدوران دورة / ثانية Hz | زمن انهيار العينة Min | مقدار التحسن % |
|------------|---------------------------|--|---|---|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Cu 1 | ٤ | ٢٨ | ٩٣ | ١١٥ | ٤١٣ | 10 | 191.5 | ٢١.٦ |
| Cu 2 | ٤ | ٢٨ | ٨٥ | ١٢٥ | ٣٨٠ | 10 | 208 | ١٢ |
| Cu 3 | ٤ | ٢٨ | ٧٣.٥ | ١٨٥ | ٣٣٠ | 10 | 308 | ١٦.٢ |
| Cu 4 | ٤ | ٢٨ | ٦٢.٣ | ٢٠٣ | ٢٧٨.٤ | 10 | 338 | ٢٥.٩ |
| Cu 5 | ٤ | ٢٨ | ٥١.٢ | ٣٠٠ | ٢٢٧.٥ | 20 | 250 | ١٦.٨ |
| Cu 6 | ٤ | ٢٨ | ٤١.١ | ٥٩٥ | ١٨٣ | 40 | 248 | ١٦.٩ |
| Cu 7 | ٤ | ٢٨ | 36 | 900 | 160.7 | 80 | 187.5 | ١١.٤ |
| Cu 8 | ٤ | ٢٨ | ٢٧ | ١٤٥٠ | ١٢٠ | 80 | 302 | ١٧.٢ |
| Cu 9 | ٤ | ٢٨ | ١٧.٨ | ١٧٤٠ | ٧٩.٦ | 85 | 341 | ٧.٦ |
| Cu 10 | ٤ | ٢٨ | ٤.٤ | ١٩٧٠ | ١٩.١ | 90 | 365 | ٨.٧ |
| Cu 11 | ٤ | ٢٨ | ٣ | ٢٢٥٠ | ١٤.٣ | 95 | 395 | ١٣.٤ |

المناقشة Discussion:

✓ توضح مخططات اختبار التعب منحيات (S-N) النظرية التي من خلالها يمكن التنبؤ بعمر التعب لسبائك النحاس أنه كلما قل الجهد عن حد التعب كلما كان عمر التعب أفضل من خلال العلاقة بين (Bending stress – Total cycle) لكل سبيكة على حدا من السببكتين المذكورتين في الدراسة :



الشكل (٨) منحنى اختبار التعب (عدد الدورات الكلي $N_f \times 10^3$) S-N (إجهاد الانحناء الأعظمي MPa) لسبيكة النحاس (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al)



الشكل (٩) منحنى اختبار التعب (عدد الدورات الكلي $N_f \times 10^3$) S-N (إجهاد الانحناء الأعظمي MPa) لسبيكة النحاس (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)

✓ كلما زاد الإجهاد المسلط قلَّ عدد الدورات اللازمة لكسر العينة - أي قل عمر التعب - فعند حمولة مطبقة كبيرة $N = 93$ بالنسبة للسبيكة المختارة (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al) كان إجهاد الانحناء الأعظمي كبير (413 MPa) وعدد الدورات قليل ($10^3 \times 110$ دورة)، تناقص إجهاد

الانحناء الأعظمي عند تناقص الحمولة المطبقة و زاد عدد الدورات و استمر إجهاد الانحناء الأعظمي بالتناقص حتى (14.3MPa) مع انخفاض الحمولة المطبقة حتى (3N) و زيادة عدد الدورات حتى (10)³ × 2250 دورة) ، دون أن يثبت عند حد معين بشكل واضح.

✓ يمكن تفسير التحسن في خواص التعب (مقاومة التعب وعمر التعب) بشكل واضح عند استخدام السبيكة

(Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al) وإجراء المعالجة الحرارية و الميكانيكية عليها من

خلال :

A: عملية التقوية بالترسيب والتقوية البينية داخل البنية، والتي نشأت عنها الرواسب الناعمة من النوع L12 الموجهة، وتشكلت بشكل متجانس في الأرضية خلال عملية التعتيق عند حرارة ثابتة.

B: الانخلاعات التي حدثت خلال عملية التشوه سببت أيضاً زيادة في قساوة السبيكة. إذ إن التفاعل ما بين الحبيبات الدقيقة الجديدة التي تتشكل في مرحلة التعتيق الأولية وشكل الانخلاعات التي تتشكل خلال عملية التشكيل على البارد، عززت من الرواسب في الأرضية (matrix)، ومنعت تشكيل الرواسب الخشنة عند الحدود الحبيبية.

C: عملية التشكيل على البارد، إذ إن الضغوط العالية خفّضت الاستطالة وكانت ذات فائدة على السبيكة إذ إنها شجعت الحصول على بنى مجهرية ناعمة. وهذا ما يتفق مع الدراسات المرجعية.

الاستنتاجات Conclusions:

❖ زيادة النسبة المئوية لـ Ni ، Al في سبيكة النحاس الأصفر (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)، وتطبيق برنامج المعالجة الحرارية عليها ، عزّز الرواسب الناعمة من النوع L12 التي أعطت مقاومة شد عالية وتحسناً في خواص التعب.

❖ زيادة النسبة المئوية لـ Ni، Fe في سبيكة النحاس الأصفر (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)، شكلت أطوار حديدية ضمن الحبيبات ، وترافق ذلك مع تشكل رواسب من النوع (Al3Mg9Si7Cu2) Q حول الأطوار الغنية بالحديد Fe.

❖ زيادة النسبة المئوية لـ Cu ، Ni ، Al وتخفيض النسبة المئوية لـ Zn الذي يختزل مقاومة النحاس للتآكل، في سبيكة النحاس الأصفر Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al، وتطبيق برنامج المعالجة الحرارية تحسن من مقاومة التآكل.

❖ بفعل المعالجة الميكانيكية التي سببت الإنخلاعات، تحسنت خواص التعب (مقاومة التعب وعمر التعب).

❖ تحسن زمن انهيار عينات التعب من سبيكة النحاس الأصفر (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)، بعد تطبيق برنامج المعالجة الحرارية عليها ، بنسبة تتراوح من (21.6-7.8%) عن عينات السبيكة (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al).

❖ لم يظهر حد تعب واضح للسبيكتين (Cu -11.81 Ni -20 Zn -2 Al)، (Cu -7.85 Ni -24.8 Zn -1.08 Al).

التوصيات :Recommendations

- ✚ دراسة تأثير التعديل على التركيب بالإضافات أو التدعيم أو عمليات المعالجة الحرارية و الميكانيكية و الميكانيكية اللاحقة أو التصميم على مختلف أنواع المعادن التقليدية والسبائك المعدنية الهامة في الصناعات الحديثة لتحسين الخواص الميكانيكية وخواص التعب لها لمواكبة التطور الصناعي والتكنولوجي في العصر الحديث .
- ✚ دراسة تأثير تغيير السماكات في الوصلات(بالتصميم والتصنيع) لما له أثر على توزيع الإجهادات،لأنه من الممكن أن ينخفض الإجهاد من خلال زيادة سماكة القطعة.
- ✚ إجراء الدراسة بشكل رقمي حاسوبي إضافة للدراسة التحليلية والتجريبية التي أجريت عمليا،ورسم لوحات الوصل والسلاسل الناقله،وتنفيذ المحاكاة الديناميكية لنظام النقل باستخدام برامج تصميم بمساعدة الحاسب ، للتوصل إلى نتائج حاسوبية،والنتيـؤ بسلوك وعمر تلك المواد الهندسية،و مقارنة النتائج الحاسوبية مع نتائج الإختبار الواقعية،والتحقق من صحة النموذج الرياضي.
- ✚ اتباع وتنفيذ استراتيجيـة الصيانة الدورية الوقائية والانتباه عند أدائها للعمل ومعالجة الأخطاء عندما تظهر بأسرع ما يمكن ، مثل تنظيف الرولين القائدين والمساعدين ولوحات الوصل ، واستبدال لوحات الوصل التي يلاحظ فيها بداية تشكل شقوق، أوالتواءات أو تغيرات، بحيث يتم خفض تكلفة الصيانة المستقبلية وهدرالتبغ،وتحسين العمر للإستثماري للوحات الوصل والسلاسل الناقله،وتحقيق الربح للشركة.

المراجع References

المراجع الأجنبية:

- [1] X.R.F. Cailiao., Predict the fatigue life of copper alloys” October 2005 26(5):76-79.
- [2] X. Z. Zhou and Y. C. Su, “A novel Cu-Ni-Zn-Al alloy with high strength through precipitation hardening,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, no. 20. pp. 5153–5156, 2010, doi: 10.1016/j.msea.2010.04.089.
- [3] N. I. Haris, M. S. Wahab, and A. Talip, “Failure Analysis of conveyor Chain Links: A Case Study,” *Appl. Mech. Mater.*, 2013.
- [4] S. S. U. S. Mallik, and T. N. Raju, “Microstructure and Shape Memory Effect of Cu-Zn-Ni Shape Memory Alloys,” *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 02, no. 02. pp. 71–77, 2014, doi: 10.4236/jmmce.2014.22011.
- [5] G. Velmurugan, E. Palaniswamy, M. Sambathkumar, R. Vijayakumar, and T. M. Sakthimuruga, “Conveyor Belt Troubles (Bulk Material Handling),” *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, vol. 2, no. 3. pp. 21–30, 2014.
- [6] S. Jha and D. Balakumar, “Experimental Analysis of Microstructure and Mechanical Properties of Copper and Brass Based Alloys,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, 2015.
- [7] B. Yang, M. Wu, X. Li, J. Zhang, and H. Wang, “Effects of cold working and corrosion on fatigue properties and fracture behaviors of precipitate strengthened Cu-Ni-Si alloy,” *International Journal of Fatigue*, vol. 116. pp. 118–127, 2018, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2018.06.017.
- [8] M. A. Shaik and B. R. Golla, “Development of highly wear resistant Cu - Al alloys processed via powder metallurgy,” *Tribology International*, vol. 136. pp. 127–139, 2019, doi: 10.1016/j.triboint.2019.03.055.
- [9] Y. Jiang, Z. Li, Z. Xiao, Y. Xing, Y. Zhang, and M. Fang, “Microstructure and Properties of a Cu-Ni-Sn Alloy Treated by Two-Stage Thermomechanical Processing,” *Jom*, vol. 71, no. 8. pp. 2734–2741, 2019, doi: 10.1007/s11837-019-03606-5.

المراجع العربية:

- [10] زهرة ، محمد ، بركات ، نيرودا ؛ ديب ، يوسف : تأثير المعالجات الحرارية على خواص التعب للمعادن ، مجلة جامعة تشرين ، سلسلة العلوم الهندسية ، المجلد 41. رقم 3 (2019).