

## Effects of Heat Treatments on Fatigue Properties of Metal Alloys

Dr. Mohammad Zahra\*

Dr. Neruda Barakat\*\*

Youssef Smier Deeb\*\*\*

(Received 7 / 4 / 2019. Accepted 17 / 6 / 2019)

### □ ABSTRACT □

This research aims at exploring the effects of heat treatments on fatigue properties of important metal alloys in the industry (low-carbon steels and leaded brass). Foundry-Master spectrometer was used to know the contents of the two alloys. Specimens of the two alloys were made by a CNC according to ASTM for those two alloys for both the tensile and fatigue tests. Tensile tests were done using a universal testing machine IBMU4-1000 and fatigue tests on an SM1090 fatigue testing machine. Heat treatments were undertaken on both sets of samples of the two alloys. Results of tensile and fatigue tests were compared before and after heat treatments and we found an improvement of fatigue properties for both alloys although there was no clear value for fatigue limit for leaded brass but fatigue rate for the steel sample was obvious and it increased from 0.508 to 0.598 after heat treatments.

**Keywords:** Heat Treatments, Fatigue, Fatigue rate, Low-carbon steel, Leaded brass.

---

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

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

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

## تأثير المعالجات الحرارية على خواص التعب للمعادن

الدكتور محمد زهرة\*

الدكتور نيرودا بركات\*\*

يوسف سمير ديب\*\*\*

(تاريخ الإيداع 7 / 4 / 2019. قُبل للنشر في 17 / 6 / 2019)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المعالجات الحرارية على خواص التعب لبعض السبائك المعدنية الهامة في الصناعة (الفولاذ المنخفض الكربون - النحاس الأصفر) حيث تم إجراء اختبار التحليل الطيفي لكلا السبائك على جهاز Foundry-Master لمعرفة النسب المئوية للعناصر الداخلة بتركيب كلا السبائك كما تم تصنيع العينات الخاصة باختبار التعب على آلة CNC حسب المواصفات القياسية ASTM لعينات التعب وإجراء المعالجة الحرارية الخاصة بكل سبيكة على حدا، كما تم تصنيع بعض العينات الخاصة باختبار الشد حسب المواصفات القياسية (DIN 50125) لعينات الشد، ثم تم إجراء مقارنة بين نتائج اختبارات الشد على آلة الاختبارات العامة IBMU4-1000 قبل وبعد المعالجة الحرارية وكذلك مقارنة نتائج اختبارات التعب على آلة التعب الدورانية SM1090 قبل وبعد المعالجات الحرارية، وأظهرت النتائج تحسناً واضحاً في خواص التعب لكلا المعدنين بعد المعالجة الحرارية بالرغم من عدم وجود حد تعب محدد وواضح لسبيكة النحاس الأصفر بينما كان تحسن معدل التعب للفولاذ المذكور مميّزاً حيث كانت قيمته 0.508 قبل المعالجة الحرارية وأصبحت 0.598 بعدها.

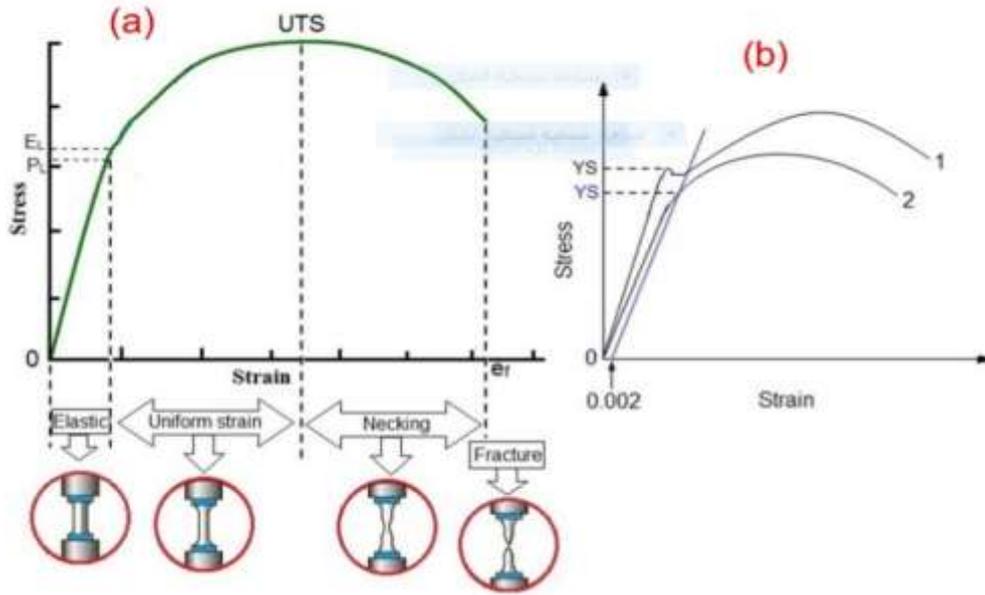
**الكلمات المفتاحية:** المعالجات الحرارية - التعب - حد التعب - الفولاذ المنخفض الكربون - النحاس الأصفر.

\* أستاذ - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\* مدرس - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مقدمة :**

لسنوات عديدة كان من المعتاد أن تُقدَّر مقاومة الأجزاء على أساس مقاومة الشد التي خُفِّضت بشكل مناسب باستخدام عامل أمان وبسبب الممارسة الطويلة في استخدام مقاومة الشد لتحديد مقاومة المواد، فقد أصبحت هذه الخاصية أحد أهم المقاييس لتحديد المواد في مجالات الهندسة عموماً و بنفس المفهوم الذي يعمل به التركيب الكيميائي لتحديد السبيكة [1].

مقاومة الشد (Ultimate Tensile Strength) UTS يرمز لها  $\sigma_{UTS}$  أو  $R_m$  كما هو معروف هي أقصى إجهاد يمكن للمادة تحمله بدون أن تنهار عندما تتعرض لحمولة شد أحادية المحور تزداد تدريجياً ابتداءً من الصفر وحتى انهيار العينة . تعتبر مقاومة الشد خاصية غير مقدارية أي لا تتغير بتغير مقدار المادة التي يتم اختبارها لكنها تتوقف على إعداد عينة الاختبار ودرجة حرارة الوسط الذي يجري فيه الاختبار، وواحدة من أهم الخواص الميكانيكية للمعادن نظراً لما لها من ارتباطات تجريبية متبادلة واسعة النطاق مع القساوة ومقاومة التعب ، ولأنه من السهل تحديد مقاومة الشد خاصية قابلة تماماً لإعادة القياس فهي غالباً مفيدة للغاية لأغراض المواصفات ومراقبة جودة المنتجات . والاتجاه الحالي إسناد التصميم ذي الأحمال الثابتة للمعادن المطبلة على مقاومة خضوعها (b.1) . أما بالنسبة للمواد القصفة (b.2) فيعتبر حد الخضوع الإصطلاحي عند انفعال لدن 0.002 معيار سليم للتصميم [2].

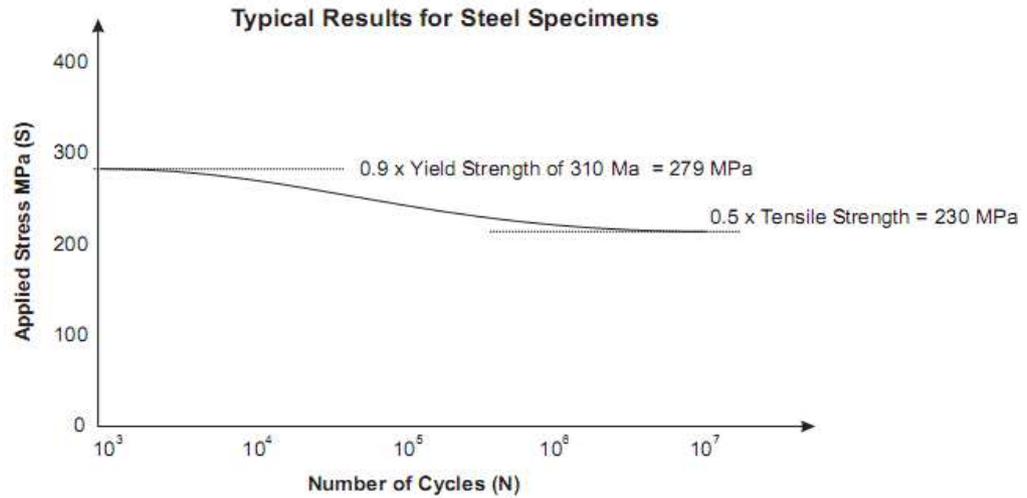


الشكل (1) مخطط اختبار الشد وحد الأمان (حد الخضوع الإصطلاحي)

إلا أنه بعد الحرب العالمية الثانية وفي ظل التطور الصناعي والتكنولوجي ونظراً لأن المعدن يواجه إجهادات أكثر تعقيداً في التصميمات الهندسية الواقعية تسبب انهيار الأجزاء المعدنية فجأة بدون سابق إنذار، استأثرت مشكلة تعب المعادن باهتمام كبير في المجالات الهندسية كافة وفرض هذا الأمر على مهندسي التصميم الأخذ بعين الاعتبار مقاومة التعب (قوة التعب) أثناء التصميم [3] . وأصبح المهندسون غالباً ما يستخدمون معدل التعب لمقارنة المواد ، الذي يعبر عن علاقة بين متانة الشد وحد التعب . وهو نسبة حد التعب للمقاومة الشدية للمادة .

$$\text{معدل التعب أو نسبة التعب} = \frac{\text{حد التعب}}{\text{المقاومة الشدية}}$$

و تكون نسبة التعب عادةً تقريباً 0.5 من أجل معظم السبائك الحديدية ، بسبب حد إجهاد التعب لها يكون تقريباً نصف مقاومتها الشدية [4].



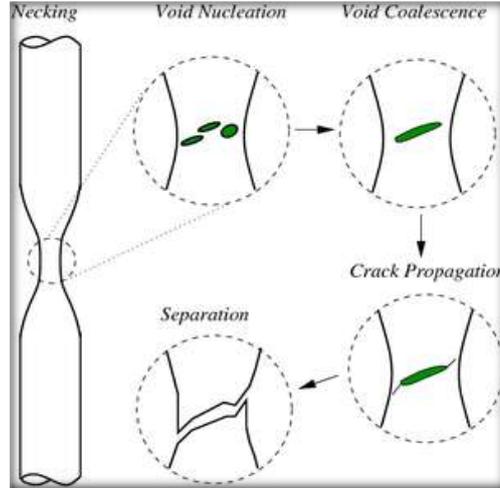
الشكل (2) يبين علاقة مقاومة التعب بمتانة الشد وحد الخضوع لفولاذ طري

أما المعالجة الحرارية heat treatments فهي تعد واحدة من أهم الطرق التي يمكن من خلالها التحكم في خواص المعادن الفيزيائية و الميكانيكية دون إحداث أي تغيير في شكلها أو تركيبها الكيميائي من خلال إعطاء المعدن كمية من الحرارة وسحبها منه وفق برنامج معين بالاعتماد على العاملين الأساسيين درجة الحرارة و الزمن (التسخين إلى درجة حرارة محددة والإبقاء عند هذه الدرجة ومن ثم التبريد اللاحق) الأمر الذي يمكن من التحكم بحجم الحبيبات وتغيير البنية البلورية للمعدن (أشكال الهياكل الشبكية) تغييراً دائماً أو جعل خواص المعدن السطحية مختلفة عن داخله [5].

يعرّف تعب المعادن fatigue of metals بأنه التشوه البنيوي المتدرج والمركز الذي يحدث عندما تتعرض المادة إلى حمل دوري ومنتكر، وتكون قيم الإجهاد الأعظمي أقل من حد إجهاد الشد العادي، وقد يكون أيضاً أقل من حد إجهاد الخضوع للمادة [6].

و تبدو آثار تعب المعادن على مقياس مجهري كشق أو عيب دقيق في المادة ينمو تدريجياً مع تبدل الإجهاد حتى حصول الكسر الكامل . وبالتالي نستطيع أن نلخص انهيار التعب بثلاثة مراحل:

1. بدء التشقق -
2. انتشار الشقوق -
3. كسر سريع .



الشكل (3) يبين بدء تشكل الشقوق وانتشارها وحدث الكسر

يحدث التعب المتكرر أو الدوري في كثير من التطبيقات الهندسية منها أسنان المسننات و محاور الآلات و في العجلات و أعمدة الدفع في السفن و أذرع القيادة في السيارات و أجسام السفن و عوارض السطح في الجسور والقواطع و الضاغطات و النوابض و في أجنحة الطائرات و محركاتها و.... إلخ [7] . وذلك عند فشل جزء معدني ما في تحمل ضغط معين أقل بكثير مما يمكنه تحمله في الأصل [8] ويظهر ذلك في كسر أو تشوه الشكل الخارجي للجزء المعدني، حيث تحصل انزلاقات في بلورات المعدن ، وتظهر الشقوق الميكروسكوبية التي تؤدي إلى اهتراء الجزء وتمزقه [9].

#### دراسات سابقة:

من المعلوم وبحسب دراسات سابقة منها [10-16] أن شق التعب ينمو بسرعة في حبيبة الفريت ويتوقف في حبيبة البرليت، وأن البنية الشجرية المتفرعة تعمل على إعاقة تقدم شق التعب أفضل من البنية الكروية ، حيث يحصل نمو الشق عبر طور الفريت ويتوقف عند الحدود الحبيبية بين الفريت والبرليت ، ويكون الانتقال بطيئاً خلال حبيبة البرليت بسبب صفائح السمنتيت التي تعمل كعائق لنمو شق التعب ، وأفضل بنية في التعب هي بنية المارتنيسيت المراجع (شديد الصلابة وهش) حيث بنية المارتنيسيت تعيق نمو شقوق التعب بسبب الحواجز البنيتية لبنية المارتنيسيت مما يؤدي إلى ارتفاع حد التعب ، البنية المجهرية المتكونة من المارتنيسيت المراجع مع القليل من البيليت تعيق نمو هذه الشقوق إذ تتميز هذه البنية بكونها خالية من الإجهادات الداخلية التي تنتج من التقسية لذلك يرتفع حد التعب وهذا يتفق مع ما توصل إليه الباحث J. P. Benson [17] .

أعطت نظريات التعب عمر آمن بالنسبة لماينر ومارش حيث أكدت نظرية مارش أنه كلما قل الجهد عن حد التعب كلما كان العمر أفضل.

#### أهمية البحث وأهدافه :

انطلاقاً من ضرورة أن تؤدي المنشآت الهندسية عملها المطلوب وبتكاليف معتدلة وأن يكون لها مدة تشغيل مناسبة كان لابد من تحسين وتطوير أداء وعمر المواد عموماً والمعادن خصوصاً نظراً لاستخدامها الواسع في الصناعات المختلفة ، لذلك حاز موضوع التعب على اهتمام كبير من قبل مهندسي التصميم في المجالات الهندسية كافة.

من هنا جاءت أهمية البحث بدراسة تأثير المعالجات الحرارية على خواص التعب للمعادن و مقارنة النتائج والمخططات الناتجة - قبل وبعد المعالجة الحرارية لكل من عمر التعب ومقاومة الشد القصوى وحد الخضوع وتنظيمها وفق برامج محددة بغرض محاولة إغناء البحث العلمي بموضوع التعب ومحاولة إيجاد علاقة بين المعالجات الحرارية وعمر التعب وحد التعب للسبائك المدروسة بحيث يتمكن من تطبيق ذلك على سبائك أخرى لاحقاً والاستفادة منها في الصناعات فيما بعد.

### طرائق البحث ومواده:

في هذا البحث تمت دراسة ظاهرة التعب وتأثير المعالجات الحرارية على خواص التعب للمعادن ، وقد تم اختيار سبيكة النحاس الأصفر ذات الرمز: CZ121 / RF1030 وسبيكة الفولاذ الطري (الحديد المطاوع ) ذات الرمز : BS 970 230M07 / RF1010 للدراسة ( لكلا السبكتين بعد التحليل الطيفي تم إجراء المعالجات الحرارية لبعض العينات واختبارات الشد والتعب تحت إجهادات ثابتة ومتغيرة السعة و رسم مخططات S-N ومقارنة النتائج قبل وبعد المعالجة الحرارية) . وذلك لأهميتهما في الصناعة واستخدامهما الكبير والواسع في الكثير من التطبيقات الهندسية مثل: أنابيب المياه والغاز وصنع المغناط الكهربية المستخدمة في مختلف الأجهزة و.....إلخ بالنسبة للفولاذ الطري ، أما بالنسبة للنحاس الأصفر فيستخدم في صناعة مختلف الأجهزة الكهربية و الدروع والمجوهرات والحرف اليدوية والآلات الموسيقية النحاسية وعمليات اللحام و وصل الفلزات ببعضها بعض وصناعة السبائك و.....إلخ.

### الجانب العملي في المخبر:

#### 1- اختبارات التحليل الطيفي :

تم إجراء اختبارات التحليل الطيفي في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين للتحقق من النسب المئوية للعناصر الداخلة بتركيب كل من السبكتين المعدنيتين بواسطة جهاز التحليل الطيفي Foundry-Master الموضح في الشكل (4)



الشكل(4) جهاز التحليل الطيفي Foundry-Master

وكانت نتائج التحليل الطيفي كالاتي :

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكة النحاس الأصفر

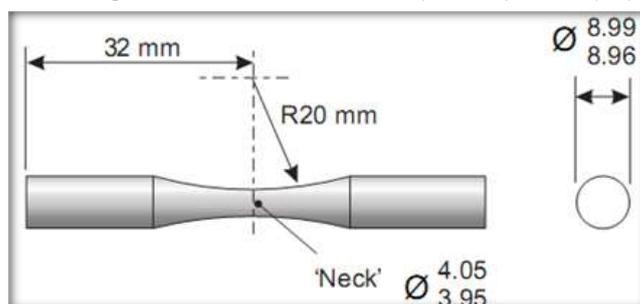
CU %	ZN %	PB %	SN %	P %	MN %	FE %	NI %	SI %	MG %
58.5	37.8	2.96	0.320	0.0134	0.0067	0.169	0.0296	0.0122	0.0050
CR %	AL %	S %	AS %	BE %	AG %	CO %	BI %	----	----
0.0026	0.0259	0.0030	0.0139	0.0067	0.0069	0.0300	0.0091	----	----

الجدول (2) التركيب الكيميائي لسبيكة الفولاذ منخفض الكربون

FE %	C %	SI %	MN %	P %	S %	CR %	MO %	NI %	AL %
98.4	0.106	0.0050	1.08	0.0199	0.0978	0.0671	0.0050	0.0188	0.0013
CO %	CU %	NB %	TI %	V %	W %	PB %	ZR %	----	----
0.0054	0.0304	0.0020	0.0026	0.0020	0.0507	0.0260	0.002	----	----

## 2- تحضير عينات اختبار التعب (فولاذ منخفض الكربون - النحاس الأصفر) :

تم تحضير العينات على آلة CNC (Computer Numerically Controlled machine) في المنطقة الصناعية في اللاذقية وفق المقاييس القياسية النظامية العالمية حسب ASTM بالأبعاد الموضحة بالشكل التالي:



الشكل (5) شكل و أبعاد عينات التعب

## 3- المعالجة الحرارية :

بالاعتماد على نتائج التحليل الطيفي السالف الذكر لكلا المعدنين وبالرجوع إلى جداول المعالجات الحرارية للمعادن حسب المراجع ASTM لمعرفة برنامج المعالجة الحرارية الخاص بكل معدن تم إجراء المعالجة الحرارية في مخبر السباكة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين كما يلي:

- يعالج الفولاذ المنخفض الكربون بالتخمير من خلال :
- التسخين حتى الدرجة C 900 .
- إبقاء لمدة ساعتين بالفرن .
- إطفاء الفرن (تبريد بالفرن).
- إخراج العينة بعد يومين (بعد وصول درجة حرارة الفرن لدرجة حرارة الغرفة).
- يعالج معدن النحاس الأصفر (LEADED BRASS) بالتخمير من خلال:
- التسخين حتى درجة الحرارة C(427-594).

– إبقاء لمدة ساعتين بالفرن.

– إطفاء الفرن (تبريد بالفرن).



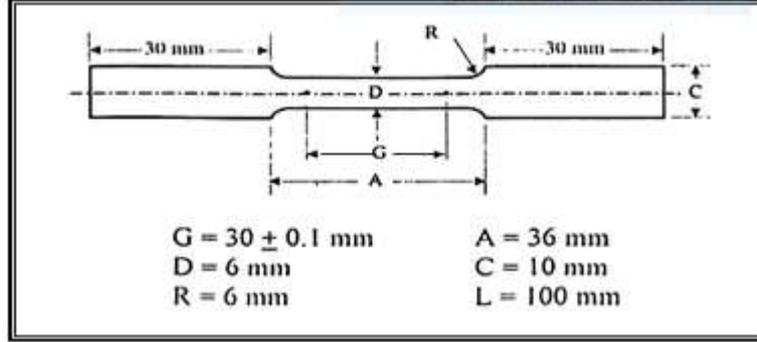
الشكل (6) عينات الفولاذ بعد المعالجة الحرارية



الشكل (7) مقياس درجة الحرارة لقياس الحرارة داخل الفرن

## 4- اختبارات الشد :

تم تصنيع عينات اختبار الشد على آلة CNC في المنطقة الصناعية باللائقية بموجب المواصفات القياسية رقم ( DIN 50125) لعينة اختبار الشد بالأبعاد الموضحة في الشكل التالي :



الشكل (8) أبعاد عينة الشد القياسية

تم إجراء اختبارات الشد على بعض العينات قبل وبعد المعالجة الحرارية لكلا المعدنين المذكورين على آلة الاختبارات العامة IBMU4-1000 لمعرفة تأثير المعالجة الحرارية على الخواص الميكانيكية لكل معدن ومنها حد الخضوع ومقاومة الشد القصوى لكل معدن نظرا لعلاقتها بقوة التعب وكانت نتائج اختبارات الشد كما في الجدول رقم (3) .  
تم تصميم آلية بسيطة لمسك عينات الشد- نظرا لصغر حجمها - وثبيتها بشكل جيد من خلال فتح سن داخلي قياس الخطوة 1.5 في معدن فولاذ قاسي - القطر الخارجي 16mm - وفتح سن في أطراف عينات الشد بنفس الخطوة كما هو موضح بالشكل (9) .



الشكل (9) مماسك عينة الشد

وصف آلة الاختبارات العامة " UNIVERSAL TESTING MACHINE " :

- آلة اختبار عامة رقمية أتوماتيكية بالكامل (SERVO HYDRAULIC) لاختبار المعادن بكافة أنواعها.
- الموديل : IBMU4-1000
- الشركة المصنعة : S.A.E.IBERTEST
- بلد المنشأ : الاتحاد الأوروبي (إسبانيا) .
- سنة الصنع : 2012.
- الحمل الأعظمي حتى 1000 KN.
- مجال القياس : من 1 حتى 100 %

- شوط المكبس : 250 MM PISTON STROKE
- طول العينة الممكن اختبارها : حتى أكثر من 90 CM
- برنامج الآلة يتضمن مكتبة تحتوي على طرق الاختبار بحسب المواصفة القياسية DIN EN 10002.
- دقة الآلة : CLASS 1AS PER ISO 7500 .



الشكل(10) آلة الاختبارات العامة Universal Testing Machine (شد - ضغط - ثني)

#### 5- اختبار التعب :

تم إجراء اختبارات التعب على عينات من كلا المعدنين المذكورين قبل وبعد المعالجة الحرارية على آلة التعب الدورانية SM 1090 الموضحة بالشكل(11) و كانت النتائج كما هو موضح في الجدول رقم (4) .



الشكل (11) آلة تعب دورانية SM1090

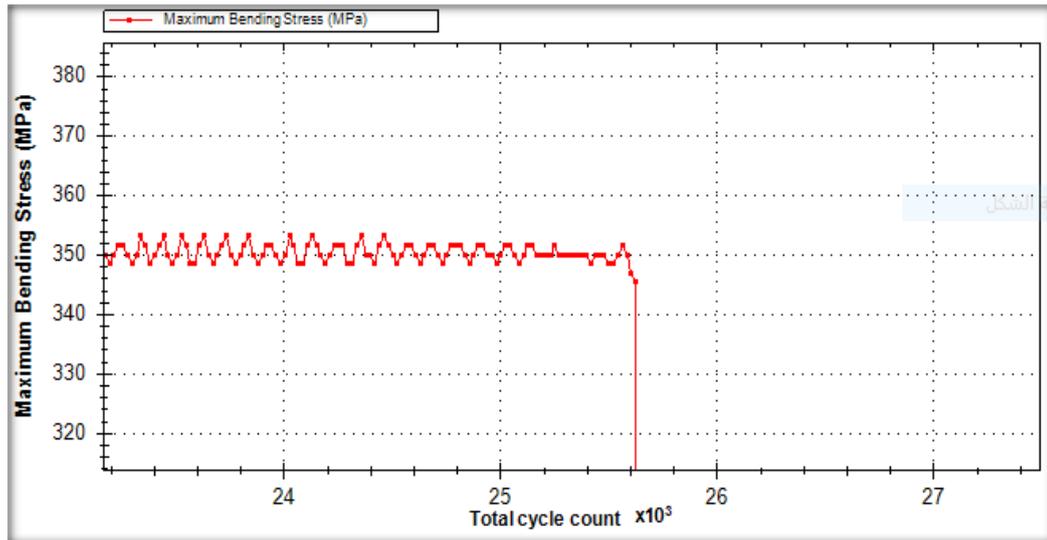


الشكل (12) عينات فولاذ منخفض الكربون بعد الكسر



الشكل (13) عينة نحاس أصفر بعد الكسر

حيث تم الحصول على مخطط يوضح العلاقة بين (Bending stress – total cycle) خاص بكل عينة من عينات اختبار التعب والشكل (14) على سبيل الذكر لا الحصر يوضح إجهاد التعب لعينة فولاذ منخفض الكربون عند عدد دورات معين.



الشكل (14) مخطط يوضح إجهاد التعب لعينة فولاذ المنخفض الكربون عند عدد دورات معين

#### 6- منحنى الإجهاد وعدد الدورات Diagram S – N :

لرسم هذا المنحني تم اختبار التعب على عدد من العينات المتشابهة ، إذ تم تعريض العينة الأولى لإجهاد متكرر كبير وتعيين عدد الدورات التي تكسرها ، ثم تم تعريض العينة الثانية لإجهاد متكرر أقل من إجهاد العينة الأولى وتعيين عدد الدورات التي تكسرها وكان أكبر من العدد الذي كسر العينة الأولى ، وتم تكرار نفس العمل مع باقى العينات الأخرى وفى كل مرة تم تقليل قيمة الإجهاد المتكرر وزاد عدد الدورات اللازم لكسر العينة ، ثم تم رسم العلاقة بين الإجهاد S وعدد الدورات N [18] ، وتم إيجاد حد الإحتمال كما في المخططات الموضحة بالأشكال رقم (16) و (15) .

#### النتائج والمناقشة :

في الجدولين المرفقين، تم عرض نتائج اختبارات الشد (الجدول 3) واختبار التعب (الجدول 4) لكل من السببكتين المذكورتين في الدراسة (النحاس الأصفر والفولاذ منخفض الكربون).

في الجدول (3) بالنسبة لخواص الشد لسبيكة النحاس الأصفر تحسن إجهاد الخضوع وسطيا من 163.6 Mpa (قبل المعالجة الحرارية) إلى 210 Mpa (بعد المعالجة الحرارية) مع تناقص في مقاومة الشد القصوى وسطيا من 414.3 (قبل المعالجة الحرارية) إلى 360 Mpa (بعد المعالجة الحرارية) .

وكذلك بالنسبة لسبيكة الفولاذ منخفض الكربون فقد تحسن إجهاد الخضوع وسطيا من 163.6 Mpa (قبل المعالجة الحرارية) إلى 210 Mpa (بعد المعالجة الحرارية) مع تناقص في مقاومة الشد القصوى وسطيا من 414.3 Mpa (قبل المعالجة الحرارية) إلى 360 Mpa (بعد المعالجة الحرارية).

في الجدول (4) بالنسبة لخواص التعب لسبيكة النحاس الأصفر كلما زاد الاجهاد المسلط قل عدد الدورات اللازمة لكسر العينة ، أي قل عمر التعب فعند حمولة مطبقة كبيرة كان إجهاد الإنحناء الأعظمي كبير وعمر الدورات قليل ، تناقص إجهاد الإنحناء الأعظمي عند تناقص الحمولة المطبقة وزيادة عدد الدورات واستمر بالتناقص مع انخفاض الحمولة المطبقة وزيادة عدد الدورات دون أن يثبت عند حد معين من 276 Mpa إلى 137 Mpa قبل المعالجة الحرارية ،

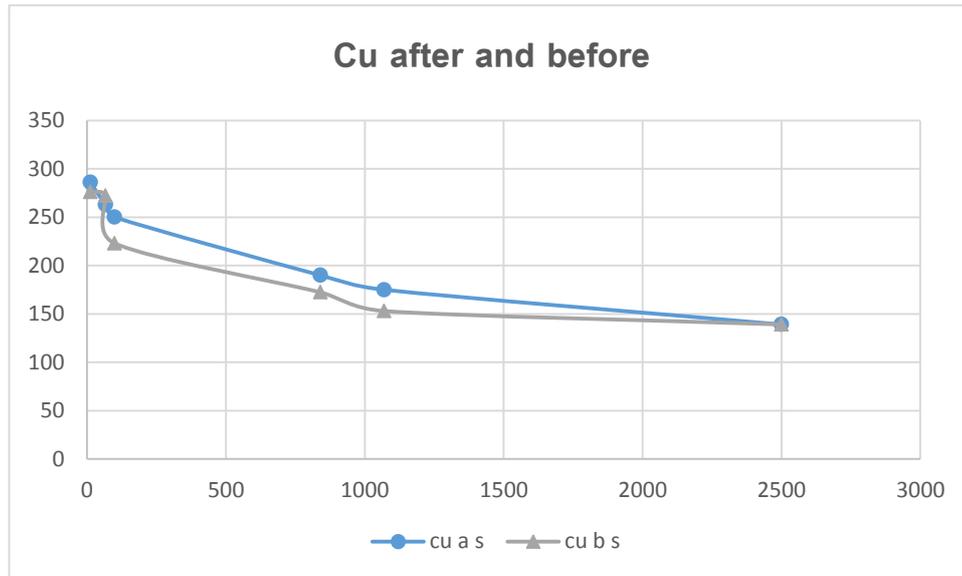
ومن 286 Mpa إلى 139.1 Mpa بعد المعالجة الحرارية حيث تحسنت خواص التعب بعد المعالجة الحرارية ولكن لم يظهر حد تعب واضح لسبيكة النحاس الأصفر لا قبل ولا بعد المعالجة الحرارية. وكذلك بالنسبة لخواص التعب لسبيكة الفولاذ المنخفض الكربون كلما زاد الاجهاد المسلط قل عدد الدورات اللازمة لكسر العينة ، أي قل عمر التعب فعند حمولة مطبقة كبيرة كان إجهاد الإنحناء الأعظمي كبير و عدد الدورات قليل ، تناقص إجهاد الإنحناء الأعظمي عند تناقص الحمولة المطبقة وزيادة عدد الدورات واستمر بالتناقص مع انخفاض الحمولة المطبقة وزيادة عدد الدورات من 300 Mpa إلى 238.25 Mpa قبل المعالجة الحرارية حتى حد معين Mpa 238.25 لم يتناقص بعده هو حد التعب للفولاذ المنخفض الكربون قبل المعالجة الحرارية ، ومن 345 Mpa إلى 243.3 Mpa بعد المعالجة الحرارية حيث لم يتناقص الإجهاد بعد 243.3 Mpa هو حد التعب للفولاذ المنخفض الكربون بعد المعالجة الحرارية وبالتالي تحسن حد التعب للفولاذ المنخفض الكربون من 238.25 Mpa قبل المعالجة الحرارية إلى 243.3 Mpa بعد المعالجة الحرارية ، ليتحسن بدوره معدل التعب للفولاذ المنخفض الكربون من (0.508) قبل المعالجة الحرارية إلى (0.598) بعد المعالجة الحرارية.

الجدول (3) نتائج اختبارات الشد لعينات النحاس الأصفر Cu والفولاذ المنخفض الكربون Fe

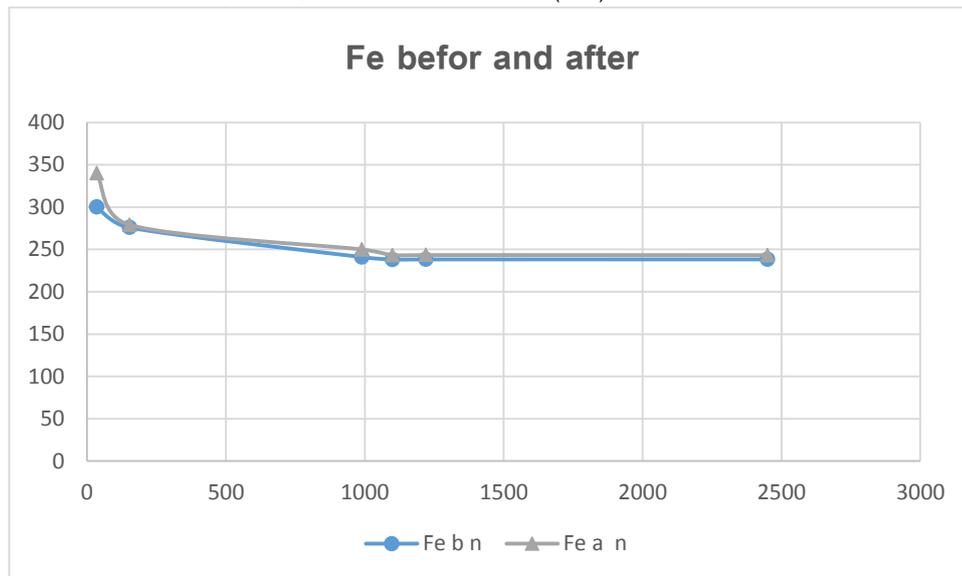
ملاحظات سرعة التحميل 0.1 KN/s	الإستطالة %	مقاومة الشد القصوى MPa	حد الخضوع MPa	قوة القطع KN	أبعاد العينة Mm*Mm	وزن العينة G	رقم العينة
قبل المعالجة الحرارية	30	410	160	5.154	4*20	24	Cu1
قبل المعالجة الحرارية	33	420	170	5.279	4*20	24	Cu2
قبل المعالجة الحرارية	31	413	161	5.191	4*20	23	Cu3
بعد المعالجة الحرارية	20	350	200	4.399	4*20	23	Cu1
بعد المعالجة الحرارية	18	370	220	4.651	4*20	24	Cu2
بعد المعالجة الحرارية	19	360	210	4.525	4*20	23	Cu3
قبل المعالجة الحرارية	25	460	310	5.782	4*20	24	Fe1
قبل المعالجة الحرارية	20	480	320	6.03	4*20	24	Fe2
قبل المعالجة الحرارية	23	465	313	5.845	4*20	24	Fe3
بعد المعالجة الحرارية	17	405	350	3.898	3.5*20	21	Fe1
بعد المعالجة الحرارية	16	415	365	3.994	3.5*20	21	Fe2
بعد المعالجة الحرارية	18	400	360	3.850	3.5*20	21	Fe3

الجدول (4) نتائج اختبارات التعب لعينات النحاس الأصفر Cu والفولاذ المنخفض الكربون Fe

عدد الدورات HZ / الزمن min	إجهاد الانحناء الأعظمي S MPa	عدد الدورات الكلي N <sub>f</sub> *(10) <sup>3</sup>	الحمولة المطبقة على العينة F N	المسافة بين الحمل وعنق العينة mm	قطر عنق العينة D mm	رقم العينة
21/8.5	276	11	70	28	4	Cu befor 1
21/46	<u>272.1</u>	57.277	62	28	4	Cu befor2
21/77	223	97	32.5	28	4	Cu befor3
80/164	172.369	790	01	28	4	Cu befor 4
100/168	153	1100	7	28	4	Cu befor5
100/400	137	2400	3	28	4	Cu befor6
21/9.5	<u>286</u>	11.946	70	28	4	Cu after 1
21/52	263	66	62	28	4	Cu after 2
21/79	250	99.3	32.5	28	4	Cu after 3
80/175	190	840	01	28	4	Cu after 4
100/178	175	1070	7	28	4	Cu after5
100/416	139.1	2500	3	28	4	Cu after 6
21/ 15	300	20	86	28	4	Fe11befor1
50/51	275.8	153.724	62.5	28	4	Fe11befor2
80/206	241	990	45	28	4	Fe11befor3
100/183	238	1100	25	28	4	Fe11befor4
100/203	238.2	1220	15	28	4	Fe11befor5
100/408	238.25	2450	10	28	4	Fe11befor6
21/20.3	<u>345</u>	25.65	88	28	4	Fe11after1
50/52	279	156.012	62.5	28	4	Fe11after2
80/208	250	1000	45	28	4	Fe11after3
100/201	243.1	1210	25	28	4	Fe11after4
100/208	243.4	1250	15	28	4	Fe11after5
100/430	243.3	2575	10	28	4	Fe11befor6

الإجهاد S  
MpaN عدد الدورات الكلي  $(10)^3$ \*

الشكل (15) مخطط S-N Cu للنحاس الأصفر

الإجهاد S  
MpaN عدد الدورات الكلي  $(10)^3$ \*

الشكل (16) مخطط S-N Fe للفولاذ المنخفض الكربون

- كلما زاد الاجهاد المسلط قل عدد الدورات اللازمة لكسر العينة ، اي قل عمر التعب وهذا ما أكدته دراسة (حمزة، 2018) عندما قامت بدراسة "تأثير الأحمال الثابتة والمتغيرة السعة على عمر التعب لسبيكة من الفولاذ المنخفض الكربون".
- تكوين أطوار جديدة بعد المعالجة الحرارية ساهم في تحسين مقاومة التعب وهذا ما أكدته دراسة (حسن ، 2005) عندما قامت بدراسة "تأثير تركيز الإجهاد على مقاومة التعب لفولاذ مكرين "
- تحسنت الخواص الميكانيكية لكلا السببكتين (الفولاذ المنخفض الكربون - النحاس الأصفر) وهذا ما أكدته دراسة (العمران، 2010) عندما قامت بدراسة " تأثير عملية اللحام بطريقة MIG على مقاومة التعب للفولاذ عند إجهادات ثابتة ومتغيرة السعة " حيث أكدت على أن تحسن الخواص الميكانيكية مرتبط بعدة عوامل منها البنية المجهرية

والمنطقة المتأثرة بالحرارة وتأثير المعاملة الحرارية عليها وكمية الحرارة الداخلة وتأثيرها على هذه البنية ساهم في تحسين مقاومة التعب عند إجهادات ثابتة السعة.

- وكان من عيوب هذا الاختبار أن العينات تحتاج إلى عدد كبير من الدورات إذ كل عينة تحتاج إلى وقت كبير لإحداث الانهيار بها مما قد يجعل هذا الاختبار يحتاج وقتاً طويلاً.

### الاستنتاجات والتوصيات :

- بمقارنة النتائج بين اختبارات الشد واختبارات التعب قبل وبعد المعالجة الحرارية للعينات تبين ما يلي :
- بعد المعالجة الحرارية تحسن حد الخضوع لسبيكة النحاس الأصفر CZ121 / RF1030 ونقصت مقاومة الشد والتطاؤل النسبي.
- لم يكن للنحاس الأصفر حد تعب واضح لا قبل ولا بعد المعالجة الحرارية ولكن تحسنت خواص التعب لسبيكة النحاس الأصفر CZ121 / RF1030 بشكل ملحوظ بعد المعالجة الحرارية .
- بعد المعالجة الحرارية تحسن حد الخضوع ونقصت مقاومة الشد و التطاؤل النسبي لسبيكة الفولاذ الطري BS 970 230M07 / RF1010 و تحسن حد التعب بشكل ملحوظ .
- عملياً تحسن معدل التعب لسبيكة الفولاذ منخفض الكربون BS 970 230M07 / RF1010 من (0.508) قبل المعالجة الحرارية إلى (0.598) بعد المعالجة الحرارية .
- اقتراح دراسة تأثير المعالجات الحرارية على مختلف أنواع السبائك المعدنية الهامة في الصناعات الحديثة لتحسين الخواص الميكانيكية وخواص التعب لها لمواكبة التطور الصناعي والتكنولوجي في العصر الحديث .

### المراجع :

- [1] DAVIS, J, R. *Tensile Testing, 2nd edition, ASM International, 2004*
- [2] DIETER, J. *Mechanical Metallurgy, 3rd edition, McGraw Hill, 1986 .*
- [3] DRAPER , J. *Modern Metal Fatigue Analysis.2008, EMAS. ISBN 0-947817-79-4.*
- [4] DAHLBERG, M,T. *Dynamic calibration of axial fatigue testing machines . why is it important and how is it accomplished ? system corparation, eden prairie,usa*
- [5] هنتر، علي. *المعالجات الحرارية للمعادن* . جامعة تشرين، 1999-2000.
- [6] SCHUTZ, W, *Engineering Fracture Mechanics. (1996). A history of 54:263-300. fatigue*
- [7] عيسى، عبد الرزاق. *التعب* . الموسوعة العربية، 2012، 08-15 .
- [8] Lallane, C. *Fatigue Damage. ISTE- Wiley, (2009). ISBN 978 1-84821-125-4*
- [9] العلكاوي، حسين . *تخمين أعمار كلال الاجز اء باستخدام نموذج رياضي مقترح* . "مجلة الهندسة والتكنولوجيا 19، 2010، 32-922
- [10] ضايغ، عبدالله ؛ عمران، سلمان. *تأثير المراجعة لفولاذ متوسط الكربون على سلوك الكلال*، مجلة معهد تكنولوجيا بغداد لهندسة المواد، مجلد 11، العدد4، 2011.
- [11] صاحب ، أحمد. "نمذجة نمو شقوق الكلال القصيرة والطويلة للفولاذ الانشائي " ( 3-52 DINst ) مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 2011.

- [12] Singal, L, C, *Rajwinder Singh Gill, and Aishna Mahajan, 2017, "Fatigue Mechanical life Design-A Review."* International Journal of Engineering Research and General Science 5 (2): 247–51.
- [13] Azom, "AISI 1018 Mild / Low Carbon Steel," 1–4. "Catalogue of Avery Type 7305-Fatigue Testing Machine". "Catalogue of Key to Steel." 2012. *Federal Republic of Germany.*
- [14] حمزة، شيماء. تأثير الأحمال الثابتة والمتغيرة السعة على عمر الكلال لسبيكة من الفولاذ المنخفض الكربون، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية والهندسية ، المجلد 16، العدد 1، 2018.
- [15] العمران، يسرى. تأثير عملية اللحام بطريقة MIG على مقاومة الكلال للفولاذ عند إجهادات ثابتة ومتغيرة السعة، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28، العدد 7، 2010.
- [16] حسن ، خيرية. تأثير تركيز الإجهاد على مقاومة الكلال لفولاذ مكرين ، معهد تكنولوجيا - بغداد، 2005.
- [17] Becker, W. T. et al. *ASM Handbook: Failure Analysis and Prevention.* ASM International: Ohio. vol. 11, 2004.
- [18] إمام، محمود. الصدم والكلال، جامعة المنصورة، 2006.