

The Impact Of The Design Of Container Trailers On it's Resistance For Fatigue

Dr. Neruda Barakat^{*}
Dr. Hatem mamoudi^{**}
Ayham Dway^{***}

(Received 2 / 7 / 2017. Accepted 18 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

The research aims to increase the fatigue resistance of container transport trailers used in ports and thus increase the life of these trailers by making modifications in the design of the trailers so that the value of the stresses resulting from the applied loads will decrease, thus increasing the number of load cycles that can be applied without collapsing the trailers. The value of the stresses formed as minor design changes lead to significant changes in the value of the stresses.

Key words:Maximum Stress, container trailers,fatigue limit.

^{*} professor: Design & Product Engineering : Faculty of Electrical &Mechanical Engineering: Tishreen University : Latakia :Syria.

^{**} associate professor: Design& Product Engineering : Faculty of Electrical &Mechanical Engineering: Tishreen University : Latakia :Syria.

^{***} Master Student: Design& Product Engineering: Faculty of Electrical &Mechanical Engineering: TishreenUniversity :Latakia :Syria.

تأثير تصميم مقطورات نقل الحاويات على مقاومتها للتعب

د. نيرودا بركات*

د. حاتم محمودي**

أيهم دواي***

(تاريخ الإيداع 2 / 7 / 2017. قُبِلَ للنشر في 18 / 12 / 2017)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى زيادة مقاومة مقطورات نقل الحاويات للانتهيار تحت تأثير التعب التي تستخدم في المرافئ وبالتالي زيادة عمر هذه المقطورات وذلك من خلال إجراء تعديلات في تصميم المقطورات بحيث تقل قيمة الإجهادات الناتجة عن الحمولات المطبقة وبالتالي سيزداد عدد دورات التحميل الممكن تطبيقها دون أن تنهار المقطورات ويبين البحث تأثير التصميم على قيمة الإجهادات المتشكلة حيث أن تغيرات بسيطة في التصميم تؤدي إلى تغيرات كبيرة في قيمة الإجهادات.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد الأعظمي ، مقطورات نقل الحاويات، حد التعب .

*مدرس - قسم هندسة التصميم والإنتاج -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
**استاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
***طالب ماجستير - قسم هندسة التصميم والإنتاج -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة :

عند تحميل المادة بحمل أقل من حد المتانة بشكل متكرر فإن المادة تتهار بعد عدد معين من مرات التحميل ويدعى الحمل الذي لاتتهار المادة عند تكرار تطبيقه عدداً لانتهائياً من دورات التحميل بحد التعب [1]. حيث يحدث الانهيار المفاجئ Sudden Failure بالكسر Fracture للآلات والمنشآت المعدنية المعرضة لأحمال متكررة أثناء التشغيل بعد عدد من دورات التحميل، وتكون حالة الكسر بالتعب لجميع المعادن مثل حالة كسر المعادن القصفة، كما أن شكل مقطع المكسر له طابع خاص مميز، حيث تظهر به منطقتين رئيسيتين: إحداهما متدرجة بسطح ناعم مما يدل على شرح ينتشر تدريجياً بتكرار دورات التحميل، أما المنطقة الأخرى فهي ذات سطح خشن مما يدل على الانفصال المفاجئ لجزيئات المعدن عند حدوث الانهيار للآلة أو المنشأة في حالة قصفة عند هذا المقطع [2].

ظهرت نظريات كثيرة لتفسير ظاهرة تعب المعادن نذكر منها:

- نظريات التبلور Crystallization Theory.
- نظرية الإجهاد الأقصى Theory of Maximum Stress.
- نظرية الانفعال الأقصى Theory of Maximum Strain.
- نظرية الإجهادات الثانوية Theory of Secondary Strain.
- نظرية تركيز الإجهاد Theory of Stress Concentration.
- نظرية انزلاق الجزيئات Theory of Molecular Slip.
- نظرية التصلد الانفعالي Theory of Strain Hardening.
- نظرية طاقة الانفعال المحدودة Theory of Limiting Strain Energy.
- نظرية المضاعلة الداخلية Theory of Internal Damping.

وبالرغم من ذلك لا توجد نظرية واحدة محددة لتفسير أسباب الانهيار بالتعب في جميع الحالات مع أن ميكانيكية كيفية حدوث الانهيار معلومة جزئياً، حيث يبدأ الانهيار بشرح شعري ميكروسكوبي عند إحدى نقاط المادة وهذه النقطة ليست الجزء متعدد البلورات وليست بلورة المعدن وليست كسرة من البلورة وإنما أدق من ذلك، وقد تكون جزيئات أجزاء البلورة المتماسكة مع بعضها بالروابط وأكثر دقةً من ذلك [3].

ويمكن تلخيص ميكانيكية التعب بنظرية تركيز الإجهاد كما يلي:

يتركز الإجهاد بالمعدن (أي تكون قيمة الإجهادات عالية جداً أكبر من المقدرة حسابياً) في مواضع عدم اتصال المعدن الداخلية أو الخارجية ومواقع عدم الاتصال الخارجية مثل نقاط عدم التجانس Non-homogeneity والعيوب Defects والتصدع Flaws والشوائب الداخلية Inclusions ... الخ.

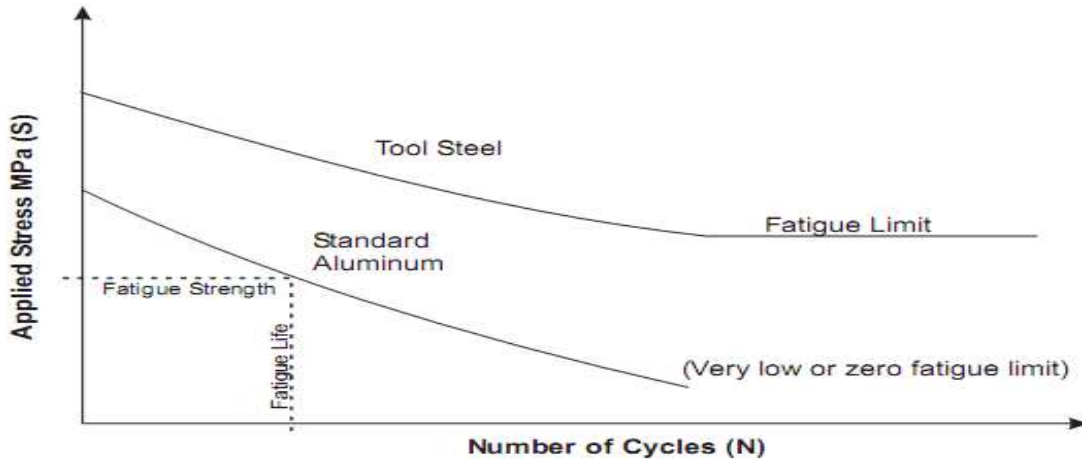
أما مواضع عدم الاتصال الخارجية فهي مثل العيوب السطحية و التغيير المفاجئ في المقطع المستعرض و منحنيات الاتصال Fillets والنقوب Holes والحزوز Notches وجذور سن اللولب Root of thread .. الخ [4].

يحدث تركيز الإجهاد في هذه المواضع بقيمة لا يمكن غالباً التنبؤ بها مقدماً، فإذا زادت هذه القيمة عن مقاومة التماسك Cohesive Resistance لجزيئات المعدن حينئذ يبدأ ظهور شرح شعري ميكروسكوبي عند هذا الموضع حيث ينتشر ذلك الشرح و يتسع بسرعة معينة تتوقف على قيمة الحمل المتكرر وعدد دورات التحميل [5]، وذلك حتى يصبح الجزء الباقي من المقطع غير قابل لتحميل الإجهادات الواقعة عليه فينكسر فجأة، و يلاحظ أن الشرح الشعري

المذكور يتسع داخل جسم المعدن دون ظواهر خارجية تدل عليه الأمر الذي لا يمكن من ملاحظة وجوده أو تدارك الجسم قبل أن يؤدي الشرخ إلى انهياره، إلا بطرق فحص شاملة خاصة تتم من وقت إلى آخر أثناء فترة التشغيل [6]. عند تصميم أجزاء الآلات و المنشآت يكون من الضروري معرفة الإجهاد الذي يحدث عند تجاوزه تعب المعدن و هو ما يسمى بحد الاحتمال أو حد التعب، ويعرف بأنه أقصى إجهاد لدورة تحميل معينة أي ذات مدى محدد، يؤثر على المعدن عدد لانتهائي من الدورات دون إحداث كسر فيه [7].

يعين حد الاحتمال عن طريق الرسم البياني لمنحني الإجهاد وعدد الدورات الذي يرسم من واقع نتائج الاختبارات العملية حيث يؤخذ عدد من قطع الاختبار من المعدن المراد اختباره وتعرض لدورات من الإجهاد معكوسة كلياً، على أن يكون تحميل كل قطعة اختبار بإجهاد يقل عن الأخرى، (مع ملاحظة أن يبدأ إجهاد قريب من المقاومة القصوى)، وذلك حتى تتكسر كل عينة، ويعين في كل حالة لإجهاد (S) المؤثرة على العينة وعدد الدورات التي تعرضت لها العينة حتى الكسر (N).

إذا أجهدت العينة بالقرب من مقاومتها القصوى في كل دورة إجهاد فإن انهيار هذه العينة يحدث بعد تعرضها لعدد صغير من دورات الإجهاد [8]، وإذا اختبرت عينة ثابتة بنفس الطريقة ولكن بتعرضها لإجهاد أقل من العينة الأولى فإن هذه الأخيرة تنهار بعد عدد أكثر من دورات الإجهاد، فإذا تمت إعادة هذه العملية على عدد من العينات فإن العلاقة بين قيمة الإجهاد (S) وعدد دورات التحميل (N) المطلوبة لكسر العينة يمكن تمثيلها بيانياً كما في الشكل (1) وفيه تمثل الإجهادات على المحور الرأسي وعدد الدورات على المحور الأفقي، ويطلق على هذا المنحني (منحني S-N) وفيه تكون قيمة الإحداثي الرأسي عندما يصبح المنحني تقريباً أفقياً هي قيمة حد احتمال التعب



الشكل (1) منحني الإجهاد _ عدد الدورات

طرائق البحث ومواده :

تمت هذه الدراسة على مقطورات نقل الحاويات Buisca في مرافئ اللاتفية الموضحة في الشكل (2)، حيث تم ملاحظة تشكل شقوق في هياكل هذه المقطورات في المناطق الموجودة فوق الدواليب، كما لوحظ نمو هذه الشقوق وتوسعها مع الزمن كما يبين الشكل (3)، حيث تنهار المادة في هذه المنطقة من الهيكل مع الزمن.



الشكل (2) المقطورة المدروسة



الشكل (3) الشقوق المتشكلة فوق منطقة الدواليب

بعد اقتطاع عينة من مقطورة منسقة وإجراء اختبار تحليل طيفي لها في مخبر المعادن في مرفأ اللاذقية تبين أن المقطورات مصنوعة من المادة St 37-2 وهي إحدى سبائك الفولاذ ذات التركيب الكيميائي المبين في الشكل (4) ويبين الجدول (1) خصائصها الميكانيكية .

الشركة العامة لسفح اللاتفيخ
المختبر المركزي

Chemical Results

sample ID: Kurve / customer: K200 - 04 / COMMISSION: Labor Nr. / lab.nr.: PTC-04 / PTC-no.:

Grundbestandteil / material: Adressierung / Materialname: Zusatzbestandteile / Alloy elements: Wirtschaftskategorie / Heat treatment: Schmelztemperatur / Heat (16):

Spektroskopische Analyse MA5151: Werkstoff / part: 0007 - 1.0008 S235JR (S235-2)

Element	Unit	Value	Min	Max	Value	Min	Max
Fe	%	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C	%	0.300	0.300	1.80	0.0000	0.0000	0.0000
Mn	%	0.100	0.100	0.70	0.0000	0.0000	0.0000
P	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
S	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Si	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Al	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Ni	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Cu	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Cr	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Mb	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Mo	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Co	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
B	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
As	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Se	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Zn	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Ag	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Au	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Cd	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Pb	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Sr	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Zr	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Y	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Hf	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Bi	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Th	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
U	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Mo	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
W	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Re	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Os	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Ir	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Pt	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Ag	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Au	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Cd	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Pb	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Bi	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Th	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
U	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Mo	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
W	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Re	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Os	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Ir	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000
Pt	%	0.005	0.005	0.010	0.0000	0.0000	0.0000

الشكل (4) نتائج اختبار التحليل الطيفي

الجدول (1) الخواص الميكانيكية لسبيكة ل فولاذ st37_2

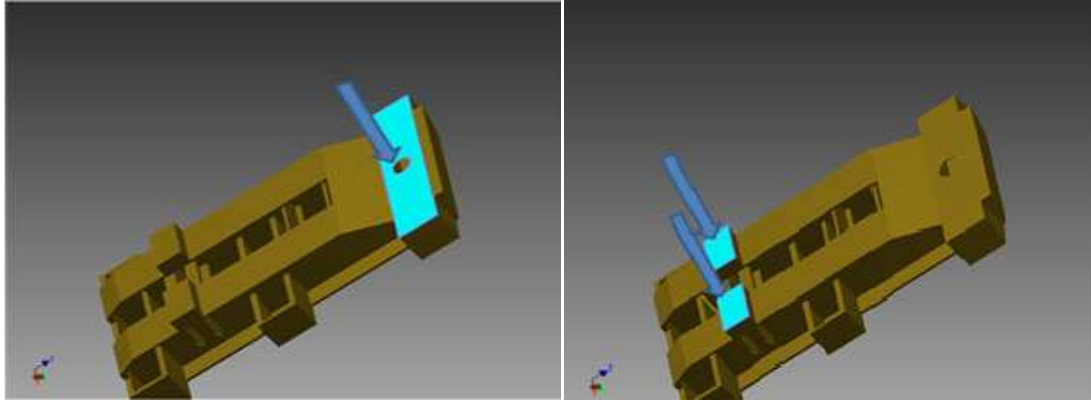
Mechanical Properties			
Steel grade	Yield strength [M Pa]	Tensile strength [M Pa]	
		<3 mm	≥ 3 mm ≤ 100 mm
ST37-2	215-235	360-510	340-470

أهمية البحث و أهدافه :

يهدف البحث إلى زيادة حد التعب للمقطورات المدروسة وبالتالي زيادة عمر هذه المقطورات وذلك من خلال إجراء تعديلات في تصميم المقطورات بحيث تقل قيمة الإجهادات الناتجة عن الحمولات المطبقة وبالتالي سيزداد عدد دورات التحميل ويبين البحث تأثير التصميم على قيمة الإجهادات المتشكلة حيث أن تغيرات بسيطة في التصميم تؤدي إلى تغيرات كبيرة في قيمة الإجهادات.

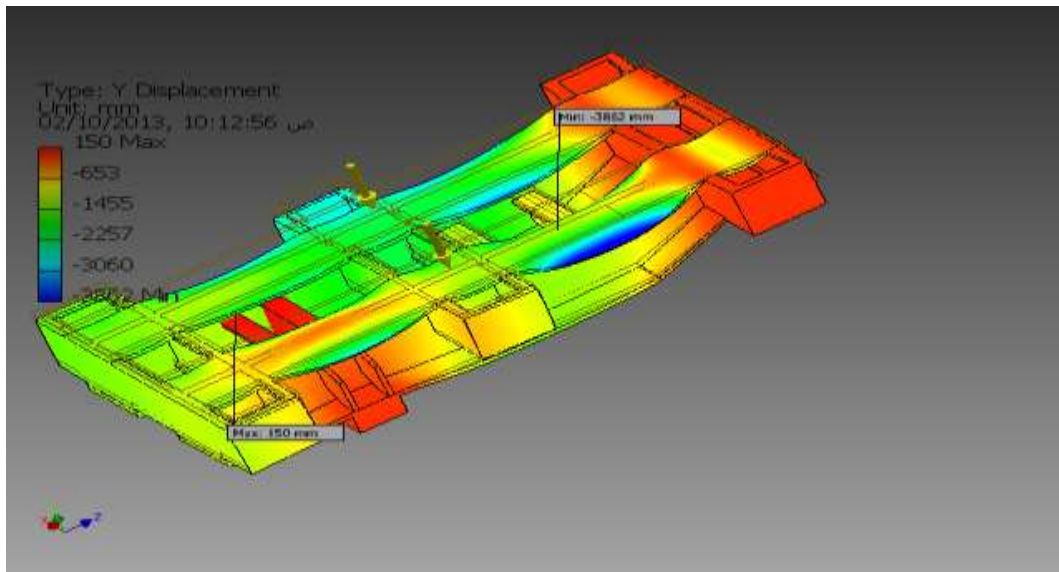
النتائج والمناقشة:

تم إعداد رسم لهيكل المقطورة على برنامج الرسم الهندسي (inventor)، ثم أجريت محاكاة لطريقة تحميل الهيكل، بهدف معرفة الأجزاء التي تتحمل الإجهادات الأعظمية الناتجة عن الحمولة المطبقة، حيث تم تطبيق تثبيت على الهيكل في منطقة التعشيق مع الرأس القاطر كما في الشكل (4) وتم أيضا تطبيق التثبيت في مناطق تأثير رد الفعل الناتج عن الدواليب الخلفية كما في الشكل (5) وبهذه الطريقة فإن البرنامج يولد في هذه المناطق ردود أفعال تتناسب قيمتها مع قيمة الحمولة المطبقة.



الشكل (4) التثبيت في منطقة الدواليب الشكل (5) التثبيت في منطقة التعشيق مع الرأس القاطر

في البداية تم تحميل الهيكل بحمولات أكبر بكثير من الحمولة التي تعرض لها الهيكل لمتابعة عملية الانهيار وللاستفادة من تدرج الألوان الخاص بعملية توزيع الإجهادات التي تتعرض لها أجزاء الهيكل بهدف المقارنة بين توزيع الإجهادات وتوزيع الشقوق المتشكلة وكانت النتيجة أن الإجهادات الأعظمية الناتجة تتركز فوق منطقة الدواليب الخلفية وفي منطقة التعشيق مع الرأس القاطر، أي أن الشقوق تتشكل في المناطق التي تتعرض للإجهادات الأعظمية وهذا يدل على أن حالة التعب التي تظهر على شكل شقوق ناتجة عن تركيز الإجهادات ، و يبين الشكل (6) توزيع الإجهادات على أجزاء الهيكل.



الشكل (6) التشوه الناتج عن الإجهادات المتشكلة

تم تحديد الحمولة الوسطية التي تتعرض لها المقطورات وذلك من خلال إجراء دراسة إحصائية للحمولات المطبقة وفق مقياس الحوايا التي تقسم إلى ثلاثة أقسام :

- 1- حوايا 20 قدم وزن الحاوية 2200 كغ وحمولتها القصوى 20 طن .
- 2- حوايا 40 قدم وزن الحاوية 4400 كغ وحمولتها القصوى 40 طن .
- 3- حوايا 45 قدم وزن الحاوية 5000 كغ وحمولتها القصوى 45 طن .

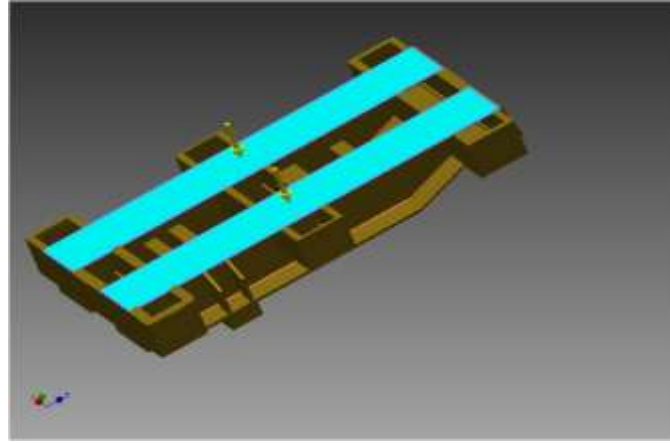
أي أن الحمولة العظمى للمقطورة المحملة بحوايا إذا كانت محملة بحاوية واحدة (45 قدم) هي 50 طن أما الحمولة العظمى إذا كانت محملة بحاوية 40 قدم أو حاويتين 20 قدمي 45 طن وبعد حساب الحمولة الستاتيكية العظمى التي تتعرض لها المقطورة وتبعاً للظروف التشغيلية فإن المقطورة تتعرض أيضاً لحمولة ديناميكية متغيرة تزيد قيمتها عن قيمة الحمولة الستاتيكية بقيمة تتراوح بين (0-30)% من قيمة الحمولة الستاتيكية

$$F_d \max = F_s + 30\% F_s$$

Fd : القوة الديناميكية Fs : القوة الستاتيكية

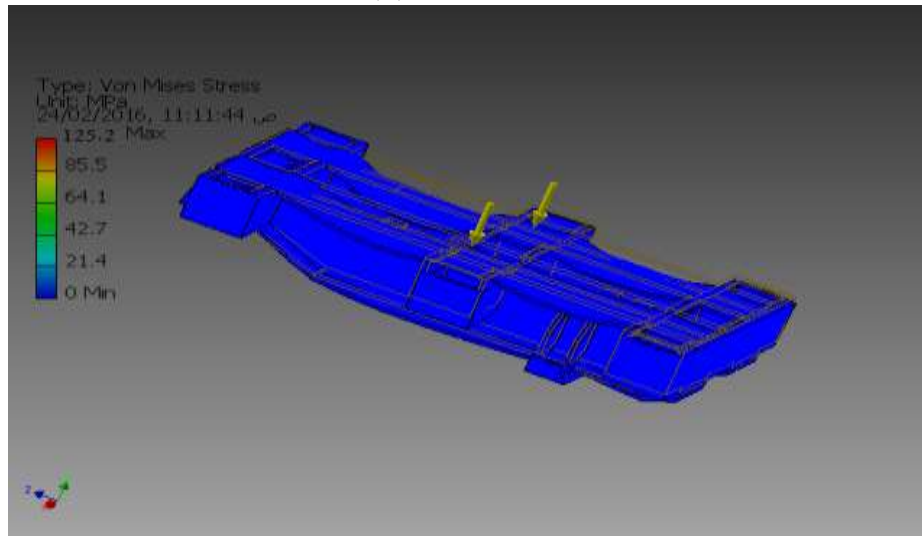
وباعتبار الحمولة الستاتيكية العظمى للمقطورات هي 45 طن فإن الحمولة الديناميكية الناتجة عند تطبيق هذه الحمولة ستكون: 58.5 طن $F_d = 45 * 1.3 = 58.3$

وبذلك تم إدخال قيمة الحمولة العظمى المطبقة على برنامج inventor كما في الشكل (7)



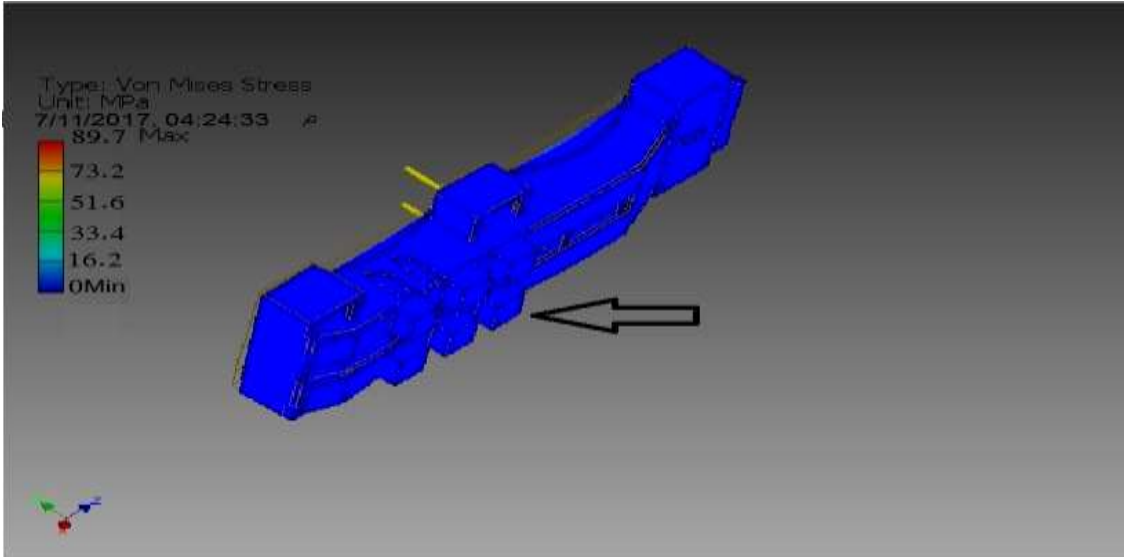
الشكل (7) التحميل

ثم تم إجراء محاكاة لعملية التحميل بهدف معرفة قيمة الإجهاد الأعظمي الناتج عند تطبيق حمولة مقدارها 58.5 طن فكانت قيمة هذا الإجهاد: $S_{max} = 125.2 \text{ Mpa}$ كما يبين الشكل (8).



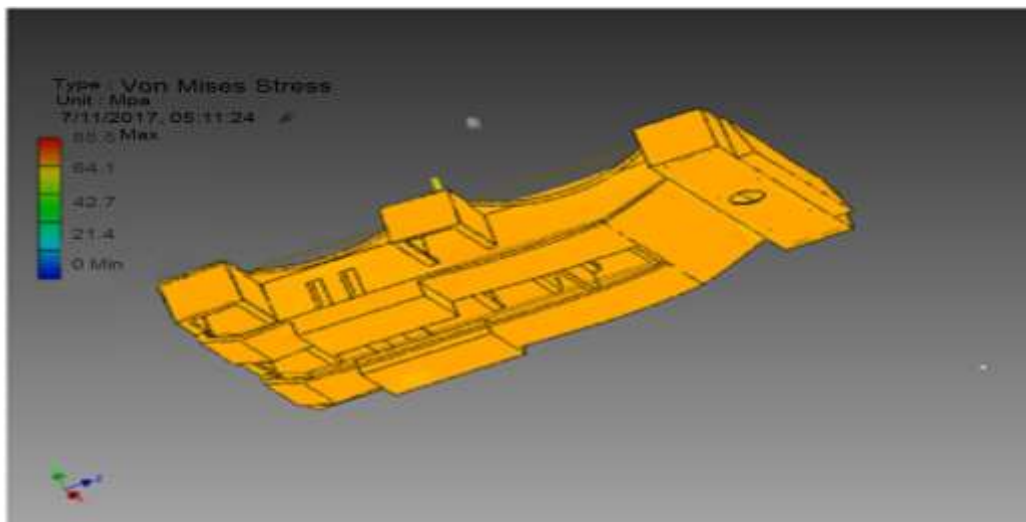
الشكل (8) الإجهاد الأعظمي عند تطبيق الحمولة 58.5 طن

انطلاقاً من أهمية تصميم المعدات وتأثيره على عدد دورات التحميل عند ثبات قيمة الإجهاد [9] تم إجراء تعديل على تصميم المقطورات بإضافة منطقتي اتصال جديدتين مع الدواليب بهدف تقليل القوة الناجمة عن رد فعل في منطقة الدواليب عن طريق توزيع الحمولة وبالتالي تخفيض قيمة الإجهاد الأعظمي الناتج عن تطبيق الحمولة، وتم على البرنامج خلق منطقتي اتصال مضافتين للمنطقة الموجودة مطابقتين لها من حيث الأبعاد ، وتم بعد ذلك إعادة تحميل المقطورات بنفس الحمولة الديناميكية المساوية 58.5 طن فكانت قيمة الإجهاد الناتج (89.7Mpa) كما يبين الشكل (9).



الشكل (9) تعديل تصميم المقطورات

نلاحظ أن قيمة الإجهادات الأعظمية الناتجة تتخفض بشكل كبير عند إجراء تعديل بسيط على تصميم المقطورات حيث انخفضت قيمة الإجهاد الأعظمي من 125.2 Mpa إلى 89.7 Mpa أي أن قيمة الإجهاد الأعظمي الناتج انخفضت بنسبة 28.354% وهذا يعني أن عدد دورات التحميل التي يمكن تطبيقها على المقطورات قبل أن تنهار تحت تأثير التعب يزداد بنفس النسبة وبالتالي فإن العمر التشغيلي للمقطورات سيزداد بنفس النسبة. وبعد إجراء عدة تجارب تمت الملاحظة أنه عند زيادة مساحة منطقة الاتصال مع الدواليب تقل قيمة الإجهاد الأعظمي الناتج، أي أن هناك تناسباً عكسياً بين مساحة منطقة الاتصال وقيمة الإجهاد الناتج عن التحميل كما يبين الشكل (10) حيث بلغت قيمة الإجهاد المتشكل بعد محاكاة عملية التحميل 85.5 Mpa .



الشكل (10) التعديل الثاني للتصميم

الاستنتاجات والتوصيات :

- 1- يمكن من خلال تعديل التصميم زيادة الحمولة الاسمية للمقطورات كما يمكن تحقيق وفر في المادة المستخدمة وبالتالي تحسين الجدوى الاقتصادية لعملية إنتاج المقطورات .
- 2- اعتماد برامج التصميم الهندسي لتحديد الإجهادات الناتجة عن الحمولات المطبقة بحيث لا تتجاوز حد التعب للمادة التي صنعت منها المقطورات.
- 3- عند تغيير التصميم يجب التركيز على منطقة الاتصال بين المقطورة والدواليب فإن إجراء تعديلات بسيطة في هذه المنطقة سيؤدي إلى تغييرات كبيرة في الإجهادات الأعظمية الناتجة عن الحمولات المطبقة وبالتالي فإن إجراء تعديلات في هذه المنطقة يؤدي إلى تغيير كبير في مقاومة المقطورة للتعب .
- 4- يجب إجراء التجارب بشكل مستمر لتطوير تصميم المقطورات بهدف زيادة حمولتها الاسمية وتقليل تكلفة إنتاجها.

المراجع

- 1 .MURAKAMI.Y.*Metal Fatigue*,Ekevier Science Ltd,British,2002,359.
- 2.ROSLER.J, HARDERS .H, BAKER.M .*Mechanical Behaviour of Engineering Materials*,SpringerVerlag,Germany , 2007 , 534.
- 3.CHILDS.T,MAEKAWA.K,OBIKAWA.T, YAMANE.Y.*Metal Machining Theory and Applications*, British Library, British,2000,416.
- 4.MITCHELL.M.R .*Fundamentals of Modern Fatigue Analysis for Design, Fatigue and Fracture*. ASM International, United states,Vol19 , 1996 , 227-249.
- 5.RITCHIE .R.O. *Mechanisms of fatigue-crack propagation in ductile and brittle solids*. International Journal of Fracture,U.S.A.Vol.100, 1999, 55-83.
6. SURESH.S. *Fatigue of Materials*, Cambridge University Press, British. 1991.653.
- 7.BROKER .D . *Elementary Engineering Fracture Mechanics*,4th ed, Kluwer Academic Publishers,United states,1991, 540.
8. DALLY. J. W, RILEY. W. F .*Experimental Stress Analysis*,3rd ed,McGraw-Hill, United states,1991 , 672.
9. JUAN . J . PETERS . O. A .JOSé. C .ARIAS .A.*Differences in cyclic fatigue resistance between pro taper next and pro taper universal instruments at different levels*.Jornal of Endodontics , Vol 40, 2014, 1477-1481.