

التصميم الستاتيكي والديناميكي لجهاز اختبار العينات على التعب بفعل الانعطاف الصرف

م. عبد الرحمن نوار، د. مصطفى طالب

كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة إدلب

الملخص:

حاز موضوع التعب في عناصر الآلات وخاصة تلك المعرضة لقوى ديناميكية متكررة، على اهتمام المهندسين والباحثين، إن هذا العمل يهدف إلى دراسة وتصميم وتصنيع جهاز اختبار عينات معدنية على التعب بفعل الانعطاف الصرف والمتكرر وتقليل الاهتزازات إلى الحد الأدنى. يتألف الجهاز من كتلتين جزئيتين رئيسيتين ونظام تحميل يدوي بالإضافة بعض الملحقات. تقع الكتلة الأولى على يمين الجهاز وهي مزودة بكتلة موازنة للمحرك المركب على الكتلة اليسارية الثانية. كما يحتوي الجهاز على نظام تحميل يدوي ونظام تحكم وقياس سرعة دوران المحرك وعداد الدورات. يهدف العمل إلى اختبار عينات من الفولاذ والألمنيوم على التعب. يعمل نظام التحكم بسرعة الدوران على تحديد السرعة ضمن المجال (0-1600 rpm). أما حساس الدوران والعداد يعملان على تسجيل عدد الدورات اللازمة لانتهاء العينة. تم إنجاز نوعين من الدراسة على الجهاز بوجود عينة فولاذية بمساعدة برمجيات التحليل العددي (ANSYS 19.0). تمت الدراسة الأولى في حالة التحميل الستاتيكي باستخدام (Static Structural) (Solver) والأخرى في حالة التحميل الديناميكي باستخدام (Transient Structural) (Solver)، بالإضافة إلى إيجاد الترددات الطبيعية والأشكال النمطية لمنصة الاختبار (Modal Analysis).

الكلمات المفتاحية: تعب المعادن، اختبار التعب، عينات اختبار التعب، الانعطاف الصرف

Static and Dynamic Design of Fatigue Testing Machine of Specimens Due to Pure Bending

Abd Alrahman Nawwar, Dr. Mostafa Taleb

Abstract:

Due to the importance of fatigue in designing the components of machines, and due to the priority that engineers give to this subject, fatigue testing machine has been designed and manufactured. This project is based on the design and fabrication of major components of fatigue testing machine. It aims to design a machine that can test fatigue in specimens resulted from repeated pure bending. It also aims to decrease the vibrations in the apparatus to a minimum. The machine is consisted of two main sub-assemblies and a manual load system, in addition to rotational speed control system and revolution counter. The first one is on the right-hand side with the mass equivalent to an electrical motor on the left-hand side. The machine aims to test standard specimens of steel alloy and aluminum alloy. Speed control system aims to create a rotational speed limit of (0 - 1600 rpm). Revolution counter aims to register the number of revolutions required to achieve failure. Two types of analyses were achieved by the help of FEA software (ANSYS). The first is static study and the second is transient study, in addition to modal analysis of table testing.

Key words: fatigue, fatigue test, specimens for fatigue, pure bending

1- أهمية ومبررات البحث:

تعريف التعب (Fatigue) هو الانهيار المفاجئ (Sudden Failure) للعناصر الإنشائية المعرضة لحمولات ديناميكية متكررة أثناء عملها بعد عدد معين من دورات التحميل (N Cycles). إن موضوع التعب ذو أهمية قصوى في المجال الهندسي للعناصر الإنشائية التي تتعرض للاهتزاز وخاصة في الأجسام الطائرة والقطارات والأجزاء المتحركة في جميع أنواع الآلات والجسور المعلقة ... الخ. وتشير الإحصائيات إلى أن أكثر من (90%) من الانهيارات في العناصر الإنشائية في المنشآت الهندسية تحدث بفعل التعب والشواهد على ذلك كثيرة [1].

إن خطورة الانهيار بالتعب تتضمن حصوله بدون إنذار مسبق، لذلك أخذت ظاهرة التعب (الكلال) جانباً مهماً من البحوث والدراسات التي تعالج فشل المعادن، إذ تركزت هذه البحوث والدراسات على طبيعة التعب وآلية الكسر ابتداء من تكون الشقوق وسلوكها خلال فترات نموها وانتهاء بالعمر العملي للأجزاء التي تتعرض إلى الإجهادات المتكررة التي تسبب التعب [2].

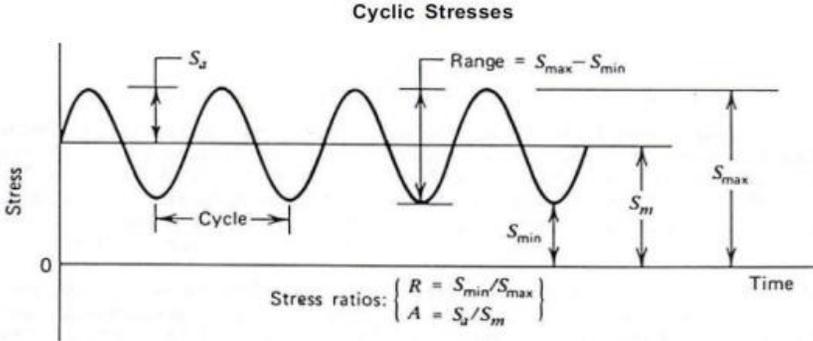
ويعتبر التحميل المتكرر ذا أهمية كبيرة في التطبيقات الهندسية إذ قد تتحمل المادة إجهاداً معيناً في حالة التحميل الستاتيكي بينما تنهار هذه المادة تحت تأثير نفس الإجهاد إذا كان مكرراً بعدد معين من دورات التحميل حتى لو كان الإجهاد أقل من إجهاد الخضوع. كما هو موضح بالشكل (1).



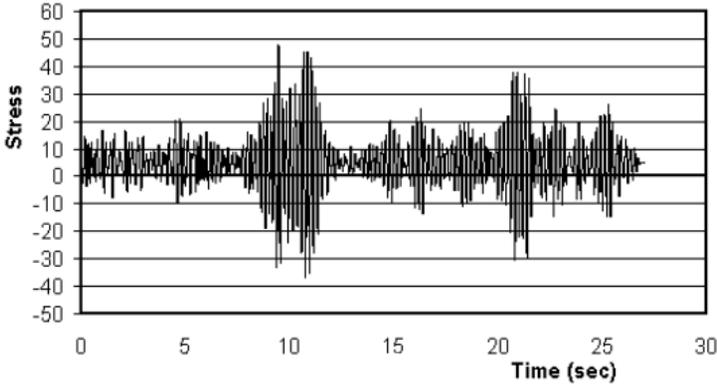
الشكل (1) حدوث التعب المبكر

2- الدراسة المرجعية:

تتعرض العديد من أجزاء الآلات للانهايار نتيجة للإجهادات الميكانيكية لأسباب تصميمية أو ميتالورجية، مما يسبب لها التعب أثناء حياتها في الآلة. ويمكن ان تسبب الحمولات المتكررة إجهادات دورية أو عشوائية حسب طبيعتها كما هو مبين في الشكلين (1) و(2)، [3].

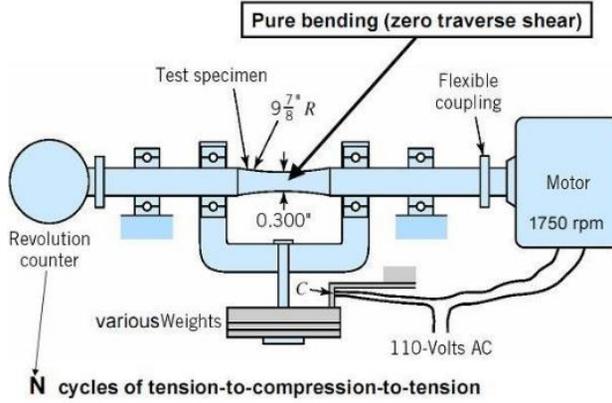


الشكل (2) حمولة دورية متكررة (Cyclic Load)



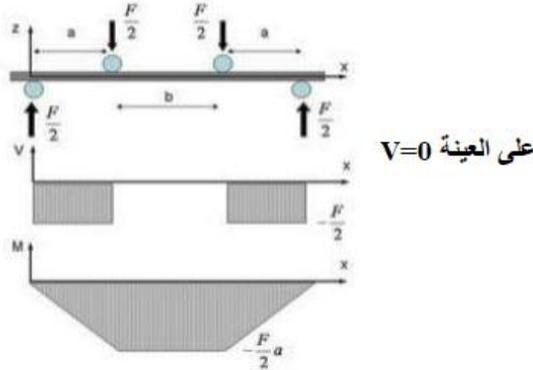
الشكل (3) حمولة عشوائية (Fluctuating Load)

ويمكن أن تكون الحمولة المتكررة حمولة شد أو ضغط أو شد و ضغط معاً أو فتل، كما يمكن أن تكون حمولة الانعطاف مترافقة مع قص (Shear Force) أو انعطاف صرف (Pure Bending) أو حمولات مركبة تظهر الأشكال (4-5-6-7) بعض أجهزة اختبارات التعب إذ إن موضوع التعب حاز وبشكل واسع على اهتمام المهندسين والباحثين في علم المواد [4].



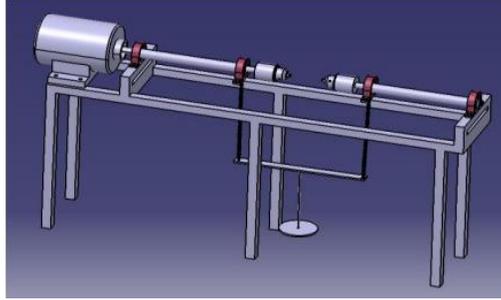
الشكل (4) مخطط لآلة اختبار على التعب بفعل الانعطاف الصرف (Pure Bending) [6]

برسم مخططي الجهد القاطع وعزم الانعطاف اللذين تتعرض لهما العينة في هذا الجهاز نجد أن الجهد القاطع ($V=0$) وبالتالي تتعرض العينة للانعطاف فقط وبقيمة ثابتة مقدارها ($M = \frac{F}{2} a$) حيث (F) مقدار الوزن المعلق و (a) هي المسافة منتصف العينة (مركز ثقل الحمل المعلق) ونقطة التعليق كما هو موضح بالشكل رقم (5)، أما بالنسبة للإجهاد الذي تتعرض له العينة فهو ($\sigma = \frac{M \cdot d}{I}$) حيث (d) قطر العينة و (I) عزم عطالة مقطعها.

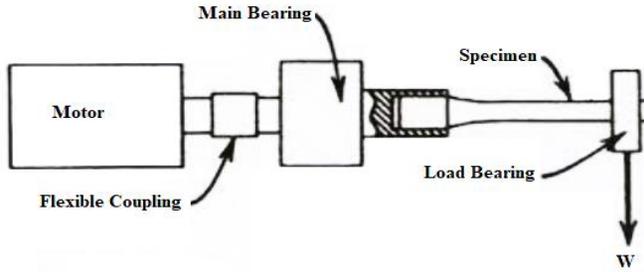


الشكل (5) مخطط الجهد القاطع (V) وعزم الانعطاف (M) (Bending Moment) المطبقين على العينة في الجهاز المبين في الشكل (4)

كما يوجد أشكال أخرى لهذا الجهاز والتي تعمل بمبدأ مشابه لمبدأ عمل الآلة المبينة في الشكل (4) السابق منها:

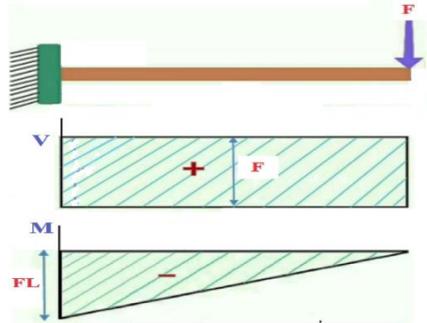


الشكل (6) آلة اختبار على التعب بفعل الانعطاف [5]



الشكل (7) مخطط لآلة اختبار على التعب بفعل الانعطاف مع جهد قاطع [7]

أيضاً برسم مخططي الجهد القاطع وعزم الانعطاف اللذين تتعرض لهما العينة في الجهاز المبين بالشكل (7) نجد أن الجهد القاطع ($V \neq 0$) وقيمته مقدار الحمولة المطبقة وأن عزم الانعطاف غير ثابت القيمة كما في الشكل (8).



الشكل (8) مخطط الجهد القاطع (V) وعزم الانعطاف (M) (Bending Moment) المطبقين على العينة في الجهاز المبين في الشكل (7) حيث: (L) طول العينة

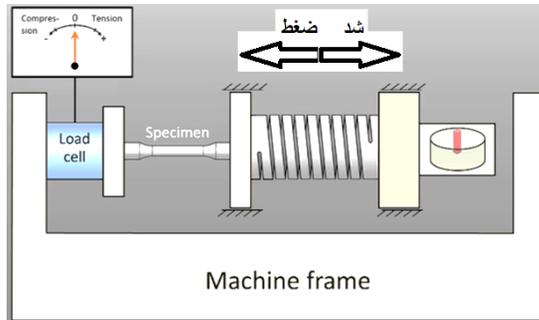
يبين الشكل (9) جهاز اختبار على التعب بفعل الفتل، حيث أن أحد فكي الآلة ثابت والآخر يدور بزواوية معينة بالاتجاهين مع وعكس عقارب الساعة.

Angle control
Test Frequency 1Hz
Amplitude +/- 6°
Test mode : sine-wave



الشكل (9) مخطط لآلة اختبار على التعب بفعل الفتل [8]

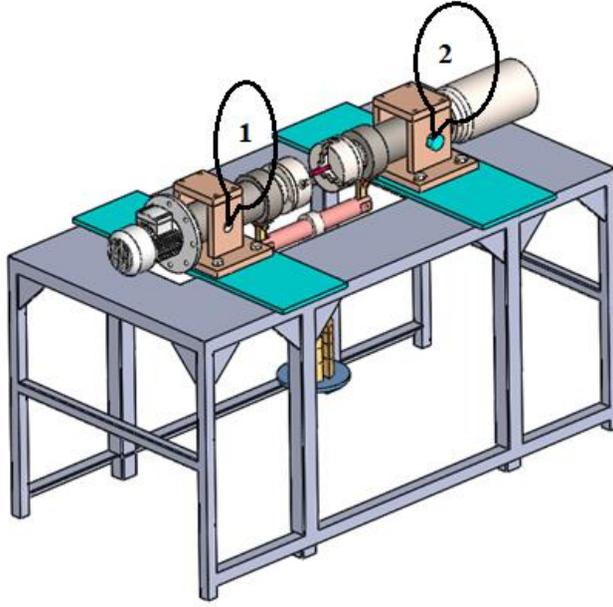
أما الشكل (10) فيبين مخطط لآلة اختبار على التعب بفعل الشد والضغط، حيث يقوم القرص اللامركزي (على يسار الشكل) بتطبيق حمولة شد وضغط على النابض والذي يقوم بدوره بنقل الحمولة إلى العينة ومن ثم إلى خلية الحمولة (Load Cell) والتي تمكن من قياس الحمولة المطبقة على العينة.



الشكل (10) مخطط لآلة اختبار على التعب بفعل الشد والضغط [9]

في هذا المشروع تم اعتماد فكرة الجهاز المبين بالشكل (4)، حيث تم استبدال الوصلة المرنة عدد (2) (Flexible Coupling) بمفصلين دوارين ليؤمننا الحركة الدورانية

حول المحور العرضي لدى تطبيق الحمولة، أما الحركة الدورانية حول المحور الطولي فيؤمنها محرك الدوران المركب على يسار الجهاز كما هو مبين في الشكل (11). وإن ما يميز المفصل الدوراني عن الوصلة المرنة في هذا الجهاز أنه ينقل عزم الانعطاف إلى العينة بشكل مستمر.



الشكل (11) الشكل التجميعي النهائي لجهاز الاختبار مع منصة الاختبار

3- المنهجية: Methodology

- 1- تحضير المخططات الأولية باستخدام برامج الرسم التصميمي بمساعدة الحاسب (CAD software).
- 2- اختيار المقاطع المناسبة من أجل امتصاص الاهتزازات.
- 3- اختيار المحرك والمتحرجات (Bearings) المناسبة.
- 4- اختيار ماسك العينة المناسب لمسك العينة من جهة ولموازنة كتلة المحرك من جهة أخرى.
- 5- تصميم نظام التحميل اليدوي للتعامل مع حمولات متغيرة.
- 6- اختيار حساس دوران مناسب موصول مع عداد دورات (ست خانات).

- 7- اختيار حساس لفصل التيار الكهربائي عن المحرك لدى كسر العينة.
- 8- اختيار المقوم (Inverter) المناسب للتحكم بسرعة الدوران ابتداءً من الصفر.
- 9- رسم المخططات النهائية للجهاز باستخدام برنامج (Solid works).
- 10- تصنيع القطع.
- 11- تحضير منصة الاختبار
- 12- تحضير قاعدة بيتونية لتركيب منصة الاختبار
- 13- التجميع والتركيب والمعايرة مع وضع مخمدات مطاطية بين المنصة وكتلتي الجهاز.

4- مشاكل آلية الاختبار : Proplems of testing machine

4-1- مشاكل المحاذاة والموازنة: Alignment and Balance issues

- ◀ - موازنة كتلة المحرك مع كتلة الماسك Universal chuck حول محور الدوران العرضي للجهاز.
- ◀ - حساب كتلة مكافئة لكتلة المحرك من حيث الكتلة ومركز الثقل حول محور الدوران العرضي للجهاز.
- ◀ - ضبط المحورية حول المحور الطولي للآلية لتفادي حمولات إضافية على العينة أثناء الاختبار.
- ◀ - ضبط نظام التحميل اليدوي بحيث يمكن تطبيق حمولات ناظميه متناظرة على العينة.
- ◀ - ضبط أفقية منصة الاختبار (طاولة الاختبار).

4-2- المشاكل الإنشائية: Structural issues

- ❖ - تمت المبالغة في جميع أبعاد عناصر الآلية للتغلب على الاهتزازات الناجمة عن دوران المحرك (Resonance) من ناحية ولكيلا تؤثر تشوهات عناصر الجهاز على دقة القياس.

❖- تمت المبالغة في متانة وتقوية منصة الاختبار من أجل نفس الأسباب المذكورة أعلاه ولتجنب حادثة الطنين (Resonance).

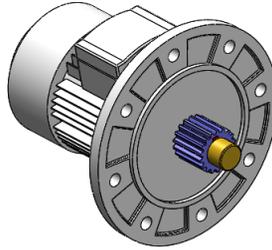
5- التصميم واختيار العناصر الرئيسية للجهاز main components of machine

يتكون جهاز الاختبار بشكل أساسي من ثلاث كتل رئيسية:

5-1- الكتلة اليسارية: وتتألف من:

5-1-1- Motor

- تم اختيار محرك دوران ثلاثي الطور باستطاعة ($P = 1 \text{ hp} \cong 0.75 \text{ kw}$) مزود بفلنجة من الأمام (الشكل (12)).
- سرعة الدوران الاسمية ($n = 900 \text{ RPM}$).
- سرعة الدوران الأعظمية ($n = 1600 \text{ RPM}$). تم تحديد سرعة الدوران هذه حتى لا يكون تردد الإجهاد المطبق على العينة عالياً جداً. (الشكل (4))
- كتلة المحرك ($m = 10 \text{ Kg}$) تقريباً.
- تمت إزالة أرجل المحرك لعدم الحاجة إليها ولتخفيف كتلته.
- تم تثبيت المسنن على محور الدوران عن طريق خابور يربط بينهما.

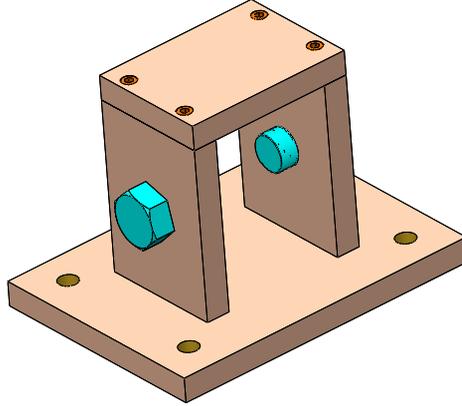


الشكل (12) محرك الدوران مع المسنن

5-1-2- كتلة القاعدة اليسارية مع براغي التمثفصل للدوران حول المحور

العرضي:

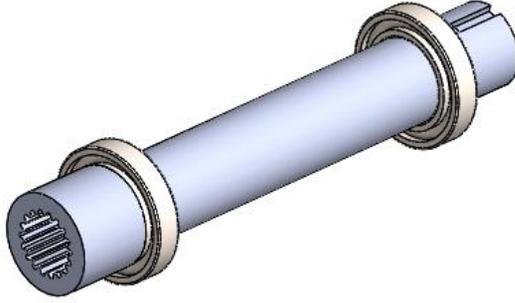
- تتألف كتلة القاعدة اليسارية من أربع قطع ترتبط فيما بينها بأربعة براغي غاطسة (M8) من الأعلى ومن الأسفل. سماكة كل من القطع الأربع (20 mm) كما في الشكل (13).
- يتم تثبيت القاعدة على طاولة الاختبار بواسطة أربع براغي (M16).
- يتوسط الطرفين الجانبيين لكتلة القاعدة ثقب بقطر (30 mm) لتثبيت محور التمثفصل.
- تم فتح شرار في نهاية براغي التمثفصل بطول (15 mm) من أجل تثبيت الأسطوانة عليها.



الشكل (13) كتلة القاعدة اليسارية مع براغي التمثفصل

5-1-3- محور نقل الحركة من المحرك: (الشكل (14))

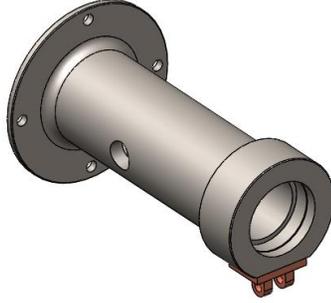
- ▲ قطر محور نقل الحركة من طرف المحرك ($D = 60 \text{ mm}$) بطول ($L_1 = 48.5 \text{ mm}$) ومن الطرف الآخر بقطر ($d = 50 \text{ mm}$) وبطول ($L_2 = 298.5 \text{ mm}$).
- ▲ يرتكز محور نقل الحركة من طرفيه على مدحرجتين من نوع (Radial ball bearing Din 625-6010).
- ▲ سرعة الدوران المسموح بها أكثر من ($n > 1600 \text{ RPM}$).
- ▲ تم فتح مجرى لخابور لتثبيت الفلنجة على المحور.



الشكل (14) محور نقل الحركة

5-1-4- الجسم الأسطواني اليساري:

- * طول الجسم الأسطواني كاملاً ($L = 315.5 \text{ mm}$) وبقطر خارجي ($D = 100 \text{ mm}$)
- * تم تثبيت المحرك على الجسم الأسطواني عن طريق فلنجة مماثلة لفلنجة المحرك عن طريق أربعة براغي ($M10$).
- * تمت إضافة كتلة إضافية من أجل موازنة كتلة المحرك.
- * تم تزويد الجسم الأسطواني بتقنين جانبيين بشرار داخلي متعامدين مع المحور الطولي لتحقيق الدوران حول المحور العرضي.
- * تم تحديد موقع الثقوب الجانبية في مركز ثقل كل من المحرك والجسم الأسطواني ومحور الدوران
- * يتم تثبيت الطرف الأول لنظام التحميل على الجسم الأسطواني عن طريق قطعة وسيطة بينهما.
- * تم تحديد موقع الثقوب الجانبية في مركز ثقل الكتلة اليسارية بعد تجميعها تجريبياً كما في الشكل (15).



الشكل (15) كتلة الأسطوانة اليسارية

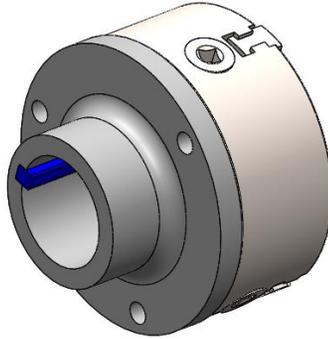
5-1-5- الفلنجة وماسك العينة Flange and lathe chuck (الشكل

((16))

✧ تم تصميم وصلة ملائمة بين محور نقل الحركة وماسك العينة

✧ يرتبط محور نقل الحركة مع الفلنجة بواسطة خابور.

✧ تربط الفلنجة مع لماسك عن طريق ثلاثة براغي (M10).



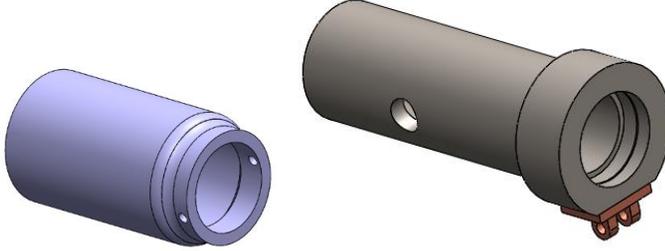
الشكل (16) الفلنجة مع ماسك العينة

5-2- الكتلة اليمينية: (الشكل (17))

تختلف الكتلة اليمينية عن الكتلة اليسارية بما يلي:

- ❶ لا يوجد محرك دوران بل يوجد كتلة مكافئة له من حيث الكتلة ومركز الثقل.
- ❷ محور نقل الحركة (لا يوجد فيه مسنن داخلي كما في المحور السابق)
- ❸ لا يوجد فلنجة على الكتلة الأسطوانية اليمينية لعدم الحاجة إليها.

4 تم احداث التقوب في الكتلة الأسطوانية اليمينية على نفس البعد من مقدمتها كما في الكتلة الاسطوانية اليسارية تماماً.



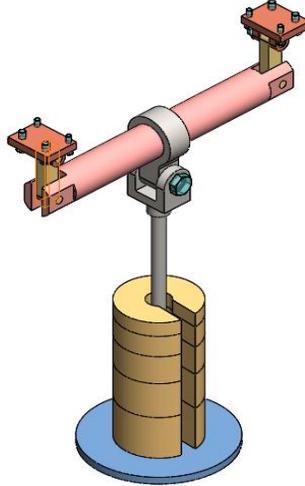
الشكل (17) الأسطوانة اليمينية مع كتلة موازنة المحرك

5-3- نظام التحميل : Load system

يتألف نظام التحميل من مجموعة من القطع إما متمفصلة مع بعضها البعض عن طريق محاور أو مثبتة بواسطة شرار.

☆- يمكن تطبيق كتل مختلفة وبحجوم مختلفة عن طريق هذا النظام.

☆- تم ضبط مركز ثقل نظام التحميل الأفقي على مركز ثقل العينة الأفقي تماماً كما في الشكل (18).

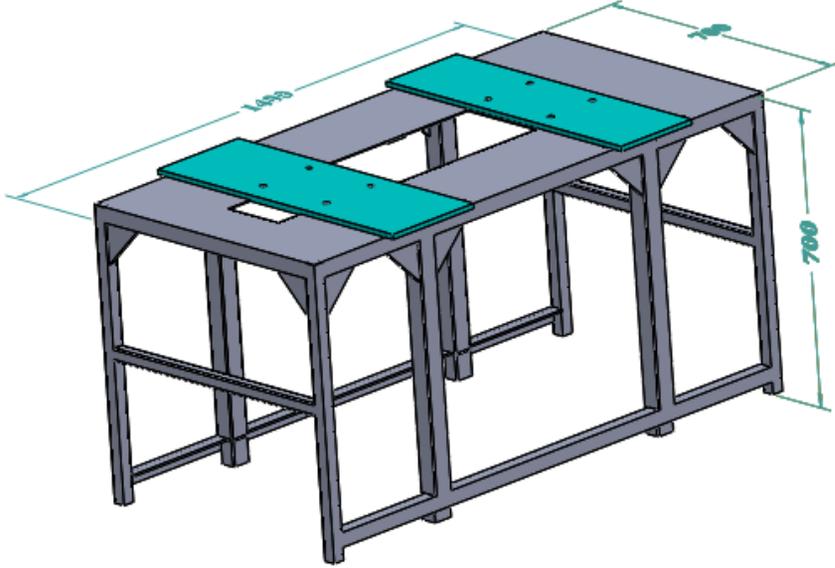


الشكل (18) نظام التحميل

5-4- ملحقات الجهاز :

5-4-1- منصة الاختبار

- ❖- تم تصنيع منصة الاختبار (الطاولة) من مقاطع وصفائح فولاذية.
- ❖- تم إحداث الفتحات الضرورية في سطح الطاولة من أجل تركيب نظام التحميل والمحرك.
- ❖- تم تدعيم الطاولة من اجل تجنب التشوهات والاهتزاز أثناء العمل ومن أجل رفع الترددات الطبيعية الأولى لتجنب ظاهرة الطنين (Resonance).
- ❖- التردد الطبيعي الأول المحرض من قبل المحرك أثناء العمل عند سرعة الدوران الاعظمية ($f = 26.66 \text{ HZ}$).
- ❖- يتم تركيب كتلتي الجهاز على الصفيحتين ذواتي السماكة (12 mm) والمثبتتين على سطح الطاولة باللحام كما في الشكل (19).



الشكل (19) طاولة (منصة) الاختبار

5-4-2- حساس الدوران مع العداد



الشكل (20) حساس الدوران مع العداد

5-4-3- حساس فصل الدارة الكهربائية لدى كسر العينة



الشكل (21) حساس الفصل

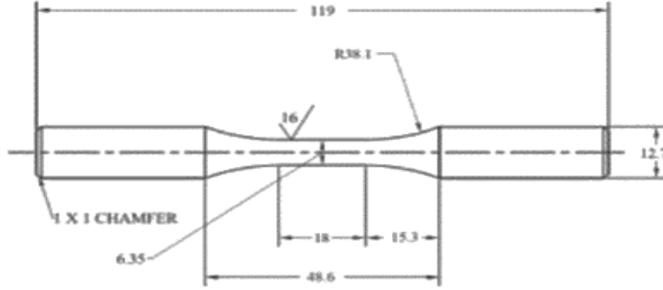
5-4-4- عينة الاختبار: Specimen

وهي عينة قياسية من فولاذ النقل أو الناقل للحركة (transmission Steel) وهو مصطلح مستخدم في مواصفة [10].

(SAE 1008 - SAE 1010 - SAE 1012 - SAE 1013 VE ST-37)

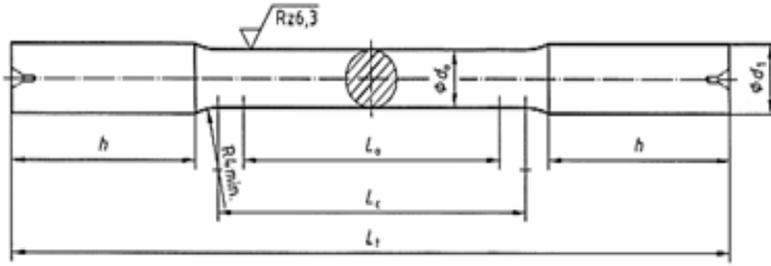
من الفولاذ، وهو فولاذ قابل للحام بشكل ممتاز لاحتوائه على نسب منخفضة من الكربون كما يحتوي على نسبة من المنغنيز (Mn) الذي يرفع من حد متانته (Ultimate Strength)، كما أنه رخيص الثمن ومتوفر بشكل قضبان وصفائح. هذه الخصائص لهذا النوع من الفولاذ تجعله يستخدم في أجزاء الآلات والسيارات والأبراج بشكل واسع. تم اختيار العينة القياسية المبينة في الشكل (22) وفقاً لـ:

(ASTM standard E606/E606M-12)



الشكل (22) عينة الاختبار على التعب [11]

تم إجراء اختبار شد لعينتي شد قياسييتين لتحديد بعض المواصفات الميكانيكية لمعدن العينة على جهاز الشد المتوفر لدى جامعة شام العالمية وكانت النتائج كما في الجدول (1).



الشكل (23) عينة اختبار الشد [12]

الجدول (1) نتائج اختبارات الشد

العينة الثانية	العينة الأولى	المواصفة
51.3	50.51	الحمولة الأعظمية (KN)
654.14	643.5	الإجهاد الأعظمي (MPa)
559.5	572	إجهاد الخضوع (MPa)
6.2	6.3	الاستطالة (mm)
12.4	12.6	الانفعال الأعظمي (%)
2.5	5	سرعة التحميل (mm/min)

ولدى مقارنة نتائج اختبار العينات مع أصناف الفولاذ الأخرى نجد أن المواصفات الميكانيكية لفولاذ النقل المستخدم قريبة من المواصفات الميكانيكية للفولاذ (AISI 1045 Medium Carbon). يبين الجدول (2) التركيب الكيميائي لهذا الفولاذ، والجدول (3) يبين بعض الخصائص الميكانيكية له [13].

الجدول (2) التركيب الكيميائي للفولاذ (AISI 1045 Medium Carbon)

Carbon	Silicon	Manganese	Phosphorus	Sulphur
0.45%	0.25%	0.75%	0.05% max	0.05% max

الجدول (3) المواصفات الميكانيكية للفولاذ (AISI 1045 Medium Carbon) [13].

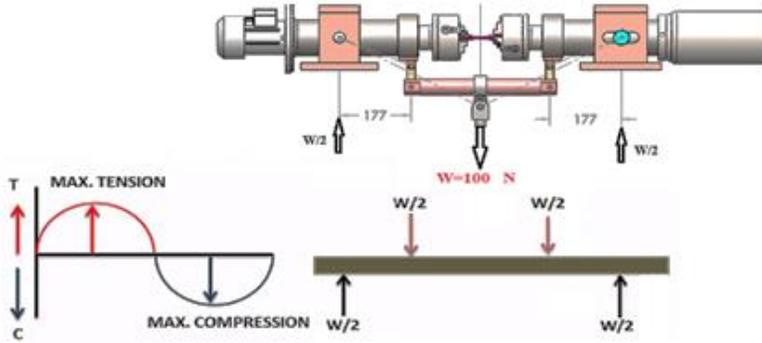
Finish	Yield Strength MPa	Tensile Strength MPa	Elongation %	Hardness HB
Cold Drawn	500-650	640-850	8 min	190-270



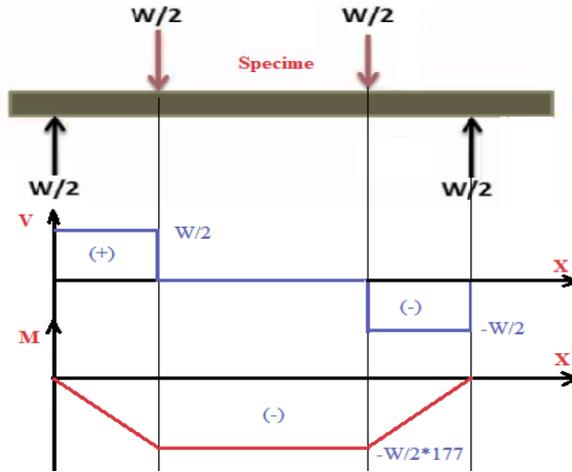
الشكل (24) صورة حقيقية لجهاز الاختبار في حال العمل

6- الدراسة النظرية:

يوضح الشكل رقم (25) القوى الخارجية المؤثرة على العينة وكذلك نوع التحميل أثناء الدوران والتبادل بين الشد والضغط على الألياف الخارجية للعينة بشكل دوري. أما الشكل (26) فيبين قوى القص وعزم الانعطاف على طول العينة. ويلاحظ أن قوى القص معدومة على طول العينة، أما قيمة عزم الانحناء فهي ثابتة على طول محور عينة الاختبار ومقدارها $\left(\frac{W}{2} * 177 \text{ N} \cdot \text{mm}\right)$.



الشكل (25) تمثيل للقوى التي تتعرض لها العينة



الشكل (26) مخطط الجهد القاطع (V) ومخطط عزم الانعطاف (M)

7- التحليل باستخدام العناصر المنتهية: Finite Element Analysis (FEA)

تم إجراء نمذجة ومحاكاة للجهاز بوجود العينة الفولاذية بطريقة العناصر المنتهية (FEM) باستخدام برنامج التحليل الإنشائي (ANSYS Workbench) في كل من الحالات التالية:

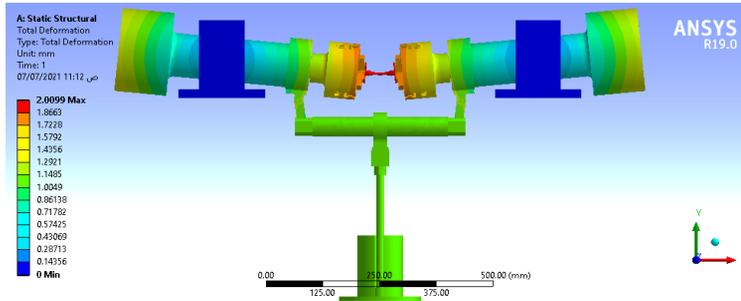
- 1- التحميل الستاتيكي باستخدام الـ (Solver) (Static Structural).
 - 2- التحميل الديناميكي بدون احتكاك باستخدام الـ (Solver) (Transient Structural).
 - 3- التحميل الديناميكي مع الاحتكاك باستخدام الـ (Solver) (Transient Structural).
 - 4- إيجاد الترددات الطبيعية (Natural Frequencies) والأشكال النمطية (Mode Shape) لطاولة الاختبار باستخدام برنامج (SOLIDWORKS 2019 Simulation).
- تمت الدراسة الستاتيكية والديناميكية على الحمولة المبينة في الشكل (25)، وذلك من أجل تقدير الإجهادات في العينة. هذه الحمولة ناتجة عن تطبيق كتلة مقدارها (10 Kg) تقريباً.

7-1- التحليل الستاتيكي:

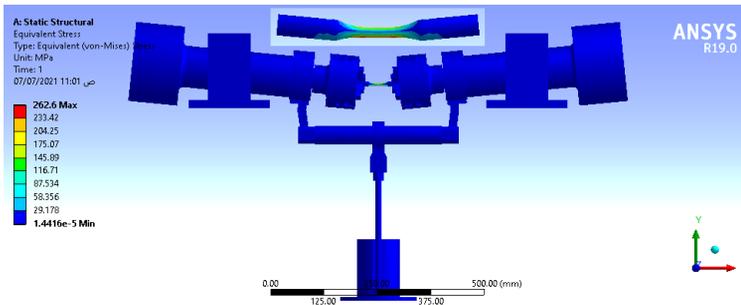
❖ لزوم إجراء التحليل الستاتيكي:

- 1- تخضع عناصر الجهاز في حالة التوقف للحمولات الستاتيكية والإجهادات الناجمة عن هذه الحمولات يجب ان تكون صغيرة بالمقارنة مع الإجهادات في العينة.
- 2- لمعرفة مقدار الإجهادات والانفعالات والانتقالات في العينة في حالة التحميل الستاتيكي.
- 3- الحمولات (الإجهادات) التي يتم تطبيقها أثناء اختبارات التعب هي نسبة مئوية من الحمولة الاعظمية (Ultimate Load) التي تتحملها العينة في حالة التحميل الستاتيكي.

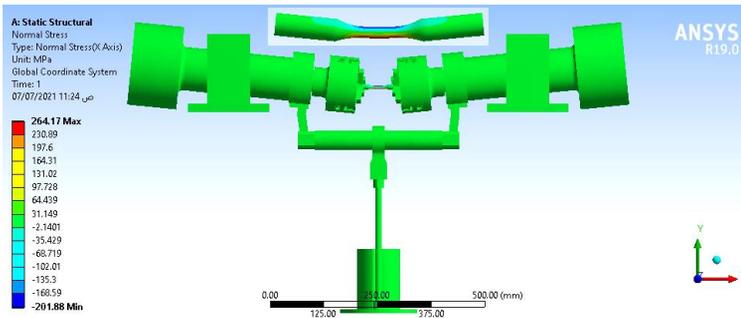
4- لمعرفة الحمولة التي تصل فيها الإجهادات في العينة إلى حد الخضوع (Yield Stress) والذي يحدد في حالة التحميل الستاتيكي لأنه يفترض أن يكون حد التعب (Endurance Limit) هو أقل من حد الخضوع (من أجل المقارنة). وتبين الأشكال (27) و(28) و(29) نتائج الدراسة.



الشكل (27) توزيع التشوهات (Total Deformation) في العينة والجهاز



الشكل (28) توزيع الإجهاد المكافئ (Equivalent Stress) في العينة والجهاز



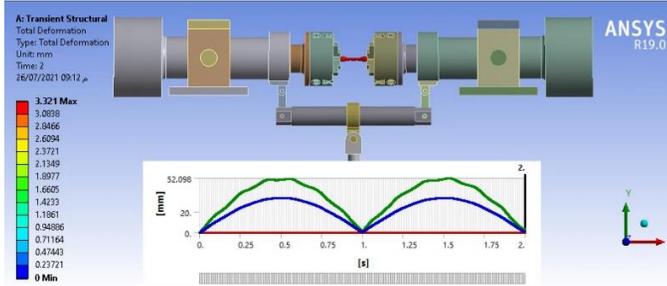
الشكل (29) توزيع الإجهاد الناظمي (Normal Stress) في العينة والجهاز

7-2- التحليل الديناميكي:

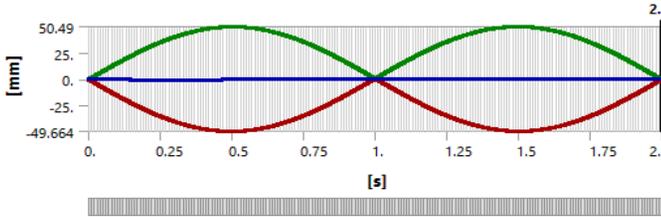
تم إجراء التحليل الديناميكي في حالتين: الأولى بدون احتكاك اي ($f = 0$) والثانية بوجود احتكاك حيث تم فرض معامل الاحتكاك ($f = 0.04$) ومعرفة كل من الإجهادات والإنفعالات والانتقالات في العينة.

7-2-1- بدون احتكاك: Frictionless

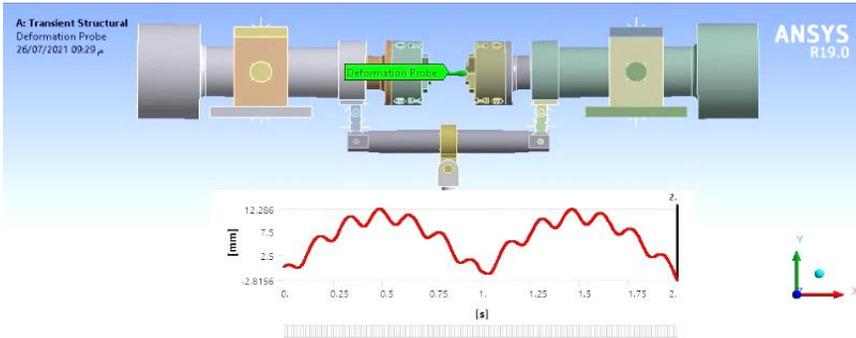
تبين الأشكال (30، 31، 32، 33، 34) نتائج الدراسة في هذه الحالة.



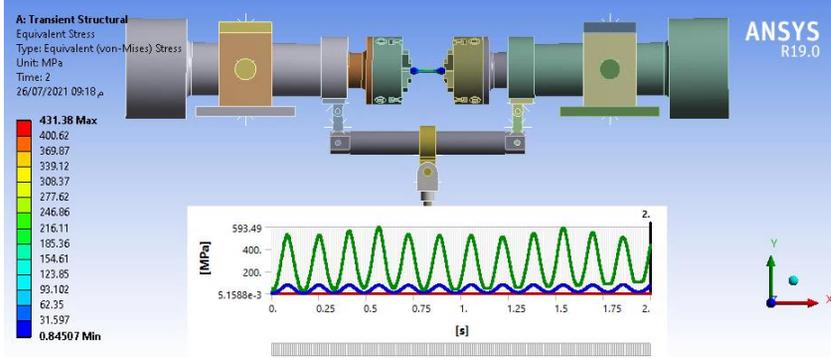
الشكل (30) توزيع التشوه الكلي (Total Deformation) في العينة والجهاز



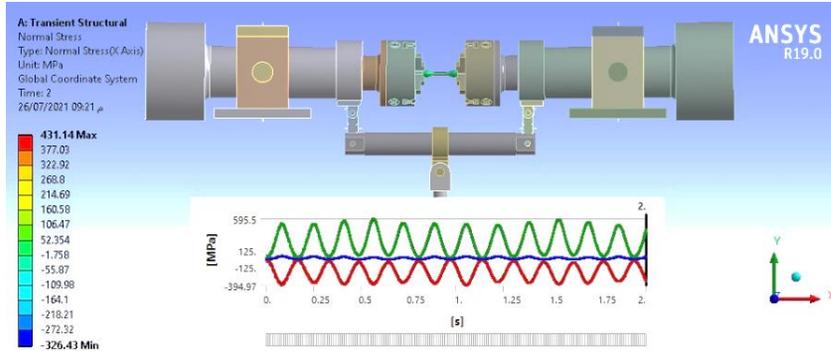
الشكل (31) توزيع التشوه الاتجاهي (باتجاه المحور (Y) Directional Deformation) في الجهاز



الشكل (32) توزيع التشوه الاتجاهي (باتجاه المحور (Y)) (Directional Deformation في العينة)



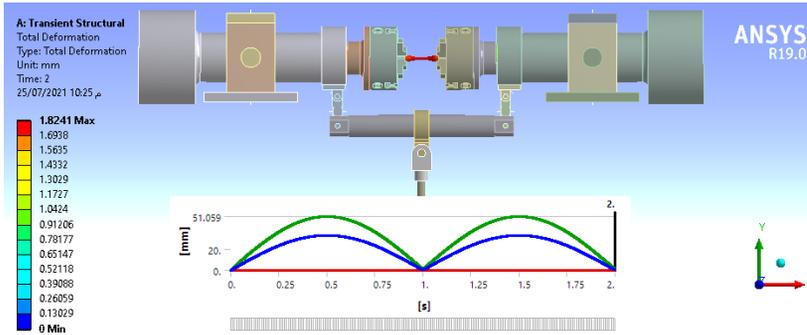
الشكل (33) توزيع الإجهاد المكافئ (Equivalent Stress) في العينة



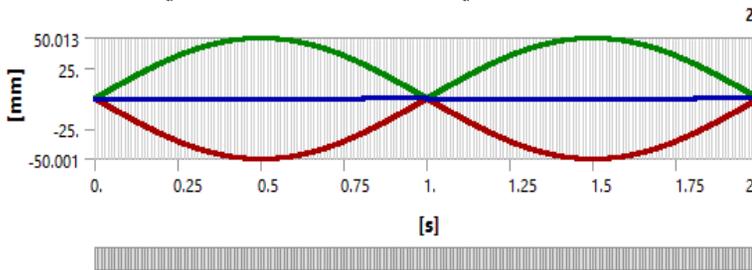
الشكل (34) توزيع الإجهاد الناظمي (Normal Stress) في العينة

7-2-2- Frictional احتكاك مع

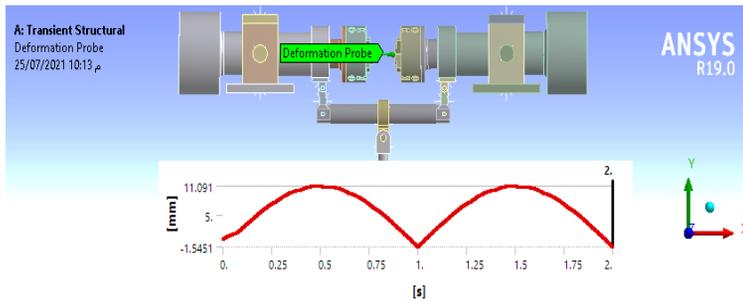
تبيين الأشكال (35، 36، 37، 38، 39) نتائج الدراسة.



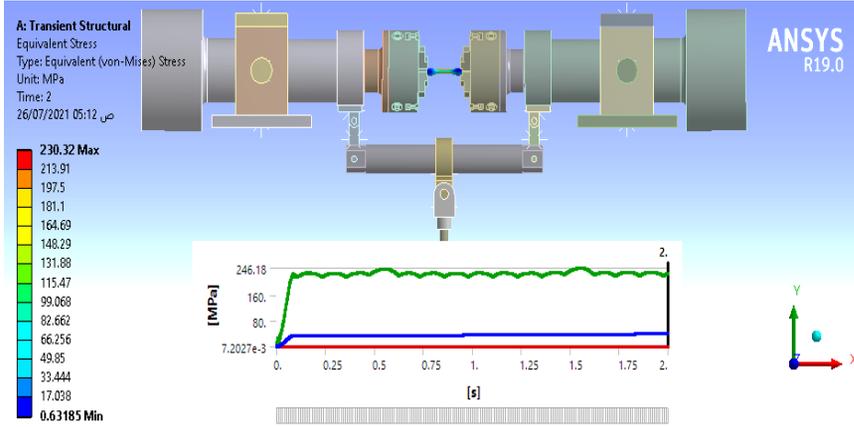
الشكل (35) توزيع التشوه الكلي (Total Deformation) في العينة والجهاز



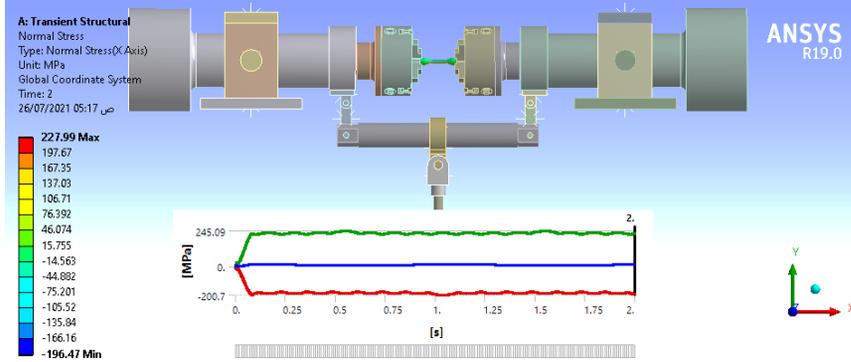
الشكل (36) توزيع التشوه الاتجاهي (باتجاه المحور (Y) Directional Deformation) في العينة



الشكل (37) توزيع التشوه الاتجاهي (باتجاه المحور (Y) Directional Deformation) في العينة



الشكل (38) توزيع الإجهاد المكافئ (Equivalent Stress) في العينة



الشكل (39) توزيع الإجهاد الناظمي (Normal Stress) في العينة

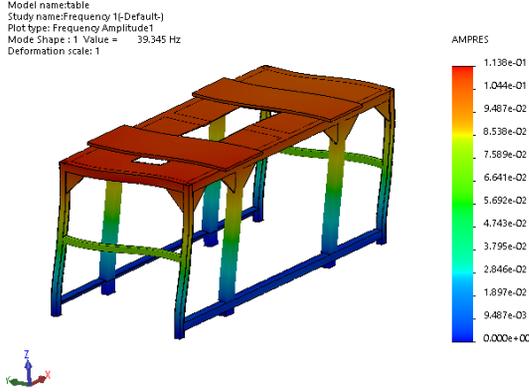
7-3- إيجاد الترددات الطبيعية والاشكال النمطية لطاولة الاختبار: Modal

Analysis

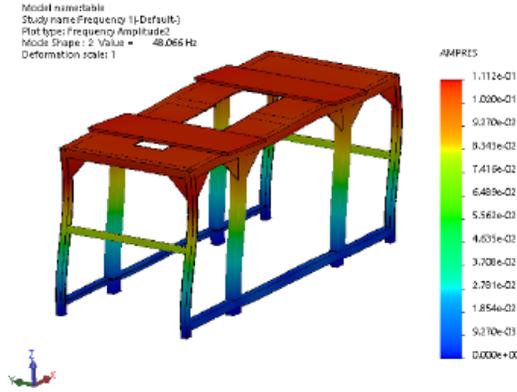
أهمية الدراسة:

يجب إجراء هذه الدراسة لمعرفة قيم الترددات الطبيعية الأولى لعناصر طاولة الاختبار خشية أن تتعرض هذه الترددات أثناء عمل المحرك، وبالتالي الحصول على توافق بتردد الاهتزاز بين تردد المحرض (المحرك) وأحد الترددات الطبيعية لأحد مكونات طاولة الاختبار أي ما يعرف بالطين (Resonance). تم اعتبار أن منصة الاختبار مثبتة بالأرض من قوائمها الستة كما في الشكل (19).

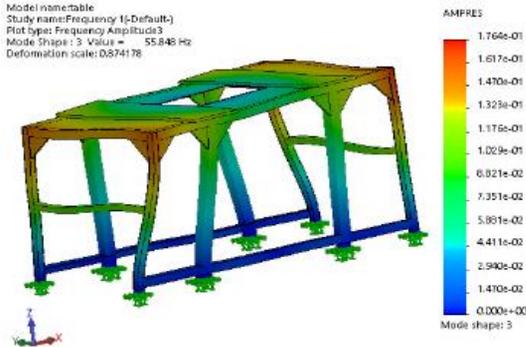
تبين الأشكال (40)، و(41)، و(42) الأشكال النمطية لاهتزاز منصة الاختبار، كما يبين الجدول (5) قيم الترددات الطبيعية الثلاثة الأولى لها.



الشكل (40) نمط الاهتزاز الأول (mode shape 1)



الشكل (41) نمط الاهتزاز الثاني (mode shape 2)



الشكل (42) نمط الاهتزاز الثالث (mode shape 3)

8- النتائج: Results

يمكن تلخيص القيم الأعظمية لنتائج الدراسة بالجدول (4):

الجدول (4) ملخص نتائج الدراسة

التحميل الديناميكي		التحميل الستاتيكي (f=0.04)	الخصائص
مع احتكاك (f=0.04)	بدون احتكاك		
100 N	100 N	100 N	الحمولة المطبقة
2 S	2 S	-	الزمن
60 rpm	60 rpm	-	سرعة الدوران
1.824	2.169	2	الانتقال في العينة mm
244.13	593.4	262.6	الإجهاد المكافئ MPa
244.82	595.5	264.57	الإجهاد الناظمي MPa
5h 25 min	10 h 38 min	50 min	زمن الحل
8175	13330	131	عدد مرات التكرار
$5 * 10^{-4} S$	$5 * 10^{-4} - 2 * 10^{-4} S$	0.04 S	الخطوة الزمنية في الحل

كما يمكن تلخيص نتائج دراسة الأنماط بالجدول (5).

الجدول (5) الترددات الطبيعية الأولى لطاولة الاختبار

التردد (HZ)	رقم النمط
39.345	1
48.066	2
55.848	3

9- تحليل النتائج: Results Analyses

1- من الجدول (4) نلاحظ أن قيم الإجهادات والانتقالات في الحلين الستاتيكي والديناميكي متقاربان ويعود الفرق بينهما بحدود (7.5%) لتأثير معامل الاحتكاك في الحل الديناميكي حيث يقوم الاحتكاك في المفاصل الدورانية وعددها (14) مفصل بإعاقة تطبيق الحمولة كاملة على العينة، كما نلاحظ أن الاحتكاك يلعب دوراً كبيراً في قيم كل من الإجهادات والانتقالات بالمقارنة بين نتائج الحلين الديناميكي مع وبدون احتكاك، كما يظهر دور الاحتكاك جلياً في تخميد الحركة الاهتزازية أثناء الدوران لدى مقارنة الاشكال (30) مع (35) و (31) مع (36) و (32) مع (37) و (33) مع (38) و(34) مع (39).

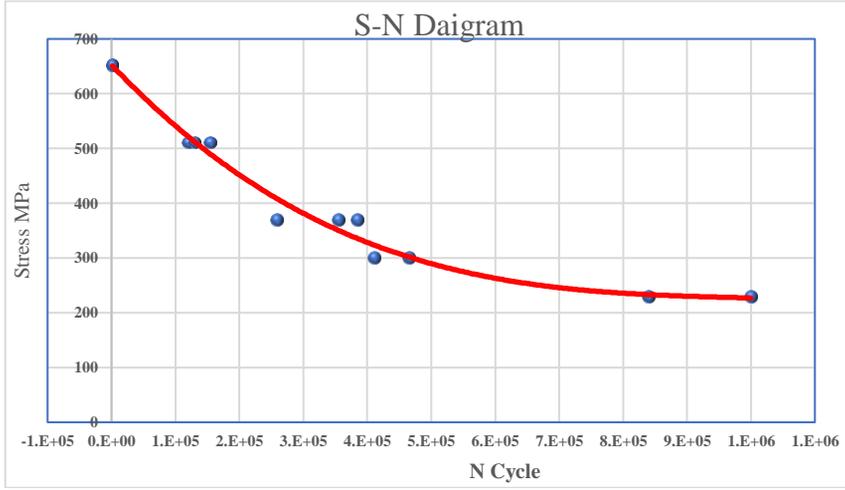
2- من الجدول (5) ولدى مقارنة التردد الأعظمي المعرض من قبل المحرك عند سرعة الدوران الأعظمية (1600 RPM) هو (26.666) نلاحظ انه لا يمكن أن يحصل توافق (Resonance) بين تردد المعرض وترددات منصة الاختبار .

10- اختبار الجهاز

أجريت عدة تجارب أولية على الجهاز باستخدام العينة المبينة في الشكل (22)، وكانت نتائج الاختبارات ضمن المتوقع. يبين الجدول (6) قراءات عداد الدورات حتى كسر العينة مع الإجهاد المطبق عليها، كما يبين الشكل رقم (43) منحنى الإجهاد مع عدد الدورات.

الجدول (6) قراءة عداد الدورات اللازم لكسر العينة مع الإجهاد المطبق عليها

Stress (MPa)	N (Cycle)
1800	651.649
1400	651.649
120500	510.752
131000	510.752
155000	510.752
385000	369.855
355000	369.855
259000	369.855
465000	299.406
411000	299.406
1.00E+06	228.958



الشكل (43) منحنى الإجهاد مع عدد الدورات (S-N) Diagram

يبين الشكل (44) صورة حقيقية لبعض عينات الاختبار التي تم اختبارها والتي جارٍ اختبارها.



الشكل (44) صورة لبعض عينات الاختبار قبل وبعد الاختبار

11- المراجع العلمية: References

- 1- امام، محمود. الصدمة والكلال، الباب الثاني، الكلال (التعب) Fatigue
- 2- زرنبي، محمد نظمي. 1980. مقاومة المواد. منشورات جامعة حلب. حلب. سورية.
- 3- ضايح عاصي. عبد الله، حسين عمران. سلمان، تأثير المراجعة لفولاذ متوسط الكربون على سلوك الكلال، The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.11,No.4,2011)
- 4- Azeez, Abass Adeyinka, 2013 “Mechanical Engineering and Poduction Technology” Riihimäki, 15/05/2013
- 5- Shashank P. Dashpute Swapnil D. Shelar 2021 “Design and FEA Analysis of Fatigue Testing Machine” International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 10 Issue 02, February-2021
- 6- https://www.researchgate.net/figure/RR-Moore-rotating-beam-fatigue-testing-machine_fig1_323204925
- 7- <https://www.indiamart.com/proddetail/wohlers-rotary-fatigue-testing-machine-22861472197.html>
- 8- <https://www.youtube.com/watch?v=N7E3jEUi4Tg>
- 9- https://www.youtube.com/watch?v=LhUclxBUV_E
- 10- <https://www.alpsteel.com.tr/transmission-steels>
- 11- ASTM Standard E606\E606M-1
- 12- Din-50125:2004-01
- 13- <https://www.scribd.com/document/270358690/Medium-Tensile-Steel-a-is-i-1045>