Studying the Effect of Using Rapid Modeling (RP) in Manufacturing Brushes as an Alternative to the Traditional Manufacturing Process

Kholoud Alkubeily*

(Received 24 / 9 / 2023. Accepted 5 / 12 / 2023)

□ ABSTRACT □

During this research, We designed lathe bed from two sheets depending on sheets system which used in rapid prototyping, so that we can detective some of aids: reducing the economic effects of the friction and wear in order to achieve the best mechanical properities, and reducing costs of the required materials to make the damaged parts and costs of the maintenance.

And taking advantage of Catia program, and finite element method, lathe bed meduim sized, type ZMMC400TN, weight is 700kg, and force is 15KN.

We have passed researching in accordance with the following main points:

- Conduct comparian between two cases of the lathe bed, which the first case is making from Cast iron, and the second case is making from two sheets(depending on Rapid prototyping) steel and cast iron.
- Conduct comparian between three cases of the lathe bed in terms of deformation, stress distribution on the axis , von misses stress and bed weight which the first case is making from cast iron, and the second case is making from steel and the three case is making from Ipoxy granite.
- Conduct iconomic comparian between two cases of the lathe bed depending on results of the plans and rapid prtotyping principle.

Keywords: Rapid prototyping, Lathe bed, Tribology.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Academic Assistant, Department of Communication and Electronics, Factually of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.** khloudealkobely@gmail.com

دراسة تأثير استخدام النمذجة السريعة RP في تصنيع فرش المخرطة كبديل لعملية التصنيع التقليدية

خلود القبيلي•

(تاريخ الإيداع 24 / 9 / 2023. قُبِل للنشر في 5/ 12 / 2023)

□ ملخّص □

قمنا خلال هذا البحث بتصميم فرش مخرطة من شريحتين باعتماد نظام الشرائح المطبق في النمذجة السريعة بهدف تخفيض الآثار الاقتصادية للاحتكاك والاهتراء وبالتالي تحقيق الخواص الميكانيكية الأفضل، وتقليل تكاليف المواد المطلوبة لتصنيع القطع المتضررة، وتكاليف الصيانة.

تم تنفيذ هذا البحث باستخدام كل من: برنامج CATIA، طريقة العناصر المنتهية، واعتماد فرش مخرطة متوسطة الحجم من نوع ZMMC400TN، مع مزالق مركبة(مستوية، موشورية) تزن 1700 Kg، وتم تطبيق قوة 15 KN.

كما اعتمدنا في إجراء البحث على المحاور الرئيسية التالية:

- إجراء مقارنة بين حالتين لفرش المخرطة، وتكون الحالة الأولى لفرش مصمت مصنع من حديد الصب، والحالة الثانية لفرش من شريحتين (بالاعتماد على نظام الشرائح) مصنع من فولاذ وحديد الصب.
- إجراء مقارنة بين ثلاث حالات للفرش من حيث التشوهات، وتوزع الاجهادات على المحور، اجهادات Von mises، ووزن الفرش، حيث تكون الحالة الأولى من حديد الصب، والثانية من الفولاذ، ويصنع الفرش في الحالة الثالثة من مادة الايبوكسي غرانيت.
- إجراء مقارنة اقتصادية بين حالات الفرش بالاعتماد على نتائج المخططات السابقة، وعلى مبدأ النمذجة السريعة.

الكلمات المفتاحية : النمذجة السريعة، فرش المخرطة، الترايبولوجي.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

• **قائم بالأعمال ، قسم هندسة التصميم والانتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**
khloudealkobely@gmail.com

مقدّمة:

يطلق مصطلح الخراطة على مختلف طرق القطع التي تستخدم المشغولات ذات المقطع الدائري، وقلمًا يخلو منتج صناعي من أجزاء يتم تشغيلها على المخرطة ، لذا تعد المخرطة واحدة من أكثر آلات التشغيل استخداماً، وتتكون من أجزاء عديدة أهمها الفرش الذي يعتبر الجزء الرئيسي للمخرطة، لأنه يحمل الأجزاء الرئيسية الثابتة، والمتحركة للمخرطة، ويشكل السطح العلوي للفرش دليل انزلاق العربة (التي تحمل أدوات القطع، وبالتالي تتعرض لقوى القطع)، والغراب المتحرك الذي يقوم بسن المشغولات. تعتبر المتطلبات الأساسية للفرش الجساءة، وإمكانية الإنتاج، وعدم الاهتراء، والتكلفة المنخفضة، وهذا يعتمد على:

- الاختيار الصحيح لمادة الفرش، واختيار عملية التصنيع المناسبة.
- الجساءة الساكنة والديناميكية، والتي يكون عندها تشوه الفرش ضمن حدود متناسبة مع تسامحات التشغيل، وذلك تحت تأثير القوى الأعظمية خلال عملية التشغيل.
- مقاومة عالية للاهتراء، وخاصة بالنسبة للمزالق (الموجهات).

النمذجة السريعة (Rapid Prototyping) هي تكنولوجيا تستند مباشرة إلى التصميم بمساعدة الحاسب، التي تسمح بإنتاج موديل صلب فيزيائي ثلاثي البعد انطلاقاً من موديل افتراضي ثلاثي البعد، وتستخدم طريقة التصنيع السريع للنموذج، لتصنيع القطع ذات الأشكال المعقدة على آلات التشغيل المبرمجة، ولكن بتقسيم كل قطعة إلى عدة شرائح قابلة للتجميع، ويمكن أن تصنع من مواد مختلفة، ويتم التقطيع (توليد الشرائح) كمرحلة أولى، وذلك بعد الحصول على الموديل الرقمي للقطعة، ويتم تقسيم الموديل إذا أمكن دون المرور بالمناطق الوظيفية، بحيث تضمن قابلية التصنيع لكل شريحة، ثم اختيار نوع الوصلات بين هذه الشرائح اعتماداً على مفهوم مراكز القرار (مركز القرار هو عبارة عن مجموعة من القواعد التي تسمح باختيار فعل (حل) من بين مجموعة حلول معروفة بشكل كامل)، ثم مرحلة ما قبل التصنيع وهي تجميع الشرائح، وتعتبر ذات أهمية كبيرة، لأنها تضمن التوضع الدقيق للشرائح المختلفة، وتضمن نقل القوى والطاقة وبشكل أساسي خاصية إحكام السد (منع التسرب) [1].

يسعى العاملون في مجال الصناعة دائماً إلى تطوير أساليب وطرق جديدة للتقليل من الآثار السلبية لاحتكاك واهتراء أجزاء الآلات ، منها:

1. العمل على تصنيع زيوت ومواد تشحيم تخفض من معامل الاحتكاك في الأجزاء المحتكة إلى قيم صغيرة جداً.
2. تصنيع السطوح المعرضة للاحتكاك والاهتراء من عدة طبقات بحيث يمكن تبديل الطبقة العلوية المعرضة للاهتراء دون الحاجة لتغيير الجزء العامل بكامله، ومن هنا أتت فكرة النمذجة السريعة.

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث:

إدخال مفهوم النمذجة السريعة في تصنيع فرش المخرطة وفق نظام الشرائح وإجراء مقارنة بين حالتي التصنيع التقليدية للفرش والتصنيع وفق نظام الشرائح من خلال دراسة توزع الاجهادات في الحالتين.

أهمية البحث:

إدخال مفهوم جديد وهو مفهوم النمذجة السريعة في تصنيع القطع المستخدمة في عقد احتكاك الآليات المختلفة اعتماداً على نظام الشرائح ، لتقليل الآثار الترايبولوجية في هذ العقد ، مما سيؤدي إلى تخفيض الكلفة الاقتصادية لعمليات الانتاج والصيانة.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا في بحثنا الفرضيات التالية:

- **مواصفات المخرطة:**

مخرطة متوسطة الحجم ZMM C400TM، مع مزالق مركبة (مستوية وموشورية)، وتزن 1700 Kgf، وبكلفة 16495 يورو.

- **البرامج والطرق المستخدمة:**

1- **برنامج CATIA** (Computer aided three dimensional interactive application): هو ضمن قائمة برامج التصميم الجيدة، لكونه شامل لجميع الأقسام بتخصصاتها، وأشهر برامج الرسم الهندسي CAD وأكثرهم استعمالاً من قبل الاوروبيين، ومن قبل أكبر الشركات الاوروبية، ويتمتع بوثوقية عالية، وقوة في الأداء وسهولة في التعامل، يستخدم لرسم أي قطعة هندسية 3D و 2D، وعمل مشاريع كاملة:

- إعداد الرسومات الهندسية للأجزاء الميكانيكية.
- إعداد الرسومات الهندسية للأجزاء التجميعية.
- إظهار الشكل الهندسي بأي نوع من المواد (خشب، معدن، بلاستيك).
- عمل Simulation للقطعة لتبين إمكانية مقاومة الأحمال.

2- طريقة العناصر المنتهية (Finite element method): ويطلق عليها أيضاً تحليل العناصر المنتهية، وهي طريقة تحليل عددي لإيجاد الحلول التقريبية للمعادلات التفاضلية الجزئية بالإضافة إلى الحلول التكاملية، ويعتمد الحل إما على إلغاء المعادلات التفاضلية الجزئية نهائياً (في الحالات الساكنة)، أو تقريب المعادلات التفاضلية الجزئية إلى معادلات تفاضلية نظامية، والتي يكون من الممكن حلها باستخدام عدة طرق كطريقة اويلر.

3. النمذجة السريعة Definition of rapid prototyping:

هي مصطلح شاع استخدامه في الآونة الأخيرة بين المصممين، ويعبر هذا المصطلح عن تكنولوجيا مستحدثة لتحويل نماذج وأشكال المنتجات الصناعية والهندسية التي يتم بناؤها وتمثيلها الكترونياً بشكل نماذج virtual models ثلاثية الأبعاد داخل الكمبيوتر إلى منتجات مادية مصنوعة من خامات معدنية أوبلاستيكية أو سيراميكية أو غيرها من الخامات المستحدثة مثل composite materials[2].

5- نظرية بناء النماذج السريعة Theory building rapid prototyping :

تقوم معظم نظم النمذجة السريعة على تصنيع المنتجات، بأسلوب إضافة جزئيات المادة وتراكمها adding materials particles، وذلك بالبناء باستخدام طبقات رقيقة جداً من المادة الخام، حيث تكون سائلة أو صلبة، أو حتى على شكل مسحوق ذي حبيبات دقيقة، وقد تكون أيضاً على شكل رقائق، او شرائح ذات سمك ضئيل للغاية (يبلغ احياناً ماهو أقل من 100 ميكرون) من المعدن أو البلاستيك أو بعض الخامات المختلفة الآخرى، وبعد أن تضاف الطبقة تعمل الآلة على تصليدها، وتماسكها مع الطبقات التي تسبقها بعدد من الوسائل منها الحرارة الموضعية العالية الناشئة عن شعاع الليزر، أو

بإضافة مصلبات Hardners راتنجية سريعة التأثير، تنتج مع الطبقة التي تم بناؤها طبقة صلبة عالية الصلادة للغاية، ويستمر البناء طبقة تعلوها طبقة وفقاً لمسار Tool path، يرسمه الحاسب بدقة لأداة التشكيل، ووفقاً للخامة المستخدمة يمكن تعريض المنتج الناتج للعمليات التشغيلية المناسبة، أو حتى تعريضه للمعالجات الحرارية لتحسين خواصه الميكانيكية، ومقاومته للتلف، وزيادة تحمله [2].

6- أهمية دراسة الاحتكاك والاهتراءFriction and wear importance:

تكتسب دراسة الاحتكاك والاهتراء أهمية قصوى نتيجة الأضرار الاقتصادية التي يسببها، إضافةً لتأثيره على البيئة وسلامة الإنسان، حيث نرى الاحتكاك والاهتراء في حياتنا اليومية (في البيت، في الشارع، والمصنع وفي جميع الأدوات والآلات المصنوعة من المواد المعدنية وغير المعدنية)، فهو يرافق عمل أية آلية مما يؤدي إلى ضياع في القدرة الميكانيكية، واهتراء في سطوح التماس بين العناصر الحركية، لذا كان لابد من تخفيض ضياعات الاحتكاك، ويمكن إيجاز الأضرار والمساوئ الاقتصادية لعملية الاحتكاك والاهتراء بما يلي:

1. ضرورة استبدال المعدات والوحدات المهترئة بأخرى سليمة، وما يصاحب ذلك من فقد العديد من ساعات الإنتاج.
2. فرط التصميم، ويقصد به استخدام مزيد من مواد الإنشاء والتشييد عما هو مطلوب لتحمل الإجهادات الميكانيكية، تحسباً من عملية الاهتراء.
3. إيقاف الوحدات الصناعية بصفة دورية لإجراء الصيانات عليها.

لذلك كان موضوع الاحتكاك والاهتراء ومازال ينال اهتماماً كبيراً في الأوساط العلمية والصناعية، وينصبّ الاهتمام بشكل رئيسي على أربعة أمور هي:

1. تطوير مواد مقاومة للاحتكاك والاهتراء.
2. تطوير مواد بديلة من البوليميرات.
3. تطوير طرائق حماية المواد من الاحتكاك والاهتراء.
4. تطوير طرائق تصنيع سطوح عقد الاحتكاك[3].

من الدراسات الي تم انجازها في هذا المجال:

درس الباحث N. Michaildis عام 2011 النمذجة السريعة RP، كبديل لعملية التصنيع التقليدية من خلال تقييم ودراسة المنتج، نمذجة التصميم، والتشغيل السريع مباشرة للإنتاج، حيث تتميز بتخفيض الكلفة والوقت المستغرق، وتسهل الاندماج المباشر للمكونات الوظيفية إلى المنتج النهائي، ويمكن أن تصنف RP تبعاً للمواد المعالجة (معدنية، سيراميكية، بوليميرية أو مركبة)، واختبر الباحث الاهتراء على نماذج صنعت من الفولاذ الذي لا يصدأ، بشكل طبقات بطريقة [4] . (FDM: Fused Deposition Moulding)

كما استخدم N. Oxman عام 2011 تقنية النمذجة المضافة، ووضح أهميتها وانتشارها نظراً لأنها تقدم نماذج وظيفية دقيقة بشكل هندسي خلال فترة زمنية قصيرة، وتسمح هذه الطريقة بإنتاج مادة واحدة كنماذج ثابتة الخواص محددة من المواد حيث يميز الشكل بتراكيب متباينة، كما يقدم هذا البحث نظرة مبتكرة عن التصنيع ذي الطبقات، حيث تعطي هذه الطريقة إمكانية الخلط بفعالية وكفاءة من خلال تغيير نسب المواد لإنتاج مكونات وظيفية، ويقدم البحث برامج مبتكرة للسماح للمصممين بخلق مكونات هيكلية تعرف بسلوكهم المادي المطلوب حيث يقدم طرائق البحث، ويبين عملياً تطبيقات التصميم [5].

طبق C. D. Naiju وباحثون آخرون عام 2014 طريقة DMLS (DIRECT METAL LASER SINTERED) وهي طريقة تصنيع ذات طبقات متسلسلة لإنتاج ثلاثة أجزاء بعدية مطلوبة لأشكال معقدة أو بسيطة، وكان الهدف من البحث إجراء اختبارات على الاهتراء للنماذج المصنعة من عدة طبقات أثناء التطبيق الوظيفي، ونفذت اختبارات الاهتراء على نماذج (بودرة نيكل – برونز) صنعت باستخدام طريقة DMLS عند شروط التشحيم، ودرس تأثير ثلاث بارامترات على الاهتراء وهي القساوة، درجة الحرارة والحمل باستخدام طريقة ANOVA (وهي طريقة إحصائية تستخدم لتحديد تأثير البارامترات الرئيسية، ومساهمة كل بارامتر في مستوى الاهتراء للنماذج)، وجد أن الحمل المطبق من أكثر البارامترات تأثيراً على الاهتراء والتشحيم بنسبة 53% يليها القساوة 27% ثم الحرارة بنسبة 20%، وبإجراء اختبار بسيط عند نفس القيمة للقساوة فإن الحمل الأكبر يسبب اهتراء أكبر، وتلاحظ نفس النتيجة عند اختبار النماذج عند درجات حرارة ثابتة [6].

هدف الباحث Hosni rebai عام 2014 إلى تحديد مفهوم ظاهرة الاحتكاك ونتائجها، وتحديد أنواع الاهتراء والعوامل المسببة لهذه المشكلة، كما ركز العمل على مفاهيم مختلفة للتشحيم، وتأثير اللزوجة ونظام التشحيم على أداء عناصر الآلة، حيث قدمت الدراسة تحليل لظواهر مختلفة مسببة للاحتكاك ومعرفة للأشكال المختلفة لتقييمه، كما قدمت طرق حساب لتقليل الاهتراء عند تطبيق شروط التشحيم أو بدونه، كذلك هدف العمل إلى تقديم السلوك الترايبولوجي لعناصر المسننات والمحامل، حيث يعتمد مفهوم الترايبولوجي على تحليل الأسطح الصلبة والانحرافات التي تحدث بينها، ويكون لتوزيع الانحرافات العالية أثر مباشر على الاحتكاك والاهتراء، ويمكن أن تتشكل على الأسطح الصلبة طبقات تشحيم طبيعية بالاعتماد على طبيعة المادة، وبيئة العمل، وتعتبر متانة السطح مفهوم يميز بنية السطح، ويتنبأ بالاحتكاك والاهتراء، حيث يتم تقدير نتائج الاحتكاك والاهتراء بالاعتماد على تحليل تأثير السطوح الصلبة عليها [7].

قام الباحثان A. Zavos و P. Nikolakopoulos عام 2015 بإجراء:

- محاكاة اسطوانة مكبس حلقة لمحرك ثنائي الشوط مع الأخذ بالحسبان التعديلات السطحية عند شروط المحرك الطبيعية والتشحيم التام.
- إجراء تحليل عددي لنموذج اسطوانة مكبس حلقة بشروط هيدروديناميكية طبيعية مع الأخذ بالحسبان بيانات حقيقية تجريبية من محرك ثنائي الشوط 50cc.
- قياس التشوهات السطحية باستخدام آلة قياس إحداثية 3D بينما يعمل المحرك حوالي 4000h، واختبر أثر هذه التشوهات باستخدام زيوت نيوتونية مختلفة وحددت قوة الاحتكاك، الضغط الهيدروديناميكي، طبقة التشحيم، والاجهادات الميكانيكية لشروط محرك مختلفة.

أظهرت النتائج أن المقطع المتآكل يقلل الاحتكاك بينما يزيد الاجهادات الميكانيكية، وتنتج التعديلات السطحية ضغوط هيدروديناميكية محلية عظمى، و يقل الاحتكاك بشكل كبير بزيادة طبقة التشحيم بين حلقة المكبس والاسطوانة، و يزداد الاحتكاك بزيادة اللزوجة حتى 15% لشروط المحرك نفسها [8].

قدم B. sriharsha and P. sudhakar Rao عام 2018 في هذا البحث نظرة شاملة عن النمذجة السريعة، والتقنيات المختلفة المستخدمة بها حيث تعتبر النمذجة السريعة تقنية تصنيع مضافة، وتستخدم لإنتاج نماذج أولية، قوالب وأجزاء الآلات .... باستخدام نماذج ثلاثية الأبعاد CAD حيث تصمم باستخدام برامج CAD، يستخدم النموذج الأولي للتحقق من العيوب في التصميم قبل الإنتاج، ويمكن استخدام هذه الأجزاء المصنعة بهذه العملية كنماذج، ومن لممكن إنتاج نماج مصغرة [10].

النتائج والمناقشة:

المحاكاة وإظهار النتائج:

1. إعدادات المحاكاة:

تم تصميم القطع على الحاسب باستخدام برنامج Catia مع الأخذ بالاعتبار المواد المصنعة منها وخواصها، وذلك وفق الحالتين التاليتين:

a. حالة فرش مخرطة كقطعة واحدة مصمتة مصنعة من حديد الصب من خلال الخطوات التالية:

1- رسم وتصميم الفرش في بيئة Part design

2- إدخال نوع المادة حديد الصب وإدخال مواصفاتها (معامل يونغ، نسبة بواسون، حد الخضوع)، ثم الانتقال إلى بيئة النمذجة والتحليل Analysis ansimulation.

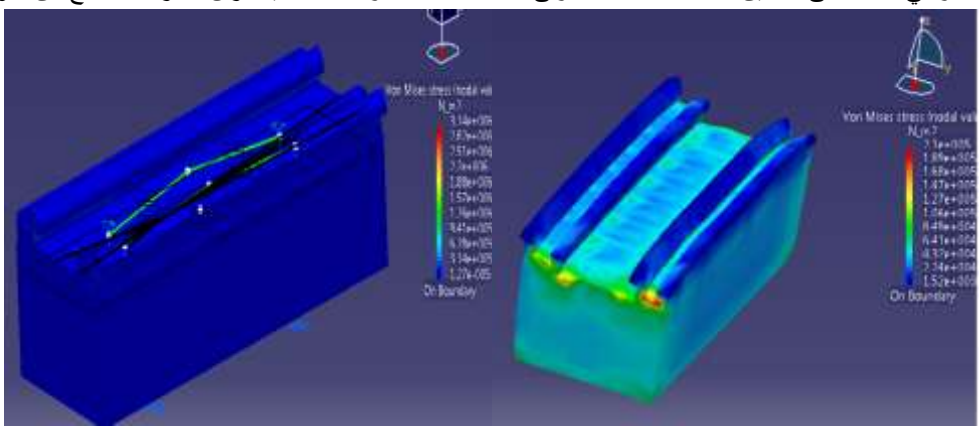
3- تطبيق الشروط الحدية المستخدمة في النمذجة، وتحميل القوة المحصلة لمركبات القوى الثلاث حيث $F = \sqrt{F_x^2 + F_y + F_Z^2}$، وتوليد شبكة العناصر المنتهية للقطعة ككل.

b. حالة فرش مخرطة من شريحتين ومن مادتين مختلفتين، تصنع الشريحة الأولى من حديد الصب، بنفس خواص الحالة السابقة، بينما تصنع الشريحة السطحية من الفولاذ، على اعتبار الخواص الميكانيكية للفولاذ أفضل منها بكثير للحديد الصب، وبإجراء نفس الخطوات السابقة مع الأخذ بالاعتبار تجميع الشريحتين عن طريق براغي تجميع.

تم إجراء محاكاة النماذج، والتحليل وفقاً لطريقة العناصر المنتهية، وإجراء المقارنة من حيث توزع الإجهادات Von mises stress، والإجهادات الرئيسية، والانتقالات للنقاط Displacement على القطعة ككل ثم على كل من الشريحتين، وملاحظة التغيرات في كل من الحالتين للوصول إلى التحسين المطلوب بالخصائص الميكانيكية للقطعة، ومن ثم إجراء المقارنة الاقتصادية بين الحالتين من حيث كلفة المواد المطلوبة لتصنيع القطع المتضررة، وكلفة الصيانة، والتوفير في الوقت اللازم لتصنيع القطعة ككل، أو إجراء صيانة للفرش ككل أيضاً.

2. نتائج اجهادات Von mises:

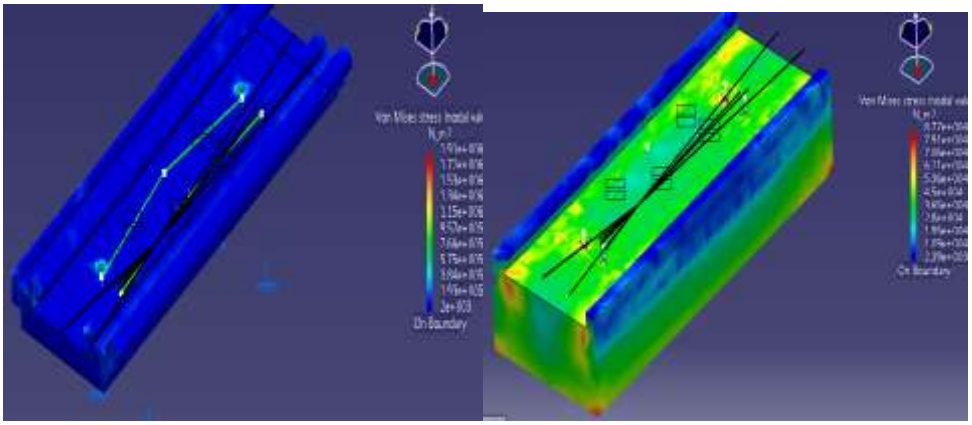
يوضح الشكلين (1a-1b) توزع اجهادات Von mises نتيجة عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها على فرش المخرطة، والتي تمت على حالتين تضمنت الحالة الأولى كقطعة مصمتة والحالة الثانية فرش مخرطة مصنع من شريحتين:



الشكل (a) فرش مخرطة مصنع كقطعة واحدة مصمتة (b) فرش مخرطة مصنع كقطعة من شريحتين

الشكل (1) توزع اجهادات von mises

حيث يظهر الشكل (a–1) تزايد قيم الاجهاد حسب تدرج الألوان، ويصل إلى أعلى قيم الإجهاد عند نقاط احتكاك العربة مع الفرش، فمثلاً يظهر اللون الأزرق أخفض قيم الإجهاد عند المزالق ويكون $1,52*10^3$ N/m^2، بينما يظهر اللون الأحمر أعظم قيم الإجهاد ويكون $2,1*10^5$ N/m^2 والتي تؤدي إلى تشوه الفرش. أما بعد اعتماد الآلية المقترحة والمتمثلة بتقسيم الفرش إلى شريحتين من مادتين مختلفتين الأولى من الفولاذ والثانية من حديد الصب كانت النتائج مختلفة، حيث يظهر الشكل (1b) تزايد قيم الاجهاد حسب تدرج الألوان ولكن بقيم أقل منها بكثير في الحالة الأولى، وتركز الإجهاد بشكل أعظمي عند وسائل التجميع (البراغي) وكان اللون الأحمر المتمثل بالإجهاد المسبب لتشوه الفرش في نقاط قليلة من السطح. ويظهر توزع الاجهادات بشكل مفصل على كل من الشريحتين العلوية ثم السفلية، حيث تتراوح قيم الاجهاد على الشريحة العلوية كما في الشكل (a–2) من أدنى قيمة لها، وتظهر باللون الأزرق حسب الشكل $2*10^3$ إلى أعظم قيم الاجهاد وتظهر باللون الأحمر $1.91*10^6$ N/m^2، بينما تزداد قيم الاجهاد على الشريحة السفلية كما في الشكل (b–2) من $2.39*10^3$ إلى أعظم قيم الاجهاد، وتكون عند البراغي $8.77*10^4$ N/m^2، وقيم الاجهاد الأعظمية أدنى منها على الشريحة العلوية.

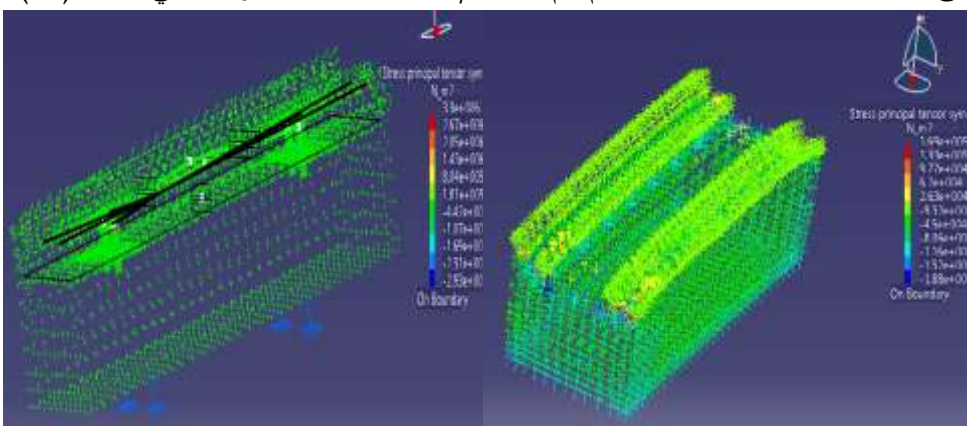


(a)**الشريحة العلوية** **الشكل (b) الشريحة السفلية**

الشكل (2) اجهادات فون ميسيز

1.2. نتائج الاجهادات الرئيسية:

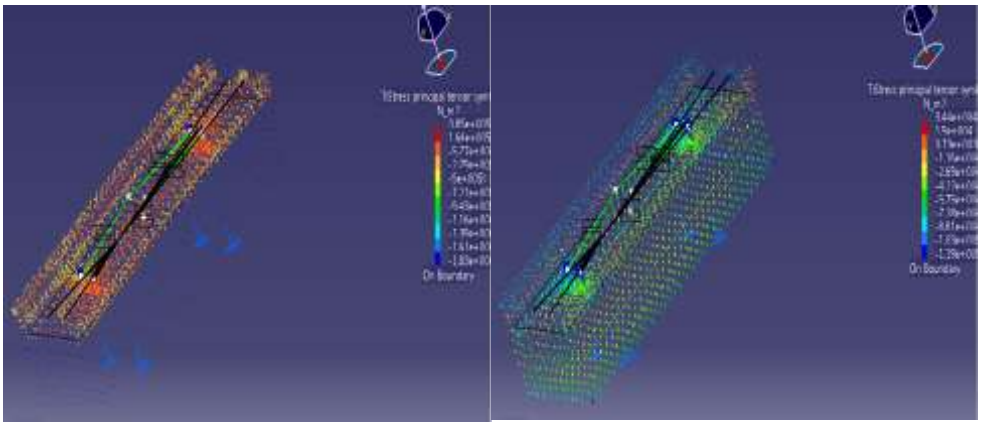
يظهر الشكل (3a) توزع الاجهادات الرئيسية على الفرش كقطعة واحدة، حيث تكون قيم الاجهادات بأدنى قيمها باللون الأزرق $1.88*10^3$ وتصل لأعظم قيم لها $1.69*10^5$ N/m^2، بينما تكون الاجهادات الرئيسية على الفرش المقسم لشريحتين بأدنى قيمها $2.93*10^3$، وتصل لأعظم قيم لها $3.3*10^6$ N/m^2، ويظهر ذلك في الشكل (3b).



(a)الفرش **كقطعة واحدة** **(b) الفرش مقسم إلى شريحتين**

الشكل (3) الاجهادات الرئيسية على الفرش

ويظهر توزع الاجهادات بشكل مفصل على كل من الشريحتين، حيث تكون قيم الاجهادات على الشريحة السفلية أدنى منها على الشريحة العلوية، ويكون تركز الاجهادات بشكل أعظمي عند البراغي، حيث يوضح الشكل (4a) توزع الاجهادات على الشريحة العلوية، وتتراوح قيمها من $1.83*10^3$ إلى أعظم قيمها $3.85*10^5$ N/m^2، ويوضح الشكل (4b) توزع الاجهادات على الشريحة السفلية، وتزداد قيمها من $1.19*10^3$ إلى أعظم قيم تتحملها الشريحة $3.44*10^4$ N/m^2.



(a) **الشريحة العلوية** (**b**) **الشريحة السفلية**

الشكل (4) توزع الاجهادات الرئيسية

2.2. نتائج تأثير نوع المادة المستخدمة في تصنيع الفرش:

تمت دراسة ثلاث حالات للفرش، في كل حالة منها يصنع الفرش من مادة، حيث تكون الحالة الأولى من حديد الصب، والثانية من الفولاذ، وتم إجراء مقارنة بين الحالتين من حيث تشوهات الفرش، وتوزع الاجهادات على المحور، اجهادات Von mises، ووزن الفرش.

الجدول (1) مقارنة بين المادتين المصنع منها الفرش

المادة المصنع منها الفرش		حديد صب Bs4844	فولاذ S140
إجهادات Von mises		15.9 Mpa	13.6 Mpa
قيمة الإجهادات	ضغط	13.4 Mpa	10.8 Mpa
	شد	2.23 Mpa	2.38 Mpa
قيمة الانتقالات الحاصلة في نقاط الفرش		0.0286 mm	0.0302 mm
وزن الفرش		105.816 Kg	97.992 Kg

يظهر لدينا أنه كان وزن فرش المخرطة قبل التعديل هو 105.816 Kg، ولكن بعد تعديل المادة انخفض وزن الفرش إلى 97.992 Kg، وانخفاض الوزن يساوي 7.4% من وزن النموذج الأساسي.

3.2. نتائج الكلفة الاقتصادية:

تحقق فكرة النمذجة السريعة بحد ذاتها دون التعرض للحالتين استثماراً في الوقت، وتخفيضاً في الكلفة المصروفة عند إجراء عملية التصنيع، والصيانة للقطع المصنعة نظراً لمرحلة التحضير المسبق للقطع المطلوبة على الحاسب، وتصميمها بشكل مسبق بالشكل المطلوب قبل الوصول للإنتاج الفعلي لها، وهذا مايحقق:

1. تلافي للأخطاء التي تظهر بعد التصنيع، وتصحيحها قبل عملية التصنيع.
2. تقليل كمية المواد اللازمة لتصنيع القطع المطلوبة، نظراً لوجود مرحلة التصميم على الحاسب والتي تسمح بتحديد المواد المطلوبة للتصنيع، وتقليل بقايا المواد الناتجة بعد التصنيع، وهذا يساهم بتخفيض كلفة التصنيع.
3. إمكانية إنتاج عدة قطع متشابهة بنفس إجراءات التصميم والبرمجة المصممة على الحاسب، وهذا مايحقق توفيراً في الكلفة والوقت.
4. يحقق ماسبق توفير في الوقت اللازم للتصنيع نظراً لتخطي مرحلة الأخطاء الناتجة خلال الإنتاج الفعلي للقطع المطلوبة.

بإجراء مقارنة اقتصادية بين حالتي الفرش:

الأولى عندما يكون الفرش قطعة مصمتة من حديد الصب، وتشكل كلفته 33% من كلفة المخرطة ككل، والثانية عند تصنيع الفرش من شريحتين من مادتين مختلفتين فولاذ وحديد صب، وبكلفة تتضمن تكاليف قطع الفولاذ وحديد الصب، وكلفة تسوية السطح العلوي والسفلي، وكلفة عملية إنشاء الثقوب، وكلفة عناصر التجميع وهي البراغي، ولكن مع اعتماد عدد ساعات العمل ذاتها للفرش في اليوم نجد أن تصنيع الفرش من شرائح في الحالة الثانية باعتماد مبدأ النمذجة السريعة يحقق عمراً أطول للفرش عنه في الحالة الأولى، وكلفة اقتصادية أقل، وذلك نظراً لعدة أسباب نذكر منها:

1. أظهرت المخططات تخفيض تركز الاجهادات عند تصنيع فرش المخرطة من شريحتين، وبالتالي تقليل آثار الاحتكاك والاهتراء التي تظهر على السطح عند تعرضه للقوى المؤثرة مع الزمن، وهذا مايحقق عمراً أطول للفرش عنه في الحالة الأولى.
2. إمكانية استخدام الفولاذ كشريحة سطحية باعتبار الخواص الميكانيكية للفولاذ أفضل من حديد الصب، وبالتالي عمر أطول للشريحة.
3. تمكن فكرة الشرائح من استبدال الشريحة السطحية فقط عند تعرضها للاحتكاك والاهتراء والتعب بدل من الفرش ككل، وهذا يحقق توفير في الكلفة الاقتصادية للتصنيع، مع إمكانية تصنيع الفرش في حالات آخرى من مواد رخيصة الثمن بالمقارنة مع حديد الصب كالألمنيوم والفولاذ.
4. يحقق العمر الأطول للفرش تخفيض في كلفة الصيانة الدورية اللازمة للفرش خلال العمل الدائم، وإمكانية إجراء الصيانة للشريحة السطحية فقط نظراً لتعرضها الاحتكاك والاهتراء بشكل أكبر من الفرش ككل.

3. مناقشة النتائج:

بعد الاطلاع على النتائج السابقة، يمكننا ملاحظة ما يلي:

- قدم تطبيق الآلية المقترحة تحسن ملحوظ في الخصائص الميكانيكية لفرش المخرطة من حيث تخفيض قيم الاجهادات والتشوهات الحاصلة على السطح وذلك بعد تقسيم الفرش إلى شريحتين، وتصنيع الشريحة السطحية من الفولاذ باعتبار الفولاذ مادة ذات خواص ميكانيكية أفضل من حديد الصب من حيث أنها أكثر صلادة، ومقاومة للاحتكاك والاهتراء.

- قدم تطبيق الآلية المقترحة تخفيض في كلفة التصنيع للقطع المطلوبة من حيث إمكانية تحديد عدد وكمية المواد المطلوبة لتصنيع الفرش في كل من الحالتين، وذلك بالاعتماد على مرحلة التحضير المسبق للفرش، وإمكانية تخفيض الهدر في المواد الناتجة بعد التصنيع.
- كما مكنت الدراسة المقترحة من إحداث تخفيض في كلفة الصيانة للقطع المتضررة بإمكانية استبدال الشريحة السطحية عند تعرضها للضرر دون التعرض للفرش ككل، وتخفيض في كلفة الصيانة الدورية من حيث إطالة عمر الفرش، نظراً لتخفيض قيم الاجهاد المطبقة على السطح.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تكتسب الآلية المقترحة أهميتها كونها تعالج سلبية واضحة في فرش المخرطة، وهي تركز الاجهادات على السطح عند انزلاق العربة على الفرش.
- إمكانية تصنيع الفرش من مادتين أو أكثر حسب عدد الشرائح المقترحة، واستبدال حديد الصب بمواد أرخص ثمناً، وذات خواص ميكانيكية أفضل منه.
- إمكانية استخدام الفولاذ لتصنيع الطبقة السطحية من الفرش.
- تخفيض آثار الاحتكاك والاهتراء على السطح تبعاً لنوع المادة المصنع منها، وتخفيض الاجهادات المطبقة على السطح وبالتالي تحقيق عمر أطول للفرش دون التعرض للضرر والتعب.
- يساهم العمر الأطول للفرش في تخفيض كلف الصيانة الدورية، وتوفير في الوقت المستهلك على عملية الصيانة.
- يمكن نظام الشرائح من إمكانية استبدال الشريحة السطحية عند تعرضها للاحتكاك والاهتراء والتعب دون التعرض للفرش ككل، وهذا يوفر في الكلفة الاقتصادية للتصنيع، وبالإضافة إلى توفير في المواد.

التوصيات:

يمكن تلخيص التوصيات في النقاط التالية:

- إجراء دراسة تجريبية للحالة المدروسة، ومقارنتها بنتائج النمذجة والمحاكاة.
- دراسة تأثير زيادة نقاط التثبيت بين شريحتي الفرش على مؤشرات الاداء.
- إجراء دراسة متكاملة لفرش مصنع من شريحتين الأولى من الفولاذ، والثانية من مادة الإيبوكسي غرانيت.

References:

[1] *D. Tammam Salloum, Bernard Anselmetti, Kwamivi Mawussi, "Design and manufacturing of parts for functional prototypes on five-axis milling machines", verlag London limited 2009.*

[2] *Todd Grimm, "User's guide to rapid prototyping", society of manufacturing engineers, Dearborn, Michigan, 2004.*

[3] *Applied Materials Science and Corrosion, General Organization for Technical Education and Vocational Training, Kingdom of Saudi Arabia, 2007.*

[4] *Nikolaos Michaildis, "Friction induced wear of rapid prototyping generated materials", 7 pages, Greek, 2011.*

[5] *Neri Oxman, "Variable property rapid prototyping", USA, 05 Apr 2011.*

[6] *C. D. Naiju, P. M. Anil, M. Mohan Prashanth and S. Karthik, " Investigation on the lubricated wear of direct meatal laser sintered components for functional applications", School of Mechanical and Building Sciences, India, Vol. 9, No. 3, March 2014.*

[7] *Hosni rebai, "tribology and machine elements", mechanical engineering and production technology, 2014.*

[8] *A. Zavos a, P. Nikolakopoulos, "Effects of Surface Irregularities on Piston Ring-Cylinder Tribo Pair of a Two Stroke Motor Engine in Hydrodynamic Lubrication", Vol. 37, No. 1 (2015) 1-12, Greece*

[9] *J. Aspler, A.Kingsland, L.M. Cormier and X. Zou, "3D printing – A review o Technologies, Markets, and opportunities for the forest industry", Journal of science & technology for forest products and processes: vol 5, no.2 (2016).*

[10] *. Boin Sriharsha and P. Sudhakar Rao, "Rapid prototyping Technology, applications,advantages an limits- Areview", December 2018.*

[15] Tamam Salloum, "Lectures on the Design of Operating and Forming Machines and Lectures on Guides and Fasteners," 2013-2014.

[16] *20 Wohlers Report 2011: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry, p. 242.*

[17] The 3D Printing Approach – Beginner's Guide, 3D Printing Industry, May 2014 via the following link:

http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics- free-beginners-guide/processes/ :