

## دراسة عددية وتجريبية لسلوك ألواح الفولاذ على آلات الدرفلة

الدكتور المهندس يوسف سمير ديب\*

### الملخص

لفّ الصفائح هو عبارة عن حني الألواح المعدنية حسب الرغبة باستخدام درافيل التشكيل. تعد عملية لفّ الصفائح أكثر التقنيات المستخدمة على نطاق واسع للحصول على الأشكال المجوفة غير المتماثلة. إذ تعتبر عملية لفّ الأسطوانات هامة جداً في الصناعات التحويلية لإنتاج أجزاء كبيرة وسميكة مثل الشكل المخروطي لمحرك التوربينات وبرج توربينات الرياح.... إلخ، إذ أنه من الضروري لفّ الصفائح المعدنية بسلاسة وأمان ودون تشققات وأضرار لفترة طويلة. إذ يتغير أثناء لفّ الصفائح المعدنية الضغط والشد في الصفائح. من المهم أن يكون الإجهاد والانفعال ضمن حدود خصائص المواد المستخدمة وعامل الأمان الذي تتطلبه التطبيقات الهندسية. يجب أن يكون هناك حد أقصى للإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية المسموح بها دون تعريض قطعة العمل التي تم الحصول عليها للخطر. ترتبط عملية اللف بشكل أساسي بحساب مواضع الأسطوانة العلوية والإجهاد والضغط الناتجين أثناء إزاحة الأسطوانة العلوية لسماكات مختلفة للصفائح المعدنية. تم في هذه الدراسة تطوير نموذج العناصر المنتهية الديناميكية ثلاثية الأبعاد (FEA) لعملية اللف باستخدام برنامج (CATIAV5) و (ANSYS). تم مقارنة نتائج النمذجة والمحاكاة التي تم الحصول عليها مع النتائج التجريبية لآلة اللف. لوحظ من نتائج النمذجة والمحاكاة أن الحد الأقصى للإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية المسموح بها دون حدوث تشقق في اللوح كانت عند (10) mm. وبمقارنة نتائج النمذجة والمحاكاة مع النتائج التجريبية لوحظ أن قيم الإجهاد متوافقة مع أقصى تباين بنسبة % (4.8)، مما يؤكد صحة نتائج النمذجة والمحاكاة (FEA). كان الحد الأقصى للإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية هو (10) mm، حيث كان إجهاد (Von mises) أقل من قيمة إجهاد مادة اللوح الفولاذي المدروس.

**الكلمات المفتاحية:** النمذجة والمحاكاة، طريقة العناصر المنتهية، الانحناء، الإجهادات، الانفعالات.

\* دكتور مهندس - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## المقدمة Introduction:

تستخدم آلة اللف على نطاق واسع في التطبيقات الهندسية التحويلية والثقيلة لتصنيع الخزانات الأسطوانية، وأجزاء المراجل والمبادلات الحرارية، وأغطية التوربينات، وأوعية الضغط، والأبراج، والمفاعلات، وصناعة الطائرات والسفن. حمولة الأسطوانة العلوية اللازمة لحني الصفيحة تابعة لبارامترات مختلفة مثل سماكة اللوح وعرضه وقطر الدرفيل وخصائص مادة اللوح والفجوة بين الأسطوانات السفلية. إذ آلات اللف ذات الثلاث اسطوانات مهمة لتصنيع الأشكال الأسطوانية التي لها أنصاف أقطار مختلفة من الانحناءات دون تشكل الشقوق في قطعة العمل. الآلة مفيدة لللف الألواح من مواد مختلفة. سبائك الألومنيوم الصلب، سبائك الصلب الكربوني..... إلخ.

## الدراسات المرجعية Literature review:

[1] نشر (Himanshu V) في عام (2007) ورقة بحثية بعنوان "تحليل الانحناء للف ألواح الصلب (C-Mn) على آلة اللف ذات ثلاث أسطوانات شديدة التحمل" إذ تبين أن قابلية الانحناء مقيدة بأقصى قدرة تحميل للبكرة العلوية لآلة اللف. الحد الأقصى للحمل هو الوجوه أثناء مرحلة الانحناء المسبق للحافة. يتم تحديد سعة آلة اللف ثلاثية الأسطوانات من خلال أقصى سماكة وأقل قطر للدرفيل التي يمكن أن تكون ثنيًا مسبقًا لمادة الصفيحة المحددة بأقصى عرض.

[2] وصف (Gandhi) وآخرون في عام (2008) نموذجًا تحليليًا وتجريبيًا لتقدير موضع الأسطوانة العلوية بشكل محدد كتابع لنصف قطر الانحناء المطلوب للانحناء الأسطواني للصفائح مع مراعاة تحول نقطة التلامس عند واجهات لوحة الأسطوانة السفلي.

[3] قام (Y, S, Jong) وزملاؤه في عام (2008) بدراسة تقريب الأسطح غير الملساء للأسطح الملساء لمعاملات التصنيع للوحة قشرة منحنية كبيرة بواسطة الحل التفاضلي، إذ تم اقتراح طريقة بسيطة وفعالة للتقريب السريع لسطح قابل للتطوير الأقرب إلى سطح مركب معين بواسطة كثير الحدود. على وجه التحديد، تم التأكيد على تقريب السطح القابل للتطوير لعملية الثني واللف وأعمال تصنيع الفولاذ في صناعة بناء السفن والطائرات. وبينوا أن التنبؤ الناجح والأمثل لسطح القابل للتطوير يعدّ شرطًا أساسيًا للتصنيع الدقيق والفعال للألواح المنحنية عن طريق ثني اللف والعمليات اللاحقة.

[4] قام الباحثان (M. K. Chudasama and H. K. Raval) في عام (2012) بدراسة النموذج التحليلي للتنبؤ بالقوة المطبقة أثناء اللف المخروطي متعدد التمريرات ثلاثي الأسطوانات والتحقق من ذلك تجريبيًا. ووجدوا أن المقاطع المخروطية يتم إنتاجها في عملية اللف المخروطي باستخدام آلة لف مخروطية ذات ثلاث أسطوانات. هذا

يُعطي الفراغ ثنيًا ثابتًا عن طريق وضع الفراغ على الأسطوانات السفلية وخفض الأسطوانة العلوية. إذ يتم تدوير البكرات للحصول على حركة اللف.

[5] قام (Chudasama) وآخرون في عام (2013) بتطوير نموذج تحليلي لقوة الانحناء أثناء عملية الانحناء المخروطية ذات الثلاث بكرات والتحقق منها تجريبيًا وبينوا أن اللف الثابت للصفحة يتطلب قوة أكبر ويتم ذلك على مراحل متعددة لخفض قيمة القوة المطلوبة.

[6] قام (Zen Zemin Fu) وآخرون في عام (2013) بدراسة النمذجة التحليلية والمحاكاة العددية لتشكيل الصفائح المعدنية ثلاثية الأسطوانات، إذ ذكروا أن تشكيل اللف ثلاثي الأسطوانات هو عملية تصنيع مهمة في صناعة الصفائح المعدنية بسبب تصميمها البسيط. وتعتبر هذه العملية مناسبة لصنع أجزاء صفائح كبيرة ذات وجوه منحنية ومعقدة. إذ تعتمد معظم الأبحاث حول تشكيل اللف الدائري لقطع العمل الكبيرة بشكل أساسي على التجارب وشرح العملية من خلال تشوه المعدن. تم اقتراح نموذج تحليلي ونموذج (ABAQUS) للعناصر المنتهية في هذه الصفحة للتحقق من عملية اللف بثلاث أسطوانات.

[7] قام (K.Shakil) وزملاؤه في عام (2015) بدراسة التباين في انحناء اللوحة أثناء اللف والقوى لمختلف أشكال الانحناء مثل سماكة اللوحة وميل الأسطوانة باستخدام (FEA). وأكدوا أنه يجب ألا تتجاوز القوى المطبقة على بكرات الآلة قدرة الثني للآلة. ومن المرغوب أيضًا أن يتم الثني إلى حد الاستفادة من قدرة الانحناء القصوى. وبالتالي، من الضروري تقدير القوى أثناء الثني، وذلك لتحقيق أقصى استفادة من قدرة الثني، دون التحميل الزائد عليها، للحصول على الانحناء المطلوب. إذ أنه في الواقع يتغير نصف القطر بشكل مستمر أثناء عملية الثني مما يؤثر على حجم واتجاه القوى المؤثرة على البكرات.

[8] قام (K.D. Bhatt) وزملاؤه في عام (2020) بدراسة تصميم وتطوير آلة ثني الصفائح المعدنية ذات الثلاث بكرات وتم التوصل إلى تصميم آلة ثني ثلاثية البكرات لثني الصفائح المعدنية بسماك من (1.5-8.0) mm. هذه النتائج تتغير وفقا للمادة ووفقا لحالة التحميل وتعتمد في النهاية على سماكة الصفحة.

[9] قام (G. Ionel) وزملاؤه في عام (2021) بدراسة عملية الثني ثلاثية الأسطوانات لصفحتين من الفولاذ المستخدمة في الصناعة البحرية (S235JR و S275JR) باستخدام برنامج (Ansys Workbench Static Structural)، إذ تم اقتراح طريقة هجينة (منهج عددي-تحليلي هجين) تعتمد على تحليل العناصر المحدودة (FE) والنمذجة التحليلية لعملية الانحناء ثلاثية الأسطوانات، تم أولاً تصميم عملية الانحناء باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FE) وتم إنشاء نماذج الانحدار لقوة الانحناء كدالة لسماكة اللوحة والإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية. ثم بناءً على نتائج تحليل (FE)، باستخدام نظرية شريط الانحناء، تم استخلاص تعبيرين تحليليين لقوة الانحناء.

باستخدام التوافق الهندسي والتشوه، تم أيضًا تطوير التعبيرات التحليلية للإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية كدالة لثني لوحة الانحناء. أخذت النماذج في الاعتبار سمك اللوحة (8-12) mm، والإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية حتى (78)mm.

**[10]** قام (L.Haoyuan) وزملاؤه في عام (2023) بدراسة عيوب آلة الثني التقليدية ثلاثية البكرات، وتم اقتراح تصميم جديد لهذه الآلة، نظرًا لأهمية التطور في أدوات آلة الثني، بما في ذلك الهيكل الميكانيكي والضغط الهيدروليكي ونظام التحكم. تم استخدام نموذج (ABAQUS)، وإنشاء نموذج رياضي لتحليل العلاقة بين إزاحة الضغط ونصف قطر التشكيل في ظل ظروف العمل المثالية، بناءً على البيانات التجريبية، تم إجراء تركيب المنحنى غير الخطي على خوارزمية تعويض الارتداد لتشكيل الانحناء المتداول غير المتماثل. تم تنفيذ خوارزمية تعويض الارتداد المناسب في تجربة تشكيل الانحناء المتداول المتماثل. وأكدوا أنه يمكن تطبيق هذه الخوارزمية على كل من الانحناء المتدرج المتماثل والانحناء المتدرج غير المتماثل.

#### المشكلة العلمية للبحث :The scientific problem of research

تتلخص المشكلة العلمية للبحث بظهور تشققات على الصفائح المعدنية أثناء لفها، وضرورة تحديد قيم الحد الأقصى للإجهاد المسموح به وقطر الدرافيل في آلة اللف.

#### هدف البحث :The novelty of the search

بعد الاطلاع على العديد من الدراسات المرجعية كان هدف البحث:

دراسة عددية وتجريبية لسلوك ألواح الفولاذ على آلات الدرفلة لتأمين لف الصفائح المعدنية بسلاسة وأمان ودون تشققات وأضرار لفترة طويلة، من خلال التنبؤ بأقطار الدرافيل، وقيم إجهادات الشد والضغط المسموح بها، وقيم الانفعال ضمن حدود خصائص المواد المستخدمة، وعامل الأمان الذي تريده التطبيقات الهندسية، بغية إطالة عمر خدمة الصفائح المعدنية، وتقليل الهدر في المعدن والوقت والمال.

## أهمية البحث :Research Importance:

تأتي أهمية هذا البحث من:

✓ تحديد سلوك الصفائح المعدنية عند عمليات اللف، وتطوير تقنية لف الصفائح المستخدمة على نطاق واسع للحصول على الأشكال المجوفة غير المتماثلة، بما يتوافق مع حاجات الصناعات الحديثة المحلية في مختلف القطاعات الصناعية.

✓ التنبؤ بالحد الأقصى للإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية المسموح بها دون حدوث تشققات في اللوح، والتحقق منه تجريبياً.

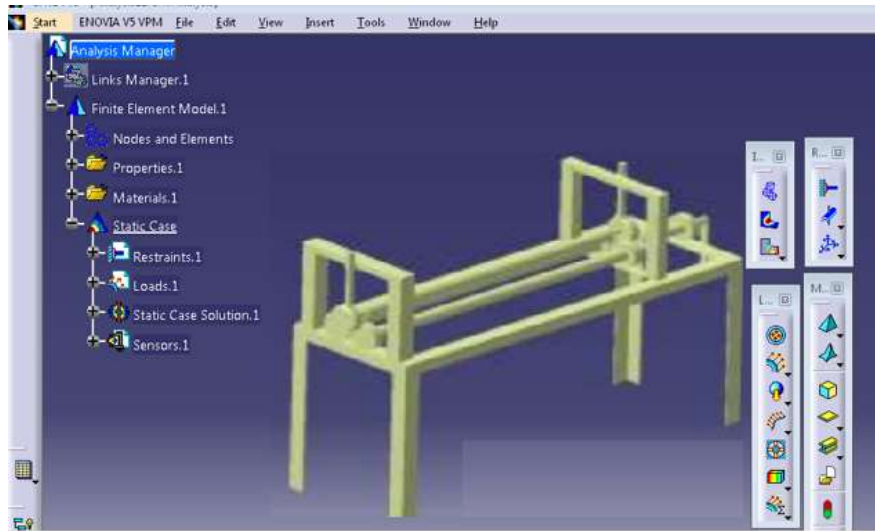
✓ إغناء البحث العلمي الذي يتناول سلوك ألواح الفولاذ على آلات الدرفلة، والإفادة منها في الصناعات الحديثة المحلية فيما بعد لاسيما التحويلية والثقيلة منها لإنتاج أجزاء كبيرة وسميكة.

## طرائق البحث ومواده :Research method and materials:

A. الدراسة الحاسوبية:

1. نموذج (CAD) لتجميع أجزاء الهيكل:

تم تصميم النماذج الصلبة ثلاثية الأبعاد لتجميع آلة لف باستخدام برنامج التصميم بمساعدة الحاسب. يظهر الشكل (2) تجميع آلة اللف الهرمي.

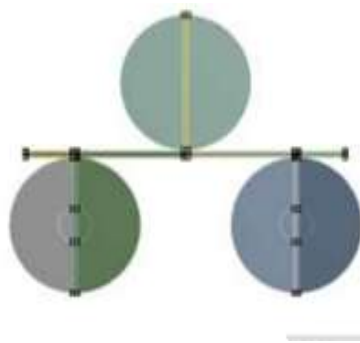


الشكل (1) نموذج (CAD) لتجميع أجزاء الهيكل

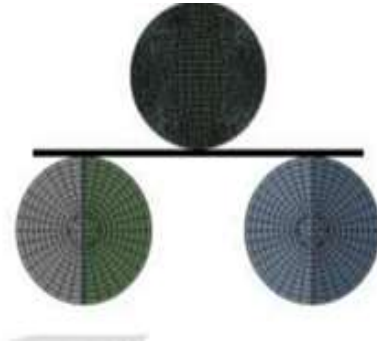
تم حساب الضغط أثناء الإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية باستخدام تحليل العناصر المنتهية (FE) و باستخدام طريقة الإجهاد المستوي حيث يتم محاكاة عملية الانحناء للصفحة.

## 2. تحليل العناصر المنتهية:

يتعامل التحليل الديناميكي مع شروط توازن الأجسام التي تطبق عليها القوى حيث يمكن أن يكون التحليل الديناميكي خطياً أو غير خطي. جميع أنواع اللاخطية المسموح بها مثل تلك التشوهات الكبيرة، وتقوية الإجهاد، وعناصر التلامس، واللدونة، والزحف، إلخ. يتم استخدام التحليل الديناميكي لمعرفة حالات الإزاحة، والضغط، والقوى في الهياكل أو المكونات التي تسببها الأحمال التي لا تسبب القصور الذاتي وتأثيرات التخمد. ومع ذلك، يمكن أن يشمل التحليل الديناميكي أحمال القصور الذاتي الثابتة مثل الجاذبية والدوران والأحمال المتغيرة بمرور الزمن. تفترض ظروف التحميل والاستجابة للتحليل الساكن، أي الأحمال واستجابات الهيكل التي يُفترض أن تتغير ببطء فيما يتعلق بالزمن.



الشكل (3) نموذج الضغط المستوي لعملية الدرفة للصفائح

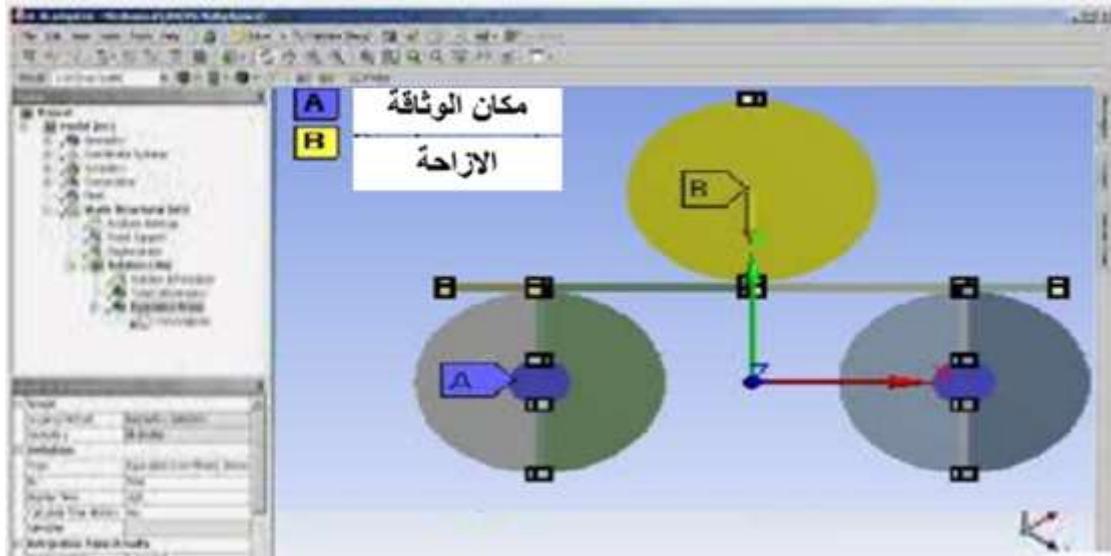


الشكل (2) شبكة العناصر لعملية اللف

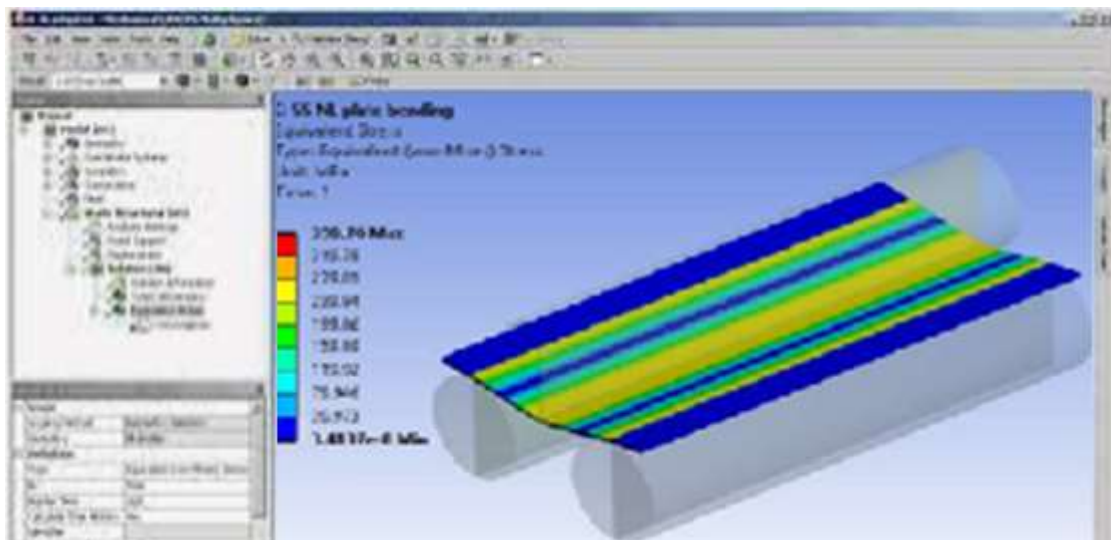
(1.5) mm

تم تصميم الأسطوانة العلوية على بعد (0.01)Cm من الصفحة، وتم استخدام التلامس الاحتكاكي بين الأسطوانة العلوية وسطح الصفحة. من المفترض أن يكون للبكرتين الأخرتين تلامس مع سطح الصفحة. يتم استخدام حجم التشبيك الدقيق في الأسطوانة العلوية لمنطقة التلامس ولوحة الاتصال لأنها مجال اهتمام كبير في هذه الدراسة. تم تثبيت بكرتين سفليتين في دائرة داخلية بقطر (10) mm. وتم استخدام الإزاحة إلى الأسطوانة العلوية كشرط حدي.

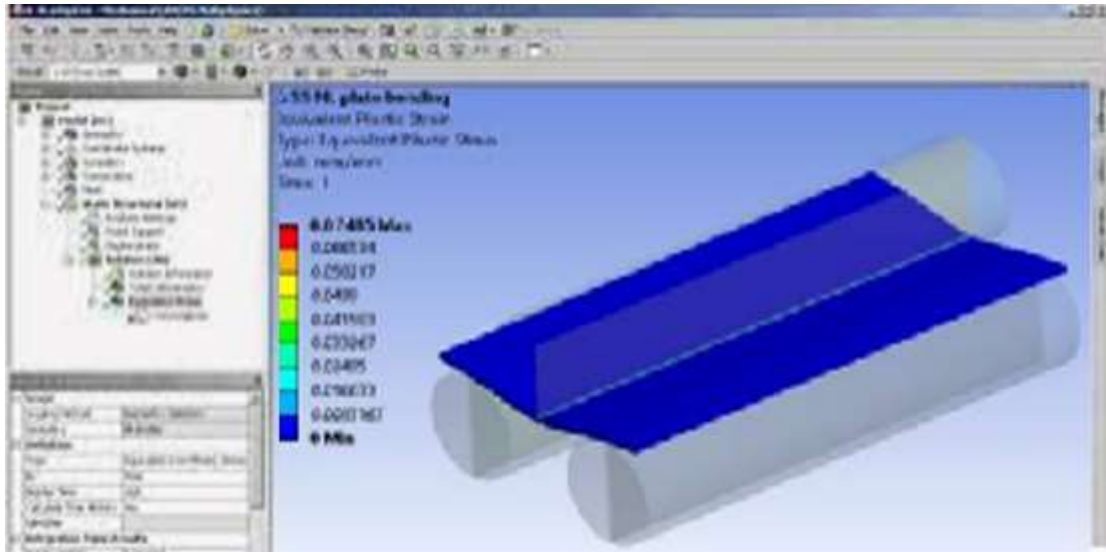
يوضح الشكل (4) حالة الحدود و التحميل وكان الوثيقة والإزاحة، والشكل (5) مخطط الاجهاد عند إزاحة البكرة (1)mm ممثلاً بتدرج الألوان، وتم استخدام خصائص الفولاذ غير الخطي من مكتبة (ANSYS) للصفائح.



الشكل (4) حالة الحدود و التحميل



الشكل (5) مخطط الاجهاد عند إزاحة البكرة 1 mm

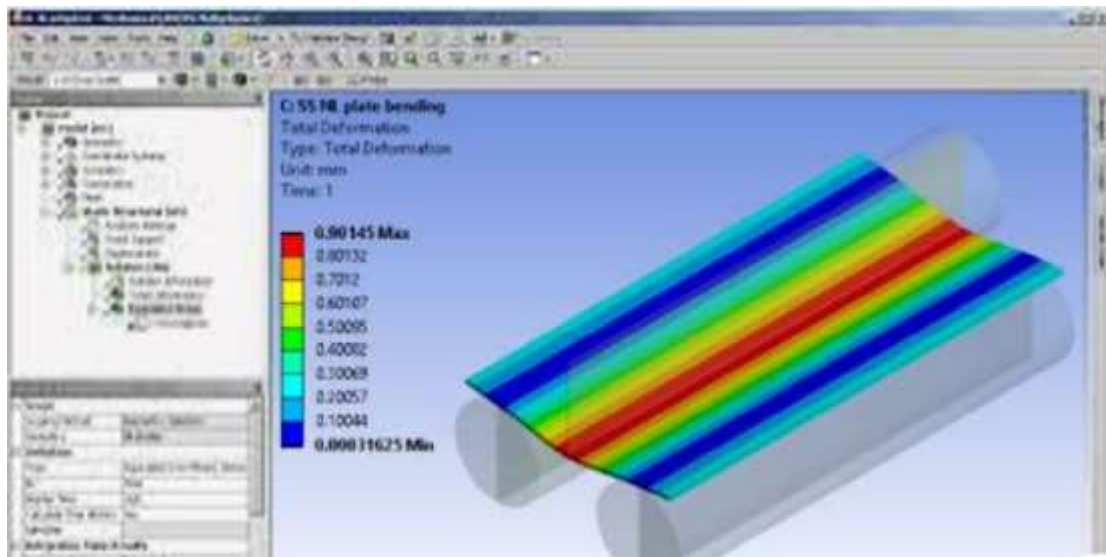


الشكل (6) مخطط الاجهاد المكافئ

يمكن قياس (Spring Back Effect) في (ANSYS) كاختلاف بين أقصى تشوه للصفائح عند الأسطوانة العلوية حيث الإزاحة والتشوه الأقصى في نهاية الدورة.

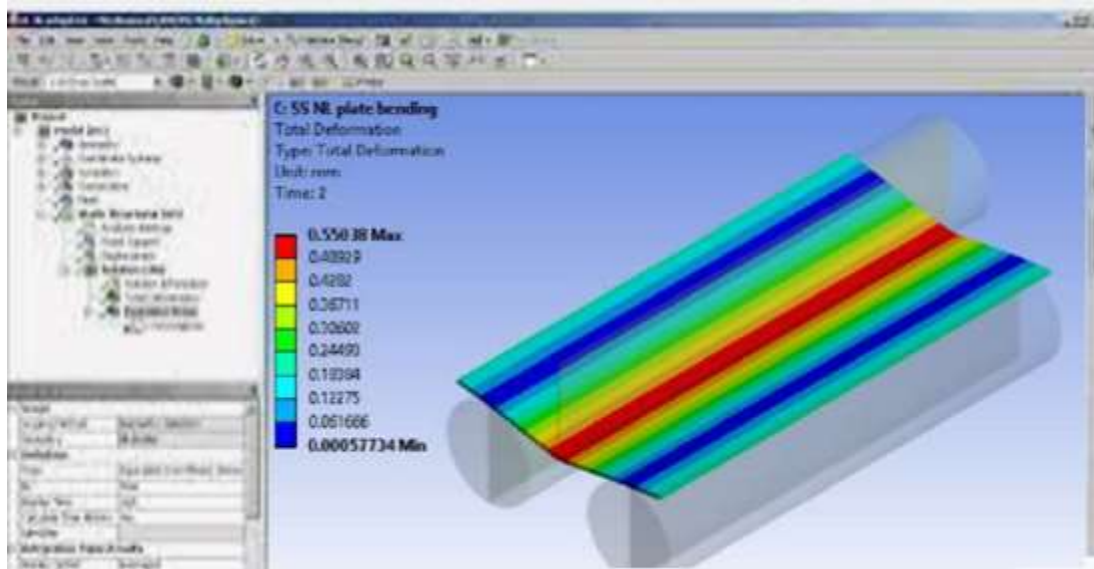
$$\text{Spring Back Effect} = 0.55038 - 0.90145$$

$$\text{Spring Back} = (0,35107) \text{ mm}$$



الشكل (7) مخطط التشوه الكلي لأقصى إزاحة للبكرة



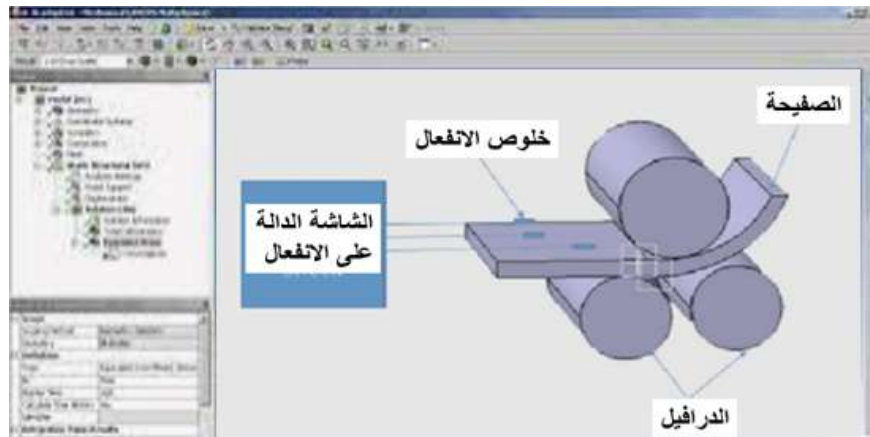


الشكل (8) مخطط التشوه الكلي لأقصى إزاحة للبكرة

يظهر الجدول (1) النتائج الحاسوبية التي تم الحصول عليها (نتائج الإزاحة والانفعال والإجهاد المكافئ).

### 3. التحقق من صحة النتائج:

تمت محاكاة أقصى انحراف ممكن للأسطوانة باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEA) نفس الشيء يحتاج إلى التحقق من الصحة كدليل على صحة النتائج حيث لا يمكن الاعتماد على (FEA) فقط للتنبؤ بالنتائج الدقيقة. وإنما من خلال المقارنة بين النتائج الحاسوبية والتجريبية.



الشكل (9) مخطط التشوه الكلي بعد استرجاع البكرة للخلف

## B. الدراسة التجريبية:

### 1- آلة اللف ذات الثلاث اسطوانات:

تتكون الماكينة من بكرتين سفليتين وأسطوانة علوية واحدة كما هو موضح في الشكل (10). يتم درفلة الألواح المعدنية بدون تقليل سمكها للحصول على الشكل الأسطواني المطلوب. تخضع الصفيحة لتشوه لدن وهذه عملية تشكيل على البارد بسبب دقة أبعادها العالية. العناصر المستخدمة في آلة اللف هي العمود، المحامل، اللولب، المسننات، الرافعات والإطار. تتكون العملية من أربع مراحل هي كما يلي، (أ) الانحناء الثابت (ب) التدحرج إلى الأمام (ج) التدحرج للخلف و (د) تفرغ قطعة العمل.



يتم الاحتفاظ بالصفائح المعدنية بين الأسطوانات العلوية والبكرات السفلية وتعطي الإزاحة الرأسية للأسطوانة العلوية للحصول على الانحناء المطلوب. يتم دفع البكرات السفلية بواسطة رافعة يدوية في الاتجاه الأمامي في المرحلة الثانية، للحصول على انحناء الصفيحة. يُستخدم أيضًا محركًا لتدوير البكرات السفلية. وبالمثل للحصول على دقة أبعاد أفضل للشكل النهائي، يتم دفع البكرات في الاتجاه الخلفي. يتم تفرغ الصفيحة المثنية عن طريق رفع الأسطوانة العلوية. يتم تنفيذ العملية باستخدام العديد من المواد مثل سبائك الألومنيوم والكربون وسبائك الفولاذ.

### 2- الجانب العملي في المخابر The practical side in laboratories:

يتم في التجربة، الاحتفاظ بالصفائح المعدنية بين البكرات العلوية والبكرات السفلية ويتم إعطاء البكرة العلوية إزاحة رأسية في مجال من (1-10) mm للحصول على الانحناء المطلوب، ويتم تحريك البكرات السفلية باستخدام رافعة يدوية في الاتجاه الأمامي للحصول على لفة الانحناء للصفيحة. وبالمثل، يتم دفع البكرات في الاتجاه الخلفي للحصول على دقة أبعاد أفضل للشكل النهائي. ثم يتم تفرغ الصفيحة المثنية عن طريق رفع الأسطوانة العلوية. بشكل عام، سيتم استخدام بكرات مستوية لدرجة اللوحة.

النموذج التجريبي كما هو موضح في الشكل (11). تتكون آلة الحني من ثلاث أسطوانات مع أخذود حلزوني على البكرات، يضمن الأخدود توفير المسار لمقاييس الإجهاد المثبتة على اللوح لتميرها دون درجة ونتائج مراقبة الإجهاد على اللوح أثناء التدرج. يتم وضع مقياس الإجهاد على الصفيحة في وقت الاختبار لقراءة قيم الإجهاد أثناء عملية الدرفلة إذ يظهر الجدول (2) النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من إزاحة الدرفيل العلوي والانفعال المقاس:



الشكل (11) نموذج تجريبي لآلة اللف (الثني)

## النتائج Results:

### A. النتائج الحاسوبية:

يبين الجدول (1) نتائج الإزاحة والانفعال والإجهاد المكافئ:

الإزاحة	الاجهاد المكافئ	الانفعال	عودة النابض (الزنبرك) للخلف
mm	Mpa	%	mm
1	358,66	7.6	0.3518
2	501	16.23	0.2806

3	732	31.86	0.2919
4	1026.7	50.58	0.2974
6	1422	75.64	0.2575
8	1624	88.42	0.2165
10	1817	100.54	0.1962

### B. النتائج التجريبية:

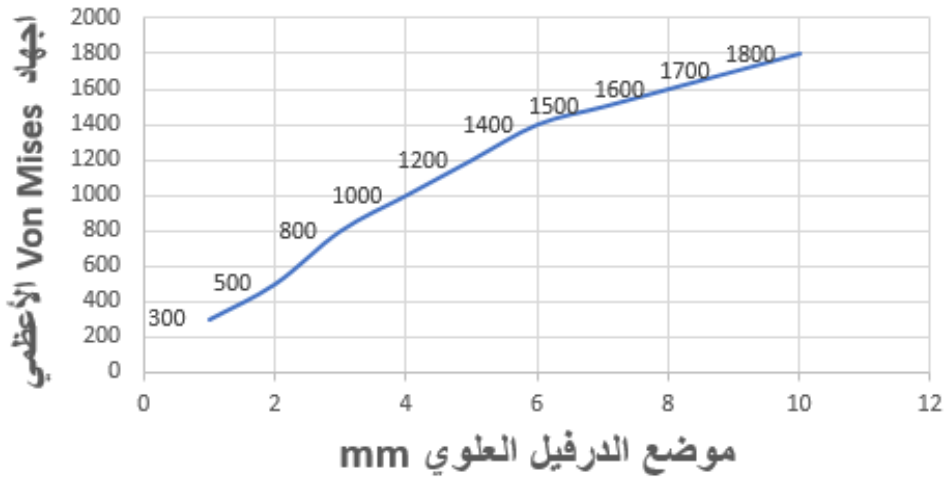
يبين الجدول (2) النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها:

إزاحة الدرفيل العلوي mm	الانفعال المقاس %
1	7.1
2	15.4
3	30.4
4	49.3
6	74.2
8	82.6
10	92.3

### المناقشة Discussion:

من نتائج النمذجة والمحاكاة، لوحظ أن الحد الأقصى للإزاحة المسموح بها للأسطوانة العلوية في قطعة العمل بمقدار (10)mm.

## العلاقة بين موضع الدرفيل العلوي و اجهاد Von Mises



## الشكل (13) مقارنة بين النتائج الحاسوبية والنتائج التجريبية

يوضح الشكل (13) مقارنة بين النتائج الحاسوبية والنتائج التجريبية المبينة بالجدولين (1) و (2)، إذ تم رسم المخطط الذي يظهر تطابقاً تاماً بين المنحنيين وبنسبة % (100) بين هذه النتائج، مما يؤكد على صحة ودقة نتائج النمذجة والمحاكاة التي تمت باستخدام طريقة العناصر المنتهية على برنامج (ANSYS).

## الخلاصة والاستنتاجات Conclusion:

من خلال ما تقدّم في هذه الدراسة، يمكن استنتاج ما يأتي:

- ❖ تم حساب قطر الأسطوانة المطلوبة للصفائح بحد أقصى لسماكة الصفائح mm (2) كان قطر الدرفيل mm (30).
- ❖ يمكن لف لوح بسماكة mm (1.5) دون أي تشققات على الصفائح المعدنية. مع المعطيات لقطر البكرة mm (30) ومسافة البكرة mm (54).
- ❖ تتوافق قيم الإجهاد التي تم الحصول عليها في (FEA) والاختبار إلى حد كبير مما يؤكد صحة نموذج (FEA).

**:Recommendations and proposals for future work المستقبلية المقترحات للأعمال**

من خلال ماتقدّم نوصي بمايأتي:

✚ إجراء الدراسة بشكل حاسوبي على برامج حاسوبية أخرى لحالات أخرى، للتحقق من صحة النتائج، والاستفادة من النموذج الحاسوبي ومن عملية المحاكاة في إعطاء تقييم أولي واختصار الوقت والتكلفة.

✚ استخدام النموذج الذي تم إنشاؤه للتعويض بقيم الحد الأقصى من الإجهاد وتأثير رجوع النابض لتحديد مواقع مختلفة للبكرات العلوية، أثناء ثني لوح بسماكة 1.5 mm باستخدام آلة اللف المدروسة، لأنه أعطى نتائج جيدة.

## المراجع References

- [1] Gajjar, H. V, Gandhi A. H, Jafri T. A and Raval H. K, 2007. ” ***Bendability analysis for bending of C-Mn steel plates on heavy duty 3-roller bending machine***” World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.1, No.8, p.86-91.
- [2] Gandhi, A. H, Shaikh A. A and Raval H. K. 2008. ” ***Analytical and empirical modeling of top roller position for three-roller cylindrical bending of plates and its experimental verification***”. P. 268-278.
- [3] Y, S, Jong. R, Cheolho. L, H, Jang, ” ***Developable polynomial surface approximation to smooth surfaces for fabrication parameters of a large curved shell plate by Differential Evolution***” Computer-Aided Design, Volume 40, Issue 9, September 2008, Pages 905-915.
- [4] Chudasama, M. K. and Raval H. K. 2012, ” ***Analytical model for prediction of force during 3-roller multipass conical bending and its experimental verification***”. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol.1, No.3, p.91-105.
- [5] Chudasama, M. K. and Raval H. K. 2013, ” ***Development of Analytical Model of Bending Force during 3-Roller Conical Bending Process and Its Experimental Verification***”. Vol:7, No.11.
- [6] Fu, Z, Tian. X, Chen. W, Hu B. and Yao X. 2013, ” ***Analytical modeling and numerical simulation for three-roll bending forming of sheet metal***”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.69, No.5- 8, p.1639-1647.

- [7] K. Shakil, H. K. Raval ” ***An analysis of forces during three roller bending process***”, January 2015, International Journal of Materials and Product Technology 51(3):248–263.
- [8] K.D. Bhatt, Pallav Mehta, Prem Choithwani, 4Yash Mendapara “***DESIGN AND DEVELOPMENT OF THREE ROLLER SHEET METAL BENDING MACHINE***” 2020 JETIR July 2020, Volume 7, Issue 7.
- [9] G. Ionel, B. Doina, S. Felicia, ” ***Estimating of Bending Force and Curvature of the Bending Plate in a Three–Roller Bending System Using Finite Element Simulation and Analytical Modeling***”, March 2021 Materials, 14(5):1204 ,DOI:10.3390/ma14051204.
- [10] L. Haoyuan, S. Qun, Z. Ying, S. Zhihao, ” ***Design of three–roll bending machine tool and research on compensation algorithm***”, September 2023, Advances in Mechanical Engineering 15(9), DOI:10.1177/16878132231196090.



# Numerical and experimental study of the behavior of steel plates on rolling mills

Dr. Engineer Youssef Samir Deeb\*

## Abstract

Sheet rolling is the process of bending metal sheets as desired using forming rollers. Sheet rolling is the most widely used technique for obtaining asymmetric hollow shapes. The process of winding cylinders is considered very important in manufacturing industries to produce large and thick parts such as the conical shape of a turbine engine, a wind turbine tower, etc.,...It is necessary to wrap metal sheets smoothly, safely, without cracks and damage for a long time. During the rolling of metal sheets, the pressure and tension in the sheets change. It is important that stress and strain are within the limits of the properties of the materials used and the safety factor required by engineering applications. There must be a maximum vertical displacement of the upper roller allowed without endangering the workpiece obtained. The winding process is mainly related to the calculation of the positions of the upper roller and the stress and pressure generated during the displacement of the upper roller for different thicknesses of sheet metal. In this study, a dynamic three-dimensional finite element (FEA) model of the winding process was developed using (CATIAV5) and (ANSYS) software. The obtained modeling and simulation results were compared with the experimental results of the winding machine. It was observed from the modeling and simulation results that the maximum vertical displacement of the upper cylinder allowed without cracking in the plate was at mm (10). By comparing the modeling and simulation results with the experimental results, it was noted that the stress values correspond to a maximum variation of (8.4%), which confirms the validity of the modeling and simulation results (FEA). The maximum vertical displacement of the upper cylinder is mm (10), where the Von mises stress is less than the stress value of the steel plate material studied.

**Keywords:** Modeling and simulation, finite element method, bending, stresses, strains.

---

\* Doctor of Engineer - Department of Design and Production Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia - Syria.