

مقارنة تجريبية تحليلية لمخطط نافذة التشكيل

لمنتج فولاذي كأسي بعملية السحب العميق

ط. عمار العبد اشراف د. توفيق المسعود + د. محمد كمال قرفول كلية : الهمك
جامعة : البعث

الملخص :

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية لمخطط نافذة التشكيل_ لمنتج فولاذي كأسي مشكل بعملية السحب العميق، فمن خلال هذا المخطط يتم تقديم صورة واضحة لقيم قوى مسك الصفح BHF التي يمكن استخدامها في عملية السحب العميق بدون أن تتسبب بتشكيل التجاعيد أو حدوث التمزق للمنتج، كما تمت دراسة تأثير نسبة السحب على مجال القيم المسموحة لقوى مسك الصفح الحدية ومقارنة النتائج التجريبية مع نتائج التحليلية لنموذج رياضي تم نشره في بحث سابق وقد أظهرت تلك المقارنة مدى التوافق الجيد بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية.

كلمات مفتاحية:

السحب العميق، قوة مسك الصفحة ، مخطط نافذة التشكيل، التجعد، التمزق.

Experimental and Analytical Comparison of Forming Window Diagram for Steel Cup Deep Drawing

Abstract:

This research introduces an experimental study aiming at finding the forming window diagram (FWD) for steel cup deep drawing, FWD clarifies blank holding force (BHF) values, that could be used in deep drawing process successfully without occurrence of wrinkling or rupturing of product, the influence of drawing ratio on the acceptable blank holding force range had been studied, then the experimental results had been compared with an analytical model predictions that earlier published. The results appears the acceptable accordance between experimental and analytical results.

Key Words:

deep drawing, blank holding force, forming drawing diagram, wrinkling, rupturing

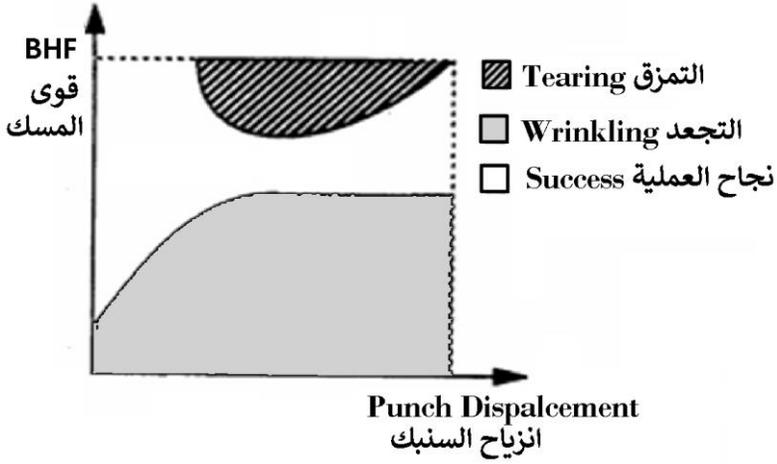
1- مقدمة:

تلعب عدة عوامل دوراً هاماً في عملية تشكيل الصفائح المعدنية بالسحب العميق مثل قوة مسك الصفيح Blank Holding Force BHF وشروط الاحتكاك وهندسة أدوات السحب (القالب والسنبك)، ولكن تعد الـ BHF هي العامل الرئيس الذي يؤثر على عملية انسياب معدن الصفيح إلى تجويف القالب في عملية السحب العميق، فهي تستخدم لتجنب تشكل التجاعيد في منطقة الفلنجة (الشفة) للمنتج، حيث يتم عادة زيادة قيمتها لمنع تشكل تلك التجاعيد في هذه المنطقة، ولكن إذا تمت زيادتها إلى حد يؤدي إلى إعاقة انسياب المعدن المسحوب إلى داخل القالب بشكل كبير فإن ذلك يتسبب في حدوث ترقق ثم تمزق في جدران المنتج المسحوب. لذلك من أجل تفادي فشل عملية السحب يجب ضبط الـ BHF إلى القيم التي تمنع حدوث كل من ظاهرتي التجعد والتمزق في عملية السحب العميق.

1-1- مخطط نافذة التشكيل (FWD) Forming Window Diagram:

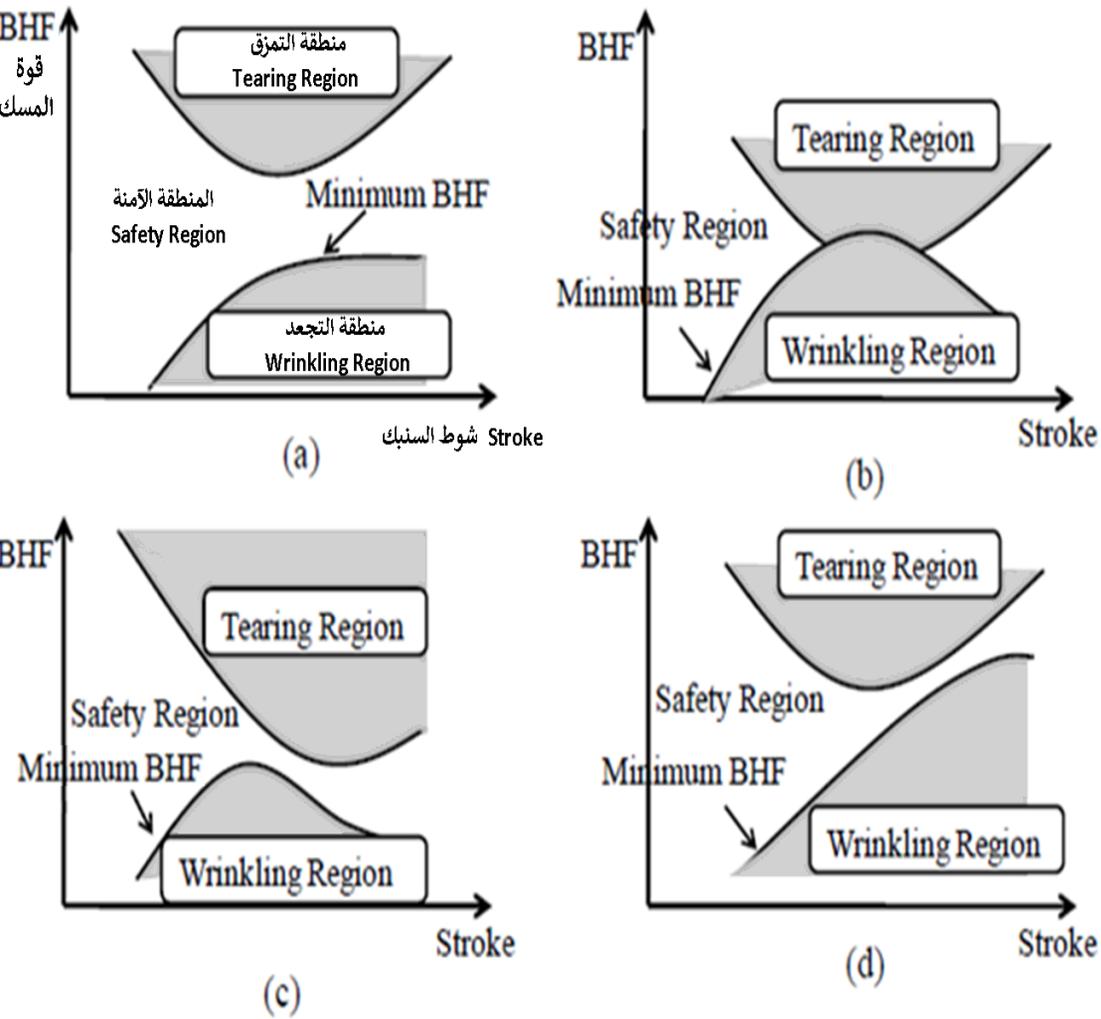
يمثل مخطط نافذة التشكيل FWD العلاقة بين الـ BHF ومسافة تقدم السنبك (عمق السحب)، أي يعبر عن المجال الذي يكون فيه المعدن قابلاً للتشكيل بالسحب العميق بدلالة قوة مسك الصفيحة وهو يعد أفضل من مخطط التشكيل الحدي الشائع FLC والذي يستخدم كدليل لقابلية المعدن للتشكيل اعتماداً على انفعالات التمزق الحدية_ كما أن مخطط FLC لا يقدم أية صورة عن حدود الانفعالات التي يمكن أن يحصل عندها التجعد خلال عملية السحب.

أول من قدم نموذجاً أولياً لهذا المخطط هما Doege و Sommer [1] والذي يبينه الشكل (1)، حيث دُعيت المنطقة بين المنحني الحدي للتجعد (الواقع أسفل المخطط) و المنحني الحدي للتمزق (الواقع أعلى المخطط) بمنطقة الأمان.



الشكل (1) نموذج مخطط نافذة التشكيل الأولي

يمكن لمخطط نافذة التشكيل FWD أن يأخذ عدة حالات يبينها الشكل (2) [11]، حيث نلاحظ أن الحالات الثلاث a, c, d لها نافذة تشكيل، بينما الحالة b ليس لديها نافذة تشكيل على الإطلاق.



الشكل (2) حالات مخطط نافذة التشكيل

ففي الحالة a يمكن أن تتم عملية السحب العميق بدون حصول تجعد أو تمزق عند قيمة ثابتة لـ BHF واقعة بين أدنى نقطة للمنحني الحرج على التمزق وأعلى نقطة للمنحني الحرج على التجعد. وأما الحالتان c و d من الممكن أن تتم عملية السحب بشكل ناجح إذا تم استخدام قيم متغيرة لـ BHF. أما الحالة b التي ليس فيها نافذة تشكيل فمن المفترض أن يتم استبدال نوع المعدن المسحوب بمعدن ذي قابلية أكبر للتشكيل أو أن يتم تعديل الأبعاد الهندسية للقالب والصفحة الخام.

1-2- دراسة مرجعية:

عمد مجموعة من الباحثين إلى إيجاد المجال المسموح لقيم BHF إما تجريبياً أو تحليلياً أو عن طريق تحليلات المحاكاة وذلك من أجل التحكم بقيمة تلك القوى خلال عملية السحب، وقد كانت أول محاولة للحصول على المخطط FWD في عام 1983 عن طريق إيجاد قيم الـ BHF بدلالة مقدار إزاحة السنك وذلك لتجنب حدوث التجعد أو التمزق في عملية السحب العميق [1] ، وقام Yossifon وآخرون [2] بمحاولة لإيجاد مجال القيم الأنسب للـ BHF بتنفيذ سلسلة من تجارب السحب العميق بثبات قوة مسك الصفيحة على صفائح الألمنيوم ليقدّموا مخطط يعبر عن العلاقة بين BHF و شوط المكبس مشابه للشكل (1) ولكن تم تمثيل حدود المنطقتين الحديتين على التجعد والتمزق بشكل خطي. وقد حاول كل من Kergen و Jodogne [3] تحديد القيم الدنيا للـ BHF التي تمنع حصول التجعد اعتماداً على قياسهم للمسافة بين القالب والماسك واستندا على نتائج تجاربهم في تأسيس مخطط لقوى BHF المتغير خلال عملية السحب. وقام K. Osakada وآخرون [4] بمحاكاة عددية لعملية السحب العميق لإيجاد قيم الـ BHF التي تجنب حدوث التجعد والتمزق. وقدم كل من J.Proubet و B.Baudelet [5] دراسة تجريبية وتحليلية مبسطة لمعيار التمزق خلال السحب العميق وقاموا بإيجاد قوى الـ BHF المسببة للتمزق من أجل قيم مختلفة لقطر الصفيحة الخام وبشروط احتكاك مختلفة. فيما بعد قام Gunnarsson وآخرون [6] بإنشاء سلسلة من التجارب للحصول على مخطط لقوى BHF بدلالة نسبة السحب الأعظمية والتي تمنع حصول التجعد أو الترقق من أجل كل من قوى BHF الثابتة والمتغيرة. وبعد ذلك قام LEI Kun [7] وآخرون بدراسة تحليلية لإيجاد قوى الـ BHF الصغرى التي تسبب ظهور التجاعيد في منتج صندوق، وحصلوا على مخطط يربط بين إحداثيات حافة الفلنجة خلال عملية السحب وقوى BHF في كل من المنطقتين المدورة والمستوية من الفلنجة. ثم قام كل من s. Kitayama وآخرون [8] باقتراح خوارزمية وربطها بنموذج محاكاة رقمي لتحديد مسار متغير للـ BHF يمكّن من تجنب حصول التمزق والتجعد. ثم قدم QIN Si-ji وآخرون [9] دراسة تحليلية لظاهرة التجعد ودرسوا العلاقة بين الـ BHF

وعدد التجاعيد وشكلها.. ثم قام Candra وآخرون [10] بدراسة تحليلية و محاكاة لإيجاد قيم الـ BHF الصغرى المسببة للتجاعيد بالاعتماد على المعيار الحدي للفراغ بين القالب والماسك. وعاد S. Kitayama وآخرون [11] ليقدموا دراسة محاكاة لعملية السحب في الحالة (d) التي يكون فيها مخطط نافذة التشكيل المستحيل التشكيل بعد عمق معين تحت قوة BHF ثابتة بسبب التجعد والتمزق. وحصلوا على مخطط العمل بالمحاكاة العددية وذلك من أجل عدة قيم ثابتة لـ BHF ، ثم استخدم تقنية الأمثلة SAO (Sequential approximate optimization) لإيجاد منحى قوى BHF المتغير الذي يمكن أن يزيد من عمق التشكيل، وفي البحث [12] تم تقديم نموذج رياضي تحليلي يتنبأ بمخطط نافذة التشكيل FWD لأية عملية سحب عميق لمنج كاسي مع الأخذ بالحسبان معظم العوامل التي يمكن أن تؤثر على عملية السحب وقد تم توظيف دراسات مرجعية تجريبية للتأكد من صلاحية ذلك النموذج.

1-3-هدف البحث:

دراسة تأثير قوى مسك الصفيح على قابلية التشكيل بالسحب العميق وعلى نسبة السحب تجريبياً. كما يأتي هذا البحث استكمالاً للعمل السابق [12] من حيث توسيع القاعدة التجريبية التي تؤكد على صلاحية النموذج الرياضي الذي تم تقديمه والذي تم الاستناد عليه أيضاً في اختيار الأبعاد الهندسية لأدوات السحب و التنبؤ بقيم قوى مسك الصفيح التي يمكن استخدامها مع المعدن المختار.

سنقدم في الفقرات التالية شرح للاختبارات التي أجريت على معدن الفولاذ الذي نفذت به تجارب السحب وذلك للحصول على خواصه الميكانيكية ومعامل احتكاكه مع سطوح أدوات السحب. ثم فيما بعد يتم استعراض النتائج التجريبية لتجارب السحب العميق التي أجريت على ذلك الفولاذ وقد بلغ عدد تجارب السحب العميق المنفذة 30 تجربة.

2-الاختبارات المنجزة على معدن الفولاذ المختار:

من أجل التطبيق العلمي لتجارب السحب كان من الضروري إيجاد الخصائص الميكانيكية للفولاذ المراد اختباره بالإضافة إلى معامل احتكاكه مع أدوات السحب (قالب

والماسك) لما لهذه المعطيات من دور في تصميم عملية السحب العميق وهندسة أدوات السحب وذلك من خلال تطبيقها على النموذج الرياضي [12].

1-2-2- اختبار التحليل الطيفي:

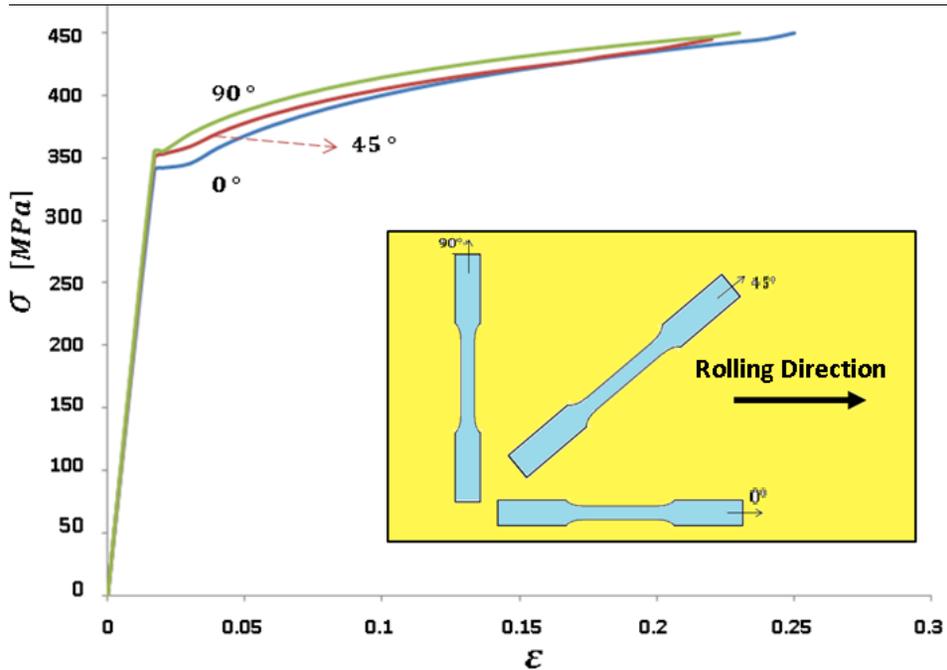
يستعرض الجدول (1) التركيب الكيميائي للفولاذ المنخفض الكربون الذي سيتم تنفيذ تجارب السحب عليه باستخدام جهاز التحليل الطيفي.

الجدول (1) التركيب الكيميائي للفولاذ

Compositi on	C	M n	Si	Al	Cu	Cr	Ni	P	S
% Wt	0.07	0.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01
	5	3	3	5	1	2	1	2	2

2-2-2- اختبار الشد:

تم استخدام جهاز الشد Tinius Olsen H50KS لإجراء اختبارات الشد وفق معيار ASTM (E8M-98) لثلاث مجموعات من العينات مقصوفة وفق الزوايا $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ بالنسبة لاتجاه درفلة الصفيحة الفولاذية كما هو مبين في الشكل (3) وكل مجموعة من هذه المجموعات الثلاث تتكون من خمس عينات. يبين الشكل (3) منحنيات إجهاد-انفعال الحقيقية التي تم الحصول عليها وفق الاتجاهات الثلاثة.



الشكل (3) مخطط إجهاد-انفعال حقيقي في الاتجاهات $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$

يعرف معامل تباين الخواص R بالعلاقة $R_\theta = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t}$ حيث ϵ_t, ϵ_w الانفعالات اللدنة في كل من الاتجاه العرضي لعينة الشد واتجاه سماكتها على التوالي، θ زاوية العينة، ومن أجل قياس قيمة هذا المعامل لكل عينة تمت طباعة شبكة العلامات المبينة في الشكل (4) على جميع العينات المختبرة بتباعد 10 mm في الاتجاه الطولي للعينة و 5mm في الاتجاه العرضي، وذلك من أجل قياس الانفعالات الحاصلة في تلك الشبكة أثناء الاختبار، حيث تم تثبيت كاميرا- فيديو بدقة (4032 × 3024) بكسل أمام العينة وتصويرها أثناء اختبار الشد لتتبع التشوهات الحاصلة في الشبكة. وقد تم قياس الانفعالات اللدنة في كل من الاتجاه الطولي والعرضي للعينة بينما تم اعتماد فرضية ثبات حجم المعدن لحساب الانفعالات في اتجاه السماكة ثم تم حساب معامل تباين الخواص لكل عينة وفق الاجرائيات الواردة في المعيار ASTM (E517-98) ثم أخذنا قيمة المتوسط الحسابي لكل مجموعة من العينات أي تم حساب كل من R_0, R_{45}, R_{90} ثم تم حساب معامل تباين الخواص الناظمي باستخدام العلاقة: $R = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$



الشكل (4) عينة شد مجهزة بشبكة من العلامات

إن العلاقة الرياضية المستخدمة للتعبير عن مخطط إجهاد-انفعال لمعدن الفولاذ هي علاقة Hollomons التالية: $\sigma = K\varepsilon^n$ حيث n دليل التقسية الانفعالية و K معامل المتانة. وقد تم اتباع خطوات المعيار ASTM (E646-93) لحساب كل من n و K اعتماداً على نتائج تجارب الشد لكل مجموعة من المجموعات. يلخص الجدول (2) الخصائص الميكانيكية التي تم الحصول عليها للمعدن المختبر في الاتجاهات الرئيسية الثلاثة.

الجدول (2) الخصائص الميكانيكية لفولاذ

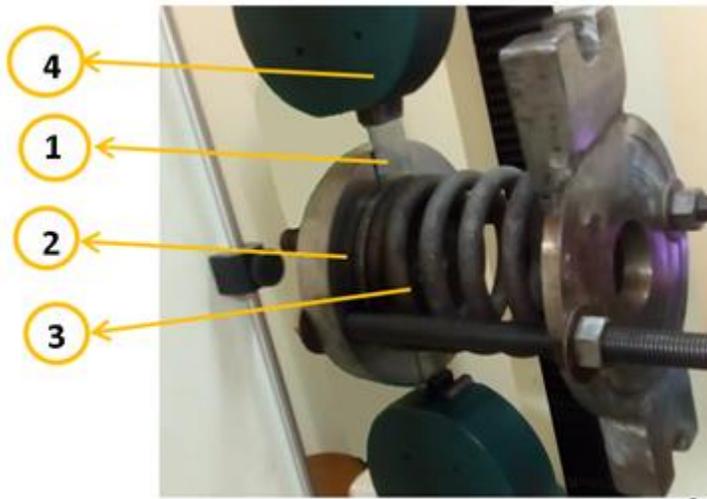
A308 SQ grade D II , $t_0 = 0.6 \text{ mm}$

	σ_y [MPa]	σ_t [MPa]	Total El %	R^{15}	n	K [MPa]
0°	340	450	28.5	1.12	0.122	530
45°	350	450	24.5	0.97	0.1	508
90°	355	450	27	1.26	0.096	517
Mediu m value	348.7	450	26.12 5	1.0 8	0.10 5	515.75

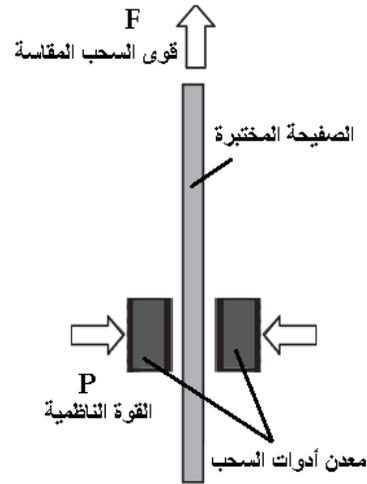
لقد تبين من خلال التركيب الكيميائي للفولاذ المختبر وخصائصه الميكانيكية أنه يتوافق مع الصنف، A308 SQ grade D type2 وفق المعيار ASTM.

3-2- اختبار الاحتكاك الانزلاقي:

للحصول على معامل احتكاك صفيحة الفولاذ مع سطوح أدوات السحب تم إجراء اختبار الاحتكاك الانزلاقي باستخدام جهاز اختبار الشد، كما يبين الشكل (5) تجهيزات تجربة الاحتكاك، حيث تم تثبيت العينة الفولاذية مستطيلة الشكل بين سطحي قالب والماسك اللذين سيتم استخدامهما في تجارب السحب العميق، وتم تطبيق قوة ناظرية على تلك الصفيحة الفولاذية باستخدام نابض تم قياس ثابت صلابته بشكل مسبق باستخدام جهاز الشد والذي يساوي 75N/mm ، وتم سحب الصفيحة الفولاذية من بين سطحي الماسك والقالب باستخدام جهاز الشد وقياس قوى السحب الناتجة. تمت إعادة التجربة ثلاث مرات.



(b)



(a)

الشكل (5) (a) مخطط تجربة الاحتكاك. (b) تجهيزات تجربة الاحتكاك 1-
الصفيحة 2-القالب والماسك 3-النابض 4-جهاز الشد

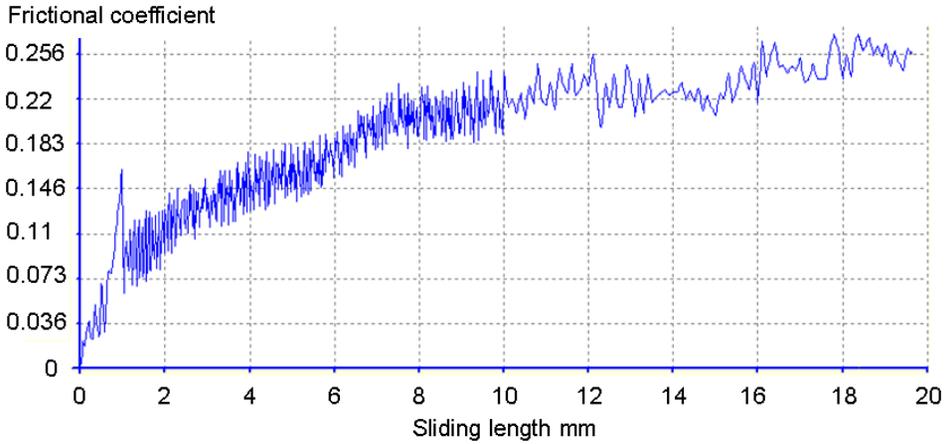
يبين الجدول (3) شروط تجربة الاحتكاك الانزلاقي، حيث أن قيمة القوة الناظرية المطبقة هي قوة وسطية بالنسبة لمجال قوى المسك المراد استخدامها في تجارب السحب العميق، وكذلك سرعة اختبار الاحتكاك هي ذاتها السرعة المراد تطبيقها في تجارب السحب،

وأيضاً زيت لتشحيم المعدني المستخدم هو ذاته الذي سيتم استخدامه في تجارب السحب العميق.

الجدول (3) شروط تجربة الاحتكاك الانزلاقي

Normal force (القوة الناظمية)	4 [kN]
Sliding speed (سرعة الانزلاق)	60 mm/min
Lubricant (التشحيم)	Mineral oil (زيت معدني)
Tool materials (معدن أدوات السحب)	Mild steel (same drawing tools)

يبين الشكل (6) النتائج التي تم الحصول عليها من تجربة الاحتكاك .

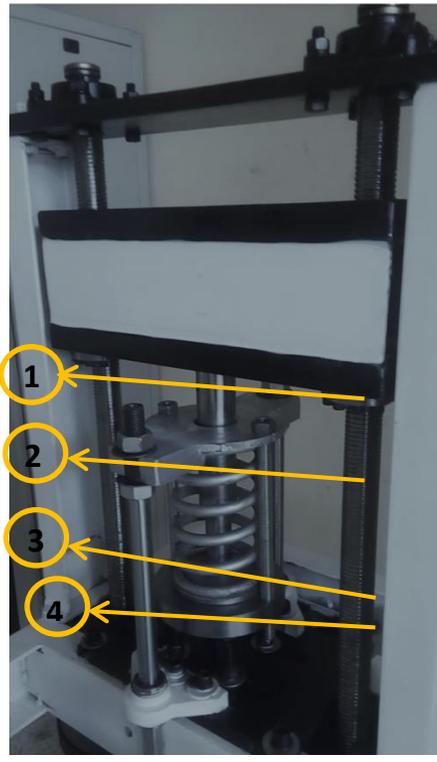


الشكل (6) معامل الاحتكاك بدلالة شوط الانزلاق

3- تجارب السحب العميق:

تم اجراء سلسلة من تجارب السحب على الفولاذ السابق عند نسب سحب مختلفة (نسبة قطر الصفيحة الخام إلى قطر المنتج) وباستخدام قوى مسك ثابتة من أجل مخطط التشكيل الحدي FWD لكل نسبة سحب، وإيجاد نسبة السحب الحدية التي يمكن تنفيذها بالنسبة لشروط السحب المختارة (الجدول 4)، حيث تم تقسيم التجارب على خمس مجموعات كل مجموعة تمثل نسبة سحب معينة و من أجل كل نسبة سحب تم تنفيذ عدد

من تجارب السحب بثبات قوى مسك للصفحة BHF مع مراعاة أن قوة المسك العظمى التي يمكن تنفيذها باستخدام ميكانيزم الماسك الموضح في الشكل (6) هي 8kN. بالنسبة لأبعاد أدوات السحب المختارة فقد تمت مراعاة الشروط التصميمية لقوالب السحب [13] [14]، وقد نفذت تجارب السحب باستخدام مكبس سيرفو ثنائي الفعل متحكم به حاسوبيا والمبين بالشكل (7) حيث تم تصميمه وتصنيعه من أجل البحث.



الشكل (7) مكبس سيرفو وأدوات السحب 1- السنك 2- النابض 3- الماسك 4- القالب

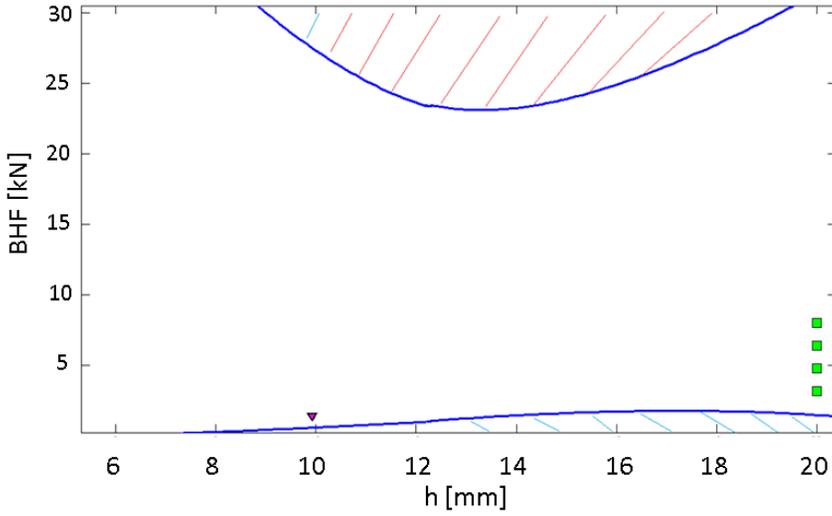
الجدول (4) شروط تجارب السحب العميق

Punch diameter (قطر السنك)	35 mm
Punch shoulder radius (نصف قطر حافة السنك)	5 mm

Die shoulder radius (نصف قطر حافة القالب)	4 mm
Drawing Speed (سرعة السحب)	60 mm/min
Clearance (الخلوص)	0.75 mm
Steel sheet (سماكة الصفيحة)	0.6 mm
Lubricant (زيت التشحيم)	نفسه المستخدم في تجربة الاحتكاك
Drawing ratio (نسبة السحب)	1.8 , 1.9 , 2 , 2.1 , 2.2

1-3- نسبة السحب 1.8:

يمثل الخط المستمر في مخطط FWD المبين في الشكل (8) نتائج النموذج التحليلي حيث أن المنطقة المهشرة العليا هي منطقة حصول التمزق في العينات، بينما المنطقة المهشرة في الأسفل هي منطقة حصول التجعد في العينة والمنطقة المحصورة بينهما هي المنطقة الآمنة التي يمكن تنفيذ تجارب السحب فيها بدون عيوب، وتمثل نتائج التجارب على شكل رموز، حيث يرمز بالمرجع لنجاح التجربة (بدون عيوب) بينما يمثل رمز المثلث فشل التجربة وظهور التجاعيد كما هو واضح في العينات المبينة في الشكل (9).



الشكل (8) مخطط FWD عند نسبة سحب 1.8 (الخط مستمر = النموذج رياضي، المربع = نجاح التجربة، المثلث = ظهور التجاعيد)

تم تنفيذ خمس تجارب بزيادة تدريجية لقوى مسك الصفيح وفق تسلسل القيم التالية (1.6, 2.3, 4.8, 6.4, 8) kN كما يبين الشكل (7) ظهور التجعد على عينة واحدة تحت قوة مسك 1.6 kN عند العمق 10mm و نجاح أربع تجارب عند كل قيمة من قيم قوى مسك الصفيح المتبقية حتى العمق النهائي للمنتج 20.15 mm، ونلاحظ مدى التوافق بين النتائج التجريبية ونتائج النموذج الرياضي.

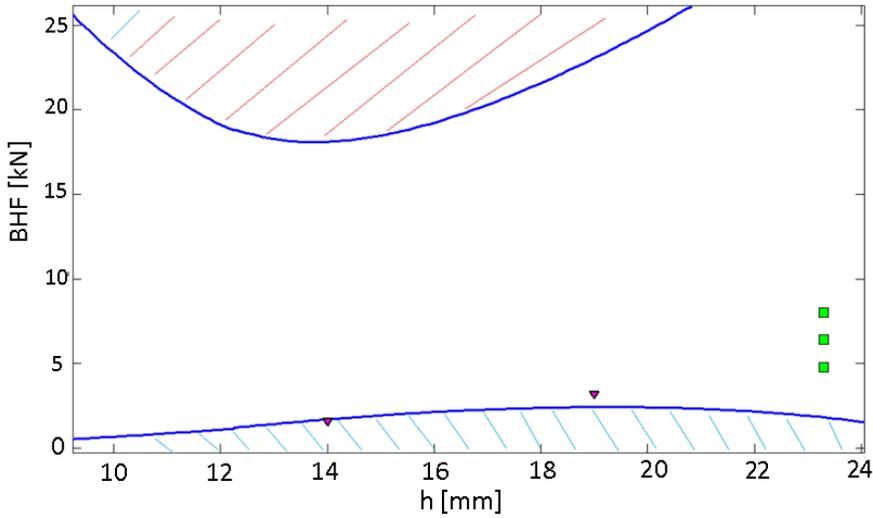


الشكل (9) عينات عملية السحب عند النسبة 1.8

2-3- نسبة السحب 1.9:

تم تنفيذ خمس تجارب عند نسبة السحب 1.9 باستخدام تسلسل قوى المسك الثابتة السابقة، وكما يبين الشكل (10) نجاح ثلاث تجارب بدون عيوب حتى العمق النهائي

23.4mm، وظهور التجاعيد في تجربتين واحدة عند العمق 14mm والأخرى عند العمق 19mm حيث نلاحظ في التجربة الثانية أن زيادة قوى المسك أخرت ظهور التجاعيد حتى وصلت للعمق 19mm مقارنة مع التجربة الأولى (ظهور تجاعيد عند 14mm).



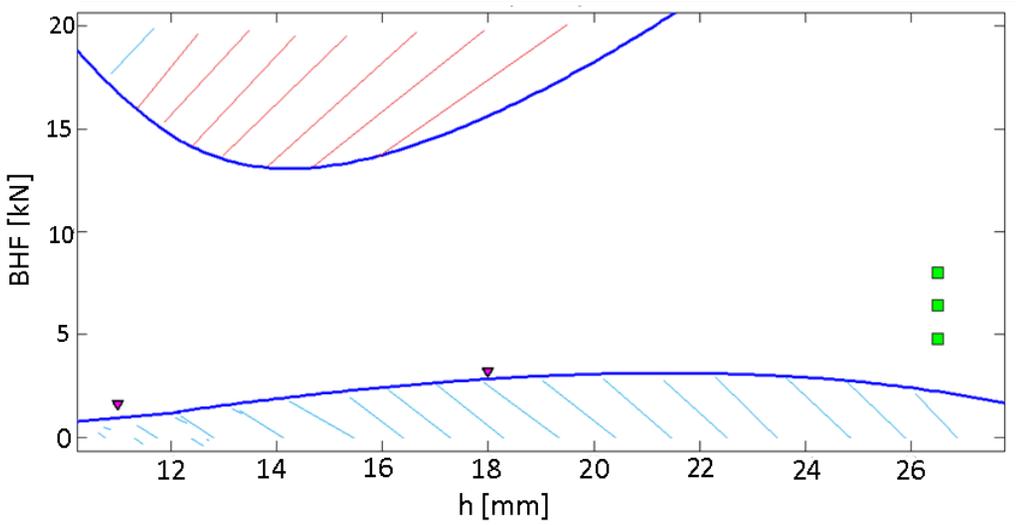
الشكل (10) مخطط FWD عند نسبة سحب 1.9 (الخط مستمر = النموذج رياضي، المربع نجاح التجربة، المثلث ظهور التجاعيد)



الشكل (11) عينات عملية السحب عند النسبة 1.9

3-3- نسبة السحب 2:

تُظهر التجارب المنفذة على هذه النسبة وبالتسلسل السابق لقوى المسك نجاح ثلاث تجارب سحب حتى العمق النهائي 26.8mm وظهور تجعد في تجربتين عند العمقين 11 mm و 18.3mm كما هو مبين في الشكل (12).



الشكل (12) مخطط FWD عند نسبة سحب 2 (الخط مستمر = النموذج رياضي، المربع نجاح التجربة، المثلث ظهور التجاعيد)



الشكل (13) عينات عملية السحب عند النسبة 2

4-3-نسبة السحب 2.1:

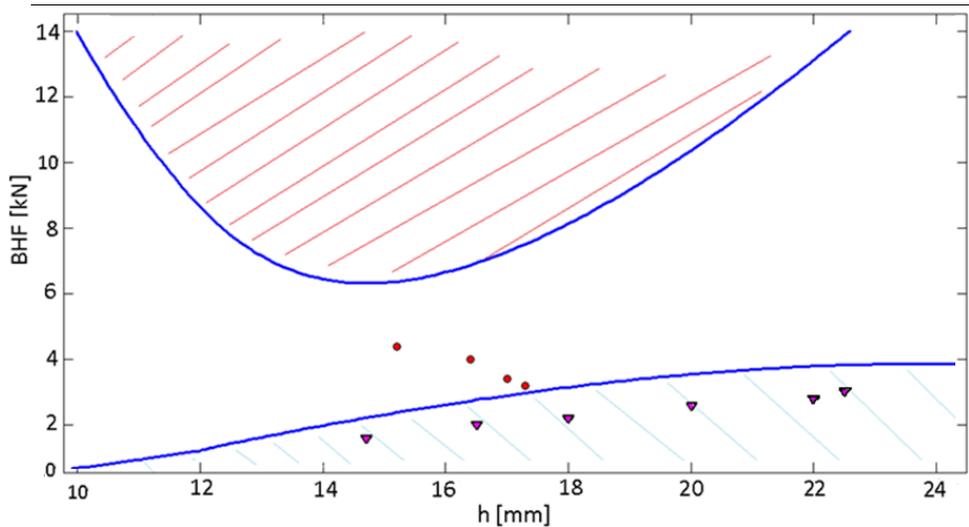
أما عند نسبة السحب 2.1 فقد نفذت عشر تجارب بنسبة تزايد أقل لقوى مسك الصفيح كما هو مبين في الجدول (5) حيث ظهرت العيوب في جميع التجارب العشرة (ظهرت تجاعيد في ست تجارب عند أعماق مختلفة وهي ممثلة برمز المثلث في الشكل (14) وتعرضت أربع تجارب للتمزق عند أعماق مختلفة أيضاً ممثلة برمز الدائرة)، وكما نلاحظ من النتائج التجريبية والقيم المختارة لقوى المسك أنه عند نسبة السحب 2.1 من المستحيل اتمام عملية السحب حتى العمق الأعظمي المفترض للمنتج 30.4 mm بدون حصول عيوب في المنتج.

فقد تم تكثيف النقاط التجريبية (تقليل مقدار الزيادة في قوى المسك بشكل كبير) في المنطقة الواقعة بين التجعد والتمزق لمحاولة إيجاد قوة مسك ثابتة لا يحصل عندها عيوب (التجارب 5،6،7،8).

كما هو واضح من الشكل (14) تشير النتائج التحليلية إلى أنه من الممكن تنفيذ عملية السحب بنجاح عند استخدام قيم معينة لقوى BHF وهذا لا يتوافق مع النتائج التجريبية التي بينت أن أعظم عمق يمكن الحصول عليه عند هذه النسبة هو 22.5 mm . طبعاً يمكن تفسير هذا الاختلاف بين النتائج التجريبية والتحليلية بأن قيم الاجهادات المحسوبة تحليلياً خلال عملية السحب أقل من الاجهادات الناشئة تجريبياً.

الجدول(5) النتائج التجريبية عند نسبة سحب 2.1 تحت قيم BHF ثابتة

رقم التجربة	BHF [kN]	عمق السحب h [mm]	نوع العيب
1-4	1.6	14.7	تجعد
2-4	2.0	16.5	تجعد
3-4	2.2	18.2	تجعد
4-4	2.6	20.0	تجعد
5-4	2.8	22.2	تجعد
6-4	3.0	22.5	تجعد
7-4	3.1	17.3	تمزق
8-4	3.2	17.1	تمزق
9-4	4.0	16.4	تمزق
10-4	4.4	15.2	تمزق



الشكل (14) مخطط FWD عند نسبة سحب 2.1 (الخط مستمر = النموذج رياضي، الدائرة تمزق العينة، المثلث ظهور التجاعيد)

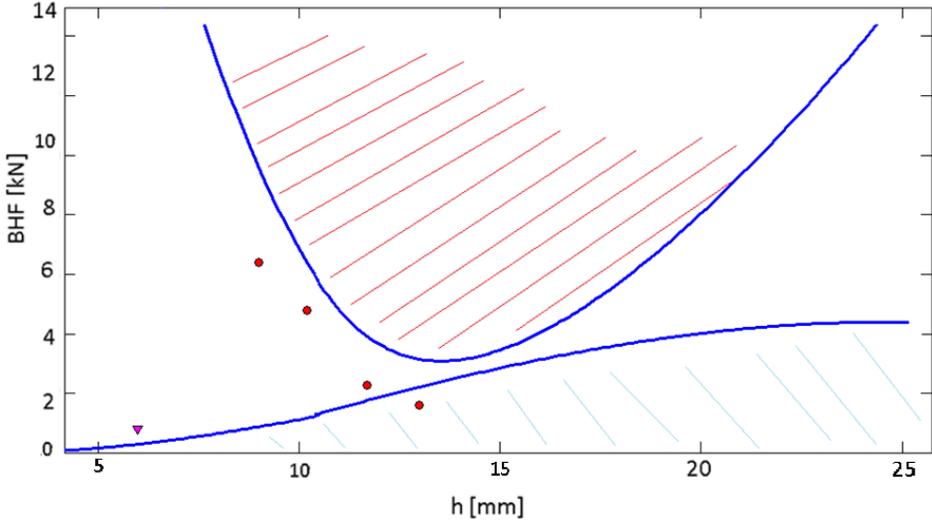


الشكل (15) عينات عملية السحب عند النسبة 2.1

5-3-نسبة السحب 2.2:

تم إجراء خمس تجارب سحب عند نسبة السحب هذه وفق تسلسل قيم المسك التالية
(0.75,1.6,2.3,4.8,6.4) kN

ويبين الشكل (16) توافق النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية من حيث عدم إمكانية تنفيذ عملية السحب تحت قوة BHF ثابتة

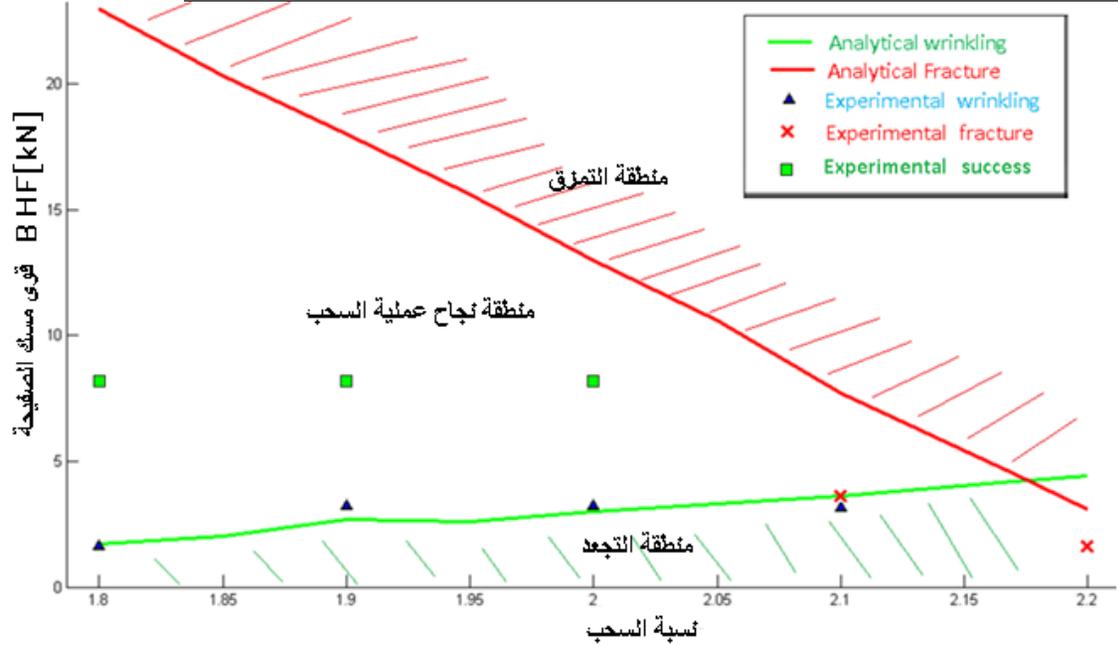


الشكل (16) مخطط FWD عند نسبة سحب 2.2 (الخط مستمر = النموذج الرياضي، الدائرة تمزق العينة، مثلث ظهور التجاعيد)

من خلال النتائج السابقة يمكن القول أن هناك توافق جيد بين النتائج التجريبية ونتائج النموذج الرياضي في التنبؤ بقيم قوى مسك الصفيح المسموحة عند كل نسبة من نسب السحب المنفذة. سيتم في الفقرة التالية توضيح تأثير نسبة السحب على المجال المسموح لقوى BHF.

5- تأثير نسبة السحب:

يمكن التعبير عن النتائج التجريبية والتحليلية السابقة بمخطط يبين تأثير نسبة السحب على مجال قوى مسك الصفيح التي يمكن استخدامها عند سحب منتج كاسي من معدن الفولاذ المذكور آنفاً. يمثل الشكل (17) المخطط الحدي لقوى BHF على التمزق والتجعد بدلالة نسبة السحب.



الشكل (17) المخطط الحدي لقوى BHF على التمزق والتجعد بدلالة نسبة السحب

(الخط المستمر = النتائج تحليلية، رمز المربع والمثلث والـ X = النتائج تجريبية)

نلاحظ من الشكل (17) أن العلاقة بين نسبة السحب وقوة المسك الحدية سواء بالنسبة للتجعد أو للتمزق هي علاقة خطية، حيث تمثل المنطقة المهشرة العليا منطقة التمزق والمنطقة المهشرة السفلى منطقة التجعد، ورمز المثلث هو النتائج التجريبية للحدود العليا لقوى المسك التي ظهرت عندها التجاعيد عند نسب السحب المقابلة، الرمز X النتائج التجريبية للحدود الدنيا لقوى المسك التي حصل عندها تمزق للعينة، وتمثل المنطقة غير المهشرة بينهما مجال قيم الـ BHF المسموحة عند كل نسبة سحب وتمثل رموز المربعات في هذه المنطقة نجاح عملية السحب عند تطبيق قوة المسك الأعظمية التي توفرها الآلة. عند نسب السحب الصغيرة لم يتم الحصول بشكل تجريبي على حالة التمزق بسبب التقيد بحدود القوى التي يقدمها ميكانيزم المسك من ناحية ولكبر القوى المسببة للتمزق كما تشير النتائج التحليلية من ناحية أخرى. ونلاحظ من النتائج التحليلية (النموذج الرياضي) أنه بعد نسبة السحب 2.17 لا يمكن أن تتم عملية السحب تحت أية قوة مسك ثابتة وتدعى هذه النسبة بنسبة السحب الحدية بينما كما هو مبين تجريبياً أن نسبة السحب

الحدية للشروط التجريبية هي 2.1 وهي مقارنة جداً للنسبة المتوقعة من النموذج الرياضي.

6-الاستنتاجات والتوصيات:

استعرضنا خلال هذا البحث دراسة تجريبية تهدف إلى دراسة تأثير قيم الـ BHF على ظاهرتي التجعد والتمزق في عملية السحب العميق لمنتج فولاذي كاسي، بالإضافة إلى مقارنة النتائج التجريبية مع نتائج نموذج رياضي تم نشره سابقاً يقوم بدراسة تأثير الظاهرتين أيضاً، ولتأمين المعطيات الأولية للنموذج الرياضي قمنا بإجراء مجموعة من الاختبارات لإيجاد الخصائص الميكانيكية وشروط الاحتكاك للمعدن المراد اختباره، وحيث أعطت النتائج التجريبية لتجارب السحب توافق جيد مع نتائج النموذج الرياضي سواء من حيث مجالات قوى مسك الصفيح المسموحة وأعماق السحب المتوقعة أو من ناحية توقع نسبة السحب الحدية للمعدن المختار وفق الشروط التجريبية المنفذة (أبعاد أدوات السحب) مما يبرهن على صلاحية النموذج الرياضي في التنبؤ بتلك المعطيات.

وبينت الدراسة أنه كلما كبرت نسبة السحب المنفذة كلما قل مجال قوى BHF المسموحة وفق منحنى شبه خطي يمثل حدود المجال مع نسبة السحب سواء من ناحية المنطقة الحدية على التجعد والتي يتزايد منحنيتها الحدي بشكل خطي أو من ناحية المنطقة الحدية على التمزق والتي يتناقص منحنيتها الحدي بشكل خطي أيضاً.

وقد تم في هذا البحث التقييد بحدود قوى المسك التي يوفرها ميكانيزم المسك في آلة السحب وهي 8 kN ويمكن توسيع مجال قوى المسك باستبداله بميكانيزم آخر لدراسة تأثير قوى مسك أكبر على عملية السحب وأيضاً يمكن إجراء هذه الدراسة على أنواع أخرى من المعادن كما يمكن العمل على تحسين دقة النموذج الرياضي بحيث يحقق دقة أكبر في توقع نسبة السحب الحدية التي يمكن تنفيذها تجريبياً.

7-المراجع:

Reference:

- 1- E.J. Obermeyer, S.A. Majlessi, 1998, A review of recent advances in the application of blank-holder force towards improving the forming limits of sheet metal parts, *Journal of Materials processing Technology* 75,P 222–234.
- 2- S. Yossifon et al, 1992, On the acceptable blank-holder force range in the deep-drawing process, *Journal of Materials Processing Technology*, 33 ,P175–194.
- 3- R. Kergen, P. Jodogne, 1992 ,Computerized control of the blankholder pressure on deep drawing presses, *Society of Automotive Engineers Technical Paper No. 920433*, Warrendale, PA.
- 4- Kozo Osakada et al, 1995, Controlled FEM Simulation for Determining History of Blank Holding Force in Deep Drawing, *Annals of the CIRP Vol. 44/1/P243–246*.
- 5- J. Proubet et al, 1997, Rupture criteria during deep drawing of aluminum alloys, *Elsevier Science B.V.p289–297*.
- 6- L.Gunnarsson et al, 1998, In-process control of blank holder force in axisymmetric deep drawing with digressive gas springs, *Journal of Materials Processing Technology* 73 ,89–96.
- 7- LEI Kun et al, 2006, Wrinkle Limit Blank Holder Force Models in Square-Box Deep Drawing With Variable Segment Blank-

- Holder's, Chances Journal of Mechanical Engineering, Vol.19, No.2,P205–211.*
- 8– *Satoshi Kitayama et al, 2010, The Square Cup Deep Drawing by Variable Blank Holder Force, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, 76/766: 1617–1626. (in Japanese) .*
- 9– *QIN Si–ji et al, 2012, Critical blank–holder force in axisymmetric deep drawing, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 22,P 239–246.*
- 10– *Susila Candra et al, 2015, Modeling of Critical Blank Holder Force Based on a Gap Limit and Unbending Strain Energy in Deep Drawing Process, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Vol 7 No 2 ,p461–474.*
- 11– *S. Kitayama et al, 2015, Numerical investigation and optimization of pulsating and variable blank holder force for identification of formability window for deep drawing of cylindrical cup, Springer DOI 10.1007/s00170–015–7385–7.*
- 12– *A. Aleid, T. Almasoud , M.K. Karfoul ,2020, Analytical Study for Finding Forming Window Diagram of Cup Deep Drawing Process, Journal of Al–Baath University, Vol 42 (in Arabic).*
- 13– *Z. Marciniak et al,2002 _ Mechanics of Sheet Metal Forming, Butterworth–Heinemann, chapter 1,P7.*

- 14- *Malika .R. Bhatt, and Sanjay .H. Buch , 2017, An Expert System of Die Design for Multi Stage Deep Drawing Process, procedia Engineering 173, P1650-1657.*

