

Simulation of Strian Rate Effect on the Deep Drawing Force For Dual-Phase Stee

(محاكاة تأثير معدل الانفعال على قوة السحب العميق لصفائح الصلب ثنائي الطور)

م.م سعد رزاق مجيد
المعهد التقني/كوفه

م. كاظم خيون كحلول
المعهد التقني/كوفه

أ.م. محمد حميد جعفر
المعهد التقني/كوفه

ملخص البحث :-

تمت دراسة تأثير معدل الأنفعال (سرعة حركة المكبس) على القوة الكلية لعملية السحب العميق لأغفال من الصلب ثنائي الطور والذي تم تحضيره من صفائح الصلب منخفض الكربون بواسطة التقسية بالماء من درجة حرارة تليدين 800 °م . القوة الكلية تم حسابها نظريا بدلالة متغيرين أساسيين هما التشويه اللدن والأحتكاك وأظهرت النتائج أن تأثير قوة اللدونة أكبر من قوة الأحتكاك على القوة الكلية اللازمة لعملية السحب حيث أن قوة اللدونة تشكل نسبة لا تقل عن 91% من القوة الكلية وأظهرت النتائج أن القوة الكلية تزداد بزيادة معدل الأنفعال (سرعة حركة المكبس) وأن أفضل توازن بين القوة الكلية والزمن اللازم لعملية السحب كان عند معدل أنفعال مقداره $(3.33 \times 10^{-4} / \text{sec})$.
أستخدم أسلوب المعاودة (Iteration) الذي يعتمد على طريقة الفروق المحدده (Finite Difference) في حل المعادلات الخاصة بالبحث وذلك بتقسيم شوط السحب الى 50 قسم متساوي ، وأعطت هذه النتائج التي تم الحصول عليها تقارب جيد مع النتائج العملية لجميع معدلات الأنفعال المستخدمة في البحث وكان التباين يتراوح بين (4-7)% .
(Simulation of Strian Rate Effect on the Deep Drawing Force For Dual-Phase Steel)

Abstract:-

In this work , the effect of strain rate (speed of the punch) on the total force required to draw dual - phase steel blank has been studied. The specimen is prepared from low carbon steel which is quenched by water from annealing temperature of 800 °C . The total force is theoretically calculated in terms of two variables, plastic deformation and friction . The results have shown that the effect of plastic force is more than the friction force over the required total force for the drawing process . It is found that the plastic force forms a percentage of no less than 91% of the total force and the total force increases with increasing the strain rate (speed of the punch) Also, it is found that the best balance between the total force and the time needed for drawing was at strain rate of $3.33 \times 10^{-4} / \text{sec}$.

Iteration technique, which depend on the finite difference method , is applied for solving the equation used by dividing the drawing stroke to 50 equal parts . Results have shown that both theoretical and experimental results are in a good agreement .

الأسماء التعريفية (المصطلحات)

- n_{el} : The number of elements for the blank .
 W_j : The lobatto weight factor (kg).
 V_i : The element volume (mm^3).
 Δs : The increment for the punch displacement (mm) .
 n_{ipt} : The lobotto integration scheme , take from the table .
 dw_j : The incremental plastic work (N.m) .
 R_i : The variable depend on the strain rate .
 σ : True Stress (N/m^2).
 de : Incremental True Strain .
 E : Modulus of elasticity (N/m^2) .
 n , k : Material constants .
 μ : Coefficient of Friction .
 N : Normal Force (N). F
 i, j : Mesh points coordinate

-المقدمة :-

إن إحدى تطبيقات الصلب ثنائي الطور في الصناعة هي استخدامه في صناعة السيارات حيث يعطي هذا الصلب مقاومة أفضل للصدمة من الصلب منخفض الكربون وقابلية تشكيل جيدة ، وهذه الخواص تجعل كلف التصنيع للسيارات اقل وذلك من خلال إمكانية تقليل وزن واسطة النقل والذي بدوره ينعكس على تقليل صرفيات الوقود [1،2]. تعتبر عمليات التشكيل للصفائح المعدنية مهمة في الصناعة وتشمل مدى واسع من العمليات للصفائح المدفنة ومثل هذه العمليات تستخدم في إنتاج أبدان السيارات و الأكواب و لإتمام عملية السحب العميق بنجاح قام الباحث (A.Barata و آخرون) [3] بالاستفادة من المفهومين (Forming limit Diagram FLD) و (Forming limit Curve FLC) وذلك للحصول على عملية سحب ناجحة لأي نوع من الصفائح المعدنية بالاعتماد على قانون الاصلاد الانفعالي ودالة الخضوع .

درس الباحثون (Haydar و آخرون) [4] قابلية السحب العميق النصف كروي لصفائح صلب ثنائي الطور عمليا و لسمك الصفائح 1 ملم من خلال حساب القوة الكلية اللازمة للسحب و مقارنة هذه النتائج مع نتائج السحب لصفائح الصلب منخفض الكربون حيث أظهرت النتائج إن القوة اللازمة لسحب الصلب ثنائي الطور كانت أقل من تلك اللازمة لسحب الصلب منخفض الكربون .

أما (H.L.Yi و آخرون) [5] فقد درسوا قابلية الكبس على الساخن لصفائح الصلب ثنائي الطور الذي تم الحصول عليه بواسطة التسخين إلى درجة حرارة 900 م ° ثم التبريد بالماء وقد أجريت عملية الكبس في درجة حرارة أقل من 400 م ° ووجدوا إن الصلب ثنائي الطور أعطى خواص كبس أفضل من الصلب الذي أنتج منه.

و درس الباحث (S.K.Akay و آخرون) [6] عمر الكلال لصفائح الصلب منخفض الكربون وتمت مقارنته بالصلب ثنائي الطور والذي يتم الحصول عليه من الصلب منخفض الكربون بطريقتين هما التقسية فقط والتقسية مع المراجعة ، و وجدوا ان مقاومة الكلال للصلب ثنائي الطور أفضل منه للصلب منخفض الكربون وان الصلب ثنائي الطور الذي أجريت عليه عملية المراجعة أعطى مقاومة كلال اكبر من تلك التيل للصلب الذي انتج بعملية التقسية فقط.

درس الباحث (C. Ö. M.Bal) [7] تأثير نصف قطر التقوس للقالب والمكبس على قابلية السحب العميق للصفائح الرقيقة بحساب القوة الكلية اللازمة لعملية السحب العميق وقد وجد أن القوة الكلية عمليا تقل مع زيادة نصف قطر التقوس للمكبس أو القالب.

قام الباحثون (Homa و آخرون) [8] بدراسة تأثير معدل الأنفعال (Strain rate) في اختبار الصدمة على الفولاذ (AISI 1340) وعلى الصلب ثنائي الطور المنتج من نفس الفولاذ أعلاه وبمعدل أنفعال تراوح بين (630-3400)/sec ووجدوا أن مقاومة الصدمة تزداد مع زيادة معدل الأنفعال .

يهدف البحث الى مقارنة النتائج العملية للسحب العميق لصفائح من الصلب ثنائي الطور الذي تم تحضيره من الصلب منخفض الكربون مع النتائج النظرية التي تم حسابها بطريقة المحاكاة (Simulation) بأستخدام أسلوب المعادة (Iteration) .

2-الجانب النظري :-

لتحليل آلية السحب العميق لعمل كوب دائري (Circular Cup) ، نأخذ قوة المكبس بدلالة حركة المكبس والتي تعكس الطاقة الداخلة للنظام والتي تتوزع على متغيرين أساسيين هما الاحتكاك (Friction) و الاصلاد الانفعالي (Work Hardening) أي تشويه اللدن الذي يحدث في المعدن وبالتالي فان قوة السحب الكلية (F_T) تحسب من القوة التي يؤثر بها المكبس على الغفل للحصول على الشكل المطلوب أي قوة التشويه اللدن ($F_{Plastic}$) وقوة الاحتكاك ($F_{Friction}$) والنتيجة من الاحتكاك بين القالب والمعدن نتيجة انسياب المعدن بين القالب والمكبس وبالتالي فان معادلة حساب القوة الكلية تكتب بالشكل التالي [9] :-

$$F_T = F_{Plastic} + F_{Friction} \quad \text{----- (1)}$$

2-1 حساب قوة التشكيل اللدن ($F_{Plastic}$) :-

يعبر عن قوة التشكيل اللدن اللازمة لإتمام عملية السحب العميق بالمعادلة التالية [9] :-

$$* R_i \frac{w_j v_i dw_j}{\Delta S} \sum_{j=1}^{n_{ipt}} \sum_{i=1}^{n_{el}} F_{Plastic} = \quad \text{----- (2)}$$

وبما انه يمكن التعبير عن الشغل اللدن المتزايد (dw) لعنصر واحد بأسلوب العنصر المحدود (Finite element model) بالمعادلة التالية [10] :-

$$dw = \sigma d\varepsilon \quad \text{----- (3)}$$

ويتم حساب الاجهاد الحقيقي (σ) بتطبيق المعادلة التالية [11]:-

$$\sigma = K(\varepsilon_y + \varepsilon)^n \quad \text{----- (4)}$$

بحسب مقدار الانفعال المرن (ε_y) لغاية نقطة الخضوع من العلاقة التالية [11]:-

$$\varepsilon_y = \left(\frac{E}{K}\right)^{1/n-1} \quad \text{----- (5)}$$

وبتعويض معادلة (3) في معادلة (2) نحصل على :-

$$*R_i \frac{w_j v_i \sigma_j d\varepsilon_j}{\Delta s} \sum_{j=1}^{n_{ipt}} \sum_{i=1}^{n_{el}} F_{Plastic} = \quad \text{----- (6)}$$

2-2- حساب قوة الاحتكاك ($F_{Friction}$) :-

يتم حساب قوة الاحتكاك بالاعتماد على قانون كولومب للاحتكاك حيث [12]:-

$$F_{Friction} = \mu F_N \quad \text{----- (7)}$$

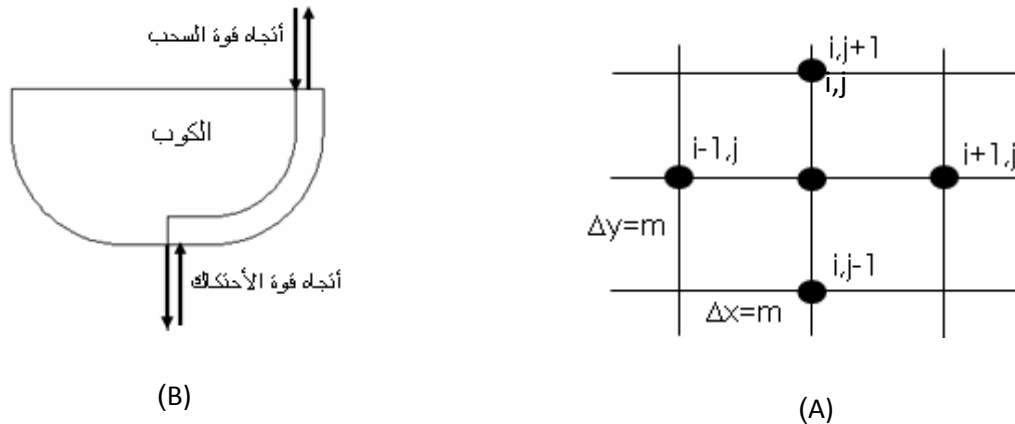
وبالتالي القوة العمودية للاحتكاك تحسب من مشتقة قوة الاحتكاك إلى معامل الاحتكاك وكما يلي [12]:-

$$= F_N \frac{\partial F_{Friction}}{\partial \mu} \quad \text{----- (8)}$$

3- الطرق العددية (Numerical Method) :-

أصبحت الطرق العددية في الآونة الأخيرة تعالج مشاكل المعادلات اللاخطية والمعادلات المعقدة التي تحتوي على شروط حدية معقدة، ذلك من خلال استخدام أسلوب برمجية معين كأسلوب المعاودة (Iteration) والذي يعتمد بشكل أساسي على كيفية حصول التقارب (Convergent) في الحل العددي للمعادلات الخطية واللاخطية وخاصة عند استخدام طريقة الفروق المحدودة (Finite difference).

ولغرض حل المعادلتين التفاضليتين الجزئيتين (8، 6) الخاصة بالسحب العميق بطريقة الفروق المحدودة والتي تعتمد من حيث المبدأ على استخدام متسلسلة تايلر في تقريب الدالة عند أية نقطة، تستند الطريقة على تقسيم شوط السحب إلى ($0 \leq x \leq 50$) والمسافة بين أي نقطتين متتاليتين متساوية وتمثل (m) كما في الشكل (1) [13].



شكل (1) A- يمثل تقسيم شوط السحب إلى (m) من الأقسام المتساوية

B- مخطط يوضح أتجاه أنسياب قوة السحب وقوة الأحتكاك أثناء عملية السحب العميق

تعتبر معادلة لابلاس (Laplace) من أشهر المعادلات التفاضلية الجزئية من نوع (Elliptic) كما في المعادلة التالية :-

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad \text{----- (9)}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\psi_{i+1,j} - 2\psi_{i,j} + \psi_{i-1,j}}{\Delta x^2} \quad \text{----- (10)}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \frac{\psi_{i,j+1} - 2\psi_{i,j} + \psi_{i,j-1}}{\Delta y^2} \quad \text{----- (11)}$$

وبتعويض المعادلتين (10) و (11) في المعادلة رقم (9) نحصل على المعادلة التالية :-

$$\psi_{i,j} = [q(\psi_{i+1,j} + \psi_{i-1,j}) + \psi_{i,j+1} + \psi_{i,j-1}] / 2(q+1) \quad \text{----- (12)}$$

حيث أن :-

$\psi_{i,j}$ تمثل قوة اللدونة وكذلك قوة الاحتكاك عند حساب نقطة جديدة في الشبكة .

$$q = \frac{\Delta y^2}{\Delta x^2} \text{ ، } (\Delta x \text{ \& } \Delta y) \text{ أبعاد حجم الشبكة باتجاه } x \text{ و } y .$$

وهناك تقنية تعجل من التقارب في المعادلة (9) هذه التقنية تعرفتحت - التراخي (Under - Relaxation) والمتمثلة بمايلي [14] :-

$$\psi_{i,j} = \lambda \psi_{i,j}^{New} + (1 - \lambda) \psi_{i,j}^{Old} \quad \text{----- (13)}$$

حيث أن (λ) تمثل عامل التراخي ومداه بين (1.2 - 1.4) .

بعد توضيح المعادلات تم بناء برنامج بلغة الفيجوال بيسك والموضحة صورته في الشكل (2) لحساب ما يلي :-

1-حساب قيم جديدة لقوة اللدونة ($F_{plastic}$) من نقطة تعتمد على أخرى من المعادلة رقم (6) .

2-حساب قيم جديدة لقوة الاحتكاك ($F_{Friction}$) من المعادلة رقم (8) .

3-حساب قيم جديدة للقوة الكلية (F_T) من المعادلة رقم (1) .

علما إن تكرار الحساب في البرنامج يتوقف عند حساب نسبة خطأ مقبولة لا تتعدى (0.001) .

Output Data		
Plastic force	Friction force	Total force
170	18.6	188.6

Input Data		
S	n	k
1	0.2351	510
m	lte	Str
0.1	5	50

Run
quit

شكل(2) صورة البرنامج المستخدم في المحاكاة

4- الجانب العملي :-

4-1 تحضير الأغفال الدائرية :-

تم تقطيع الأغفال الدائرية بقطر 180 ملم وبسمك 1 ملم بواسطة ماكينة تقطيع الأقراص بعد تثبيتها بنصف قطر 90 ملم ثم تنعيم حافة هذه الأقراص بواسطة ورق تنعيم قياس (320,500) .

4-2 المعاملة الحرارية بين الدرجة (Intercritical Heat Treatment) :-

تم في هذا البحث إنتاج الصلب ثنائي الطور من الصلب منخفض الكربون التجاري المدلفن على البارد والذي يظهر تركيبه الكيميائي في الجدول رقم (1) وذلك بتسخين الفرن الكهربائي المنتج من قبل شركة (Corblite) والذي يظهر بالشكل رقم (3) الى منطقة التلدين الدرجة 800 م°. بعد وصول الفرن الى درجة الحرارة المطلوبة يتم الانتظار لربع ساعة لأستقرارية القراءة للفرن بعد ذلك يتم وضع الأغفال داخل الفرن ولزمن تليدين (20) دقيقة للحصول على التجانس في توزيع الحرارة بعدها تتم عملية التفسية (Quenching) بالماء الى درجة حرارة الغرفة .

جدول رقم (1) التركيب الكيميائي للصلب منخفض الكربون التجاري

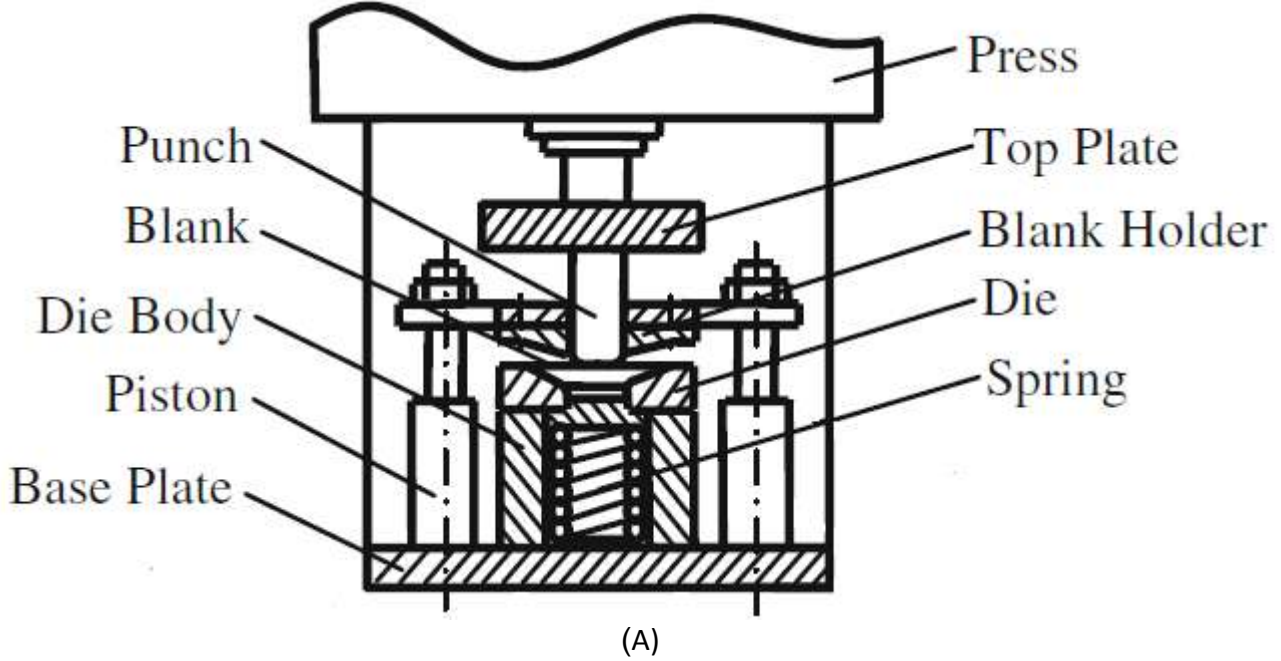
C	Mn	p	S	Cr	Ni	Al	Ti	F
0.1	0.42	0.1	0.16	0.008	0.009	0.015	0.0003	Rem



شكل(3) يظهر الفرن الحراري المستخدم في إجراء المعاملة الحرارية

4-3 اختبار السحب العميق (Deep Drawing Test):-

تمت جميع تجارب السحب العميق على جهاز الضغط (Instron 1197) وبسرع سحب مختلفة هي (0.1,1,10) ملم/دقيقة للحصول على معدلات أنفعال مختلفة وتمت عملية السحب باستخدام الزيت وبدرجة حرارة المختبر. تم سحب الأغفال الدائرية الى أقذاح أسطوانية بعد وضعها في جهاز الضغط حيث تمت عملية السحب العميق بصورة أمامية فعندما يضغط الجهاز الى الأسفل يندفع المكبس الى الأمام دافعا معدن الغفل الذي ينساب في التجويف بين القالب والمكبس وكما في الشكل رقم (4) .



شكل (4) A- يوضح مخطط للمكبس والقالب المستخدم في الاختبارات
B- صورة فوتوغرافية للمكبس والقالب المستخدم في الاختبارات

4-4 حساب أقصى قوة لازمة لعملية السحب العميق:-

جهاز الضغط (Instron 1197) يعطي العلاقة بين الحمل والأستطالة التي تمثل حركة المكبس والتي تم الحصول عليها على ورق بياني مباشرة من الجهاز حيث تمثل أعلى نقطة بالمنحنى قيمة أقصى قوة لازمة لعملية السحب العميق بينما تمثل المسافة من بداية المنحنى ونهايته حركة المكبس كما في جدول رقم (2) .

جدول رقم (2) يوضح قيم أقصى قوة لازمة لعملية السحب العميق عمليا مع اختلاف سرع السحب

سرعة السحب (mm/min)	معدل الأنفعال (sec^{-1})	أقصى قوة للسحب العميق (KN)
0.1	3.33×10^{-5}	93.3
1	3.33×10^{-4}	216.5
10	3.33×10^{-3}	587.6

4-5 اختبار الشد:-

لتحديد الخواص الميكانيكية للصلب ثنائي الطور وذلك بأجراء اختبار الشد على عينات حسب المواصفة القياسية الأمريكية ASTM ومن ثم تحميل هذه العينات على جهاز اختبار الشد البسيط (Instron 1190) لغاية الكسر لحساب الخواص التالية:-

- مقاومة الشد البسيط ($\bar{\sigma}_U$) = 383.2 Mpa
- مقاومة الخضوع ($\bar{\sigma}_Y$) = 285.5 Mpa
- الاستطالة الكلية % (E_t) = 28.8
- ثابت المادة (K) = 417.85 Mpa
- دليل الأصداد الأنفعالي (n) = 0.3

5- المناقشة :-

تم في هذا البحث حساب قيمة القوة الكلية اللازمة لعملية السحب العميق لصفائح الصلب ثنائي الطور وبأختلاف معدلات الأنفعال (سرعة السحب) وذلك من العلاقة بين حركة المكبس والقوة اللازمة لعملية السحب العميق والتي نحصل عليها من جهاز الضغط مباشرة .

يظهر الشكل (5) أن القوة اللازمة لعملية السحب العميق كانت أعلى قيمة لها (555KN) عند سرعة سحب (10 ملم/دقيقة) أي بمعدل أنفعال مقداره ($3.33 \times 10^{-3} \text{sec}$) والسبب في ذلك يعود الى تقيد حركة الانخلاعات في معدلات الأنفعال العالية نتيجة زيادة سرعة التشكيل التي تمنع البلورات من الاستعادة أي حدوث ظاهرة الأصداد الأنفعالي (Work Hardening) . أما أقل قوة لازمة لعملية السحب العميق فكانت عند سرعة سحب (0.1 ملم/دقيقة) أي عند معدل أنفعال مقداره ($3.33 \times 10^{-5} \text{sec}$) وذلك لعدم حدوث ظاهرة الأصداد الأنفعالي لأنسياب المعدن بصورة بطيئة جدا حيث أن الوقت اللازم لإنتاج الكوب الواحد يصل الى أكثر من ثمانية ساعات لذا فإن سرعة السحب المناسبة هي 1 ملم/دقيقة والتي تعطي أفضل توازن بين القوة الكلية اللازمة للسحب العميق والزمن اللازم لعملية السحب .

ويظهر الشكل أيضا أن القوة الكلية اللازمة لعملية السحب العميق المحسوبة نظريا كانت أقل من القوة الكلية المحسوبة عمليا والسبب في ذلك نعتقد هو عدم حساب القوة الفائضة الناتجة من الألتواءات التي تحدث في بداية القالب ضمن القوة الكلية النظرية وبشكل عام كانت النتائج النظرية المحسوبة للقوة الكلية تعطي اقتراب جيد من النتائج العملية حيث أن نسبة التباين تراوحت بين (4-7) % بأختلاف معدلات الأنفعال .

أما الشكل (6) والذي يوضح العلاقة بين القوة الكلية اللازمة لعملية السحب العميق والتي تتكون من قوة الاحتكاك وقوة اللدونة مع المسافة التي يتحركها المكبس عند معدل أنفعال ($3.33 \times 10^{-4} \text{sec}$) لصفائح الصلب ثنائي الطور أظهرت أن قوة الاحتكاك تبدأ بالزيادة ثم تأخذ بالاستقرار عند قوة مقدارها (18.6 KN) حتى نهاية عملية السحب وهذا منطقي ومقبول لأنه في البداية يزداد معامل الاحتكاك عند انتقال المعدن داخل القالب حتى يجتاز المعدن منطقة التشكيل من القالب بعدها يثبت معامل الاحتكاك حتى نهاية عملية السحب . أما قوة اللدونة (التشكيل) تبدأ بالزيادة مع زيادة حركة المكبس وتستمر بالزيادة مع استمرار عملية السحب العميق حتى تصل أقصى قيمة لها مقدارها 188.6 KN عند مسافة 35 mm ثم تبدأ بعد ذلك القوة بالتناقص البطيء تدريجيا حتى نهاية عملية السحب العميق ، والزيادة بالقوة في بداية الأمر ناتجة عن زيادة إعاقة حركة الانخلاعات نتيجة الألتواءات التي تحدث في المعدن حتى تصل أقصى قيمة لها .

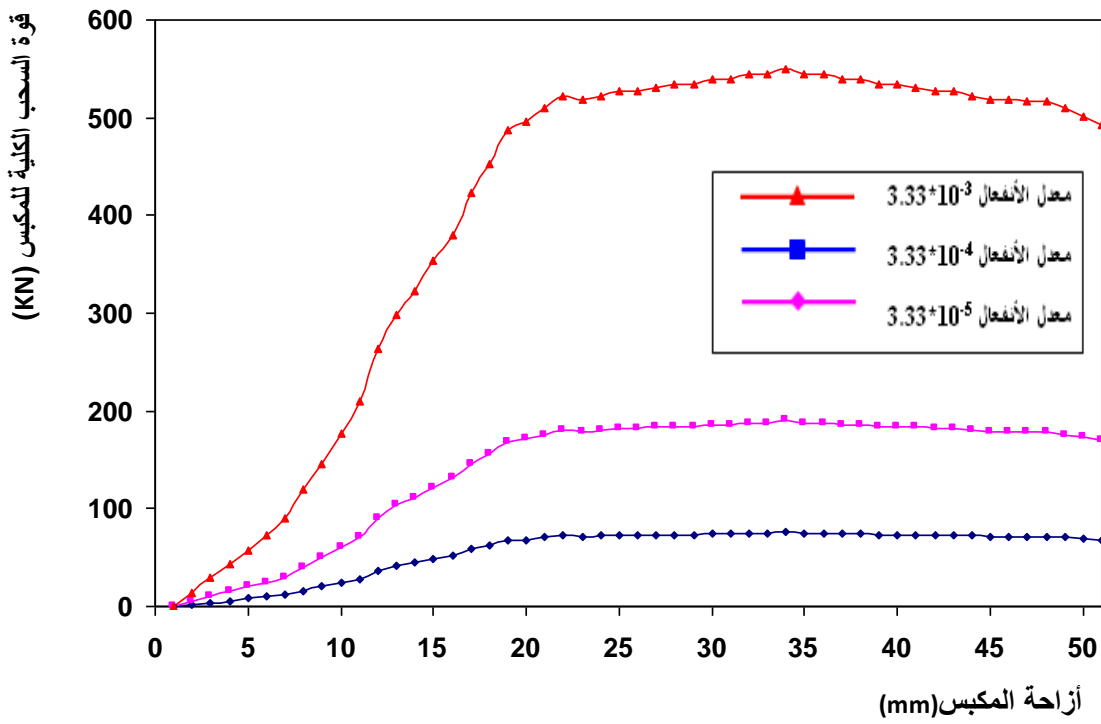
6- الاستنتاجات:-

- 1- أفضل سرعة لحركة المكبس تعطي توازن مقبول لأقصى قوة لازمة لعملية السحب العميق مع الزمن اللازم لعملية السحب كانت عند سرعة 1 ملم/دقيقة ، أي بمعدل أنفعال ($3.33 \times 10^{-4} \text{sec}$) .
- 2- القوة اللازمة لعملية السحب العميق تزداد مع زيادة أراحة المكبس حتى تصل مسافة مقدارها 35 ملم ثم تبدأ بالنقصان البطيء تدريجيا بأختلاف معدلات الأنفعال .
- 3- أسلوب المعاودة بالاعتماد على الفروق المحدودة في حل معادلات البحث أعطت اقتراب جيد مع النتائج العملية بأختلاف معدلات الأنفعال .

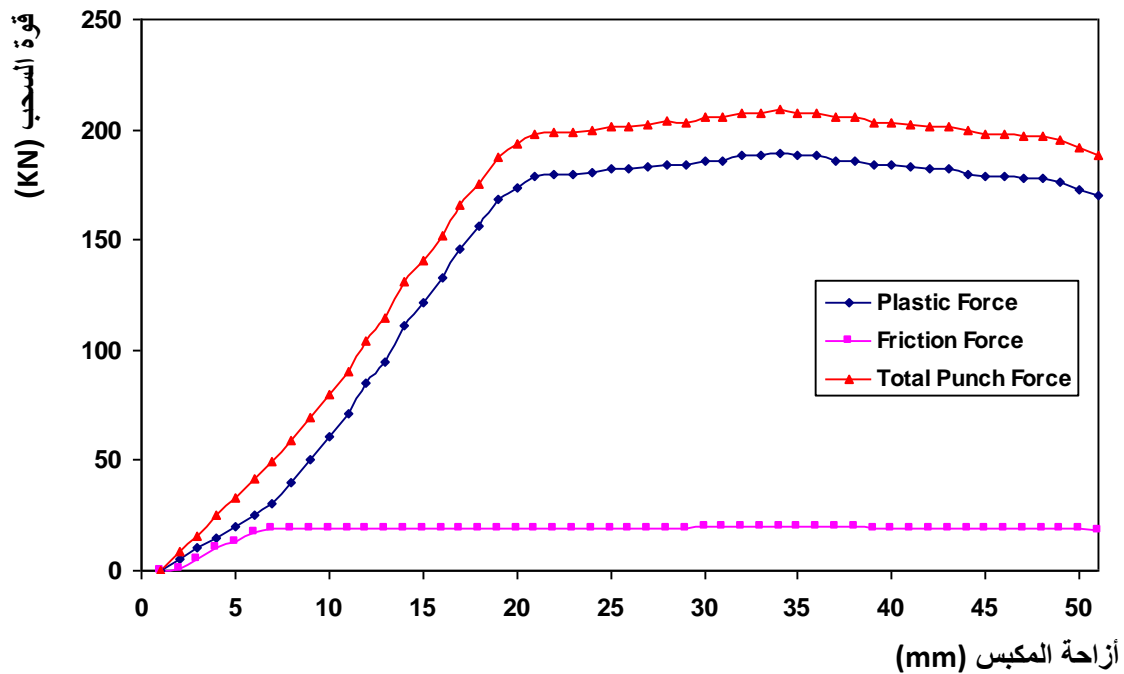
- 4- معدل الأنفعال يؤثر بشكل مباشر على القوة اللازمة لعملية السحب العميق المحسوبة نظريا وعمليا لصفائح الصلب ثنائي الطور حيث تزداد قوة السحب الكلية مع زيادة معدل الأنفعال .
- 5- إن تأثير قوة اللدونة على القوة الكلية لعملية السحب العميق اكبر من قوة الاحتكاك ، حيث تشكل قوة اللدونة نسبة لا تقل عن 91% من القوة الكلية .

Reference:-

- 1-Ahmad E ,Man Zoor T,Hussain N,Qazi NK(Effect of thermomechanical processing on hardenability and tensile fracture of dual phase steel) Acta Metal Mater(29) 2007, pp.450-457 .
- 2-Se-Jong Kim ,yi-Gil cho ,chang –seok oh ,Dong Eun Kim , yi-Gil cho ,chang-seok oh ,Dong Eun kim ,Man Been Moon ,HenngNam Han (development of dualphase steel using orthognal design method) Materials and design (30) 2009 , pp-1251-1257 .
- 3-A-Barata da Rocha ,Abel D.Santos ,pedro Teixeira M.C. Butuc (Analysis of plastic flow localization under strain paths changes and its coupling with finite element simulation in sheet metal forming),Journal of materials processing technology (209), 2009, pp-5097-5109 .
- 4-Haydar Livaty ali ,Mehmet Firat ,Burak Gurler Murat ozsoy (An experimental analysis of drawing characteristicsof dual phase steel through around drawbead)materials and Design (31) 2010 , pp.1639-1643 .
- 5- H.L.yi ,S.Ghosh ,H.K.D.H.Bhadeshia (Dual phase hot –press forming alloy) ,Material science and Engineering,(A527)2010 , pp.4870- 4874 .
- 6-S.K. AKay ,M.yazici ,B.Bayram ,A.Avince (Fatigue life behavioure of the dual phase low carbon steel sheets) J.OF Materials Processing Technology (209) 2009, pp-3358 -3365.
- 7-C.Ö. M. Bal,(The effect of die/blank holder and punch radiuson limit drawing ratio in angular deep-drawing dies).Int J Adv Manuf Technol (40) 2009,pp1077–1083.
- 8- Homa Mostaghimi , Ghoini Akindele,G.Odeshi (The effect of microstructures ,strain rates and geometry on dynamic impact response of carbon-manganese steel).Materials science and engineering ,A.532(2012), pp.308-312.
- 9-Benny Endelt and Joachim Danckert(Identification of friction coefficient and hardening parameters using optimization methods coupled with 3D finite element code) J. of Materials processing technology (209) 2009, pp.4005-4010 .
- 10-Savaş V, Seçgin Ö , (A new type of deep drawing die design and experimental results) .Mater Des (28)2007, pp.1330–1333.
- 11-Colgan M . , and Monaghan J ., (Deep drawing process: analysis and experiment). J Mater Process Technol (132)2003, pp.35–41.
- 12-Hassan MA., Takakura N.,and Yamaguchi K .(Friction-aided deep drawing of sheet metals using polyurethane ring and auxiliary metal punch). Part 1: experimental observations on the deep drawing of aluminum thin sheets and foils. Mach Tools Manuf (42)2002,pp.625–631.
- 13-Bejan A .(Convection heat transfer) wiley ,inter science publication ,Jonh wiley and sons,Ins,1984.
- 14-Najdat N.(Laminar flow separation in constructed channel) ph.D. thesis , Michigan state university ,1987.



شكل رقم (5) يمثل قوة السحب الكلية المحسوبة نظريا للمكبس عند معدلات أنفعال مختلفة مع حركة المكبس



شكل رقم (6) يمثل قوة السحب الكلية للمكبس Total force المتكونة من قوة اللدونة Plastic force وقوة الاحتكاك Friction force عند معدل أنفعال مقداره $(3.33 \times 10^{-4}/\text{sec})$