التحليل النظري لاضافة ضغط داخلي في عملية سحب الانابيب

عباس عبد الامير خلف المسعودي
قسم هندسة المواد / كلية الهندسة
جامعة بابل

احمد عبد الله الراجح
قسم الهندسة الميكانيكية / كلية الهندسة
جامعة بالبابل

استلمت في ١٩٩٤/٨/٣
قبلت في ١٩٩٤/١٢/٧

الخلاصة

لقد تم في هذا البحث اجراء تحليل نظريا لاضافة ضغط داخلي "كالهواء مثلا" في عملية سحب الانابيب، فقد تم الحصول على معادلة تمثل تأثير المتغيرات الاساسية (الضغط ، نصف قطر الانبوب عند مدخل القالب ، اجهاد الخضوع للمعدن ، معامل الاحتكاك ، الزاوية النصفية للقالب ونسبة انصاف الاقطار) على الاجهادات الطولية . وقد بينت النتائج النظرية أن الاجهادات الطولية تقل بزيادة الزاوية النصفية للقالب ونسبة انصاف الاقطار بينما تزداد بزيادة المتغيرات الاخرى . وقد وجد أن الاجهادات الحلقية تتأثر بشكل معاكس لتأثر الاجهادات الطولية مع المتغيرات اعلاه . وقد تم تحديد مقدار الضغط الاعظم والذي لا يمكن اجتيازه ،وهذا الضغط يتمثل بالمعادلتين رقم (١٢ , ١١) .

Abstract:

A theoretical analysis of the effect of pressure supplied internally (i.e. using air) in tube-Sinking process was investigated. The effect of different parameters (internal pressure, tube radius, yield stress, coefficient of friction, die semi-angle and exit to entry radius ratio) on longitudinal stress was represented in equation (9). It was found that the longitudinal stress decreased with increasing the die semi-angle and exit to entry radius ratio, while it increased with the increase of other studied parameters. Furthermore, it was found that the hoop stress increases with increasing the die semi-angle and exit to entry ratio and it decreases when the other studied parameters are increased.

It was found that the limiting value of the internal pressure depends on the parameters shown in equations (11 & 12).

الرموز المستخدمة :

الرمز	المعنى
a	نسبة انصاف الاقطار
h	احد ابعاد الشريحة
m	ثابت يمكن الحصول عليه بطريقة (Least squares) لتحقيق معيار Von Misesومقداره (١,١).
P	الضغط المسلط
r	نصف قطر الانبوب في موقع معين
r_o	نصف قطر الانبوب عند المدخل
t	سمك الانبوب
a	الزاوية النصفية للقالب
β	معامل
σ1	الاجهاد الطولي
σ2	الاجهاد باتجاه السمك
σ3	الاجهاد المحيطي
μ	معامل الاحتكاك
θ	احداثيات الشريحة

١- المقدمة :

التشكيل الميكانيكي عملية تجرى على المعادن والسبائك وهي في الحالة الجامدة ، وبالامكان اجراء عمليات التشكيل الميكانيكي على الساخن او على البارد . وعملية سحب الانابيب هي احدى عمليات التشكيل على البارد خلال قالب معين لتقليل القطر الخارجي للانبوب .

ونظرا لاهمية الانابيب في الصناعة، فقد تعددت طرق انتاجها ، فالانابيب ذات الاقطار الكبيرة تستخدم السباكة بالطرد المركزي في صناعتها ، كما يمكن تصنيع الانابيب باستخدام قطعة واحدة او عدة قطع مدوفلة اسطوانيا او حلزونيا تربط بواسطة اللحام . ويتم تصنيع الانابيب بتتابع عدة مراحل وطرق ، ولغرض تحقيق الامثلية الاقتصادية تكون الخطوات الاولى على الساخن للحصول على اصغر مساحة مقطع ممكن وهذه العمليات تجري بواسطة البثق [١] . ثم تعقب عملية البثق عدد من المراحل للسحب على على البارد للحصول على الابعاد النهائية بالدقة المطلوبة لان عملية البثق تعطي نوعا من الدقة اللامركزية (Eccentricity) بالاضافة الى عدم الحصول على انبُوب بشكل مستقيم . لذلك تجري عملية السحب على البارد لتقليل هذه العيوب [٢] .

لقد قام الكثير من الباحثين في اعداد الكثير من البحوث في عملية سحب الانابيب فقد قام كلا من(George Sachs and Baldwin) بايجاد تحليل نظري لعملية سحب الانابيب بعد ان افتراض عددا من الافتراضات منها أن السمك يبقى ثابتا اثناء العملية دون تغيير . وقد قاما بمقارنة النتائج النظرية باخرى عملية لانابيب مصنوعة من النحاص المقسي وانابيب نحاسية ملدنة باستخدام قوالب مخروطية (Conical Dies) [4] .

لقد اعدت نظريات من قبل كل من (G.G. Moor and J.F. Wallace) باستخدام قوالب مخروطية مع بعض الافتراضات وقد حسب اجهاد السحب بعد أن ادخلت عدة عوامل مثل السرعة والاحتكاك وتغير الانفعال باتجاه السمك مع افتراض أن المعدن المستخدم لا يحتوي على نقسية انفعالية [٥]. وقد قام الباحث (J.E. Flinn) بدراسة

تأثير المتغيرات الاساسية (السمك ، زاوية القالب ، المعدن ونسبة القطر الى السمك) على الانفعالات الطولية والحلقية لعدد من المعادن وقارن النتائج النظرية باخرى عملية لمقاطع دائرية واخرى انبوبية ذات جدران رقيقة [٦].

٢- الافتراضات :

لغرض تسهيل التحليل الرياضي ، فقد وضعت الافتراضات التالية :-

ا - المادة متجانسة الخواص Isotropic

ب - بسبب كون السمك قليلا والتغير بالسمك قليل جدا ، نفترض ان السمك يبقى ثابتا وتعامد كلا من σ_2 , σ_1

ج - نفترض أن المادة تتصرف كانها Rigid Plastic Material

د - اهمال التغير بالاجهاد خلال السمك .

٣- التحليل النظري :

ناخذ شريحة كما مبينة في الشكل (١) ثم نجري عملية موازنة القوى بالتجاه الموازي لوجه القالب (Die Face) .

$$\sigma 1\ trd\theta - (\sigma 1+d\sigma 1)(r+dr)d\theta\ (t+dt) - \mu\sigma 2(r+t)\ hd\theta - 2\sigma 3th\ Sin\ (d\theta/2)\ Sin(\alpha) = 0$$

وللزوايا الصغيرة تكون قيمة [Sin (dθ/2)] مساوية ل [dθ/2] ، وباختصار (dθ) من المعادلة اعلاه وتعويض h=dr/Sin (α) نحصل على :-

$$\sigma 1tr - \sigma 1tr - \sigma 1rdt - \sigma 1tdr - \sigma 1drdt - d\sigma 1rt - d\sigma 1tdr - d\sigma 1drt - \mu\sigma 2(r+t)(dr/Sin(\alpha)) - \sigma 3t(dr/Sin(\alpha))Sin(\alpha) = 0$$

ويعد اهمال الكميات الصغيرة ينتج :-

$$\sigma 1\ rdt + \sigma 1\ tdr + d\sigma 1\ rt + \sigma 2\ (\mu(r+t)/Sin(\alpha))dr + \sigma 3tdr = 0$$

$$d(\sigma 1rt) + \sigma 2(\mu(r+t)\ /\ Sin(\alpha))dr + \sigma 3tdr = 0 \qquad \ldots(1)$$

وباخذ توازن القوى بالاتجاه العمودي على وجه القالب نحصل على :-

$$\sigma 2(r+t)h\ d\theta = prh\ d\theta + 2\sigma 3th\ Sin(d\theta/2)\ Cos(\alpha)$$

وحيث أن Sin (dθ/2) يكون مساويا لـ dθ/2 تقريبا للزوايا الصغيرة فان المعادلة اعلاه ستكون :-

$$\sigma 2 = [pr/(r+t)] + [(tCos(\alpha)/(r+t))\ \sigma 3] \qquad \ldots(2)$$

$$\sigma 2 = [p/(1+t/r)] + [((t/r)Cos(\alpha)/(1+t/r))\ \sigma 3] \qquad \ldots(3)$$

(σ3) لان المقدار (t+r) من ملاحظة المعادلة (3) نلاحظ ان (σ2) صغيرة مقارنة مع (σ3) لان المقدار (t+r) صغير عند الضغوط القليلة وعند زيادة الضغط فان قيمة (σ3) تتصاغر بينما تكبر قيمة (σ2) .

بتعويض المعادلة (3) في المعادلة (1) نحصل على:

$$d(\sigma 1rt) + [\mu(r)dr/Sin(\alpha)][p + \sigma 3(tCos(\alpha)/r)] + \sigma 3tdr = 0 \qquad \ldots(4)$$

وعلى افتراض ان السمك لا يتغير ، وقسمة المعادلة (4) على (dr) ينتج:-

$$[d(\sigma 1r)/dr] + [\mu(r+t)p/tSin(\alpha)] + \sigma 3[1+(\mu(r+t)/r)Cot(\alpha)] = 0 \qquad \ldots(5)$$

وحسب معيار تريسكا للخضوع Yield criterion (Tresca) فان :

$$\sigma 1 - (-\sigma 3) = mY$$

$$\sigma 1 = mY - \sigma 1 \qquad \ldots(6)$$

وبتعويض المعادلة (6) في المعادلة (5) وبعد التبسيط نحصل على:

$$\frac{rd\sigma 1}{dr} + \frac{\mu(r+t)}{tSin(\alpha)}p + mY\frac{\mu(r+t)Cot(\alpha)}{r} +$$

$$mY - \frac{\mu(r+t)Cot(\alpha)}{r}\sigma 1 = 0 \qquad \ldots(7)$$

وحيث ان المقدار (t/r) صغير لذلك يكون :

$$\mu(r+t)/r = \mu(1+t/r) \approx \mu$$

وبفرض $\beta = \mu Cot(\alpha)$ ستصبح المعادلة (7)

$$(d\sigma 1/dr) - (\beta/r)\ \sigma 1 = -1/r\{mY(1+\beta) + (\mu(r+t)/tSin(\alpha))p\} \quad \ldots(8)$$

وبعد حل المعادلة (8) وتطبيق الشروط الحدية والتي تكون

$$\sigma 1 = 0 \quad at \quad r = ro$$

وبافتراض ان $(a = r/ro)$ نحصل على :

$$\sigma 1 = mY(1-a^{\beta})(1+1/\beta) + \mu p/Sin(\alpha)[\{(r-roa^{\beta})/(\beta-1)\} + (1-a^{\beta})/\beta] \quad \ldots(9)$$

ان مقدار الضغط (p) في المعادلة (9) لا يمكن زيادته بشكل مطلق ، حيث ان اعظم قيمة يمكن الوصول اليها عندما تكون $(\sigma 2 = \sigma 3)$ في المعادلة (3) ومن ثم تعويض قيمة $\sigma 3$ الناتجة من المعادلة (6) نحصل على :

$$Pmax = (r+t)/r\ [1 - (tCos(\alpha)/(r+t))]\ (mY-\sigma 1) \quad \ldots(10)$$

وبتعويض المعادلة (9) في (10) ينتج :

$$Pmax = \frac{\xi mY[1-(1-a^{\beta})(1+1/\beta)]}{1+\mu\xi/Sin(a)\left[\frac{a-a^{\beta}}{\beta-1}\cdot\frac{1}{ro} + \frac{1+a^{\beta}}{\beta}\right]} \quad \ldots(11)$$

حيث ان

$$\xi = (r+t)/r[1-(tCos(\alpha)/(r+t))]$$

ولضمان عدم حدوث تشوهات لدنة نتيجة الضغط الداخلي (ولو جزئيا) خارج منطقة التشكيل فان الضغط الاعظم الذي يجب عدم تجاوزه حسب المعادلة التالية بالاضافة الى شرط المعادلة (11) اعلاه

$$\sigma 3 = Pr/t$$

ولكن $\sigma 3$ خارج منطقة التشكيل يجب ان لا يتجاوز حد الخضوع :-

$$\sigma 3 <= Y$$
$$Pmax = Yt/r \quad \ldots(12)$$

٤ - النتائج والمناقشة

تظهر في عملية سحب الانابيب Tube ;) (Sinking ظاهرة التقوض (انهيار على شكل طيات Collapase) وخصوصا في الانابيب رقيقة الجدران والتي تتسبب نتيجة الاجهادات الحلقية (Hoop Stresses) [3], [6] . وعند استخدام قلب التشكيل (Mandrel) فان الطيات لن تظهر قوة احتكاك اضافية بين المعدن والقلب مما يكون هناك محدودية لقوة السحب [٢] .

لذلك فقد اقترح اضافة ضغط داخلي باستخدام مانع معين كالهواء مثلا داخل الانبوب اثناء عملية السحب لتقليل الاجهادات الحلقية وبالتالي التخلص من الطيات او تقليلها الى ادنى حد ممكن .

ومن خلال ملاحظة الشكل (٢) نلاحظ أن زيادة الضغط تسبب زيادة الاجهادات الطولية ونقصان الاجهادات الحلقية . أما الشكلان (٤،٣) فانهما يمثلان تأثير معامل الاحتكاك ونصف قطر الانبوب عند مدخل القالب على التوالي على الاجهادات الطولية والحلقية ويتبين من الشكلين اعلاه أن الاجهادات الطولية تزداد مع زيادة معامل الاحتكاك ونصف قطر الانبوب عند مدخل القالب بينما تقل الاجهادات الحلقية مع زيادة هذين العاملين .

الشكلان (٦،٥) يمثلان العلاقة بين نسبة انصاف الاقطار والزاوية النصفية للقالب على التوالي مع الاجهادات فكانت الاجهادات الطولية تقل مع زيادة نسبة انصاف الاقطار والزاوية النصفية للقالب بينما تزداد الاجهادات الحلقية مع زيادة المتغيرات اعلاه .

أن النتائج سالفة الذكر تمثل نتائج نظرية ومن خلال هذه النتائج لاحظنا أن بعض المتغيرات تقلل الاجهادات الحلقية وتزيد الاجهادات الطولية والعكس ينطبق بالنسبة للمتغيرات الاخرى. ويتوقع أن اضافة الضغط سوف تقلل من ظهور الطيات

(Collapse) لانه يقلل الاجهادات الحلقية . ولا يمكن زيادة الضغط بشكل مطلق لان ذلك يسبب الاجهادات الطولية بشكل كبير مما يؤدى الى زيادة قوة السحب والتي ربما تسبب اجهادات تفوق حد الخضوع للمعدن المستخدم وبالتالي فشل الانبوب . ولتجنب لفشل الانبوب (تجاوز حد الخضوع) في منطقة وخارج منطقة القالب وخارجها فأن الضغط الاعظم يتمثل بالمعادلتين (١٢ , ١١) .

٥ - الاستنتاجات :

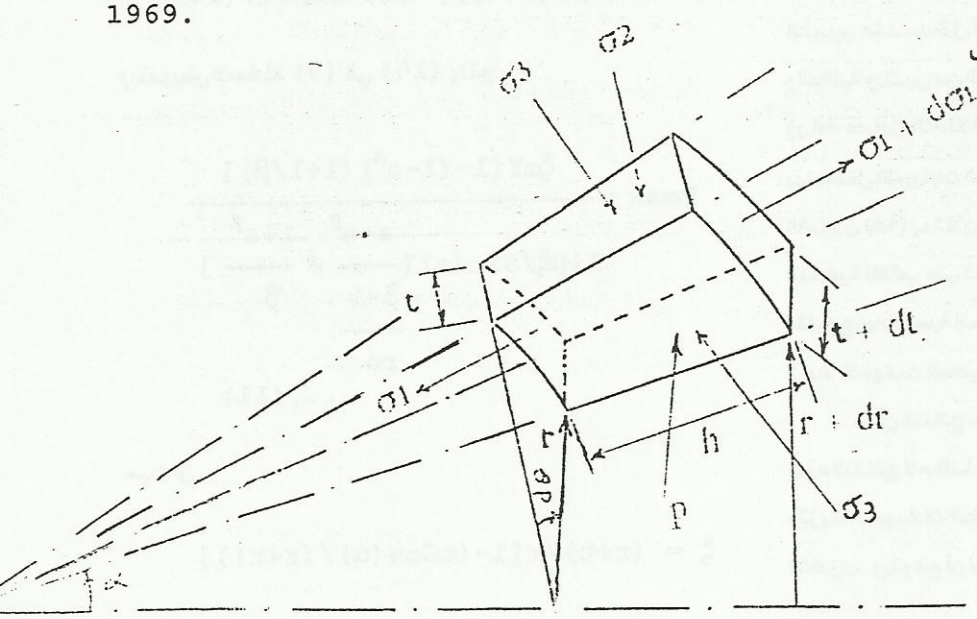
١ - اضافة الضغط وزيادة كل من نصف قطر الانبوب ومعامل الاحتكاك تزيد من الاجهادات الطولية وتقلل من الاجهادات الحلقية والتي تسبب تقليل تكون الطيات .

٢ - زيادة نسبة انصاف الاقطار والزاوية النصفية للقالب تقلل من الاجهادات الطولية ويزيد من الاجهادات الحلقية والتي لها تأثير سلبي على تكون الطيات .

٣ - هناك حد معين لا يمكن تجاوزه لاضافة الضغط حيث سيحدث فشل في الانبوب عند تجاوز هذا الحد .

٤ - من المتوقع تقليل ظاهر الطيات نتيجة لاضافة الضغط للانابيب قليلة السمك .

الكلمة	معناها
Accentricity	اللامركزية
Collapse	تفوض (انهيار على شكل طيات)
Conical	مخروطي
Hoop	حلقية
Isotropic	متجانسة
Mandrel	قلب التشكيل
Rigid	جاسيء
Sinking	سحب



شكل (١) : الاجهادات على الشريحة

أن جميع الاشكال رسمت عند الظروف التالية .

P=10 MN/m²	r_o =10 mm
Y=140 MN/m²	t=0.3 mm
α=14°	μ=0.1
$\frac{r_i}{r_o}$ = 0.8	

References

1- Geoffrey W.Rowe. Principles of Industrial Metal Working Processes. Edward Arnold, P.151, (1986).

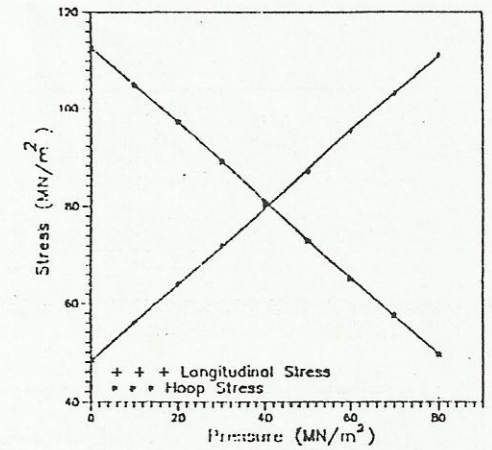
2- R.A.Higgins, Engineering Metallurgy, part 2, The English Press LTD.1974.

3- Johson W. and Mellor P.B., Engineering Plasticity, Van Nostrand Reinhold, London, 1973.

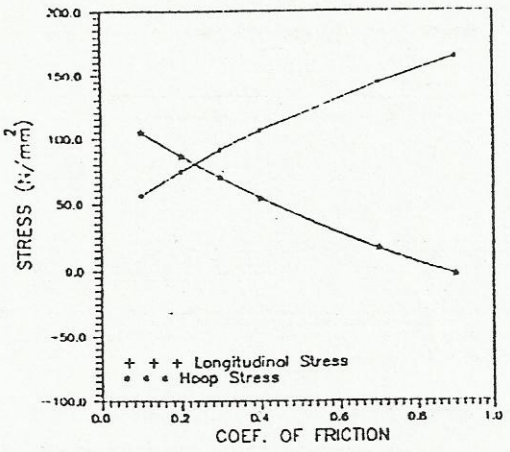
4- George Sachs and W.M.Baldwin, Stress Analysis of Tube-Sinking, Trans. ASME, Vol.68. P.655, 1946.

5- G.G.Moor and J.F. Wallace. Theories and Experiments on Tube-Sinking Through Conical, Dies. Proc. Instn. Mech.Engrs, Vol.182, 1967.

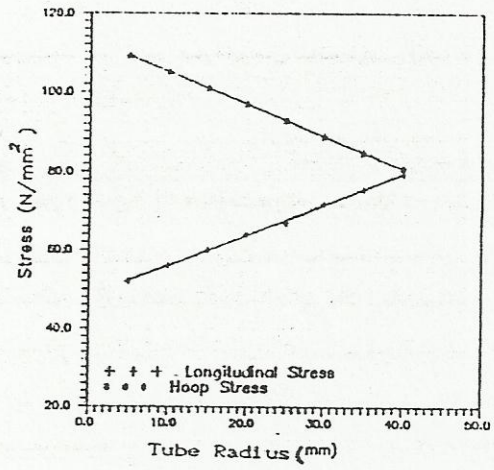
6- J.E. Flinn, Parametric Influence on the Wall-Thickness Changesand The Bulk Strain Behavior of Hollow-Drawn Tubing, Trans. ASME, P.792, December 1969.



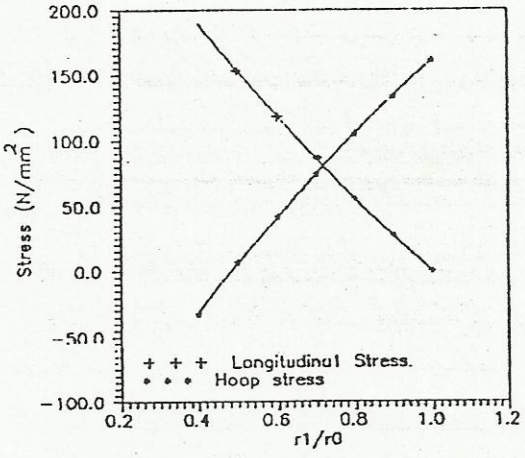
شكل (٢) العلاقه بين الضغط المسلط والاجهادات



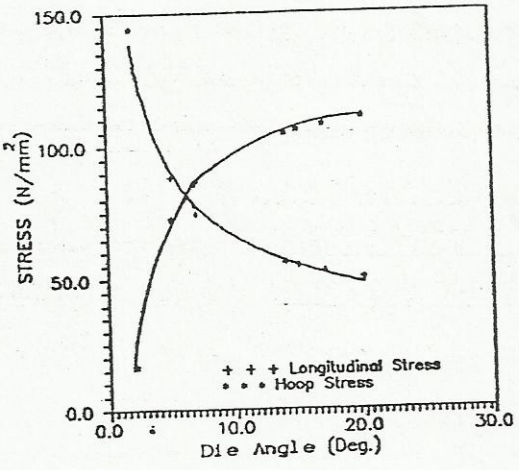
شكل (٣) العلاقه بين معامل الاحتكاك والاجهادات



شكل (٤) العلاقه بين نصف قطر الانبوب والاجهادات



شكل (٥) العلاقه بين نسبة انصاف الاقطار والاجهادات



شكل (٦) العلاقه بين الزاويه النصفيه للقالب والاجهادات