تحليل الأجهادات المرنة في الدرافيل أثناء عملية الدرفلة الباردة باستخدام طريقة العناصر المحددة

الدكتور نبيل كاظم عبد الصاحب
قسم الهندسة الميكانيكية
جامعة بغداد

الخلاصة

يتضمن البحث طبيعة توزيع اجهادات التماس خلال عملية الدرفلة المتماثلة باستخدام أسلوب العناصر المحددة على الدرافيل. أعطت النتائج صورة واضحة لطبيعة توزيع كل من الأجهاد العمـــودي (Normal Stress) واجهاد القص (Shear stress) على طول قوس التماس للدرفيلين العاملين على نسبة عمـــق شـــعاعي ($\frac{r}{R}$) مقداره (1,0.7, 0.4) ،وكذلك دراسة مقدار التشوه الحاصل في تلك المناطق ومن ثم تحديد مناطق توزيـــع وتمركز الاجهادات وقيمة أعظم أجهاد وموقعة في الدرفيل

STRESS ANALYSIS OF THE ROLLERS DURING COLD ROLLING BY USING FINITE ELEMENT METHOD

Dr- Nabeel Kadim Abid Al-Sahib
Mechanical Engineering Department
University of Baghdad

ABSTRACT

This work deals with the determination of contact stress distribution during symmetrical rolling processes using the finite element method (FEM).

The results give a clear idea for the type of distribution of the normal and shear stresses along the arc of contact , for the rollers with a radial depth ratio $(\frac{r}{R})$ equal to (1,0.7, 0.4) .

A study of the deformation induced in the region of maximum shear stress together with the location of stress concentration and the maximum stress was achieved.

الكلمات الرئيسية

اجهاد ، درفلة ، تصنيع

المقدمة

أن البحث والتطوير في خصوصيات عمليات الدرفلة لها أهمية اقتصادية وصناعية من حيث تحسين الدقة والخواص الفيزياوية والميكانيكية للمواد المنتجة ، والوصول إلى أفضل التصاميم الخاصة بمكائن الدرفلة والتي تحقق كفاءة أداء عالية ، وعمر أطول للدرفيل ، الذي يعتبر من أهم أجزاء هذه الماكنة واكثرها أثراً على تفاصيل العملية .

وبشكل عام فقد جرت دراسة نظرية وبحوث مختبرية عديدة من قبل باحثين في موضوع الدرفلة ، منطلقين في محاولاتهم من السلوك الفيزياوي والميكانيكي للمادة المدرفلة بغية التوصل إلى حل مقبول لنظرية الدرفلة .

الدرفلة على البارد

عندما تكون درجة حرارة المادة المدرفلة ، أثناء درفلتها ، أقل من درجة حرارة أعادة بلورتها، فأن هذه العملية تسمى بالدرفلة على البارد وقد تناول العديد من الباحثين الدرفلة على البارد من الناحية النظرية كما موضح **بالشكل (1)** على التوالي ومن بين أهم البحوث التي جرت لدراسة نظرية الدرفلة ، هي أعمال الباحثان (Siebel 1924, 1925) و (Karman1925) فقد قدم الباحث (Siebel) نظرية تعرف الان بنظرية تل الاحتكاك (Friction – Hill) والتي اعتمد فيها الافتراضات التالية :-

أ- S=q باعتبار زاوية التماس صغيرة

ب- q=K= Constant أي أهمال تأثير تراكم الضغط على تل الاحتكاك

أما (Karman) فقد اتخذ في تحليلاته نفس طريقة (Siebel) غير انه لم يفترض تساوي الكميتين (q) و (S) بل اعتمد المعادلة التالية :-

$$q-p=K \qquad (1)$$

وبذلك ادخل تأثير تراكم الضغط في حساباته معتبراً (K) ثابتاً خلال مرور المادة بين الدرفيلين ، وقد اعطت نتائج (Seibel) قيمة عظمى للضغط تقل كثيراً عن تلك التي حصل عليها كل من(Orowan) و (karman) عند ظروف متماثلة لعملية الدرفلة ، كما هو واضح في **الشكل رقم (2)** .

وقد قام الباحثان (Bland & Ford) بتبسيط طريقة (Orowan) البيانية المتمثلة بالمعادلة .

$$\frac{df}{d\phi} = 2R\left(\frac{F}{h} + K\right)\cos\phi\tan(\phi+\beta) \qquad (2)$$

مع اعتماد نفس الأفتراضات التي اعتمدها (Siebel) اعلاه ، والمتمثلة في (K= Constant) و (S= q) فأوضحا أنه نظراً لصغر زاوية التماس فأن :

$$\text{Sin}\,\phi = \phi \quad \text{و} \quad Cos\phi = 1 \quad \text{و} \quad 1 - Cos\phi = \frac{\phi^2}{2}$$

وحصلا على معادلات توزيع ضغط التماس العمودي على طول قوس التماس وكما يلي :

١- بين نقطة الخروج ونقطة التعادل

$$S^{+} = \frac{kh}{h2} e^{\mu H} \qquad (3)$$

٢- بين نقطة الدخول ونقطة التعادل

$$S^{-} = \frac{Kh}{h1}\, e^{\mu(H1-H)} \qquad (4)$$

حيث (H) مقدار يعرف بالمعادلة :-

$$H = 2\sqrt{\frac{R^{-}}{h2}} \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{R^{-}}{h1}}\,\phi\right) \qquad (a)$$

(H1) مقدار يعرف بالمعادلة :-

$$H1 = 2\sqrt{\frac{R^{-}}{h1}} \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{r^{-}}{h1}}\,\phi\right) \qquad (b)$$

حيث (h1) و (h2) تمثلان سمك المادة المدرفلة عند الدخول والخروج على التوالي

(R^{-}) نصف قطر قوس التماس المسطح

(S^{+}) و (S^{-}) تمثلان ضغط التماس العمودي عند منطقتي الخروج والدخول ، على التوالي .

ومن تساوي المعادلتين (3) و(4) يمكن أيجاد نقطة التعادل . أما من الناحية العملية فقد انجزت العديد من المحاولات لقياس وتوزيع ضغط التماس في عملية الدرفلة على البارد ، فقد قام الباحثان (Siebel &Lueg) بقياس توزيع الضغط على أمتداد قوس التماس ، وكذلك بأتجاه العرض مستخدمين في ذلك محول الطاقة (Transducer) يتكون من مسمار (Pin) محمل على بلورة كوارتز في ثقب قطري ، ويكون مستوى مع سطح الدرفيل ، وحصلا على نتائج تؤيد النظرية المبكرة التي حصل عليها كل من (Siebel) و (Karman) وأن الضغط في وسط الشريحة المدرفلة يكون عالياً ، ويقل عند الأقتراب من الحافات ، بسبب الابتعاد عن حالة الأنفعال المستوي ، وان زيادة خشونة سطح الدرفيل تؤدي إلى زيادة في الضغط .

وقام الباحثون (AL-Salahi , Firbank & Lancaster) بأجراء تجارب عملية لقياس توزيع ضغط التماس خلال عملية الدرفلة على البارد ، بنفس الطريقة التي أتبعها (Siebel & ueg l)، ولكن باسلوب تقني اكثر دقة وذلك باستخدام مسمارين ذوي مقاسات صغيرة نسبياً ، ومتعامدين مع محور الدرفيل ، أحدهما نصف قطرى

لقياس الضغط المتعامد مع سطح الدرفيل ، والآخر على أمتداد وتر في دائرة الدرفيل ، مائل مع المسمار الأول بزاوية ، وذلك لقياس الضغط المائل عند سطح التماس وجاءت نتائجهم مماثلة لما تعطيه الدرفلة وقد لاحظوا في نتائجهم ، وجود أكثر من قيمة في منحني توزيع ضغط التماس كما **في الشكل رقم (3)**

وقد جرى الباحثان (Venter & Abd-rabbo) دراسة حول الدرفلة غير المتجانسة ، أشارا إلى أن الأفتراضات التي وضعها الباحثون سابقاً كان الغرض منها تبسيط الحلول الرياضية ، غير أن ظهور الحاسبات الألكترونية المتطورة مكن من الحصول على حلول دقيقة دون افتراضات ، لذلك فقد تناول هذان الباحثان الدرفلة غير المتجانسة وأشارت نتائجهم إلى أن ضغط التماس في حالة التشكيل غير المتجانس أقل مما هو عليه في حالة أفتراض التشكيل المتجانس كما هو موضح في **الشكل رقم (4)** ، كما نلاحظ أن الفرق يزداد مع زيادة قيمة معامل الاحتكاك .

تسطيح الدرافيل

أن الدرفيلين العاملين يتعرضان إلى تشوه مرن بسبب الضغط على أمتداد قوسي تماسيهما مع المادة المدرفلة ، مما يؤثر على حسابات الدرفلة ، إذ يؤدي إلى زيادة طول قوسي التماس ، ويعتمد على القوة المسلطة وعزم الدرفلة . وقد تناول هذا الموضوع الباحث (Hitchcok) الذي أفترض أن توزيع الضغط على منطقة التماس يكون على شكل بيضوي ، وذلك باعتماد تأثير قوة الدرفيل على طول قوس التماس ، وهذا يعني ان التسطح هو زيادة في قطر قوس التماس .

وقد نهج الباحثان (Bland & Ford) نفس طريقة (Hitchcok) ولكن باسلوب أكثر تعقيداً ، وذلك باعتماد توزيع الضغط على قوس التماس بدلاً من قوة الدرفلة وكذلك اعتماد توزيع مقدر أزاحة نقاط قوس التماس بأتجاه نصف قطري بدلاً من اعتماد مقدار طول قوس التماس .

أما الباحث (Orowan) فقد اوضح مختبرياً أن قوس التماس لايكون دائرياً ، غير أنه يمكن تقريبه إلى قوس دائري إذا كان تسطح الدرفيل قليلاً ، وبوجه خاص في حالة الدرفلة على الساخن حيث يكون التسطح قليلاً ويبقى قوس التماس دائرياً .

النموذج المستخدم للتحليل النظري

تم في هذا البحث دراسة طبيعة توزيع الاجهادات خلال عملية الدرفلة داخل أسطوانة الدرفلة باستخدام العناصر المحددة ، وكذلك تحديد مقدار التشوه الحاصل في السطح وقيمة وموقع الاجهاد الأعظم في الدرفيل .

ففي هذه الدراسة تم استخدام الطريقة العددية (طريقة العناصر المحددة (FEM) لأجل حساب الاجهادات والتشوهات والانفعالات المرنة على السطح وداخل الدرفيل المعرض لضغط تل الاحتكاك (Friction – Hill) المبين في **الشكل رقم (4)**

الشكل رقم (5) يوضح تقسيم (تجزئة) الأسطوانة من أجل الدراسة بواسطة FEM حيث استخدمت عناصر ثلاثية الابعاد (FEM 3-D) وكان العنصر الثلاثي الابعاد من نوع (Penta and Hexa Elements) وذلك بالاستعانة بالبرنامج (PAL2) .

ولأجل الحصول على دقة عالية في دراسة الاجهادات في منطقة تسليط الضغط ، تم تقسيمها إلى عدد أكبر من العناصر (Fine Mesh) حيث أن التشوه يكون اعظم ما يمكن في تلك المنطقة كما موضح في **الشكل رقم (5)** .

النتائج والمناقشة

الاشكال المرقمة (6,7,8) تبين العلاقة بين التشوهات والزاوية المحيطة للدرفيل عند نسبة أنصاف أقطار ($\frac{r}{R}$ =1,0.7 , 0.4) ولدرافيل بانصاف أقطار (0.5 ,0.3 , 0.15) على التوالي .

في حالة نسبة الاقطار ($\frac{r}{R}$=1) فهي تمثل التشوه الحاصل في السطح والذي يعطي دلالة واضحة على ظاهرة التسطح للدرفيل والذي يؤثر على عملية الدرفلة . **الشكل (9)** يبين العلاقة بين التشوه اللابعدي (dimensionless deformation) وزاوية الدرفيل ، حيث تطابقت النتائج بغض النظر عن نصف القطر (R) مما يؤيد التناسب بين ($\frac{\delta}{r}$) كنسبة لا بعدية للدرافيل عند ثبوت الضغط المسلط على الدرفيل ، أي عند قيام الدرفلة لمادة معنية. اما الاجهاد المتولد خلال عملية الدرفلة مبين في **الشكل رقم (10,11)** على التوالي . بعد دراسة الاجهادات خلال الاسطوانات بأنصاف أقطار (0.5, 0.3, 0.15) وجد أن توزيع الاجهادات متماثلة من حيث القيمة والتوزيع النسبي خلال مقطع الدرفيل . بالإضافة إلى ذلك تم أيجاد أعظم جهد عمودي وجهد قصي ، خلال مقطع الدرافيل ($\delta = 2.473x10^{8}$) عند الموقع ($\frac{r}{R} = 0.55$) ، (θ = -1) و ($\tau = 4.308 \times 10^{5}$) عند ($\frac{r}{R} = 0.85$) ، ($\theta = 90^{o}$) .

كما وضحت هذه الدراسة مناطق تساوي الاجهاد العمودي (Major stress contour) ومناطق تساوي اجهاد القص (Shear Stress contour) المبينة في **الشكل (12,13)** على التوالي ووضحت الدراسة مناطق التشوه الحاصلة في الدرافيل ذات الأقطار (R= 0.5, 0.3 , 0.15) المبينة في الأشكال (14, 15,16) على التوالي .

المصادر

D.R. Bland and Hugh Ford (1948) " The calculation of roll force and torque in cold strip rolling with tensions " Proc. Inst. Mech. Engrs. V. 159, P. 144

D. R. Bland (1950), " A thoretical investingation of roll flattening " Proc. Inst. Mech. Engrs .v. 163P141

E. Siebl and W.Lueg (1933) , " Investegation in the distribution of pressure at the surface of the material in contact with the rolls Mitt " Kw, Inst Elsenf, 15

E. Siebel (1924) " Berichte des walzwer sausschusses" Verien Deutscher eisnhu ttenlute , No. 37

E. Orewan (1943), " The calculation of roll pressure in hot and cold flat rolling "Proc. Inst . Mech. Engrs. V.150, P. 140

F.A.R. Al- Salehi , T.C. Firbank and P.R. Lancaster (1973), " An experimental determination of the roll pressure distribution in cold rolling " Int.J. Mech . SCI. V.15 , P693.

J.H. Hitchcock " roll neck bearing (1935) " reporet of A.S.M.E. reserch comitte on roll neck bearing

R- Venter and A-Abd-rabbo (1980), " Modelling of the rolling process – I in homogeneous deformation model " Int.J. Mech . SCI. V.22, P.83

T. Von Krman (1925) ," Beitrage zur theoric des walzuoranges " Z. angew , math Mech, v-s , p . 139

معاني الرموز المستخدمة ووحداتها

S	ضغط قطري	N/mm^2
q	ضغط شاقولي	N/mm^2
K	أجهاد الخضوع	N/mm^2
δ	أعظم أجهاد عمودي	N/mm^2
F	قوة أفقية بالنسبة لوحدة العرض	N/mm^2
H	سمك الشريحة المدلفنة عند أي مقطع	mm
ϕ	زاوية التماس بالنسبة للمحور الشاقولي	Degree
β	زاوية الأحتكاك	Degree
h1	سمك الشريحة المدرفلة عند الدخول	mm
h2	سمك الشريحة المدرفلة عند الخروج	mm
$\bar{R}$	نصف قطر قوس التماس المسطح	mm
$\frac{r}{R}$	نسبة العمق الشعاعي	---
P	ضغط أفقي	N/mm^2
R	نصف قطر قبل التشوه	mm

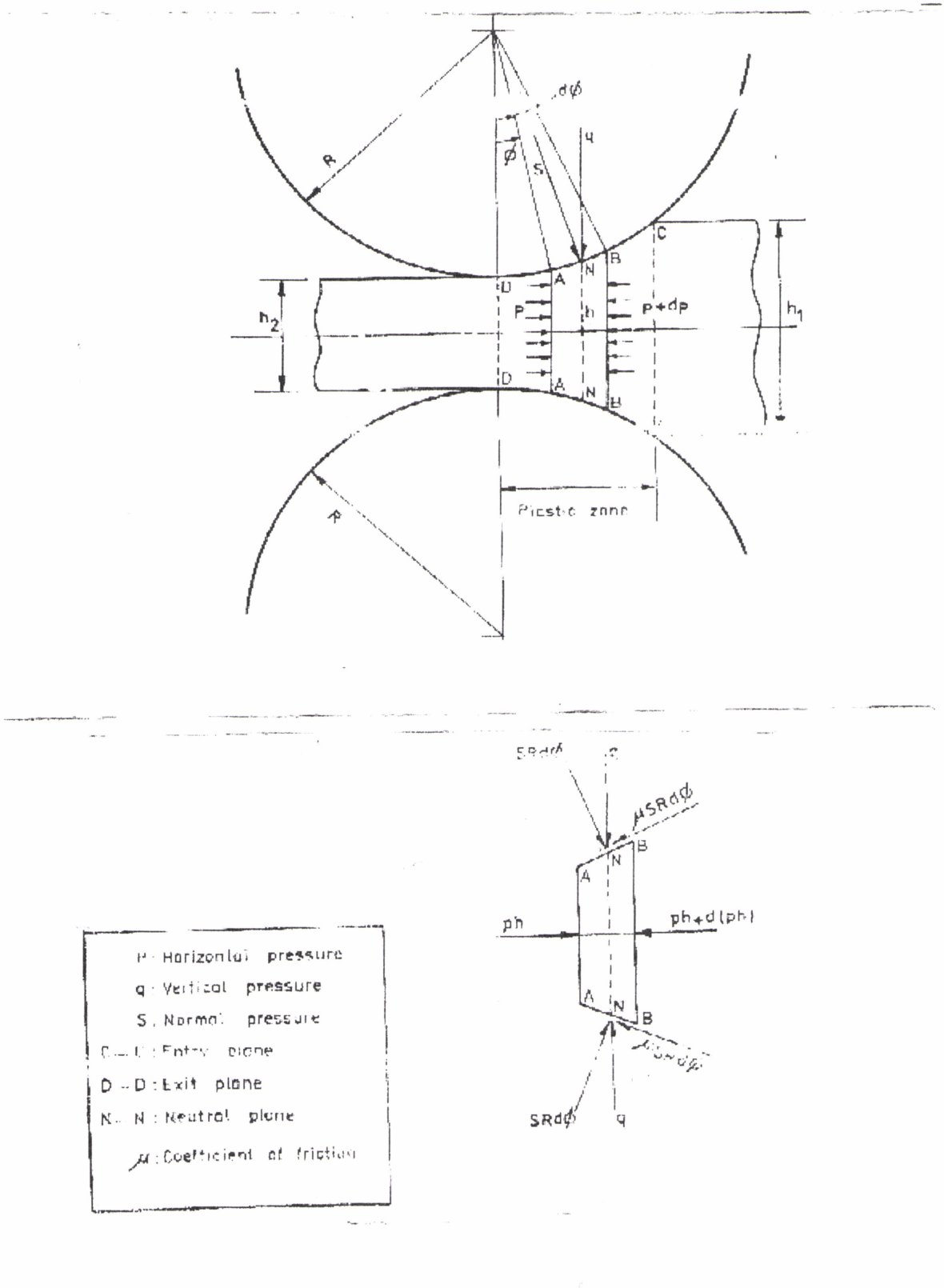

Fig. (1) The force and Stresses distribution for roller cylinder

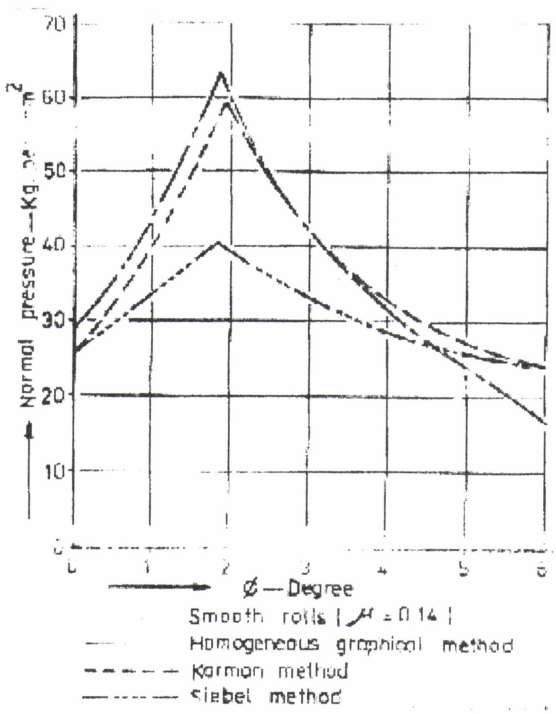

Fig. (2) contact pressure distribution (orowan)

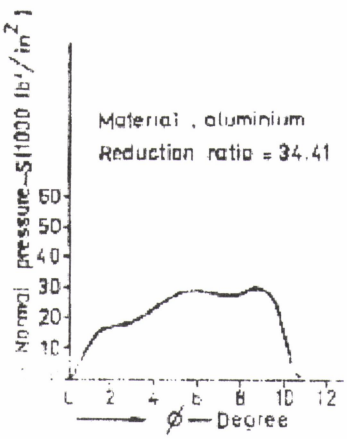

Fig.(3) contact pressure distribution
(Al Salehi , Firbank and Lancaster)

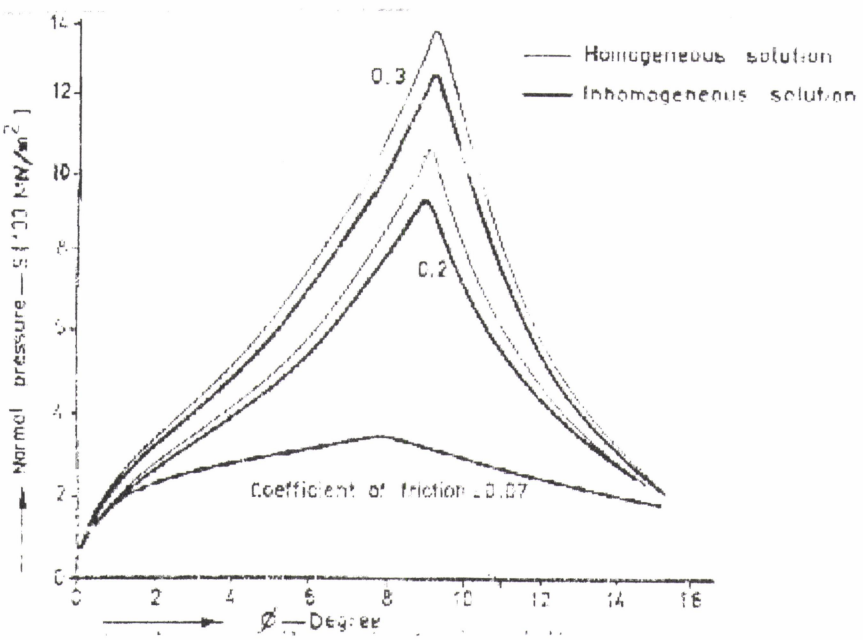

Fig.(4) the relation between normal pressure and the angle ϕ under different coefficient of friction

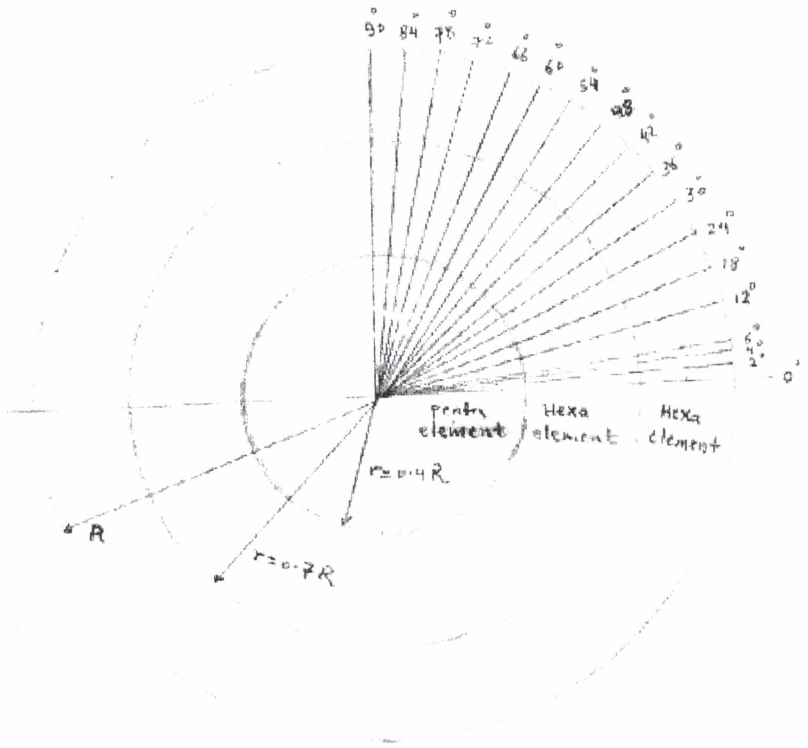

Fig.(5) finite element mesh

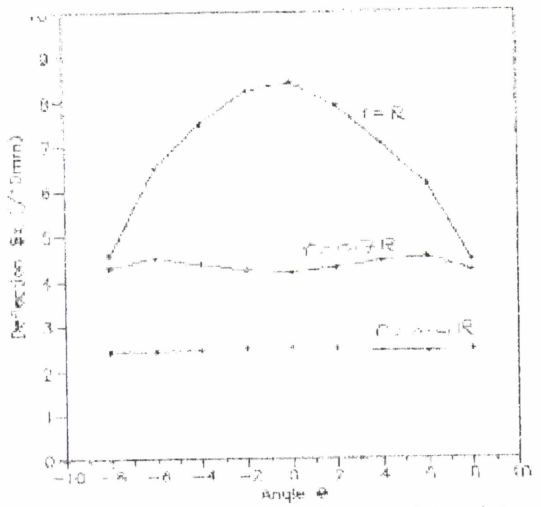

Fig. (6) The relation between deflection and the angle Φ under different radial distance of the roller. (R=0.5)

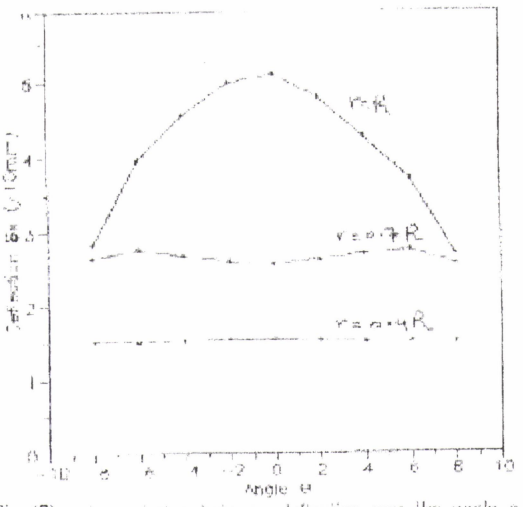

Fig. (7) The relation between deflection and the angle Φ under different radial distance of the roller. (R=0.3)

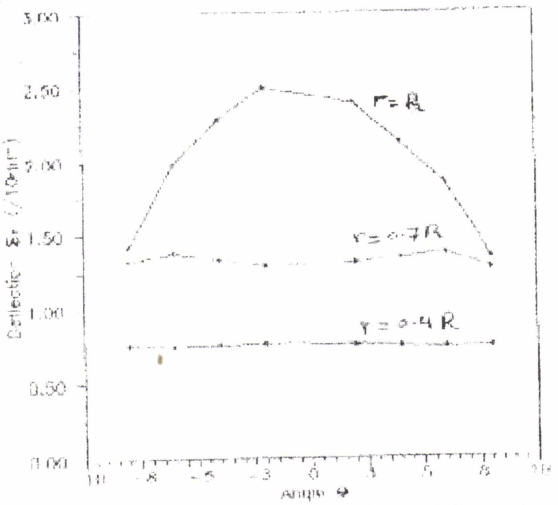

Fig. (8) The relation between deflection and the angle Φ under different radial distance of the roller. (R=0.15)

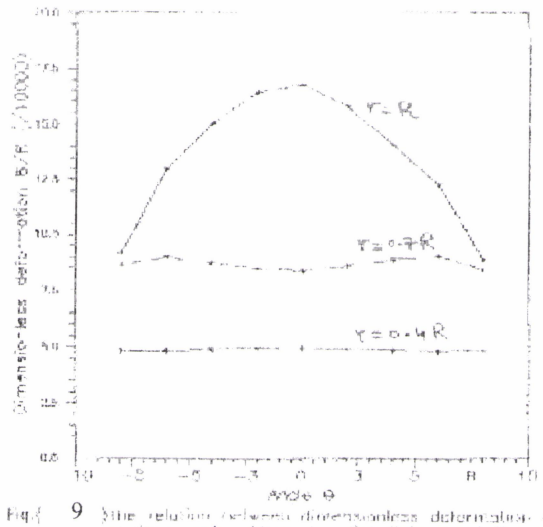

Fig. 9 The relation between dimensionless deformation and the angle θ under different radial distance of the roller.

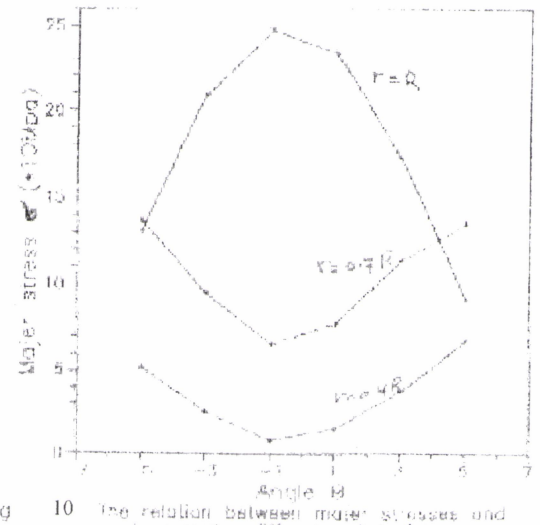

Fig. 10 The relation between major stresses and angle θ under diffrent radial distance

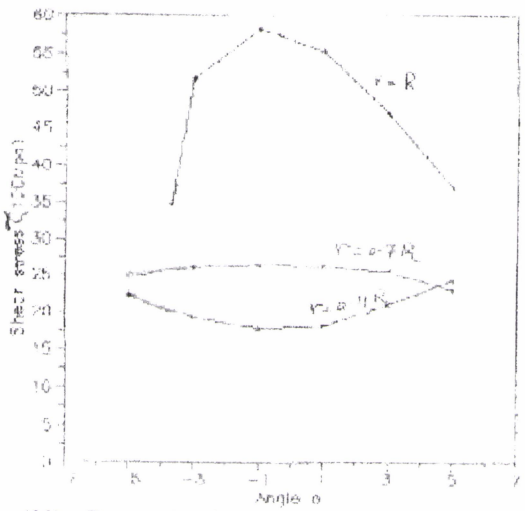

Fig. (11) The relation between shear stresses and angle θ under diffrent radial distance

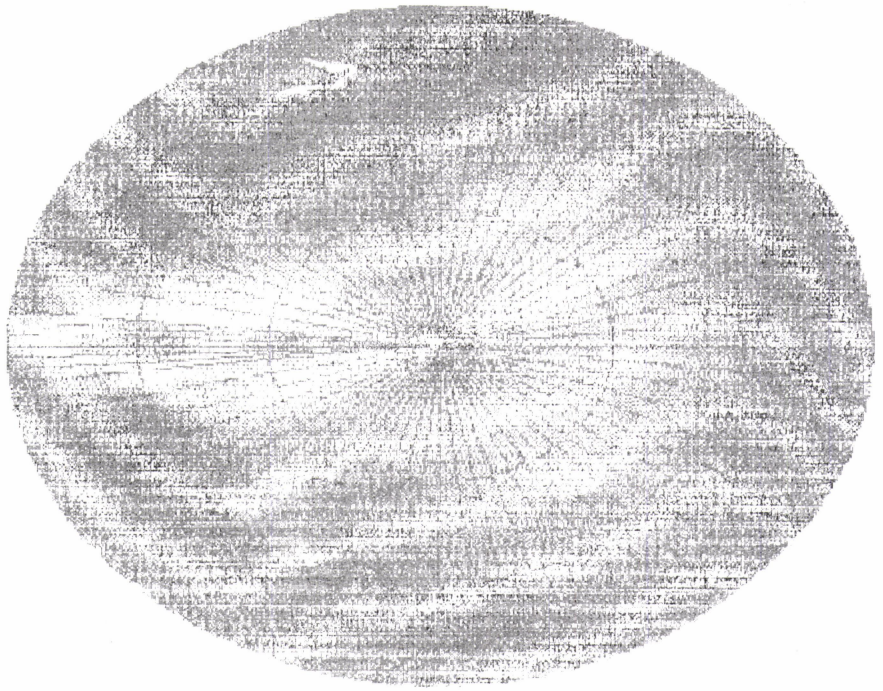

Fig.(12) mesh of cross section for roller cylinder

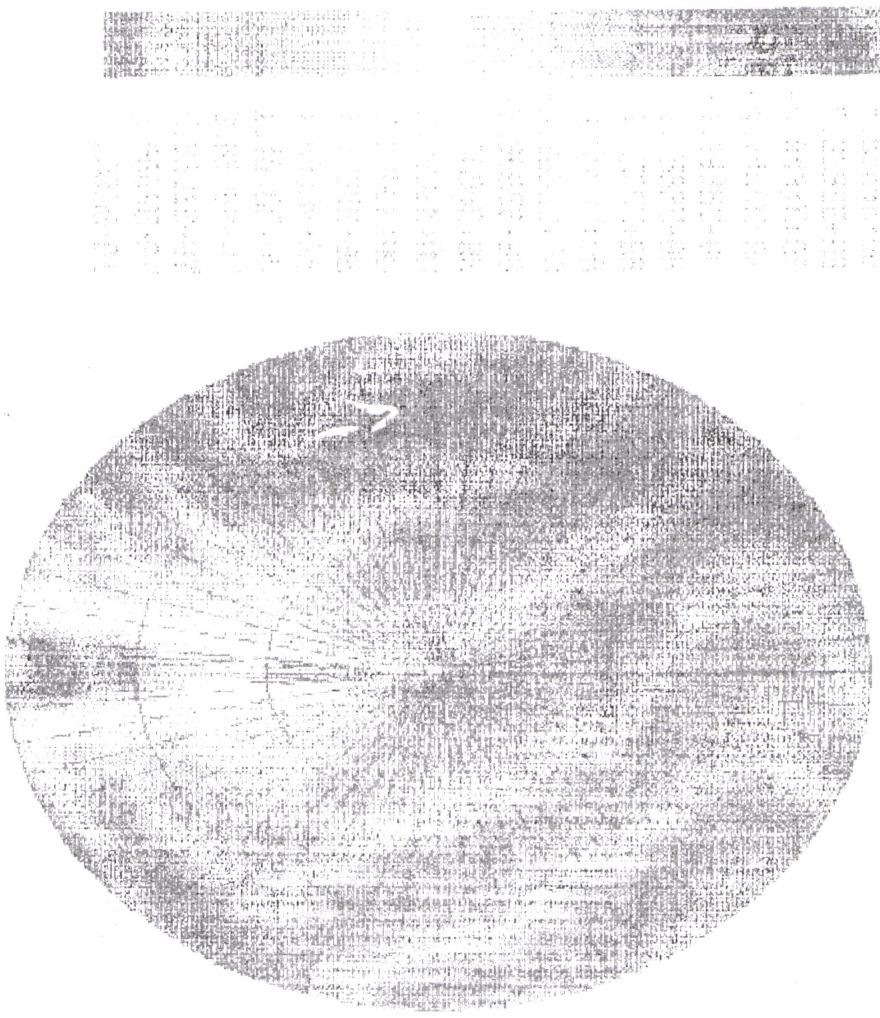

Fig.(13) Shear stresses shape for roller cylinder

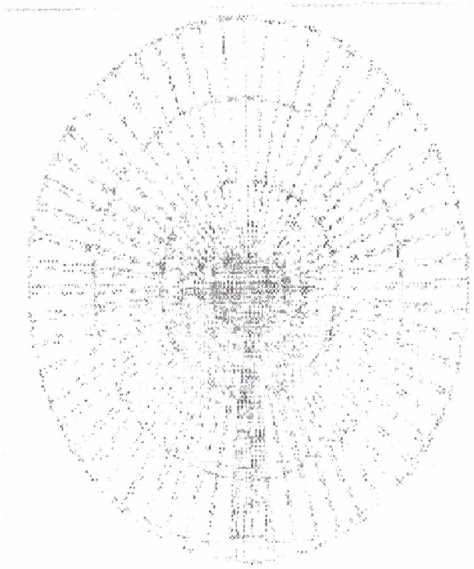

Fig. (14) deformed shape for rollers cylinder for (R=0.15 m)

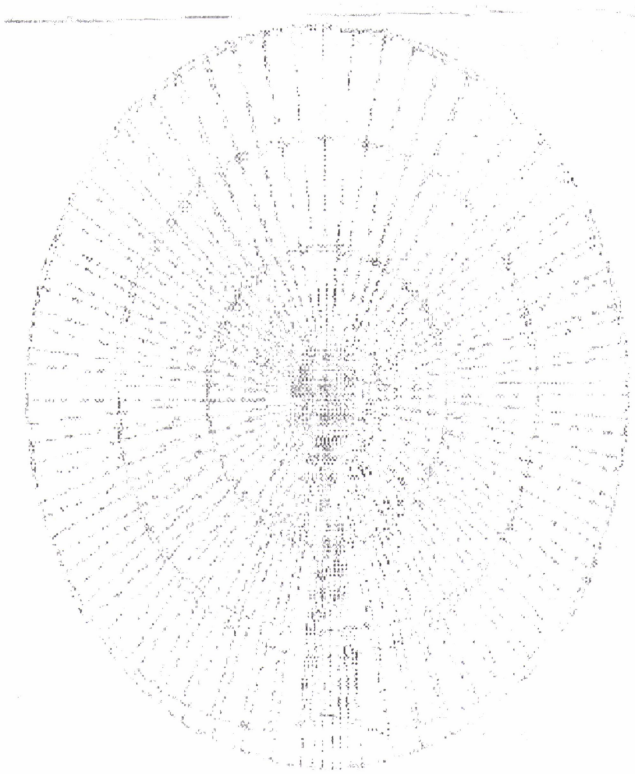

Fig. (15) deformed shape for rollers cylinder for (R=0.3 m)

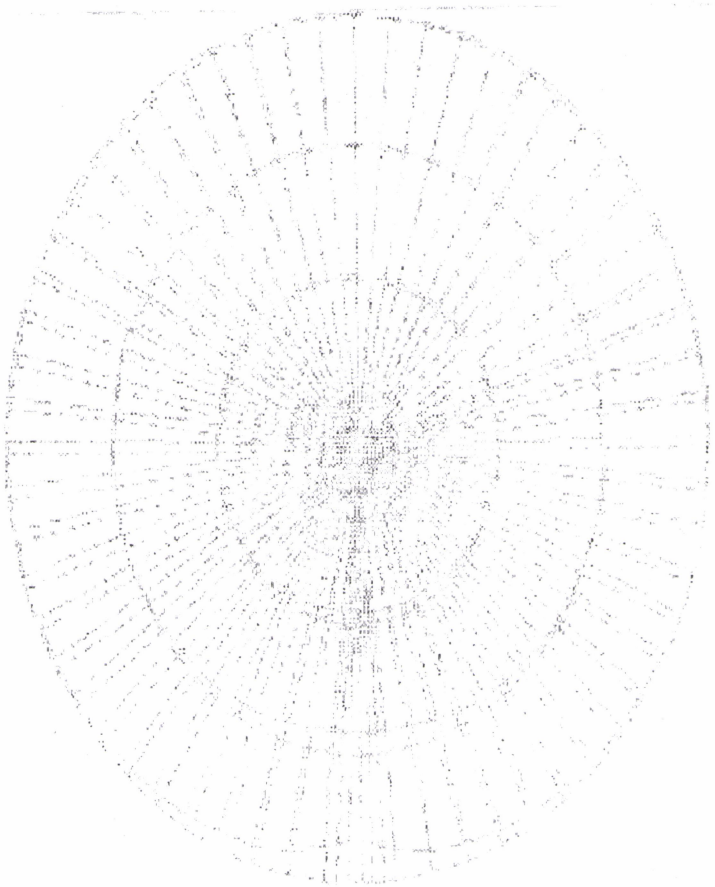

Fig. (16) deformed shape for rollers cylinder for (R=0.5 m)