دراسة الاجهادات المتولدة في عملية السحب العميق باستعمال قالب مخروطي

أ.م.د. هاني عزيز امين
قسم هندسة تقنيات المضخات / الكلية التقنية – المسيب

الملخص

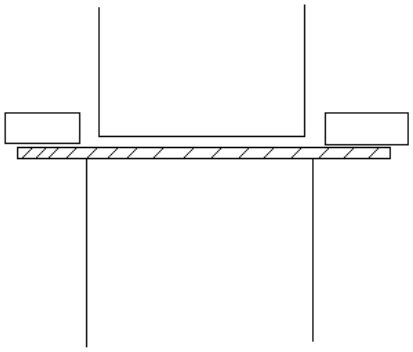
تم في هذا البحث اجراء عملية السحب العميق لغفل دائري بقطر (32 ملم ، 42.64 ملم ، 52.18 ملم و 77.44 ملم) وسمك (0.5 ملم) والذي تم سحبه الى كاس اسطواني بواسطة برنامج ANSYS وتم السحب بواسطة مخرم بقطر (20 ملم) وقالب مخروطي(Conical die) وتم اخذ اربعة قيم لزوايا المخروط (5° ، 10° ، 15° ، 25°) وتم دراسة تاثير هذه الزوايا على توزيع الاجهادات والانفعالات .وكذلك تم بيان تاثير الاحتكاك على توزيع الاجهادات .
وقد تبين من هذه الدراسة ان اقل اجهاد يحدث عند زاوية القالب المخروطي (10°) مما يدل على ان افضل تصميم للقالب المخروطي يتم عندما تكون الزاوية (10°) . وتم مقارنة النتائج مع البحوث المنشورة واظهرت تطابقا جيدا. كما وجد بان حمل التشكيل يزداد بزيادة الزاوية و قطر الغفل .

Abstract

In this research a deep drawing simulation was carried out on circular blank with a diameter (32, 42.64 , 52.18 and 77.44)mm and thickness (0.5 mm)and it was drawn to a cup through ANSYS5.4 program , using punch with diameter (20 mm) and conical die (by varying the angle of the conical die 5°,10°,15°,25°).It has been studied the effect of the angle of die on the stress distribution , and the effect of friction on the stress distribution .
The results show that the less equivalent stresses occurs at angle (10°) of the conical die , i.e. the best design for the conical die when the angle of the die is (10°) . Results are compared with the published one. Good agreement is evident. Also it was found that forming load increases with increasing of the angle and blank diameter.

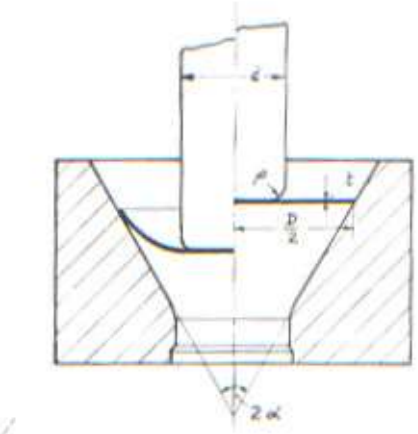
المقدمة

السحب العميق هو احدى عمليات تشكيل المعادن ، يتم فيها تشكيل صفيحة المعدن الى اشكال معينة . ويتم ذلك بوضع قطعة المعدن المراد تشكيلها على قالب ، بحيث ينساب به المعدن داخل القالب بواسطة المخرم (Punch) يتم السيطرة على انسياب المعدن الى داخل القالب بواسطة مثبت الغفل لمنع التشوهات ، شكل رقم (1) يبن عملية السحب العميق .



شكل رقم (1) يبين عملية السحب العميق

في بحثنا هذا تم تغيير شكل القالب الى مخروطي ووضع المعدن على حواف القالب مما يتح لنا رفع مثبت الغفل , كما في شكل رقم (2) .



شكل رقم (2) يبين عملية السحب العميق باستخدام قالب مخروطي

حيث تم تحليل عملية السحب العميق بواسطة طريقة العناصر المحددة خلال برنامج ANSYS حيث تم عمل نموذج لعملية السحب العميق ذو القالب المخروطي وهناك العديد من الدراسات استخدمت بها طريقة العناصر المحددة حيث وضح يونك [1] ان هناك عيوب في عملية السحب العميق بضمنها (التجعد ، الترفق ، التاكل ، الكسر) يصعب ايجاد الحلول لها ولكن باستخدام تحليل العناصر المحددة اصبح من الممكن تلافي هذه العيوب بواسطة تغيير بسيط في التصميم . لذلك يتم استخدام طريقة العناصر المحددة كاداة يستفاد منها قبل تطبيق التصميم عمليا . اما الباحث ميكيود [2] فقد قام باعداد نموذج بالعناصر المحددة لعملية السحب العميق ، اما الباحث جين [3] فقد استخدم برنامج (SIMEX) الذي يعتمد على طريقة العناصر المحددة للمحاكات العكسية لقالب السحب العميق واما الباحث (Jain) [4] فقد قام بدراسة عملية السحب العميق لتشكيل الصفائح السميكة متماثلة حول المحور حيث تم استخدام برنامج العناصر المحددة المتمثل ببرنامج (ABAQUS) . اما الباحث المهداوي [5] فقد قام بدراسة عملية السحب العميق لقالب مخروطي عمليا وبين تاثير القالب المخروطي وفائدته . اما الباحثة اسراء [6] فقد قامت بتحليل عملية السحب العميق باستعمال قالب دائري ومثبت الغفل باستخدام برنامج ANSYS .

واخير ففي بحثنا هذا تم استخدام برنامج ANSYS لتحليل عملية السحب العميق باستخدام قالب مخروطي (Conical Die) ولعدد من زوايا القالب المخروطي وبيان ايهما افضل زاوية للقالب المخروطي ومقارنة النتائج مع البحوث المنشورة. حيث تم سحب غفل (المعدن) دائري الشكل الى كأس اسطواني . الغفل مصنوع من معدن الفولاذ المقاوم للصدأ من نوع Stainless Steel 303 الذي يملك التركيب الكيمياوي الاتي :

Material No.	Symbol	C	Cr	Ni	S	Si
1.4305	X8CrNi S18-9	<=0.1	7 - 19	8-10	0.15-0.35	1

ويمتلك الخواص الميكانيكية التالية:

اجهاد الخضوع (yield stress) = 190MPa

الكثافة (density) = 7.9 Kg/m^3

معامل المرونة (Young Modulus of elasticity) = 200 GPa

نسبة بويزونس (Possion's ratio) = 0.37

مقاومة الشد (tensile strength)= 500-750 Mpa

تقنية العناصر المحددة

يستخدم برنامج ANSYS5.4 الخاص بتقنية العناصر المحددة في تحليل كثير من المسائل لحالات السكون والحركة[7] ، الخطية منها واللاخطية وحل مسائل الزحف والكلال ولحالات الخواص المتجانسة والمتباينة كالمواد المركبة (Composite material) وضمن مديات الحالة المرنة واللدنة .... الخ . وفي بحثنا هذا تم استخدام البرنامج لتحليل ودراسة تاثير هندسة شكل القالب في عملية السحب العميق وهي عملية من عمليات التشكيل المعقدة حيث ان النمذجة الرياضية لتمثيل الظاهرة الفيزياوية تخضع لقوانين ومعادلات لاخطية للمعدن المشكل او الاشكال الهندسية للقوالب المستخدمة بالاضافة الى ان ظروف التماس بين القالب والمعدن تشترط فيها ان تكون لاخطية ايضا .

وتتم برمجة هذه الحالة في برنامج ANSYS بطريقتين[8] :-

أ- طريقة الاوامر او ما يسمى بطريقة الدفعة (Batch or command method)

ب- طريقة قوائم الرسومات من قبل المستخدم (GUI)

تم استخدام الطريقة الاولى وذلك باعداد برنامج بلغة APDL لتحليل عملية السحب العميق (ملحق رقم (1)) وتمت البرمجة حسب الشروط الاتية :-

1- تم تثبيت نوع التحليل بحالة السكون (Static)

2- معدن ذات خواص ثنائية خطية متجانسة (Bilinear Isotropic Condition)

3- تم استخدام ثلاث انواع من العناصر (Elements)

أ- العنصر الاول الذي تم استخدامه في تمثيل عناصر التماس هو (Contac48) والذي يمتلك درجتان للحرية في كل عقدة باتجاه (x، y) ويحدث التماس عندما تصل عقدة التماس الى خط الهدف ويتم استخدام الاحتكاك المرن والاحتكاك الصلب حسب مواصفات العملية . وعندما يكون الانزلاق على طول خط الهدف فان الحرارة المتولدة بسبب التماس يتم اخذها بنظر الاعتبار اثناء تطبيق الشروط الحدية . ويكون هذا العنصر بشكل مثلث ، القاعدة تكون بشكل خط بين عقدتين على السطح (يطلق عليها سطح الهدف) وقمة المثلث تكون عقدة على السطح الثاني (ويطلق عليه سطح التماس)

ب- العنصر الثاني الذي تم تطبيقه (Plane42) والذي استخدم في البرنامج من اجل تمثيل القالب والمخرم ويمتلك هذا العنصر درجتين للحرية باتجاه (x، y) لكل عقدة .

ج- العنصر الثالث والذي تم استخدامه في تمثيل معدن الغفل هو (visco106) والذي يمتلك ثلاث درجات من الحرية باتجاه (x،y،z) لكل عقدة وهذا العنصر له صفة الانفعال العالي (Large Strain) .

4- نمذجة صلبة للحالة (Solid modeling)

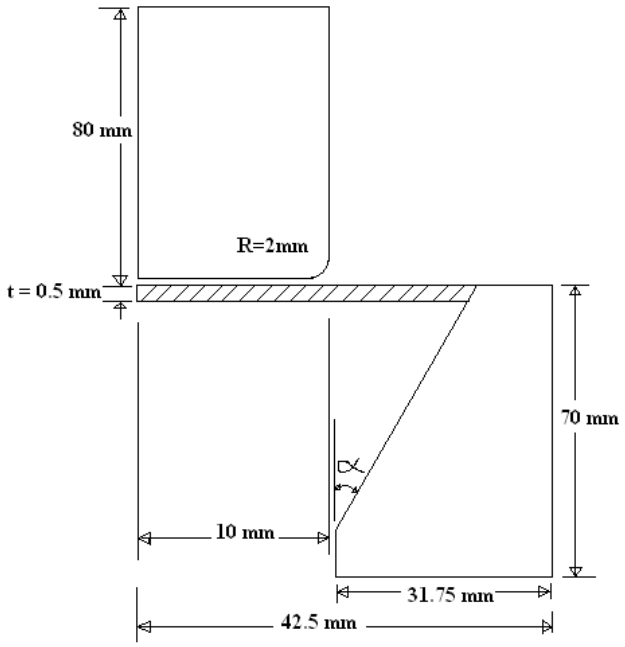
5- تسليط القوة (ازاحة ، حمل ، ضغط)

6- الحل (Solution) باستعمال طريقة نيوتن رافسون للتكرار ومن ثم الحصول على النتائج .

وضمن الفقرة الرابعة تم تقسيم النموذج الى شبكة Mesh من العناصر والعقد وبشكل عام اخذ بنظر الاعتبار منطقة التماس حيث تم زيادة عدد العناصر للحصول على الدقة المطلوبة .

الحالة التي تم دراستها

يوضح الشكل رقم (3) ابعاد القالب والمخرم (Punch) والغفل (المعدن) وسوف يتم اخذ حالة التماثل المحوري (axisymmetric) لعمل النموذج .



الشكل رقم (3) يبين ابعاد النموذج

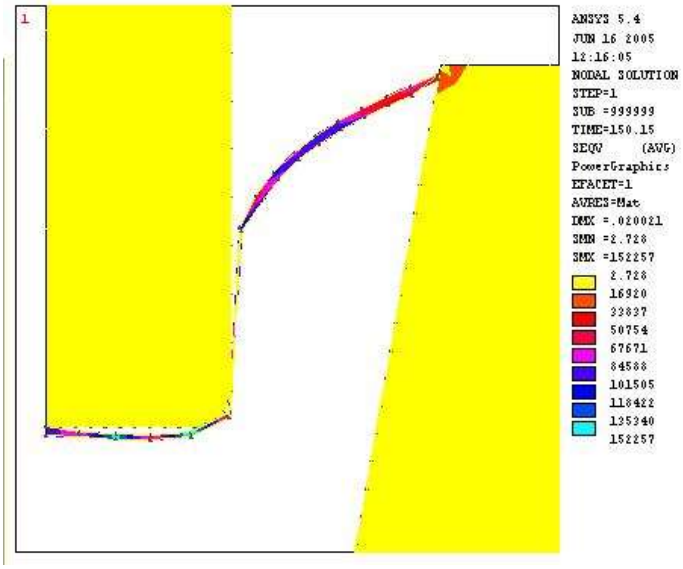
وسوف يتم تغيير قيمة زاوية القالب المخروطي من (5° ، 10° ، 15° ،25°) والتي تقابل اقطار الغفل (77.44 , 52.18 , 42.64 , 32) ملم .لبيان افضل قيمة للزاوية التي من خلالها سوف يتم تصميم القالب المخروطي .

النتائج والمناقشة

شكل رقم (4) يبين رسم عملية السحب العميق بواسطة برنامج ANSYS للزوايا (5° ، 10° ، 15° ،25°) والشكل رقم (5) يبين الشبكة (Mesh) والشروط الحدية لهذه العملية ، الشكل رقم (6) يبين توزيع الاجهادات المكافئة (effective stress) في حالة الزوايا (5° ، 10° ، 15° ،25°) ومن هذا الشكل نلاحظ ان قيم الاجهاد العليا كما يلي:

الزاوية	5°	10°	15°	25°
الاجهاد المكافئ (Pa)	283215	154009	154307	155419

ومن هذه القيم اعلاه نلاحظ ان اقل اجهاد يحصل عند زاوية (10°) وهذا يدل على ان افضل تصميم يتم عندما تكون قيمة زاوية القالب المخروطي (10°) . والشكل رقم (7) يبين توزيع الانفعال المكافئ لحالات الزاوية (5° ، 10° ، 15° ،25°).
وكذلك تم اخذ تاثير الاحتكاك (لحالة الزاوية 10° ، شكل رقم -8-) على توزيع الاجهادات حيث تم اخذ قيمة معامل الاحتكاك μ=0.02 وتبين ان قيمة الاجهاد الاعظم المكافئة 152257 Pa . ومن هذه الاشكال نلاحظ انه يقل الاجهاد المكافئ من قاعدة الكأس مع تقدم المخرم ويزداد في جدران الكأس وذلك لان قاعدة الكأس تتشكل في بداية عملية السحب لذلك يكون الاجهاد المكافئ مرتفع ثم يبدأ بالانخفاض من جدران الكأس فتستمر عملية تشكيلها الى نهاية الازاحة المقررة للمخرم او الى حد خروج الكأس من القالب.
الشكل رقم (9) يبين العلاقة بين ازاحة المخرم مع حمل التشكيل حيث انه تم مقارنة النتائج مع البحث العملي المنشور [9] واظهرت النتائج تقاربا جيدا بين النتائج العملية المنشورة والنتائج التي حصلنا عليها من خلال برنامج الـ ANSYS ان نتائج اقصى حمل تشكيل في حالة استخدام طريقة العناصر المحددة والنتائج العملية كانت على التوالي 49.18 kN و 49.91kN حيث كانت نسبة الخطأ بين الطريقتين 1.46%. الشكل رقم (10) يبين العلاقة بين معامل الاحتكاك مع حمل التشكيل ، حيث انه تمت مقارنة النتائج مع البحث العملي المنشور [9] واظهرت النتائج التي حصلنا عليها من خلال برنامج الـ ANSYS تقاربا جيدا . حيث انه تم دراسة معامل الاحتكاك بين القيم 0 الى 0.45 وان تأثيره واضح من خلال الشكل رقم (10) حيث انه كلما زاد معامل الاحتكاك ، زاد حمل التشكيل ، اي ان العلاقة بين معامل الاحتكاك وحمل التشكل علاقة طردية .
ومن النتائج اعلاه يتبين ان القالب المخروطي يولد اقل اجهادات على قطعة المعدن حيث انه تم رفع مثبت الغفل ووضع المعدن على حواف القالب لمنع التشوهات الحاصلة بسبب مثبت الغفل .



شكل رقم –8–

يبين توزيع الاجهادات في حالة الزاوية = 10 ومعامل الاحتكاك 0.02

الاستنتاجات

1- ان استخدام برنامج ANSYS لاجراء التجارب التحليلية لتلافي العيوب بالتصميم قبل تطبيق التصميم عمليا . حيث تم الحصول على نسبة خطأ بين العملي والنظري 1.46%.
2- تم استنتاج ان افضل قيمة لزاوية القالب المخروطي هي (10°) حيث عندها يكون الاجهاد المكافئ اقل مايمكن .
3- تقل قوة المخرم مع زيادة زاوية القالب وتزداد مع زيادة معامل الاحتكاك .
4- العلاقة طردية بين قوة التشكيل ومعامل الاحتكاك .

المصادر

1- Young S. " Simulation of deep drawing " metal forming magazine , 2002 , P. 32-34 .
2- S.A. Meguid & M. H. Refaat " Finite analysis of the deep drawing process using variational in equnlities " research Dept. of Mech. Eng. vol. 58 , 1997 , P51-67 .
3- Jean L. " Recent development in inverse simulation of sheet metal forming" France Paris , 2000, P. 1-10 .
4- Jian C. & Shunpahg L. " Analysis of an axisymmetric deep drawing part forming using reduced forming steps". J. of mat. Procc. Tech., 2001 , P.1-18
5- A.H. M. Al-Mahdawi and P.B Mellor " the effect of work hardening on deep drawing through a conical die " J. of Mech. Working tech. , 13, P317-324 , 1986 .
6- اسراء عباس خليل " محاكاة عملية السحب العميق باستخدام طريقة العناصر المحددة " ، اطروحة ماجستير ، قسم الانتاج والمعادن ، الجامعة التكنولوجية ، 2004 .
7-Saeed Moaveni " Finite element Analysis , theiry and application with ANSYS " , 1999 .
8- ANSYS , Structural Manual , 1999, ANSYS, Inc.
9- David S.K. " Simulation and Validation of deep drawing of pressure vessel and closures", M.Sc. thesis, Queen's University , 1998.

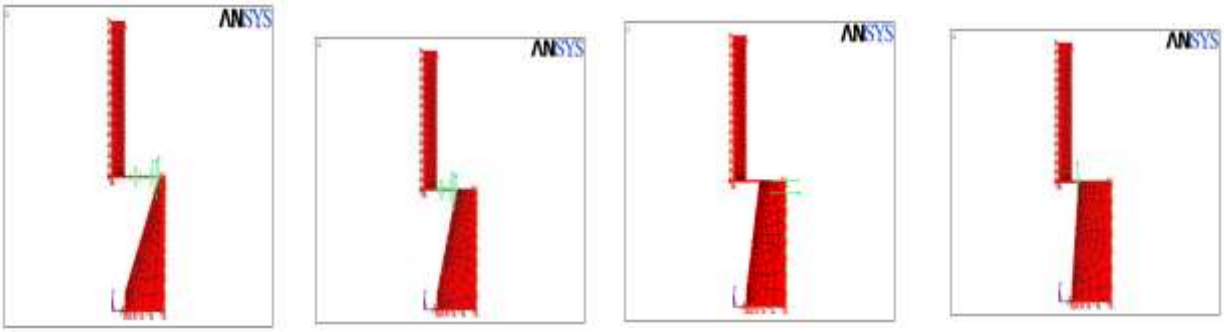
ملحق رقم –1– نمذجة عملية السحب العميق بلغة APDL

```
/prep7
*ask,alph,Enter Alpha for conical die=,10
*afun,deg
xx1=60*tan(alph)
!die
k,1,10.75/1000,0 : k,2,42.5/1000,0
k,3,42.5/1000,70/1000
k,4,(10+0.75+xx1)/1000,70/1000
k,5,10.75/1000,10/1000
l,1,2 : l,2,3: l,3,4: l,4,5: l,5,1
!Billet
k,6,0,69.5/1000
k,7,(10+0.75+xx1)/1000,69.5/1000
k,8,(10+0.75+xx1)/1000,70/1000
k,9,0,70/1000
l,6,7 :  l,7,8: l,8,9:l,9,6: lcsl,6,4
ldele,7 : ldele,13:  l,8,10
al,4,8,9,12         !area of billet
al,1,2,3,10,11,5    !area of die
!punch
k,11,0,70/1000 : k,12,10/1000,70/1000
k,13,10/1000,150/1000:  k,14,0,150/1000
l,11,12 : l,12,13: l,13,14
l,14,11:  lfillt,6,7,2/1000
al,6,15,7,13,14
!element of die & punch
et,1,42 :  keyopt,1,3,1
mp,ex,1,200e9: mp,nuxy,1,0.37
!mp,mu,1,0.02 : r,1,,,,,
!element of billet
et,2,106 : keyopt,2,3,1
mp,ex,2,200e9 : mp,nuxy,2,0.37
!mp,mu,2,0.02 : tb,biso,2
tbdata,1,190e6,(200e9)*0.8
r,2,,,,,
!contact element
et,3,48: r,3,144000,1440
!mesh of die & punch
type,1: real,1: mat,1
mshmid,0 : lesize,7,,,30
lesize,15,,,5 : lesize,6,,,10: lesize,5,,,10
lesize,11,,,40: amesh,2,3,1
!mesh billet:  type,2: real,2: mat,2: amesh,1
!mesh contac punch & billet
!target punch
lsel,s,line,,6 : lsel,a,line,,15
lsel,a,line,,7: nsll,s,1: cm,a1,node
!contac billet
lsel,s,line,,8: nsll,s,1: cm,b1,node:  nsel,all
```

```
!biender
type,3 : real,3: mat,3 : gcgen,a1,b1
gcgen,b1,a1
!mesh contac billet & die
!contac billet
lsel,s,line,,4:  lsel,a,line,,12
nsll,s,1: cm,b2,node
!target die
lsel,s,lin,,10:  lsel,a,line,,11
lsel,a,line,,5: nsll,s,1: cm,a2,node
nsel,all:
!biender
type,3: real,3: mat,3
gcgen,a2,b2
gcgen,b2,a2
allsel,all
! b.c of punch
lsel,s,line,,14
lsel,a,line,,9   ! Billet
nsll,s,1
d,all,ux,0
d,all,uy,-0.15
allsel,all
! b.c of die
lsel,s,line,,1,2,1
nsll,s,1
d,all,all
allsel,all
finish
/solu
!load to punch
lsel,s,line,,13
nsll,s,1
d,all,uy,-0.15
allsel,all
time,150.150
nlgeom,on
nropt,full,,on
outres,all,all
outpr,all,all
nsubst,400
neqit,99
cnvtol,u,,0.9
cnvtol,F,,0.9
eqslv,sparse
solve
finish
```

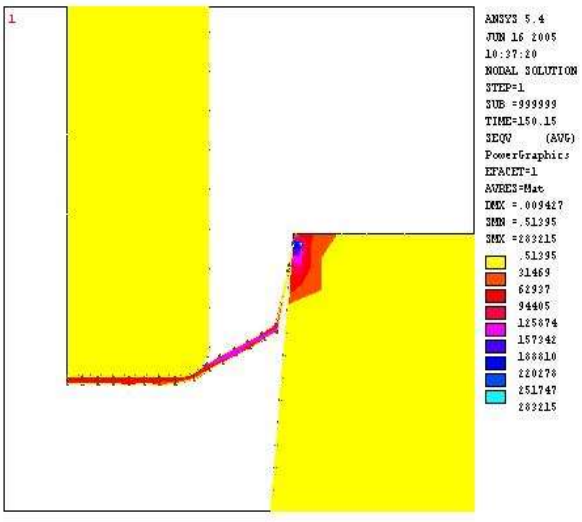
الزاوية = 5 الزاوية = 10 الزاوية = 15 الزاوية = 25

شكل رقم – 4 – يبين موديل عملية السحب العميق مع كل زاوية

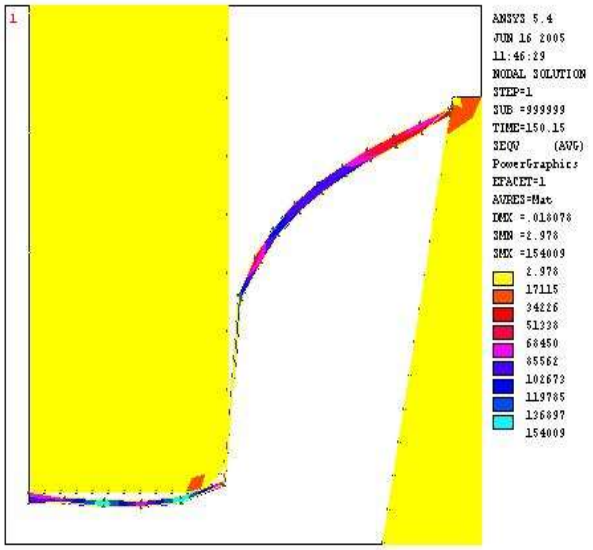


الزاوية = 5 الزاوية = 10 الزاوية = 15 الزاوية = 25

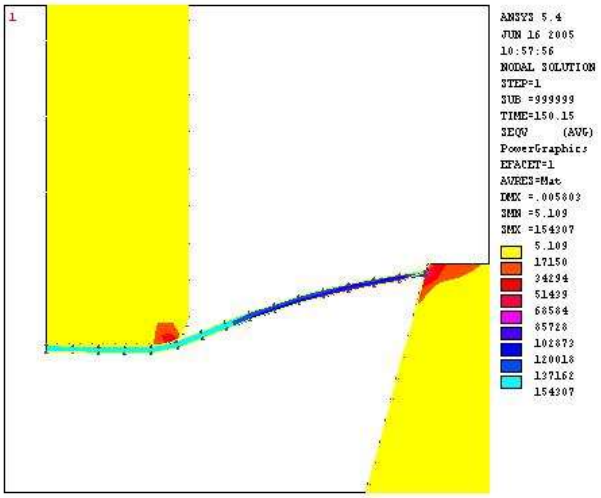
شكل رقم – 5 – يبين عملية تطبيق الشروط الحدية



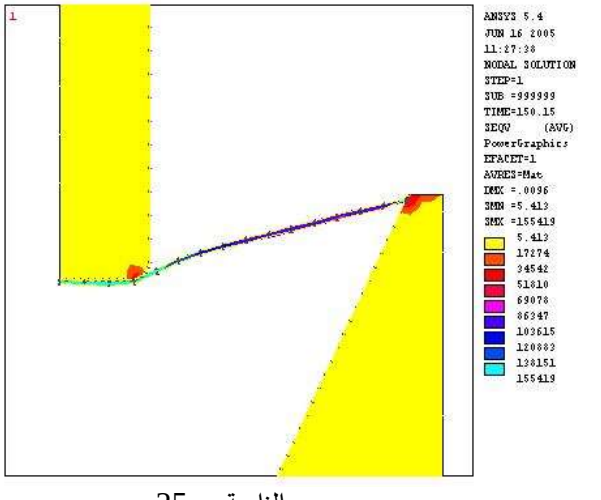
الزاوية = 5



الزاوية = 10

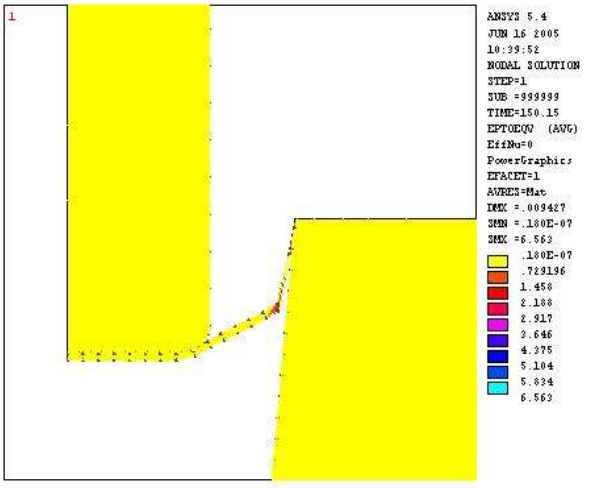


الزاوية = 15

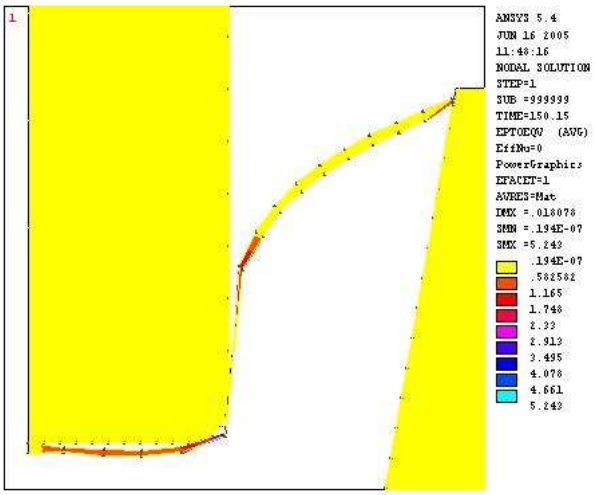


الزاوية = 25

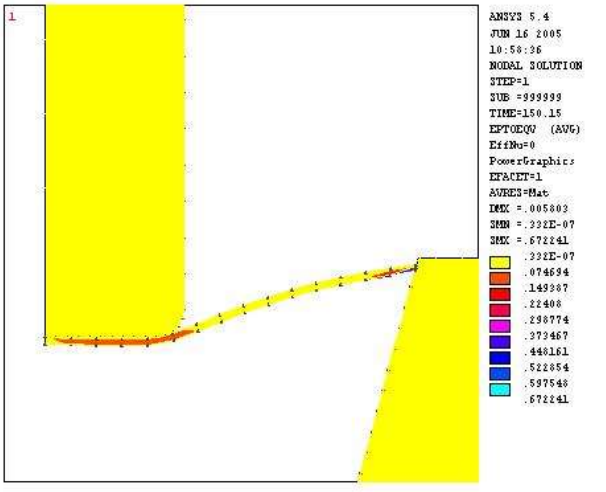
شكل رقم – 6– يبين توزيع الاجهادات المكافئة



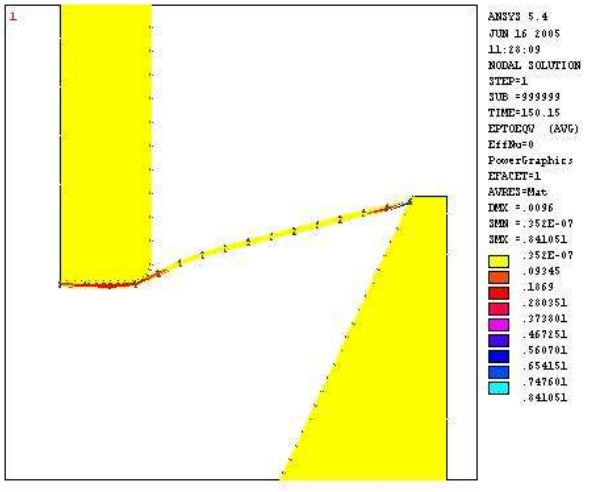
الزاوية = 5



الزاوية = 10

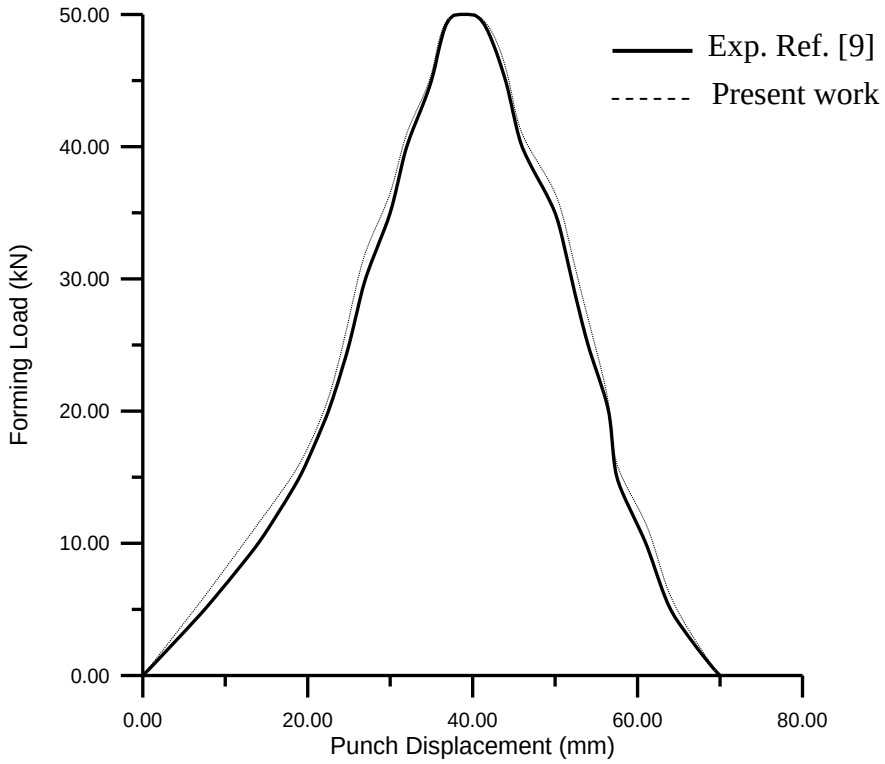


الزاوية = 15

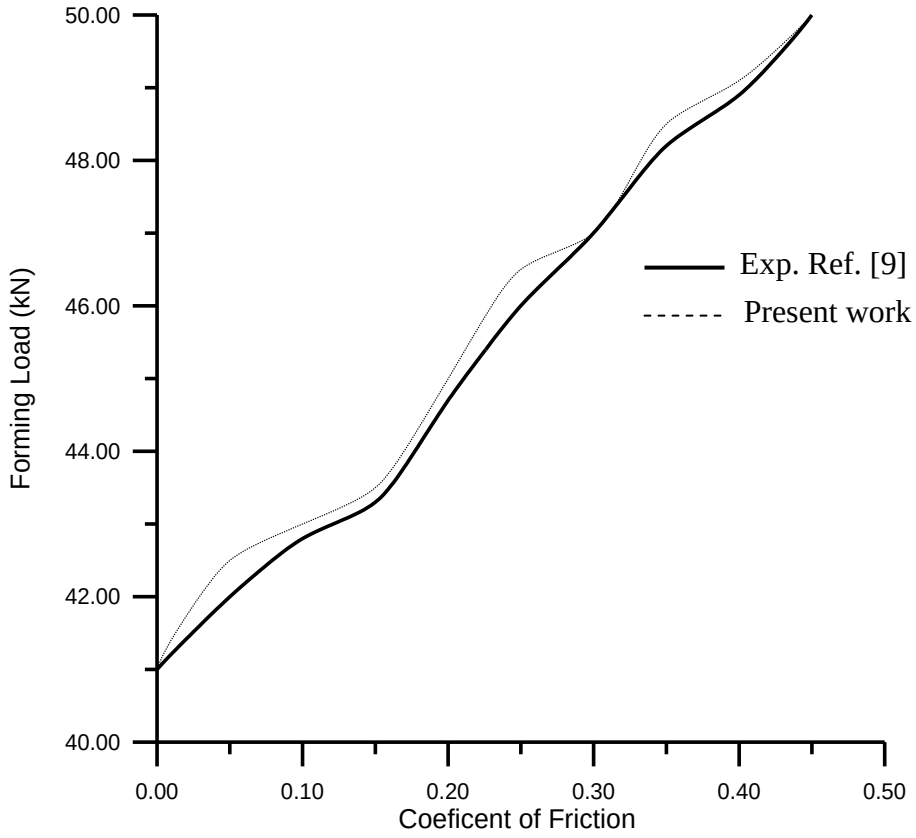


الزاوية = 25

شكل رقم – 7– يبين توزيع الانفعالات المكافئة



شكل رقم (9) يبين علاقة بين ازاحة المخرم وحمل التشكيل



شكل رقم (10) يبين علاقة معامل الاحتكاك مع حمل التشكيل