Al- Khwarizmi
Engineering
Journal

Al- Khwarizmi Engineering Journal Vol.3 , No.3 , pp 1-16 (2007)

دراسة تأثير الشكل الهندسي لمادة التقوية على الاجهادات الداخلية للمواد المتراكبة

د.علاء حسن علي
الجامعة التكنولوجية- قسم هندسة المواد

(Received 17 May 2007; accepted 6 September (2007)

ملخص البحث:-

يتلخص البحث في استخدام مادة التقوية من الياف معدنية مستمرة من الفولاذ المقاوم للصدأ في مادة ذات اساس معدني (المنيوم) وقد تناولت كثير من البحوث والدراسات اهمية مادة التقوية وتركيبها في المادة الاساس من ناحية حجمها وتركيبها وتوزيعها وتأثير ذلك على الاجهادات بمختلف انواعها مما تركز في هذا البحث على معرفة ودراسة تأثير تغير الشكل الهندسي لمادة التقوية وتعددها على الاجهادات الداخلية وتأثيرها على متانة المركب وبأستخدام طريقة العناصر المحددة بعد تعرضه الى قوة سحب معينة ومعرفة تغير الاجهادات وفقا لتغيرالشكل الهندسي لمادة التقوية.

المقدمة:

نظرا للاستخدامات والمتطلبات الصناعية المستمرة والمتطورة التي استخدمت فيها المعادن والسيراميك واللدائن وملاحظة المزايا والعيوب لهذه المواد فقد تم استخدام المواد المتراكبة على اساس ميزاتها المتعددة وبشكل واسع في تطبيقات كثيرة تبدأ بالقوارب وتنتهي بالسفن الفضائية والاستخدامات الطبية والتي هي مزيج من نوعين او اكثر من المواد(معدن- سيراميك- معدن بوليمر- بوليمر- سيراميك) فتلك خصائص ميكانيكية فريدة تعتمد على كمية وطريقة ترتيب المكونات.[1]

ان اهم الخصائص الميكانيكية التي تميز المواد المتراكبة عن المعادن هي نسبة الصلابة الى الكثافة(stiffness to density ratio) ونسبة المقاومة الى الكثافة (strength to density ratio) بالاضافة الى مقاومتها العالية للكلال واصبحت المواد المتراكبة اكثر المواد المستخدمة في صناعة الطائرات حيث دخلت متراكبات (الكاربون - ايبوكسي والارميد - ايبوكسي) في صناعة عدد كبير من اجزاء الطائرات ونتيجة الخصائص الميكانيكية الجديدة للمواد المتراكبة فقد ازداد الطلب عليها بشكل واسع وظهر استخدامها على هيئة صفائح تتكون من عدة طبقات يكون اتجاه الالياف فيها مختلفا من طريقة الى اخرى وبنسب مختلفة وطرائق ترتيب مختلفة اعتمادا على الخصائص المطلوبة للمادة وكذلك ظهر استخدام المتراكبات الهجينة الصفائحية بشكل واسع للحصول على مواد جديدة قليلة الوزن وذات متانة عالية.[2]

مادة التقوية(الطور الثاني) (Reinforcement Material):-

من المهم دراسة القواعد للطور الثاني المستخدم لتقوية الطور الاول (Matrix) مادة الاساس ويطلق على الطور الثاني بطور التقوية(Reinforcement) ويعرف على انه الطور المغمور والمتألف مع الطور الاخر. تتصف مواد التقوية بكونها ذات مقاومة ومطاطية عاليتين والتقوية تتخذ اشكالا مختلفة منها على شكل جسيمات او طبقات او ألياف.[3] تركزهذا البحث على المواد المتراكبة المقواة بالالياف ففي هذا النوع من المواد المتراكبة تغمر الالياف في الارضية والتي تكون اما مستمرة او غير مستمرة مرتبة اوعشوائية ويجب ان تمتلك الالياف مقاومة ومعامل مرونة عاليتين لانتاج مواد ذات مقاومة عالية نسبة الى الوزن والالياف مسؤولة بشكل كبير تحسين الخواص الميكانيكية في المواد المتراكبة، فالالياف المستخدمة في تقويةالموادالمتراكبة ذات الاساس البوليمري (PMCS) هي الياف الزجاج والياف الكاربون والياف الفولاذ.[4]

ان التغير الميكانيكي لشكل الاسلاك سيحسن هذا النوع من الترابط وعادة ماتم اللجوء الى هذا التغييرعند استخدام اسلاك معدنية لتقوية مادة بوليمر او المنيوم او سيراميك وان تغيير الشكل الهندسي لهذه الاسلاك الفولاذية لشكل ومساحة المقطع والطول يؤثر على الربط حيث ان مساحة المقطع العرضي يمكن ان تكون دائرية او هرمية او مسطحة وان الاسلاك يمكن ان تكون ملساء او ذات نهاية تشبه الشفرة (Round with end paddles steel wires) او ذو نهاية مسطحة ومثلومة .[5]

ان العوامل المسؤولة عن تقوية الالياف والتي يجب مراعاتها عند تصميم مواد مركبة مقواة بالالياف تتركزفي اتجاه الأليا ف ، نسبة الطول الى القطر ، الشكل الهندسي ومساحة المقطع العرضي لليف ، درجة الربط بين الليف والمادة الاساس ، الكسرالحجمي للالياف ، خواص مادة الاساس والكلفة .[6]

اساسيات تكوين المواد المتراكبة(Rules of mixtures):-

ان التشوه الحاصل في المتراكبات المدعمة بالالياف يعتمد على اتجاه الالياف، ففي حالة الاجهاد المنخفض فان كل من الالياف والمادة الاساس ينفعلان انفعالا مرنا وفي حالة زيادة الاجهاد فان المادة الاساس يمكن ان تتشوه تشوها لدنا بينما تبقى الالياف في حالة انفعال مرن يحدث الفشل في المادةالمتراكبة اما بفشل الالياف او بفشل المادة الاساس اعتمادا على مطيلية كليهما [7]ويمكن ان تكون هذه المتراكبات غير متماثلة (Anisotropic) حيث ان معاملات المرونة المقاسة بأتجاه الالياف تكون اعلى من تلك التي بالاتجاه العمودي عليها.

وعلى افتراض بأن الالياف المستخدمة احادية الاتجاه ومنتظمة ووجود ترابط بين الالياف والمادة الاساس فعند تسلط حمل على المادة المتراكبة بأتجاه مواز الى اتجاه الالياف فأنه سيتوزع على كل من المادة الاساس والالياف وحسب المعادلةالأتية:[8]

$$Fc = Ff + Fm \quad (1)$$

حيث ان (Fc) الحمل المسلط على المادة المركبة وFf الحمل المسلط على الالياف وFm الحمل المسلط على المادة الاساس.أو يمكن صياغتها بالشكل الأتي :

$$\sigma c Ac = \sigma f Af + \sigma m Am \quad (2)$$

وبالقسمة على (Ac) فأن:-

$$\sigma c = \sigma f\,[Af \backslash Ac] + \sigma m[Am \backslash Ac] \quad (3)$$

حيث ان

[AF\Ac] كسر المساحة للالياف

[Am\Ac] كسر المساحة للمادة الاساس

فأذا كانت الالياف ذات مقطع عرضي منتظم وذات اطوال مساوية الى طول مادة الاساس فأن كسر المساحة سوف يصبح مساويا للكسر الحجمي لكل من الليف والمادة الاساس لذا فأن:-

$$\sigma c = \sigma f Vf + \sigma m Vm \quad (4)$$

وحيث ان:

$$Vf + Vm = 1$$

اذ ستكون المعادلة(4) بالشكل الأتي :

$$\sigma c = \sigma f Vf + \sigma m(1 - Vf) \quad (5)$$

وبما ان الترابط جيد بين الالياف والمادة الاساس لذا فان الانفعال سيكون في كل من الالياف

والمادة الاساس وبالتالي مساويا للمادة المركبة وتعرف هذه الحالة بحالة تساوي الانفعال(Iso-strain) حيث:

$$\epsilon c=\epsilon f=\epsilon m \qquad (6)$$

حيث ان(ϵc)انفعال المادة المتراكبة
(ϵf)انفعال الالياف
(ϵm)انفعال المادة الاساس
وبما أن $\sigma=E\epsilon$
حيث يمكن التعبير عن المعادلة(7) بالصيغة التالية:-

$$Ec\epsilon c=Ef\epsilon fVf+Em\epsilon m(1-Vf) \qquad (7)$$

حيث ان E معامل المرونة
وبمان **Vm=1-Vf**
وبتطبيق المعادلة (7) يتم:-

$$Ec=EfVf+EmVm \qquad (8)$$

ويطلق على المعادلة (8) بقاعدة الخلط (Rule Of Mixture) وتستخدم لايجاد معامل المرونة للمادة المتراكبة ولايجاد الكثافة وكذلك تستخدم لايجاد خواص اخرى مثل المقاومة والتوصيل الحراري والكهربائي بأتجاه الليف.

التمثيل بالحاسوب:-

تم بناء النموذج وفق برنامج تحليل الاجهادات (Ansys5.4)وتم بناءالمواد المتراكبة ذات اساس المنيوم ومادة التقوية المستخدمة الياف مستمرة من الفولاذ المقاوم للصدأ وبالخواص والقيم التالية بالنسبة للمادة الاساس (الالمنيوم):-[9]

Modules Of Elasticity E=70000 N/mm2
Possion's Ratio υ =0.32
Coeffient of thermal Expansion =23E-6
Thermal Conductivity=0.18

اما بالنسبة لمادة التقوية (stainless steel) فأخذت القيم الأتية:-

Modules of Elastic E=200000 N/ mm2
Possion's ratioυ =0.29
Coeffient of thermal=11E-6
Expansion
Thermal Conductivity=0.051

وقد تم تحميل المادة المتراكبة لمعرفة طبيعة الاجهادات الداخلية لكل من المادة الاساس ومادة التقوية مع تغيير الشكل الهندسي وكذلك عدد ومواقع الالياف في المادة الاساس وقراءة ومعرفة واستخراج قيمة الاجهادات على المادة الاساس ومادة التقوية لكل حالة وقد استخدم الربط التام (Perfect Bounding) وذلك لسهولة استخدامها في البرنامج وكذلك بسبب صعوبة عمل ربط غير تام وفي الحقيقة ان الترابط التام في المواد المتراكبة امرا لايمكن تحقيقه بالتطبيقات العملية حيث لابد من وجود بعض الفراغات مابين المادة الاساس والالياف لذلك يؤخذ ذلك غالبا بنظر الاعتبار التغييرات بالتصاميم عند التطبيقات العملية في هذا المجال.

تم تحميل المركب في جميع انواع الدراسة والتطبيق بقوة مقدار 125 نيوتن بأتجاه المحور السيني (Fx) لتتم المقارنة في اختلاف قيم الاجهادات لكل حالة وكمايأتي:-

1- في النموذج الموضح في الشكل (1) تم تحميل المادة الاساس بدون تقوية حيث كانت النتيجةان اقل مقدار للاجهاد (SX) هو 25.7 N/mm2 واعلى مقدار هو 550 N/mm2، بينما يمثل الشكل (2) القيم الدنيا والعليا للانفعال باتجاه X.

2- تحميل المركب من المادة الاساس ومادة التقوية بنفس القوة والتي يكون فيها شكل الياف التقوية(stainless steel) على شكل بلوك متوازي المستطيلات شكل (3) وينتج عن ذلك ان اقصى اجهاد (Von-misses) 1750 وادنى اجهاد 98 شكل (4). اما الشكل(5) يوضح القيم الدنيا والعليا للاجهاد باتجاه X والشكل (6) يمثل قيم الانفعال الدنيا والعليا بنفس الاتجاه.

3- تغيير شكل مادة التقوية على هيئة بلوكات مترابطة (متوازي مستطيلات) شكل (7) وتحميل المركب بنفس القوة حيث كانت النتيجة بأن الاجهاد (Von-misses) بقيمتيه الدنيا والعليا موضحة في الشكل (8) وكذلك الاجهاد باتجاه X في الشكل (9)، اما الشكل (10) قيم النفعال التي تعرض لها المركب.

4- تحميل المادة المركبة مع اختلاف الشكل الهندسي عن الخطوة (3) بزيادة عدد البلوكات المترابطة على شكل متوازي مستطيلات شكل (11) حيث كانت قيمة الاجهادات (Von-misses) 22،5546 كأعلى واقل اجهاد شكل (12). اما الاجهاد باتجاه X فيوضح لنا الشكل (13) هذه القيم،والشكل(11) يوضح قيم الانفعال باتجا X ايضا.

5 - في هذه الخطوة تم استخدام مادتي التقوية باختلاف الشكل الهندسي لكل منهما الشكل (15)،وتم تحميل المركب وكانت النتيجة لاعلى واقل اجهاد (Von-misses) موضح بالشكل (16)، اما الشكلين (17) و(18) يوضحان قيم كل من الاجهاد والانفعال باتجاه Xعلى التوالي.

المناقشة والاستنتاجات:-

في البدايه وكما وضحنا سابقا ولغرض مقارنة تأثير الشكل الهندسي لمادة التقويه وتعددها على الأجهادات داخل المركب، تم تحميل مادة الاساس بدون تقوية والموضحة بالشكل (1) لغرض المقارنة بالقيم المستحصلة من الاجهادات عند استخدام مادة التقوية في المركب بوجود مادة التقوية لذا نرى بأن أعلى قيمة للأجهاد بأتجاه X بلغت 551 N/mm2 وفي منطقة ضيقة جدا على حافة مادة الأساس وبأنفعالات بلغت أعلاها 0.006 وبنفس المنطقة الموضحة في الشكل (2) .

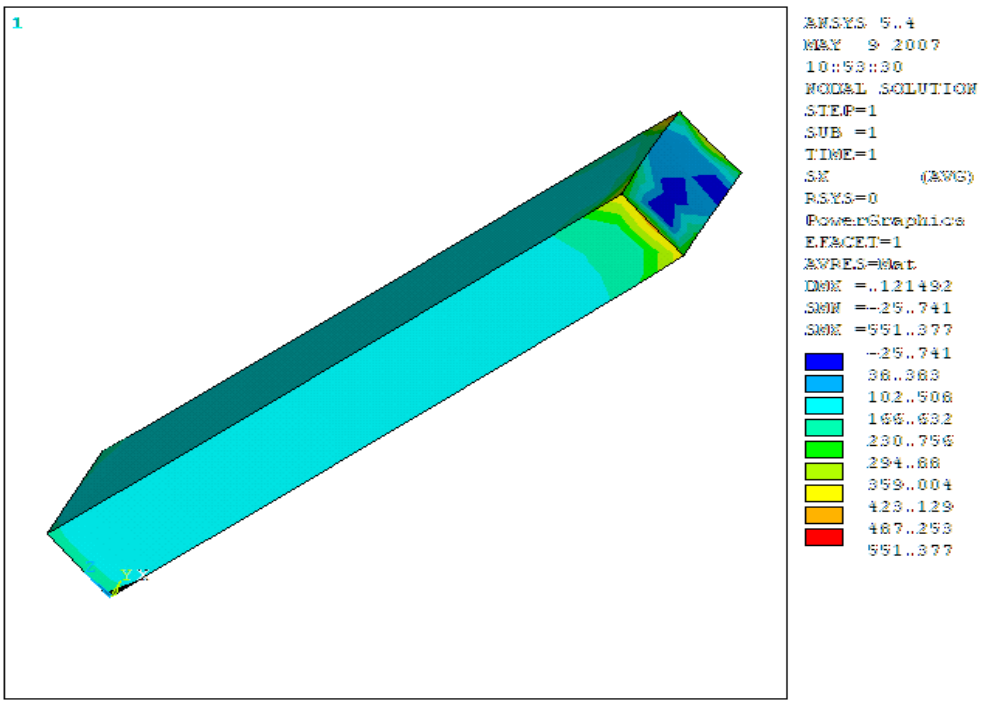
في المادة المركبة المحتوية لمادة التقوية بالشكل (3) تم تحميل المركب في الشكل (4) لنجد أن أعلى قيمة للأجهادات كانت 1750 N/mm2 ومتركزة على مادة التقوية أما مادة الأساس فكانت تتعرض لأجهاد أقل بكثير من ذالك وبقيمة 98 N/mm2 بينما في الحالة الأولى بدون تقوية كانت 551 N/mm2 عتى المادة الأساس مما يدل على أن مادة التقوية (الليف) قد تحمل أعلى الأجهادات ، وهذا ينطبق أيضا على الأجهادات بأتجاه X في الشكل (5) بالنسبة لمادة التقوية ومادة الأساس وكذلك الأنفعال الذي بلغ في الشكل (6) على مادة الأساس بقيمة 0.0049 وهو أقل قيمة من الحالة الأولى

عند تغير الشكل الهندسي لمادة التقوية شكل (7) نجد أن الأجهادات(Von-misses) قدقلت بشكل ملحوظ على مادة الأساس وأنحسر الأجهاد العالي على مادة الليف شكل (8) ، وهذا ما نلاحظه أيضا في الشكل(9) للأجهادات بأتجاه (X) وكذلك الأنفعالات بالشكل(10)

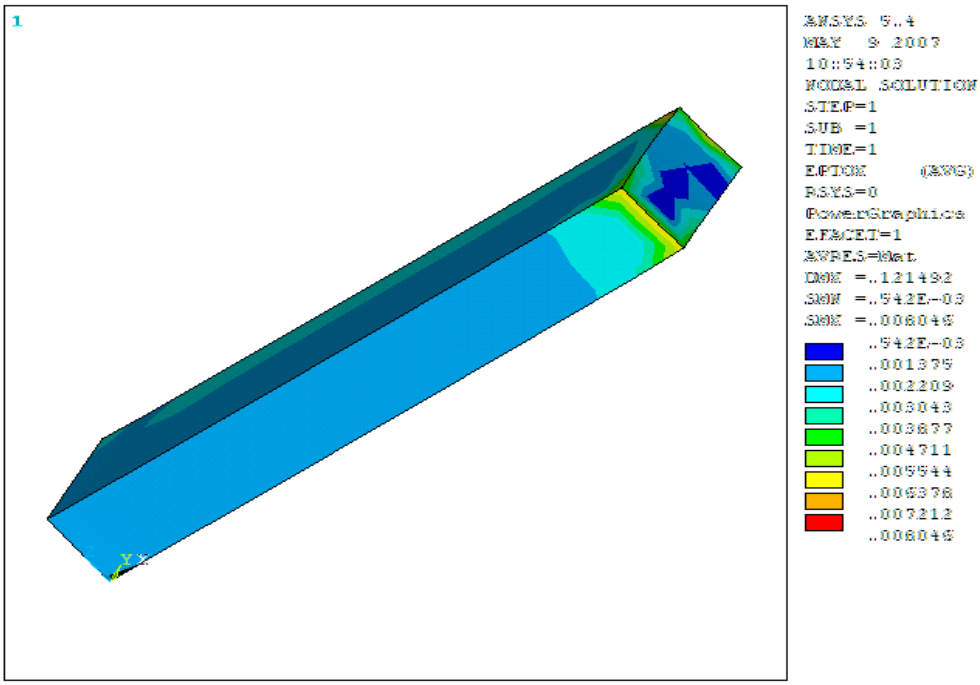
وعند تغير الشكل الهندسي لمادة الليف (التقوية) في الشكل (11) نرى أن الأجهاد قد قل بشكل ملحوظ على كل من مادة الأساس ومادة التقوية حيث بلغت على مادة الأساس 5568 وفي مناطق كثيرة من مادة الأساس تراوحت من 2.2 لغاية 616 شكل (12) وكذلك الأجهادات بأتجاه (X) في الشكل (13) ، وهذا ما ينطبق عن أختلاف قيم الأنفعالات في الشكل (14) عن قيمتها في الشكل (10) في الخطوة السابقة .

في الخطوة الأخيرة التي تم أستخدام تعدد الألياف مع أختلاف الشكل الهندسي لها شكل(15) فقد كانت النتيجة بعد التحميل شكل (16) تغير ملحوظ في قيم الأجهادات والتي بلغ أعلاها 5218 على منطقة ضيقة في مادة الليف التي تحملت أقصى الأجهادات بينما نربان مادة الأساس قد قل الأجهاد فيها وتراوحت قيم الأجهاد من 2.2 ولغاية 579 وفي مناطق متفرقة في المركب والشكل (17) الذي يوضح الأجهاد بأتجاه X حيث ان قيمته تراوحت على مادة الأساس بين 2.2 و 19 - (اتجاه معاكس) ، بينما تركزت الأجهادات العالية على مادة الليف وبمناطق ضيقة جدا ، والشكل (18) يوضح ان الأنفعالات قد اختلفت قيمها ايضا عن الشكل (14) في الخطوة التي سبقتها.

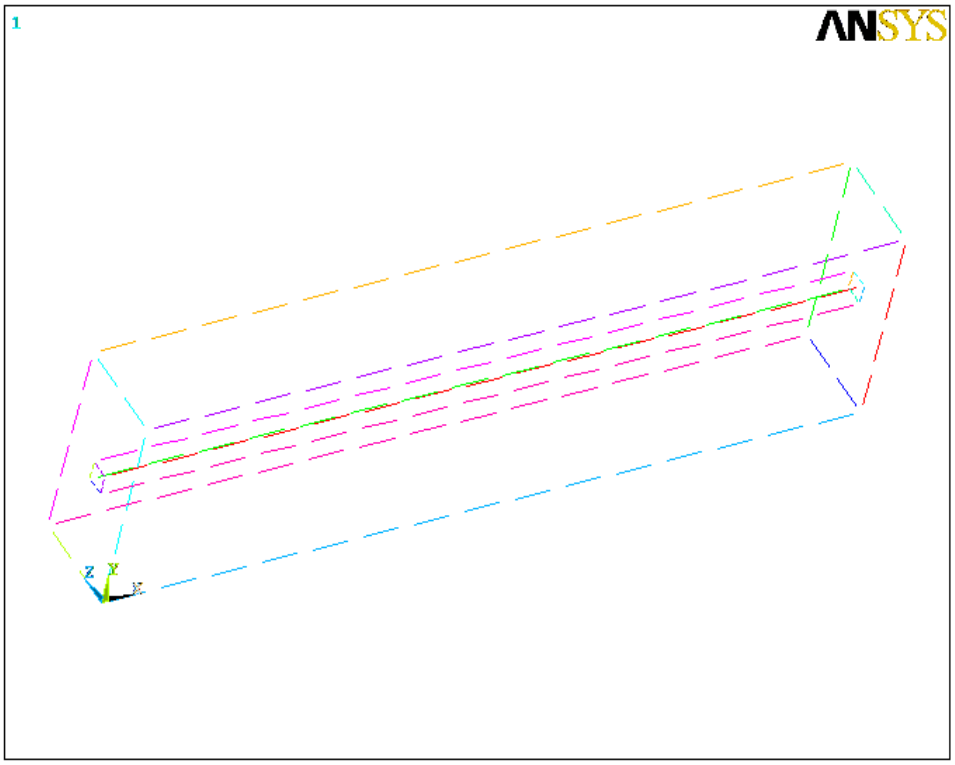
من كل ما ورد أعلاه يتضح لنا بأن لتغير الشكل الهندسي لملدة التقوية وكذلك تعددها داخل مادة الأساس تأثير كبير على أختلاف قيم الأجهادات وألأنفعالات وهذا ما يعطي أمكانية كبيرة عند أعداد التصاميم للمواد المركبة ولأغراض عديدة حسب أستخداماتها .


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
10:53:30
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.121492
SMN =-25.741
SMX =551.377
-25.741
36.383
102.508
166.632
230.756
294.88
359.004
423.129
487.253
551.377

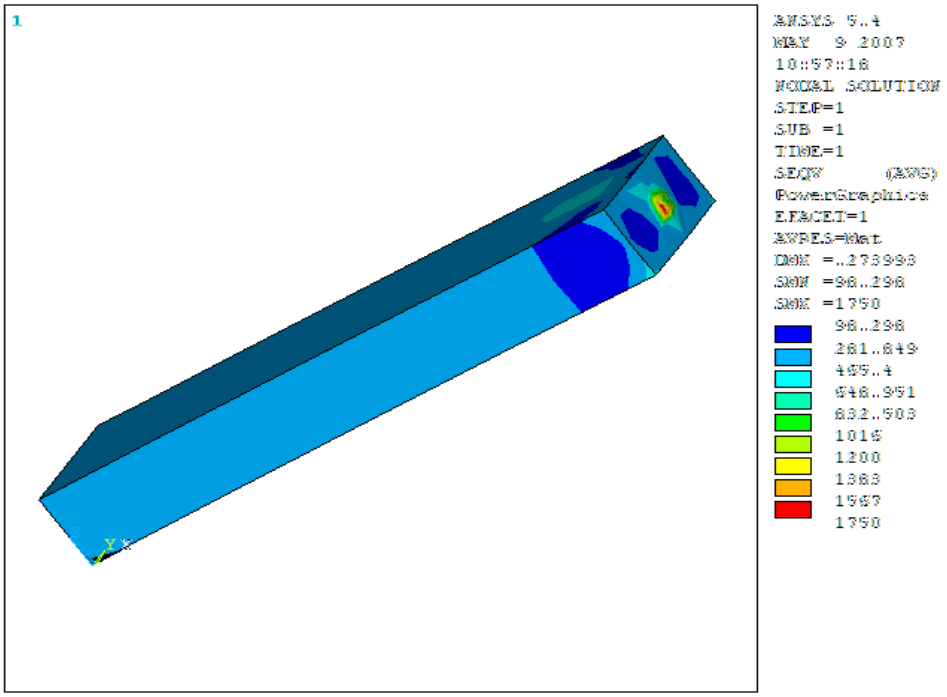
شكل (1)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
10:54:03
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPTOX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.121492
SMN =.542E-03
SMX =.006046
.542E-03
.001375
.002209
.003043
.003877
.004711
.005544
.006378
.007212
.006046

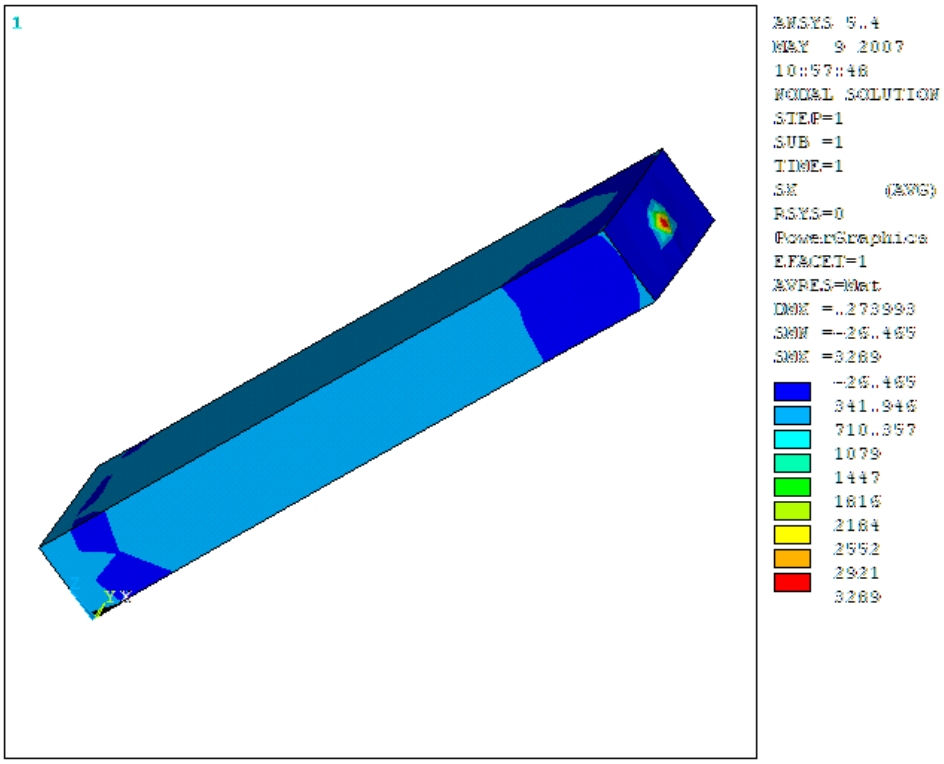
شكل (2)


1
ANSYS

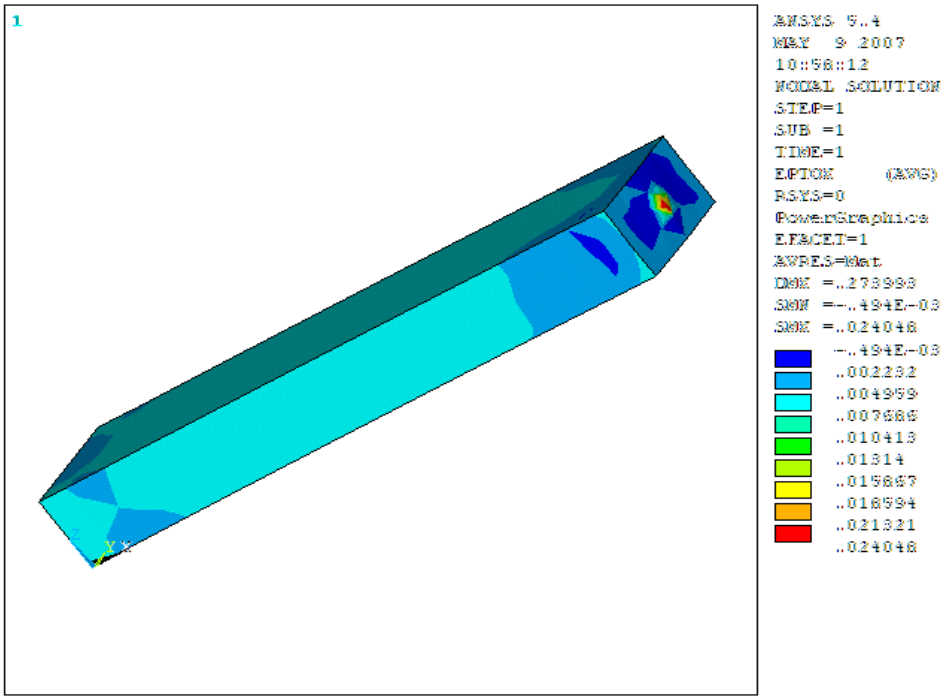
شكل (3)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
10:57:16
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.273993
SMN =96.296
SMX =1750
96.296
261.849
465.4
648.951
832.503
1016
1200
1383
1567
1750

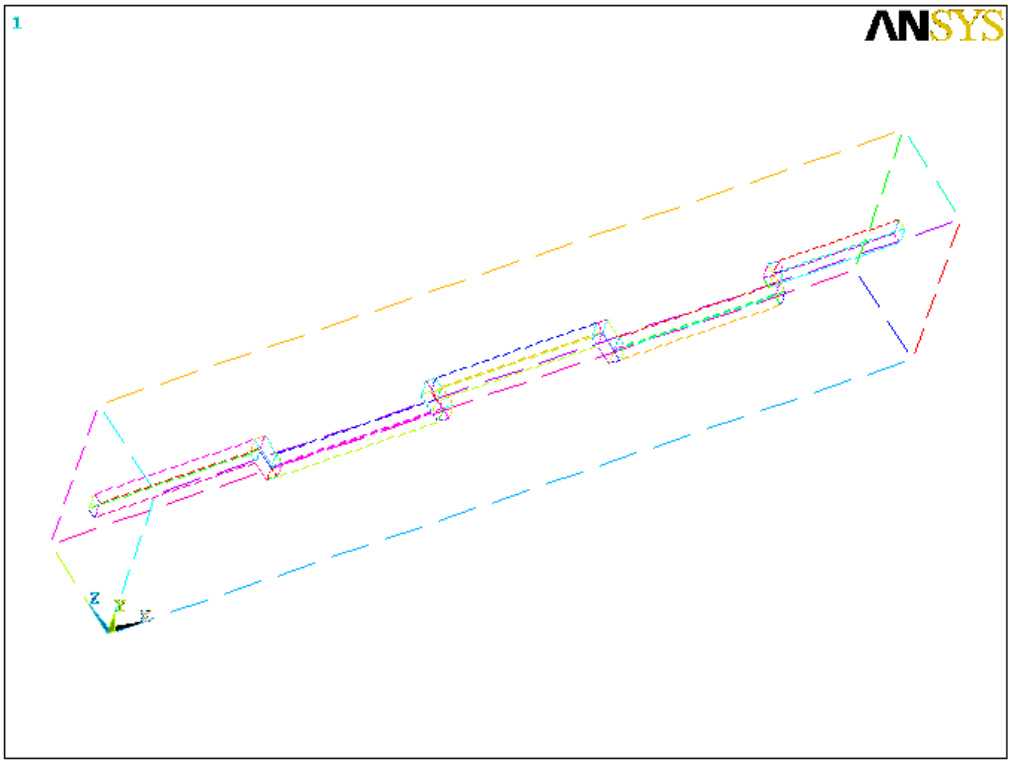
شكل (4)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
10:57:46
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.273993
SMN =-26.465
SMX =3269
-26.465
341.946
710.357
1079
1447
1816
2184
2552
2921
3269

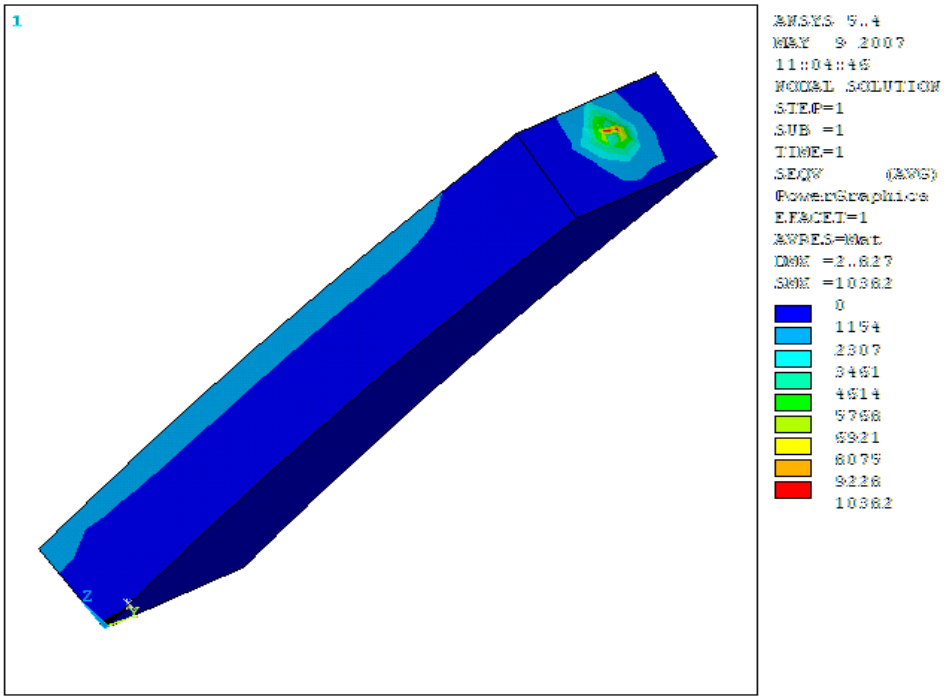
شكل (5)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
10:58:12
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPTOX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.273993
SMN =-.494E-03
SMX =.024048
-.494E-03
.002232
.004959
.007686
.010413
.01314
.015867
.018594
.021321
.024048

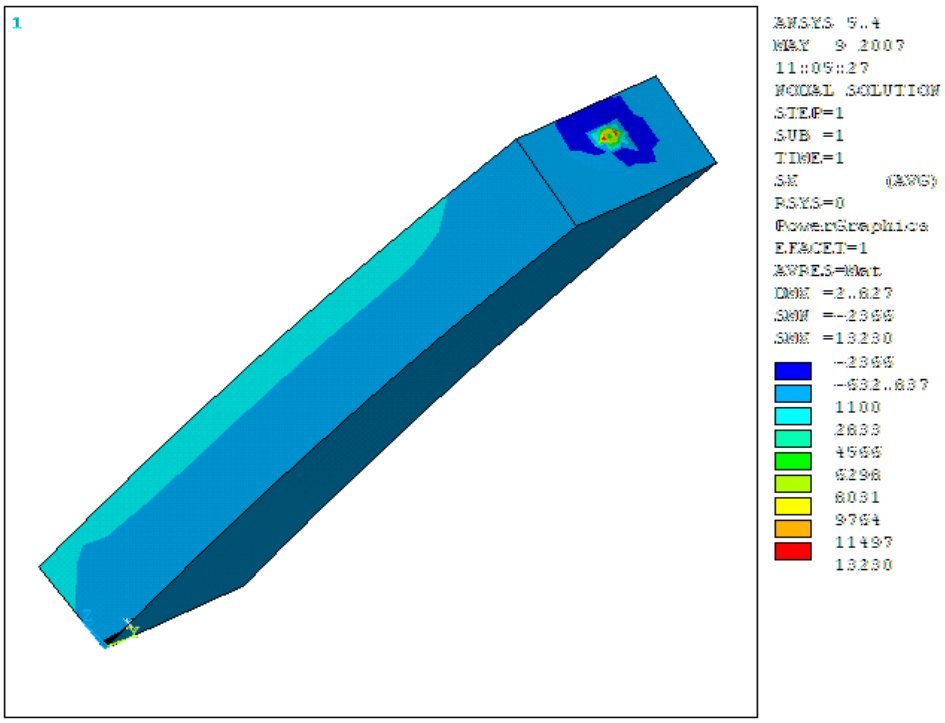
شكل (6)


1
ANSYS

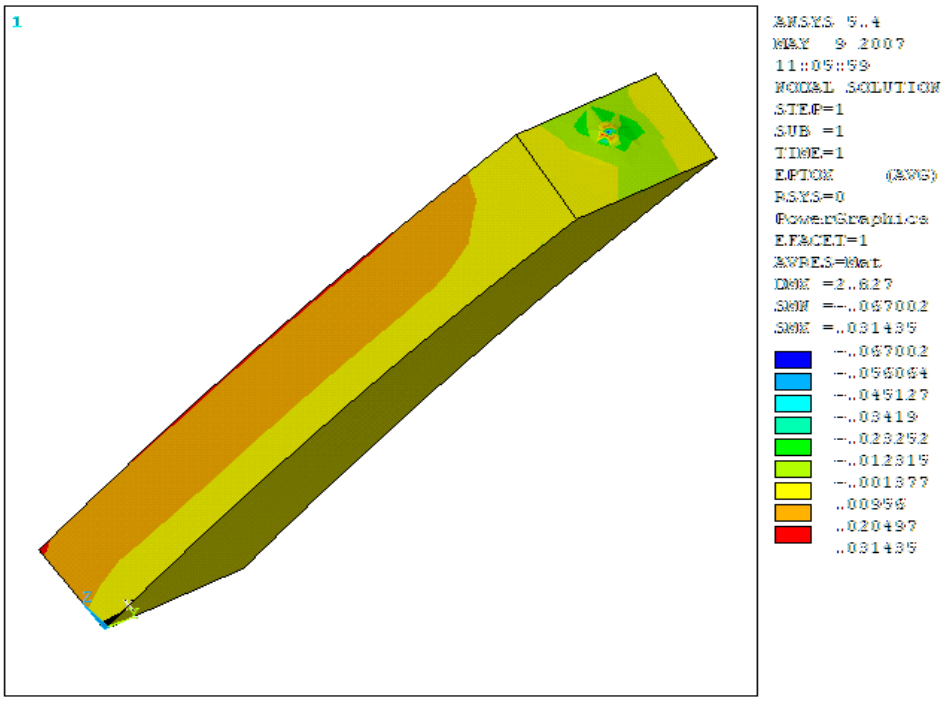
شكل (7)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:04:46
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.8227
SMX =10362
0
1154
2307
3461
4614
5768
6921
8075
9228
10362

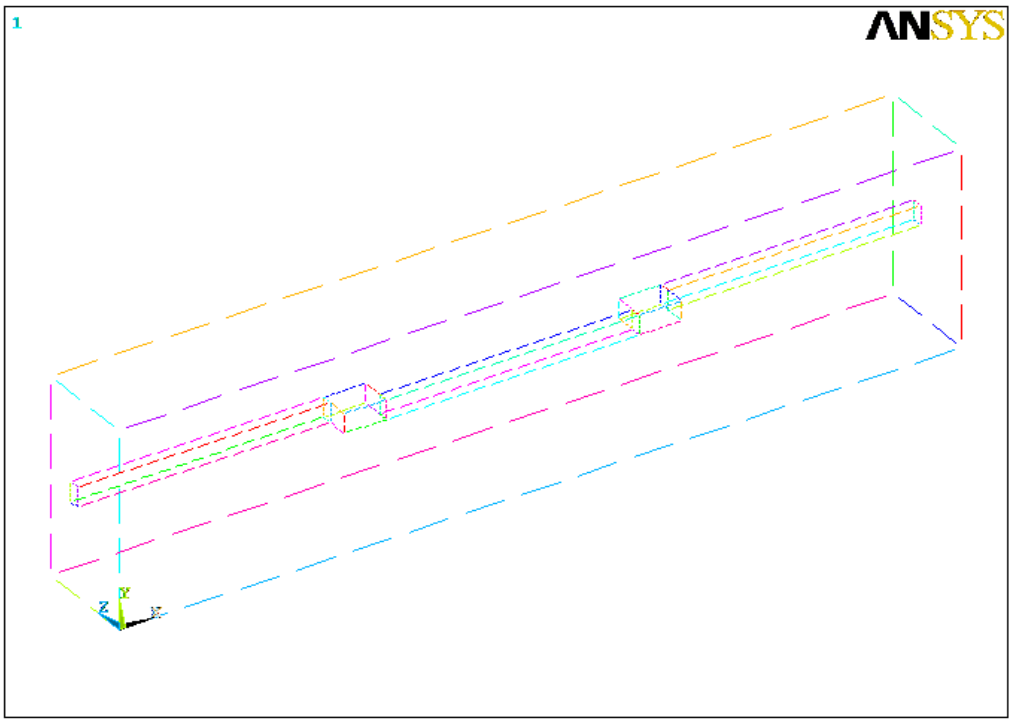
شكل (8)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:05:27
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.827
SMN =-2366
SMX =13230
-2366
-632.837
1100
2833
4566
6298
8031
9764
11497
13230

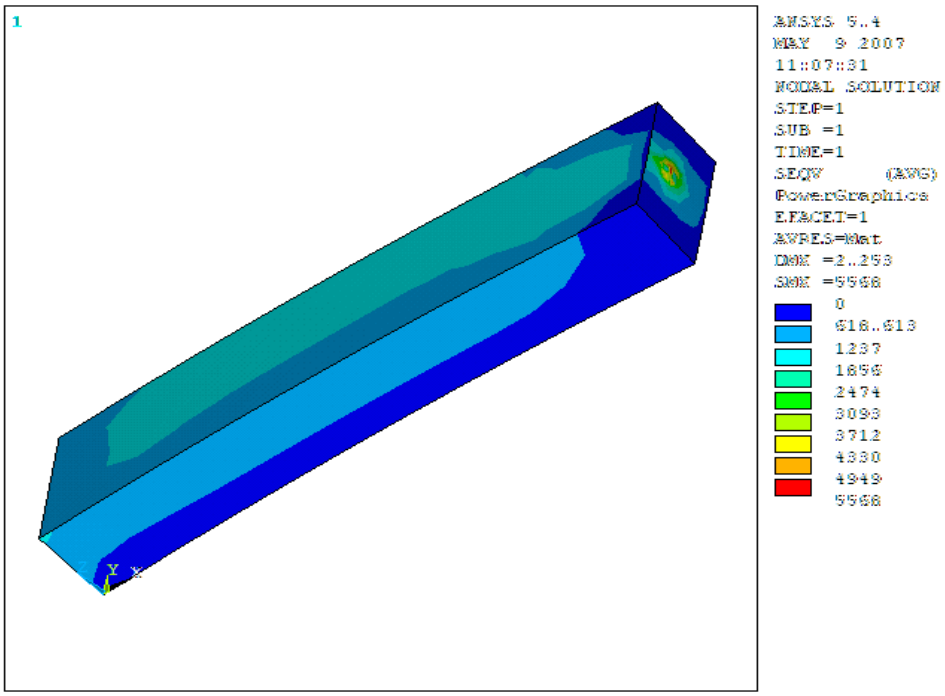
شكل (9)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:05:59
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPTOX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.827
SMN =-.067002
SMX =.031435
-.067002
-.056044
-.045127
-.03419
-.023252
-.012315
-.001377
.00956
.020497
.031435

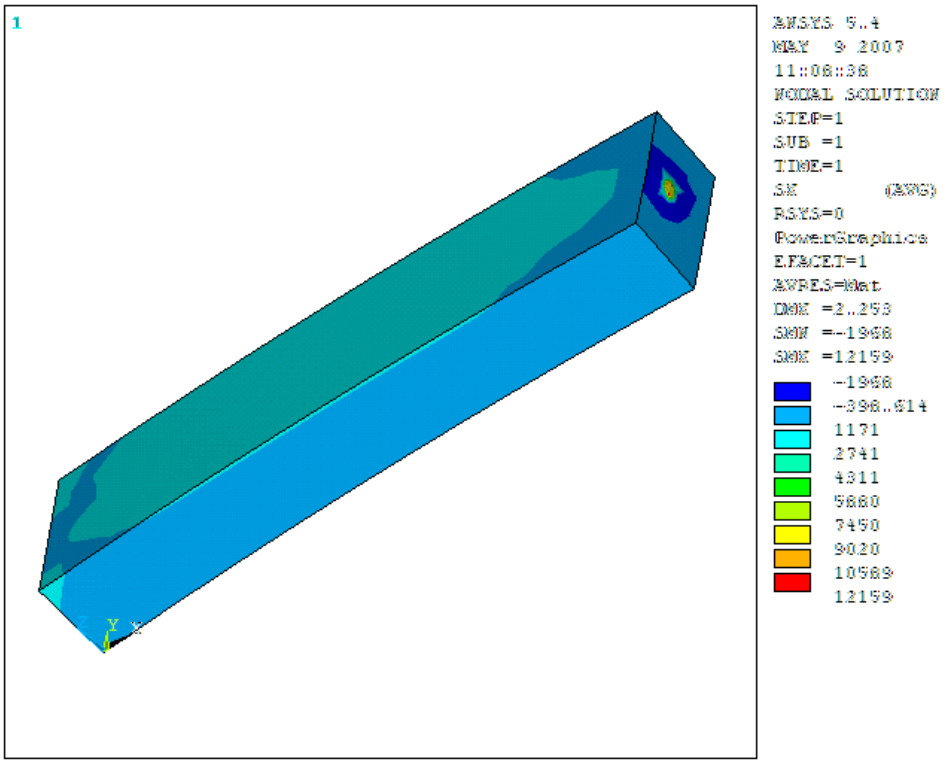
شكل (10)


1
ANSYS

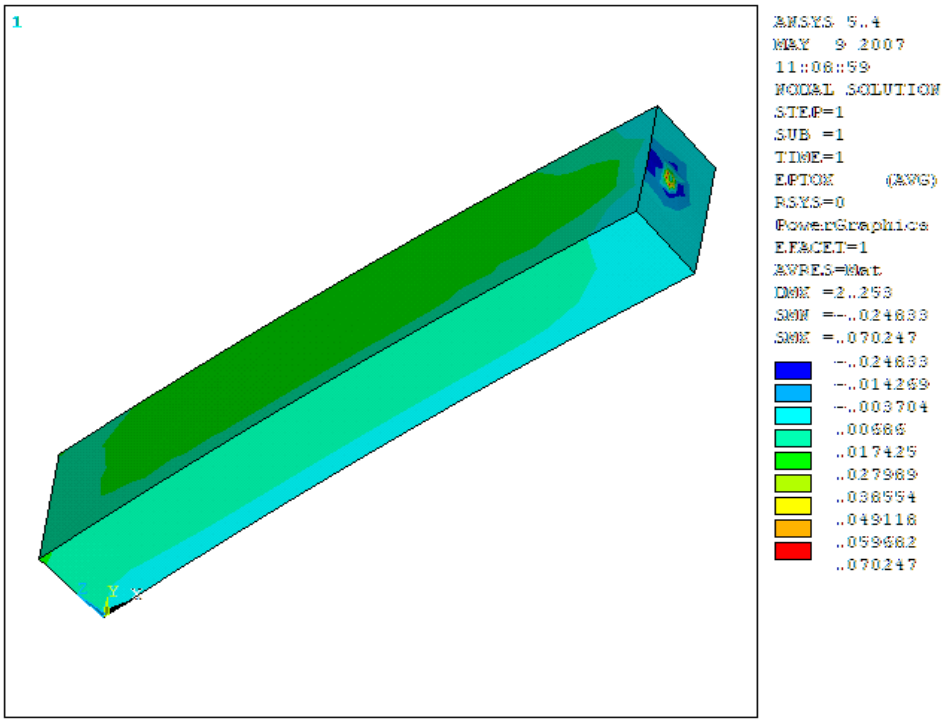
شكل (11)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:07:31
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.253
SMX =5568
0
618.613
1237
1856
2474
3093
3712
4330
4949
5568

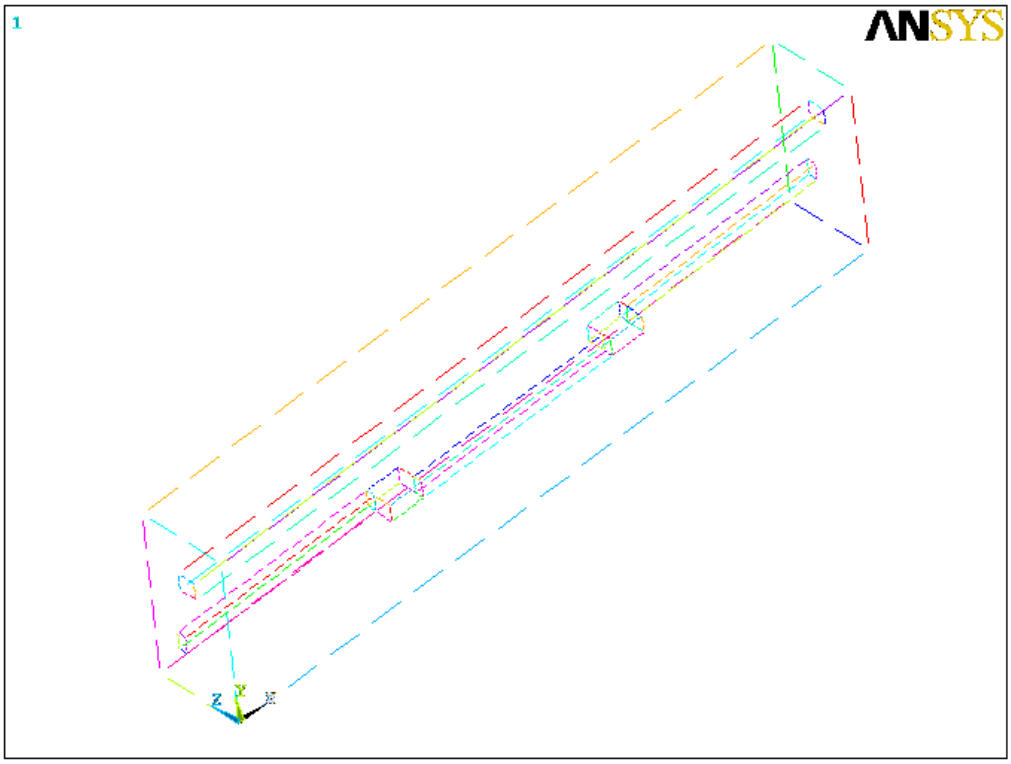
شكل (12)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:08:36
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.253
SMN =-.1958
SMX =1.2159
-.1958
-.398.614
1171
.2741
.4311
.5880
.7450
.9020
1.0589
1.2159

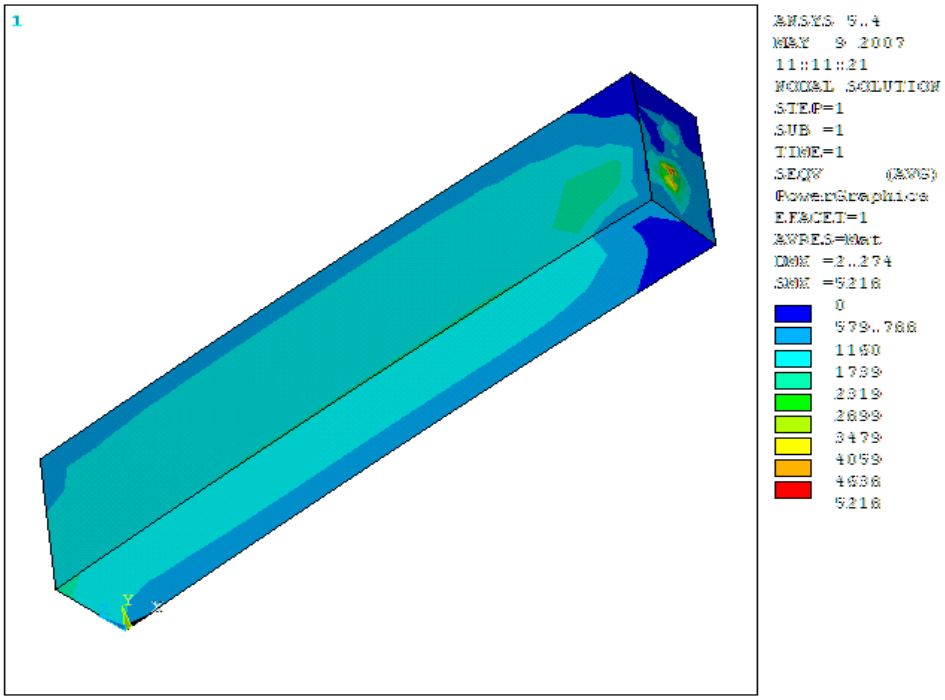
شكل (13)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:08:59
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPTOX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.253
SMN =-.024833
SMX =.070247
-.024833
-.014269
-.003704
.006861
.017425
.027989
.038554
.049118
.059682
.070247

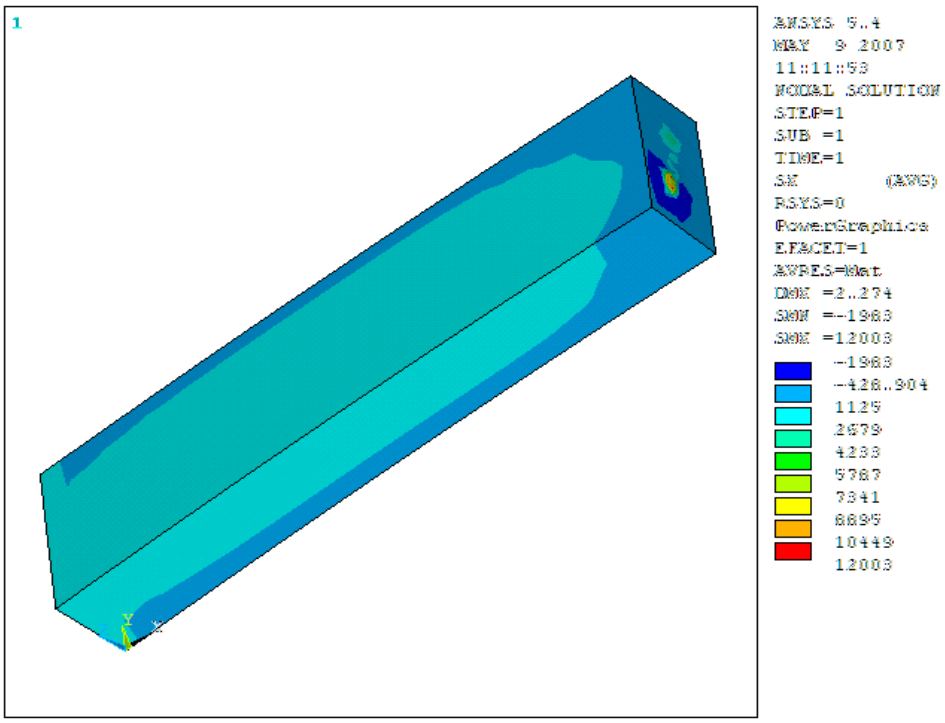
شكل (14)


1
ANSYS

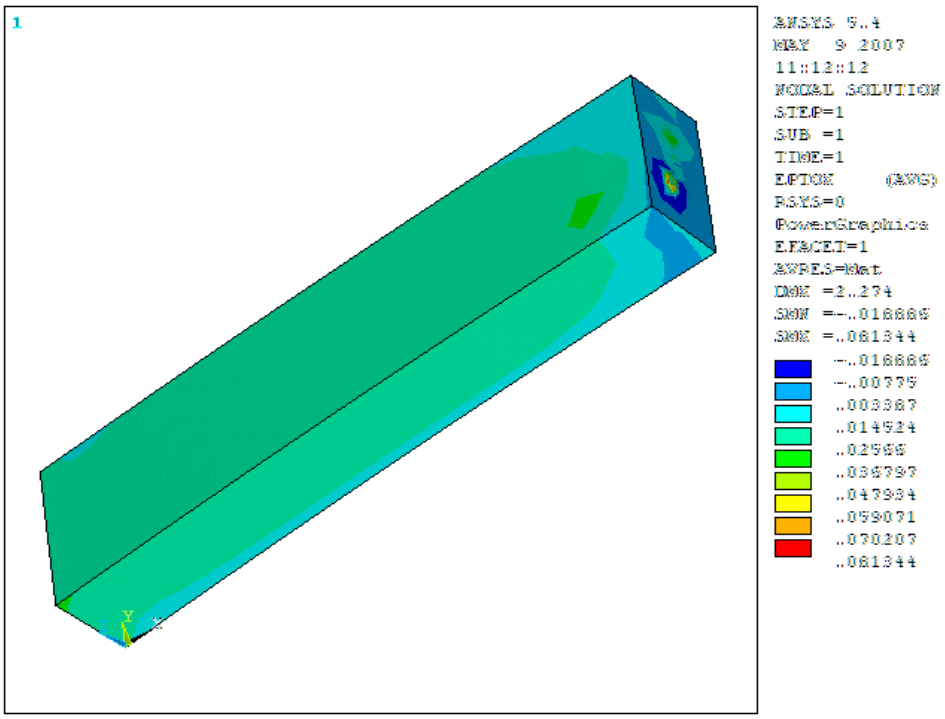
شكل (15)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:11:21
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.274
SMX =5216
0
579.788
1160
1739
2319
2899
3479
4059
4638
5216

شكل (16)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:11:53
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.274
SMN =-1963
SMX =12003
-1963
-426.904
1112
2679
4247
5782
7341
8899
10449
12003

شكل (17)


1
ANSYS 5.4
MAY 9 2007
11:12:12
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPTOX (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =2.274
SMN =-.018886
SMX =.061344
-.018886
-.00775
.003387
.014524
.025662
.036797
.047934
.059071
.070207
.081344

شكل (18)

الرموز والمصطلحات المستخدمة:-

Єx	الانفعال بأتجاه X	υ	poission's ratio
Єy	الانفعال بأتجاه y	Vm	الكسر الحجمي للمادة الاساس
Єf	الانفعال للاليلف	Vf	الكسر الحجمي للالياف
Єm	الانفعال للمادة الاساس	Fc	الحمل المسلط على المادة المركبة
E	معامل المرونة	Ff	الحمل المسلط على الالياف
Em	معامل المرونة للمادة الاساس	Fm	الحمل المسلط على المادة الاساس
Fx	القوة المسلطة بأتجاه المحور السيني	σc	الاجهاد الذي تتعرض له المادة المركبة
σ	الاجهاد	σf	الاجهاد الذي تتعرض له الأليلف
		σm	الاجهاد الذي تتعرض له المادة الاساس

References:-

1. B. raymound,Seymonr," Polymeric Composite" , alden press, London, 1990.
2 .Marc Andre Meyers & Krishan Kumar Chawla, " Mechanical Behavior of Material, Prentice-Hall , Inc . 1999.
3. Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing "Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1996.
4. Robert M. Joues ," Mechanics of Composite Materials" Scripta Book Company, Washington D.C., 1975.
5. Leslie Holliday," Composite Materials "Applied Science Publisher LTD, London 1978.
6. Derek Hull, "An Introduction to composite material ", Cambridge University , press, 1981.
7. W. Bolton,"Engineering Materials Technology" third edition a member of Reed Elsevier group, 1998.
8. Dr.Askeland & P. P. Phule ," The Science & Engineering of Materials"4th ed., (2003)
9. W.D.Callister,Jr.,"Materials Science and Engineering An Introduction" 6th ed., John Wiely and Sons,Inc. 2003.

Study the influence of the reinforced material geometrical shape on the internal stresses in the composite materials

Dr. Alaa H. Ali
Material Engineering Dept
University of Technology

Abstract:

In this paper the reinforced materials manufactured from steel continues fibers are used in Aluminum matrix to build a composite material. Most of researches concentrated on reinforced materials and its position in the matrix according to its size and distribution, and their effects on the magnitude of different kinds of the stresses, so this paper presents and concentrate on the geometrical shape of reinforced material and its effects on the internal stresses and strains on the composite strength using FEM as a method for analysis after loaded by certain force showing the deference magnitudes of stresses according to the different geometrical shapes of reinforced materials.