

دراسة تأثير وتحديد القوى والاجهادات المؤثرة على ريشة السيطرة في التوربين البخاري

د. علاء حسن علي*

تاريخ الاستلام: 2008/3/18

تاريخ القبول: 2008/6/26

الخلاصة

يهدف البحث في التوصل الى معرفة المعطيات التصميمية (parameters) والذي يتحدد بموجبها التصميم حيث يتضمن تعريض ريشة السيطرة (governing blade) الى القوى والتأثيرات الخارجية اثناء عمل التوربين والتي تتحصر بالضغط (12 atm) الذي يسببه البخار المنبعث من الخواثق (nozzles) والسرعة الدورانية للتوربين البالغة (3000) دورة بالدقيقة وكذلك ارتفاع درجات الحرارة البالغة (538 °C) تقريبا .

تم تمثيل القوى والضغوط والتأثيرات المذكورة بواسطة برنامج تحليلي لنظام (Ansys 5.4) لمعرفة قيمتها وتأثير ذلك على المتطلبات التصميمية.

Abstract:

This paper concentrated on the study of stresses effected on governing blade during steam turbine working which are represented by the pressure of 12 atm caused by nuzzled steam and with rotating speed about 3000 rpm and temperature of 538 °C. The aim of this research is to know the design parameters, all forces simulated by analysis package (Ansys 5.4) to know the magnitudes of different stresses and strains and their distribution on which the blade design depend on.

الرموز والمصطلحات المستخدمة:

High pressure (MN/m ²)	H.P
Atmospheric pressure	Atm
effective strain	e_e
effective stress(MN/m ²)	s_e
Strain	e_n
Modules of Elasticity(GN/m ²)	E
Strain matrix	D
Secant Stress-Strain matrix	Dep
Temperature(°C)	T
Yield Stress(MN/m ²)	s_y
Poisson's ratio	ν
Factor	M
Nominal Stresses(MN/m ²)	Sx,Sy,Sz
Directional Forces(N)	Fx,Fy,Fz

المقدمة

تعتبر الريش (Blades) من الاجزاء المهمة والرئيسة في مختلف التوربينات سواء كانت البخارية منها او الغازية وان معرفة القوى والاجهادات المؤثرة بها، ودراسة مهمتها الرئيسية من الامور الضرورية والمهمة للوقوف على الاسس والاعتبارات التصميمية اللازمة لكل نوع من انواع الريش وفي بحثنا هذا تناولنا نوع من الريش المتحركة للتوربينات البخارية والتي تسمى بريشة السيطرة (governing blade) والتي تؤثر بشكل فعال على كفاءة التوربين ومعرفة القوى والاجهادات المؤثرة على هذا النوع من الريش للضرورة التصميمية والتطويرية.

نظام السيطرة:

تعتبر الطاقة الحرارية او البخارية التي تتحول الى حركة ميكانيكية للمحور الدوار في التوربينات البخارية الاساس في الحصول على الطاقة الكهربائية المتولدة نتيجة تلك الحركة وللحالة التي تصل الى المستهلك.

وللحفاظ على تلك العلاقات بشكلها الثابت وبتردد كهربائي ثابت يستوجب نظام سيطرة متكامل وهذا يتم من خلال متغير السرعة (gear) ومضخات الدفع (pumps) حيث ان أي تغير في الحمل نتيجة الاستهلاك يؤثر بشكل مباشر على محور التوربين ولذا فان التوربين يجب ان يكون بأستطاعته العمل على حالة مستقرة مقبولة خلال مدى واسع بين عدم الحمل (no load) وبين الحمل الكامل (full load).

أن هناك علاقة مباشرة بين الطاقة المتحررة من التوربين وكثافة البخار وان هذا التغير سوف يؤثر بشكل مباشر على جريان البخار نفسه يزداد او يقل معتمدا على الحمل المسلط. في حالة ثبات الحمل فان هناك علاقة ثابتة بين عزم التوربين المستحدث من الريش المتحركة وكمية البخار المنبعث وذلك يسبب زيادة في سرعة الدوران لمحور التوربين، وهذه العملية تستمر حتى تكون السيطرة الميكانيكية لتجهيز البخار الى التوربين ثابتة ومسيطر على البخار المجهز لان العزم يتطلب حمل وسرعة اعتياديين. ان هذا النظام او الجهاز الذي يقوم بالسيطرة على كل هذه المتطلبات يدعى جهاز السيطرة (governing system) ويكون من عدة مراحل تدعى مراحل السيطرة (governing stages) والتي تكون مجموعها التوربين ذات الضغط العالي (H.P.Turbine). ان ضغط

البخار ودرجة الحرارة وحجم التوربين او سعته تختلف من توربين الى اخر حسب السعة التصميمية فمثلا التوربين البخاري سعة (210MK) فان ضغط البخار في (HP) يبلغ حوالي (12 atm) ودرجة الحرارة تبلغ بحدود (530C).

ان اول مرحلة تستلم انبعاث البخار من الخواثق (Nozzles) تدعى بمرحلة السيطرة (Governing stage) يقترب (Enthalpy drop) عبر الخائق (Nozzle) الى اعلى قيمة له، وبهذا يكون مفتاح السيطرة (Valve) مفتوحا الى اقصاه (Full Open) والريش المتحركة تكون في اقصى حالة من الحمل.

ان مساحة ال (Flow path) وكمية البخار في مرحلة السيطرة تتم السيطرة عليه من قبل مفتاح السيطرة وان التغيير يعتمد على الاحمال المختلفة وبذلك يضمن ثبات كمية وسلوك البخار في مراحل الضغط التالية دون تغيير.

اما نوعية الريش المستخدمة في هذه المرحلة فهي من فولاذ خاص مقاوم الحرارة (1Cr11Mov) ومن النوع (T.ROOT) او (Stwole Type) وهذا النوع من التصميم يضمن لنا كفاءة عالية في التنفيذ بالحصول على اعلى عزم دوار.

الاعتبارات النظرية:

في هذا البحث تم استخدام طريقة تحليلية هي طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method) والتي تستخدم بشكل واسع في مختلف ميادين الهندسة والعلوم الاخرى لغرض الاستفادة من عاملي السرعة والكفاءة.

وهذه الطريقة لها القابلية الكبيرة في التحليل الدقيق مقارنة بالطريقة التقليدية وذلك للامكانية العالية المتضمنة التحليل الدقيق للجسام المعقدة والتحليل اللاخطي لمختلف سلوكيات المعادن (Metal Behavior).

ان هذه الطريقة تعتمد على التغير الفيزيائي (الحركة والتشوه) لعناصر الجسم عند تعرضه لاي حمل او تأثير خارجي كالضغط والحرارة، وحيث ان بحثنا الحالي استند على التحليل المرن (Elastic Analysis) فالتشوه البسيط في حالة المرونة (Elastic Deformation) يمكن ان يتم التعبير عنه في العلاقات التالية:

$$\epsilon_e^t = \frac{1}{\sqrt{2(1+\nu)}} [(e_x - e_y)^2 + (e_y + e_z)^2 + (e_z - e_x)^2 + \frac{3}{2}(e_{xy})^2 + \frac{3}{2}(e_{yz})^2 + \frac{3}{2}(e_{xz})^2]^{\frac{1}{2}}$$

مقدار التشوه الذي يستخدم للحصول على e_e^t كمدخل (equivalent value) (s_e الاجهاد) وعلى هذا الاساس يمكن s, e للعلاقة بين أُل حساب معامل المرونة الخطية من العلاقات التالية:

$$[e_n^{pl}] = \frac{S_e}{Ee_e^t} \{e_n\}$$

ومعامل المرونة من العلاقات التالية:

$$[e_n^{pl}] = \{e_n\} - \{e_n^{pl}\}$$

ولغرض تجنب الانفعالات غير المتماثلة يتم استخدام الانفعال المماسي

$$[D_{ep}] = \frac{S_e}{Ee_e} [D]$$

وهذا مايمثل (Secant Stress-Strain matrix) المستخدم في ايجاد القيمة اللازمة المستخدمة في عملية التمثيل (Simulation).
التمثيل بالحاسوب (Simulation):

تم قياس نموذج الريشة والموضحة في الشكل (1) واعتبار أن شكلها النهائي المتكون من جزئين هما الجذر (Root) والريشة (Blade) ولكل ريشة فيها نتؤين تربط بواسطتهما بالحزام الحاضن (Shroud) مع الريش الأخرى التي تكون بمجموعها مرحلة السيطرة (Governing stage) وأن جزئي الريشة بسطحيه الداخليين المتقابلين شكل (3) يسمح بمرور البخار من خلالهما مما يسبب الضغط اللازم للحركة والذين يتعرضان الى اجهادات حرارية والى قوى باتجاهاتها الثلاثة (F_x, F_y, F_z).

تم بناء الموديل الرياضي وفق التصميم الأصلي للريشة المستخدمة في هذا النوع من التورباين والتي وضحت بالشكل (1) سابقا وقد استخدم نوع العنصر المناسب من نوع (Visco 107) كما موضح في الشكل (2).

وقد اعتمدت المعطيات التالية في عملية التمثيل :-

Temperature (T): 538 c°

Modulus of Elasticity (E): 170 GN/m²

Yield Stress (σ_y): 95MN/m²

Poisson's ratio (ν): 0.3

Friction Factor (μ): 0.03

ولسهولة التحليل والحصول على النتائج

تم العمل وفق التمثيل ثنائي الأبعاد (2D) للنموذج بأستخدام نوع العنصر (Visco 106) والتي

تتعرض الى اجهادات على كل من وجهيها المتقابلين المقعر والمحدب وعلى النحو التالي

1. الضغط الحاصل على الجهة المقعرة للريشة فيتمثل في الأشكال من (4) لغاية (8) حيث يمثل الشكل (4) الاجهادات المكافئة (equivalent stress) (أدنى وأعلى قيم له 6.6 و 53.7 والشكل (5) يمثل قيم الاجهاد التي تتعرض لها الريشة باتجاه x (Sx) أما الشكل (6) فيمثل الاجهاد باتجاه y. أما الأنفعالات باتجاه x,y فيتمثلان بالقيم المبينة بالشكلين (7) و (8) على التوالي .

2. الضغط الحاصل على الجهة المقعرة للريشة باتجاه y متمثلة بالأشكال من (9) ولغاية (13) فالشكل (9) يمثل (equivalent stress) (Von-misses) لأقل وأعلى قيمة من 3.6 ولغاية 53.4. أما الاجهادات باتجاه x,y فتتمثل بالشكلين (10) و (11) على التوالي ، والشكلين (12) و (13) فيمثلان الأنفعالات باتجاه x,y على التوالي .

3. الضغط الحاصل على الجهة المحدبة للريشة باتجاه x متمثلة بالأشكال من (14) الى (18) حيث يمثل الشكل (14) الاجهادات (equivalent stress) لأدنى وأعلى قيمة له 1.5 و 56 على التوالي . أما الشكل (15) يمثل قيم الاجهاد باتجاه x والشكل (16) يمثل قيم الاجهاد باتجاه y والأنفعالات بالاتجاهات x,y موضحة بالشكلين (17) و (18).

4. الضغط على الجهة المحدبة للريشة باتجاه y فيتمثل بالأشكال من (19) لغاية (23) حيث الشكل (19) يمثل الاجهادات (equivalent stress) وقيمته الدنيا والعليا 0.6 و 57 على التوالي .أما الشكلين (20) و (21) فيمثلان الاجهادات x,y على التوالي و الأنفعالات باتجاه x,y فتتمثل بالشكلين (22) و (23).

5. من خلال المراحل الموضحة في الأشكال اعلاه وبالأعتماد على توزيع القوى والاجهادات على العقد (Nodes) ومواقعها أمكن أيجاد العلاقة بين كل من القوى (F_x) و (F_y) والمسافة الممتدة عبر العقد الموضحة في الشكل (26) وكذلك مع الاجهادات (S_x) و (S_y) الموضحة في الشكل (27).

6. المناقشة والأستنتاجات:

كما تم ذكره في بداية البحث ان المعطيات التصميمية لريشة السيطرة ثابتة أستنادا الى نوع التورباين المصنع , وهنا فأن هذا النوع من الريشة يستخدم للتورباين البخاري من نوع 210Mw, ولهذا تم بناء الموديل الرياضي للريشة وفق المواصفات المعطاة . وقد تركز العمل على دراسة القوى المؤثرة على الوجهين المتقابلين للريشة اللذين يتعرضان للضغط والحرارة الناتجة من مرور البخار المنبعث من الخواثق وكما يلي :

1. عند تعرض الوجه المقعر للريشة للضغط باتجاه x والموضح بالشكل (4) يكون اعلى اجهاد في مقدمة الريشة عند دخول البخار وتأثير ذلك باتجاه x والذي بلغ 55.17 وأقلها عند منطقة الخروج حيث بلغ 6.615 , اما الشكل (5) فيمثل لنا الأجهادات باتجاه (S_x) في نفس المنطقة و في بداية دخول الريشة ايضا والذي بلغت قيمة الأجهاد فيها 19.441 وكذلك ينطبق على الشكل (6) حيث اعلى قيمة له باتجاه (S_y) بلغت 21.9 , والشكلين (7) و (8) اللذين يمثلان الأنفعالات باتجاه x و y على التوالي يؤكدان بأن اعلى انفعالات كانت في المناطق نفسها .

2. عند تعرض الوجه المقعر في هذه الخطوة للضغط باتجاه y فأن الشكل (9) يوضح الأجهادات والتي في مقدمة الريشة ايضا بقيمة عليا بلغت 50.6 , اما الشكل (10) فيوضح الأجهاد باتجاه x وبقيمة 2.69 والذي يتركز في المقدمة , والأجهاد باتجاه y يتمثل بالشكل (11) حيث بلغت قيمته 12 , اما الأنفعالات باتجاه x و y فيمثلها الشكلان (12) و (13) فاعلى انفعال باتجاه x بلغ -0.5 (الأشارة السالبة تشير الى اتجاه الأنفعال) وبتجاه y قد بلغ 0.9 .

3. في الخطوة الثالثة عند تعرض وجه الريشة المحدب المقابل للضغط الذي يسببه مرور البخار وبتجاه x , نرى ان الأجهادات المتمثلة بالشكل (14) قد بلغت اعلاها في منطقة خروج البخار حيث بلغت بحدود 53.8 , وما يوضحه الشكل (15) يطابق ما ذكرناه عن الشكل (14) بان اعلى اجهاد باتجاه x كان في نهاية الريشة عند خروج البخار حيث بلغ قيمة عالية في منطقة ضيقة تعرضت الى الأجهاد وهذا نفسه ينطبق على الأجهاد في اتجاه y في الشكل (16) , اما الشكل (17) فيمثل الأنفعالات باتجاه x والتي بلغت اعلى قيمة لها في نهاية الريشه 0.1

والشكل (18) يمثل الانفعالات باتجاه y وبقيمة 0.01 تركزت في منطقة اخرى من الريشة .

4. في هذه المرحلة يتعرض وجه الريشة المحدب للضغط باتجاه y ونرى من الشكل (19) ان الأجهادات قد بلغت اعلاها في نهاية الريشة (53.8) , والأجهاد باتجاه x فيوضحه الشكل (20) الذي يبين بانه تركز في نهاية الريشة وفي منطقة ضيقة جدا وقلت في مناطق اخرى كثيرة . اما الشكل (21) فيمثل الأجهاد باتجاه y والذي انحسر في منطقة صغيرة وقل في المناطق الأخرى , والشكلين (22) و (23) يمثلان الأنفعالات باتجاه x و y حيث بلغ الأنفعال باتجاه x في الشكل (22) قيمته العليا في منطقة الأجهاد العالي 0.01 , والأنفعال باتجاه y قيمته العليا في منقطة الوسط بلغت 0.3 . من خلال ما ورد من مراحل التمثيل السابقة التي تظهر اختلاف قيم الأجهادات والتي تعطي مؤشرا واضحا عن المناطق التي تتركز فيها الأجهادات العالية والأنفعالات $(s_e, S_x, S_y, e_x, e_y)$ والتي تؤخذ بنظر الاعتبار عند وضع التصاميم الخاصة بالريشة وشكلها الهندسي , لذا نجد ان حجم الريشة في بداية دخول البخار وتحمل الضغط اكبر من نهايتها لتتحمل الأجهادات والأنفعالات العاليتين التي تتعرض لها في هذه المناطق , وهذا ما تبينه الشكل من (4) ولغاية (8) الموضحة سابقا للأجهادات باتجاه x على الوجه المقعر للريشة. والحالة تنطبق على التحليل الثاني لدراسة الأجهادات باتجاه y والأنفعالات العالية الموضحة في الأشكال من (9) ولغاية (13) .

من الناحية الأخرى عند تعرض الجهة المحدبة للريشة للضغط المسلط باتجاه x فان الأجهادات العالية كانت في مناطق نهاية الريشة موضحة في الشكل (14) نتيجة لتغير مسار البخار عبر السطح الانسيابي المحدب للريشة حيث نرى ان الضغط يزداد على السطح المحدب مقابل نقصانه على السطح المقعر المقابل, وهذا ينطبق على باقي قيم الأجهادات S_x و S_y والأنفعالات في الأشكال (15) (16) (17) (18). على التوالي.

وبنفس التأثير يتضح لنا في الأشكال من (19) ولغاية (23) الذي تمثل الأجهادات والأنفعالات باتجاه y التي يتعرض لها السطح المحدب للريشة بانها تعطي نفس المؤشرات بارتفاعها في منطقة نهاية الريشة اثناء خروج البخار ودخوله الى ريشة

سيطرة اخرى ليتحدد مساره عبر المراحل المختلفة للتوربين .

ولتأكيد علاقة تصميم الشكل الهندسي للريشة بتأثيرات الأجهادات والأنفعالات، فقد تم تعريض الريشة الى قيم ضغط اعلى من المحدد ليتضح لنا تشوه شكل الريشة في الشكلين (24) و (25) لذا فان تحديد الأسس والحسابات التصميمية استندت الى قيم الضغط والحرارة التي صممت حسابات التوربين البخاري على اساسها لتوليد الطاقة اللازمة لها والبالغة 210 MW لمثل هذا النوع من التوربين.

أما الشكل (26) الذي يوضح توزيع كل من (F_x) و (F_y) نجد أن تأثير القوة (F_y) أكبر من تأثير القوة (F_x) ويتناقص كل منهما باتجاه نهاية الريشة من الجانب المقعر، بينما نجد العكس في الشكل (27) حيث أن الأجهاد باتجاه x (S_x) أكبر تأثير من الأجهاد باتجاه y (S_y) وكذلك زيادة قيمهما باتجاه نهاية الريشة لتتناقص المساحة السطحية بهذا الاتجاه وزيادة الأجهادات على هذا الأساس .

المصادر

- [1]-M .S . Joun and S. M. Hwang. Optimal process design in steady –state metal forming by finite element method-1 theoretical consideration. Int. J.Machine Tools Manufacture 33(1993) 51-61.
- [2]-R. Bahree , A. M. Sharan and J.S.Rao , the design of rotor blades taking into account the combined effects of vibratory and thermal loads.

Transactions of the ASME, vol. 111, October 1989.

[3]-Takahiro Ohta, Watrau Kawai , Takayuki Naha, Rytaro Magoshi and Hiro haran Oh Yama, Forging Process Design Simulation for turbine blades. Mitsubishi Juko Giho ,Vol.37 No. 3 (2000) .

[4]-P. Shlyakhin, Steam Turbine, Theory and Design Text book. Translated from the Russian by A. Jaganmohan, B.E.(Hons), Peace Puplicher Moscow 1960.

[5]-Han, C.S, Grandhi, R.V. and Srinivasan, R. Optimum design of forging die shapes using Nonlinear Finite Element Analysis. AIAA Journal, Vol.31, (1993), PP. 774-781.

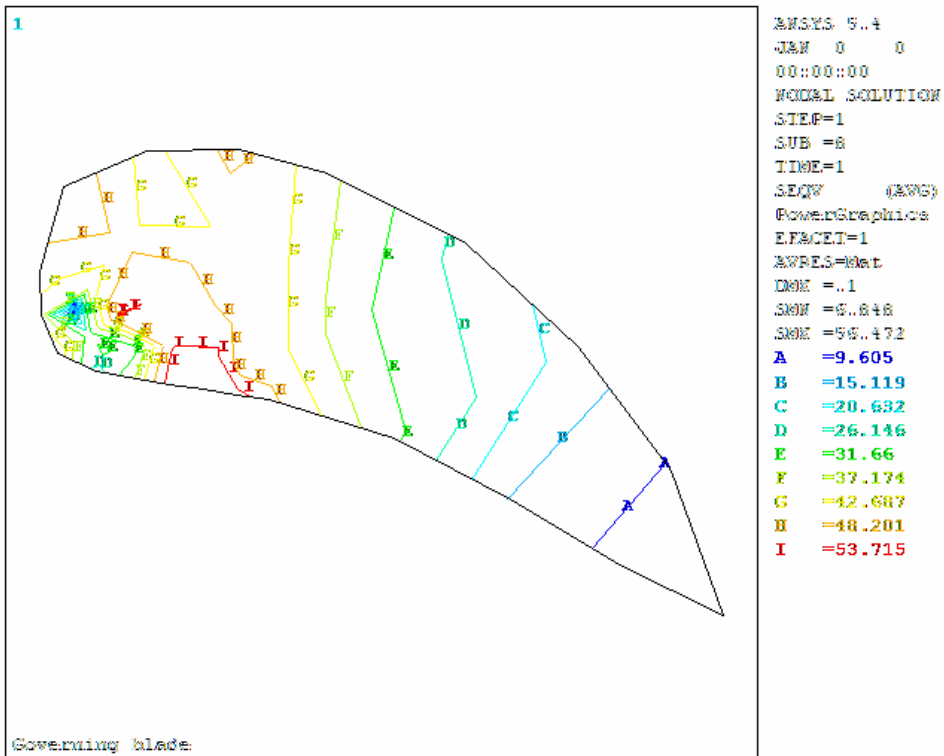
[6]-
Forging.http://www.efunda.com/processes/metal_processing/foging.cfm. 30 April2001

[7]-Piotr Lampart, Numerical optimization of A High pressure steam turbine stage, Journal of Computational and Applied Mechanics, Vol. 5, No. 2, 2004 pp(311-321).

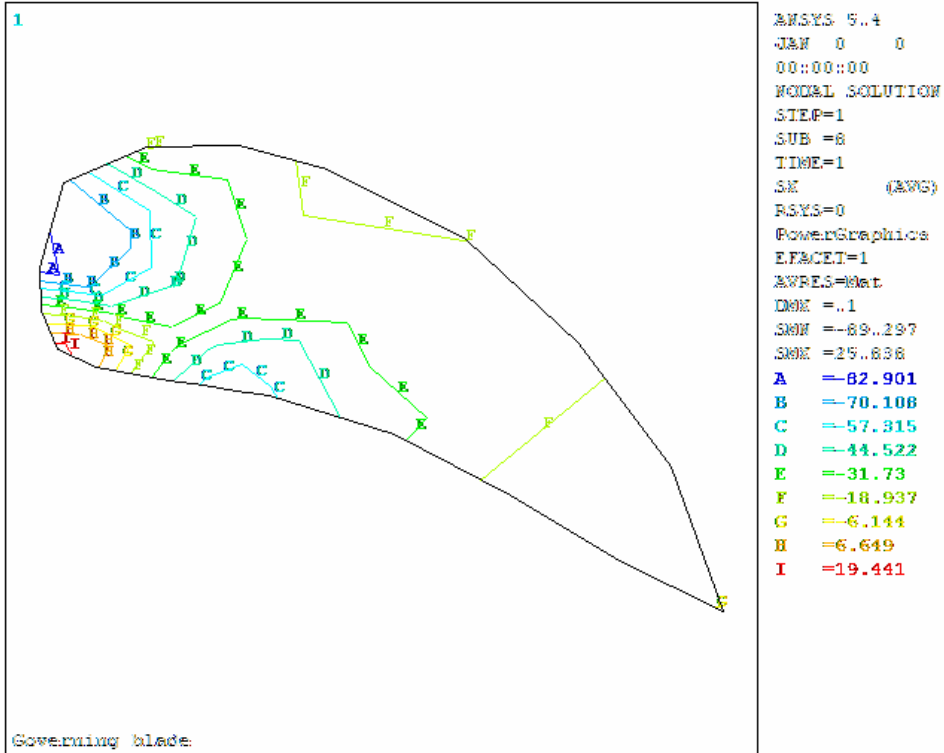
[8]-Manas Shirgoakar Gracious, Process Modeling in Impression-Die Forging using finite element analysis, ASM Intrnational 200



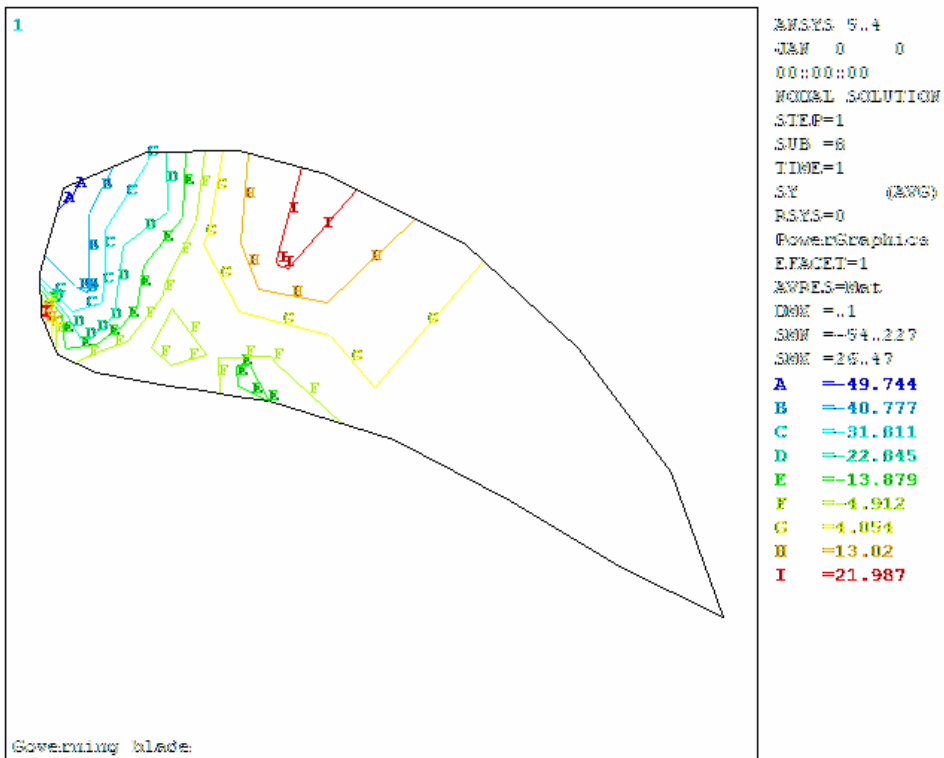
شكل (3) جزئي الريشة المعرضين للأجهادات



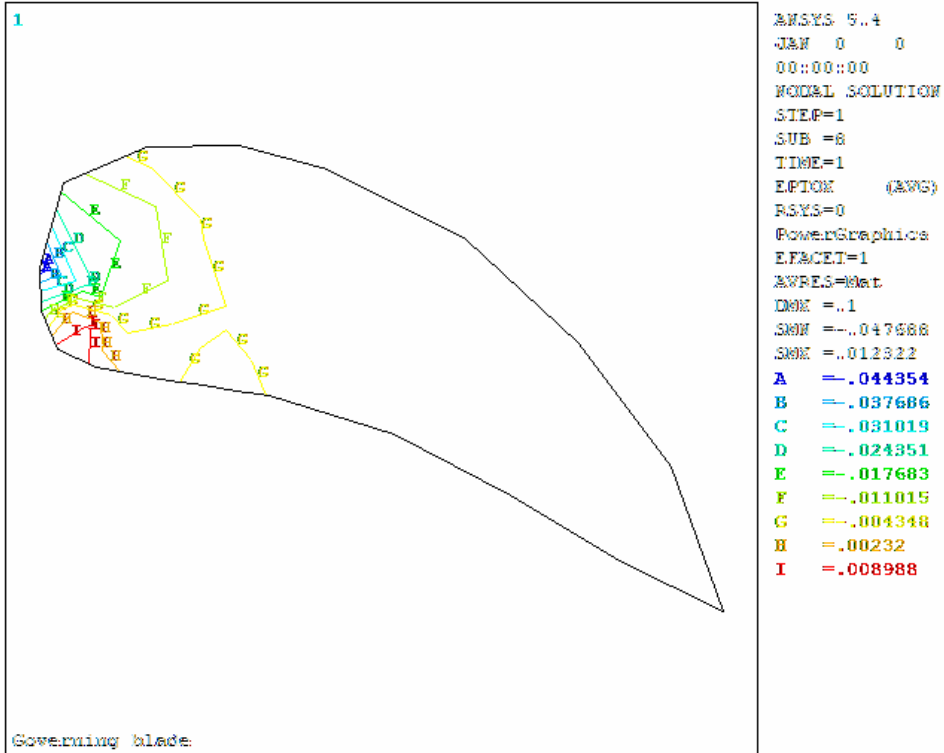
شكل (4) الأجهادات المكافئة (Von misses)



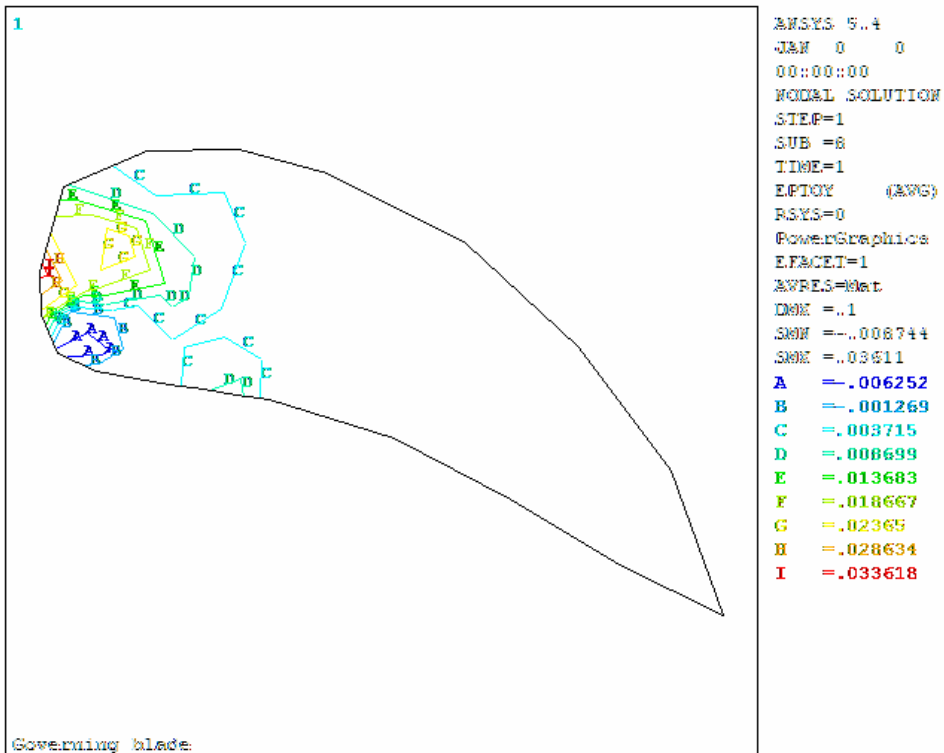
شكل (5) الأجهادات باتجاه (X)



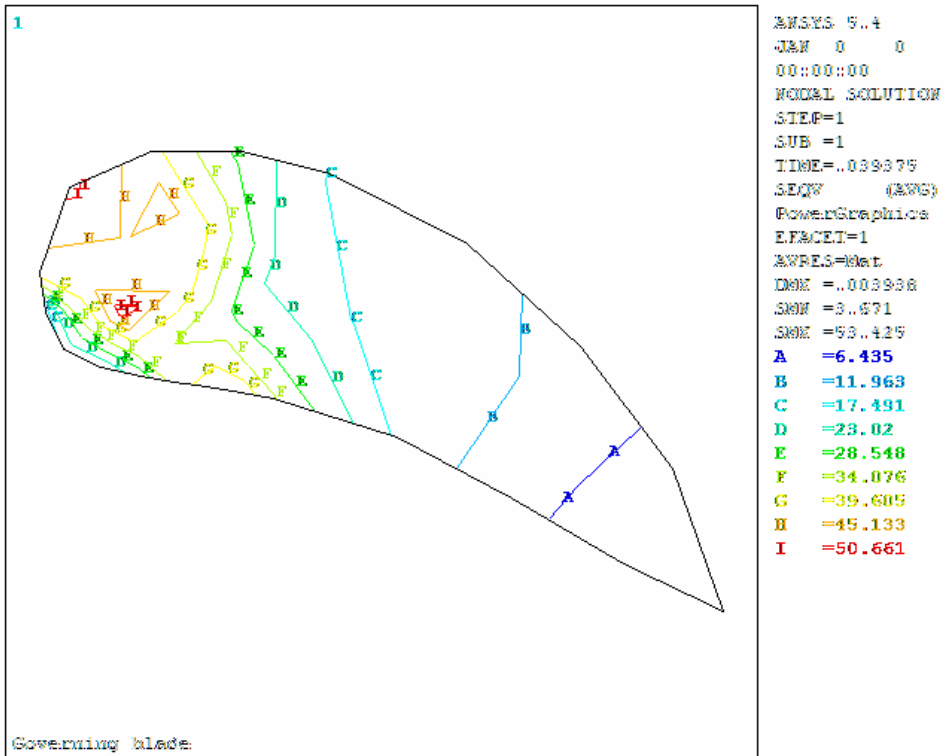
شكل (6) الأجهادات باتجاه (Y)



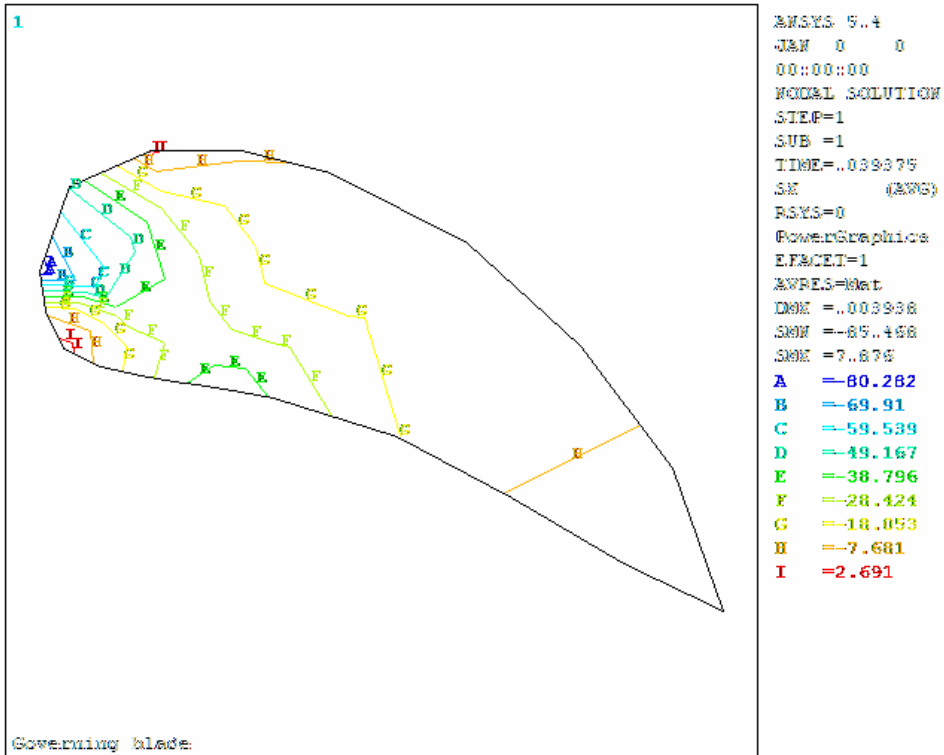
شكل (7) الأنفعالات باتجاه (X)



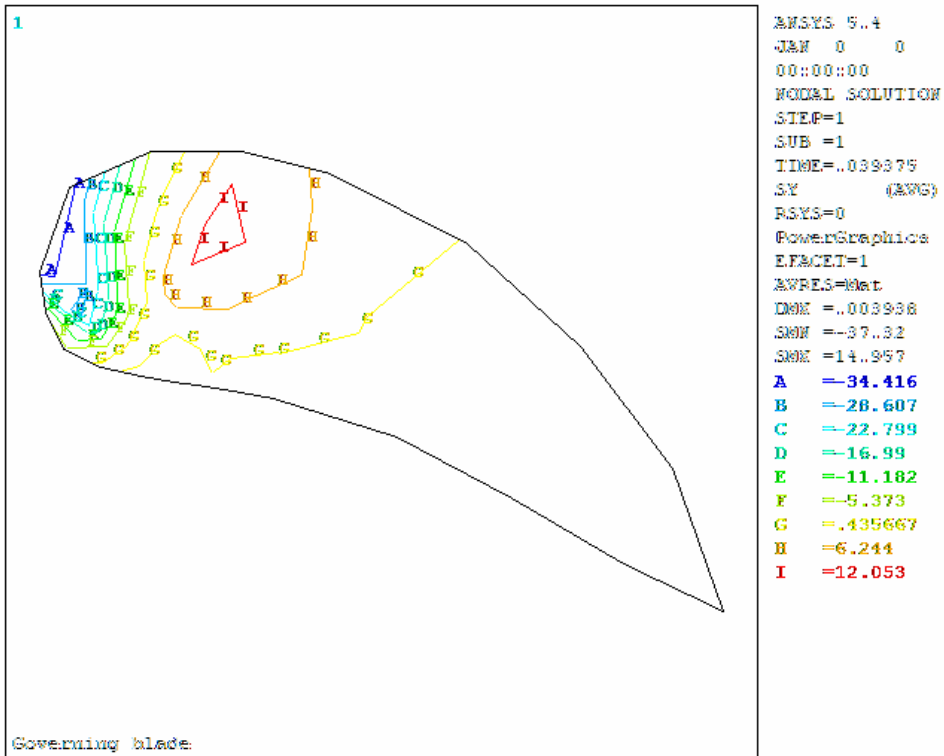
شكل (8) الأنفعالات باتجاه (Y)



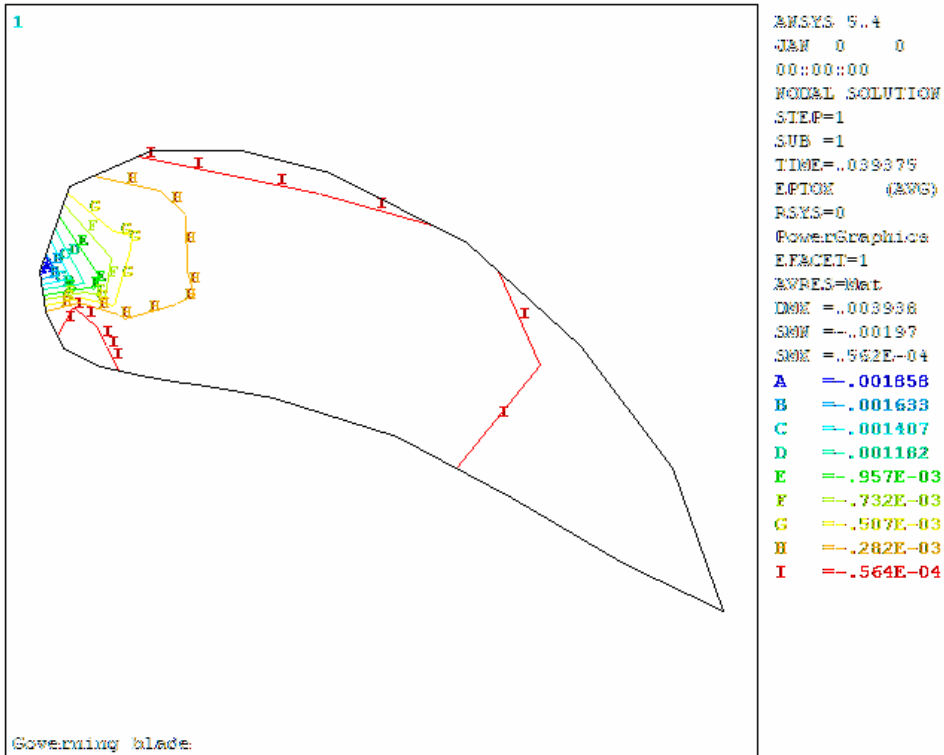
شكل (9) الأجهادات المكافئة (Von misses)



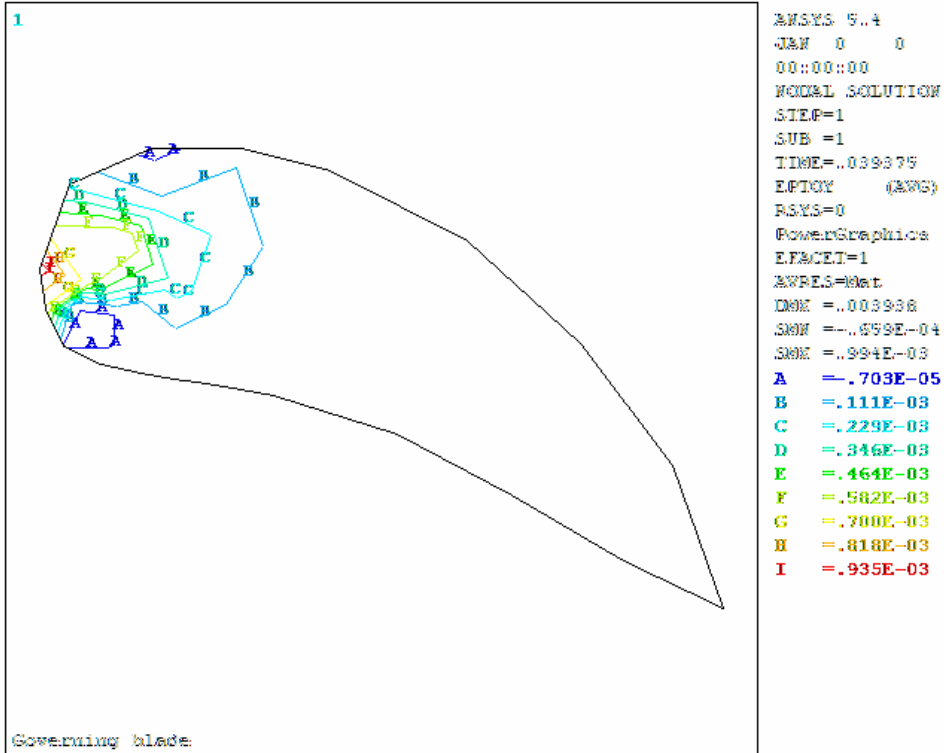
شكل (10) الأجهادات باتجاه (X)



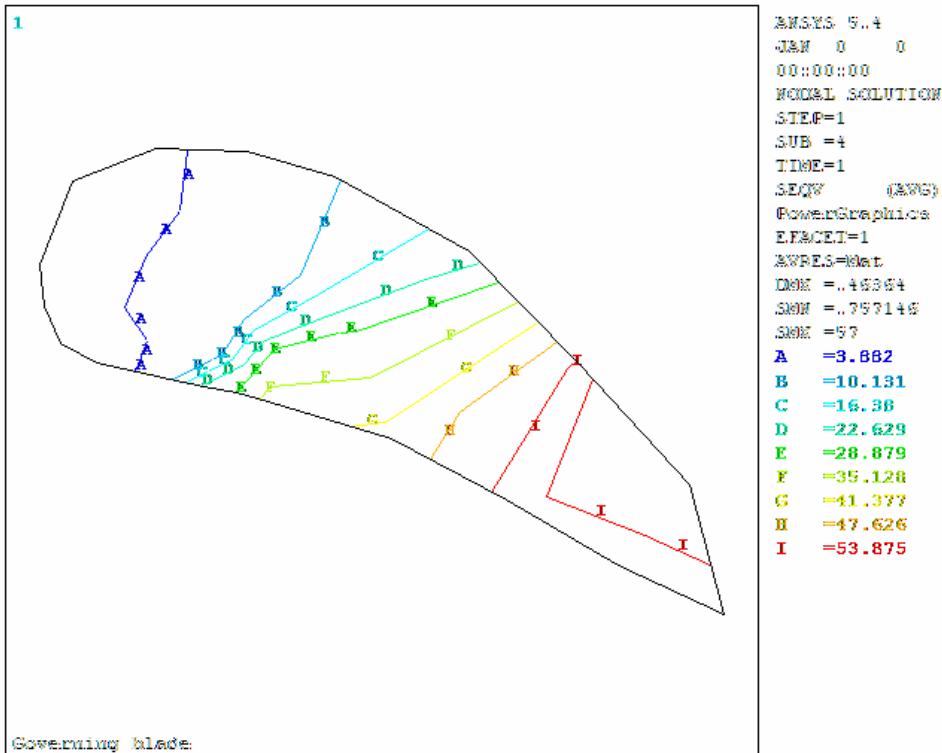
شكل (11) الأجهادات باتجاه (Y)



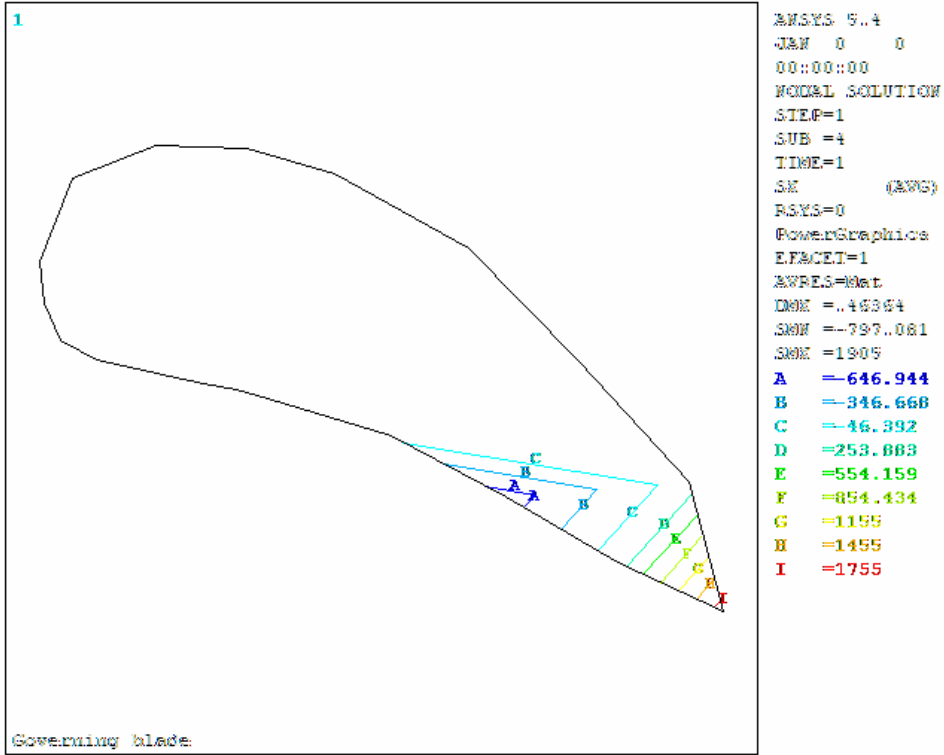
شكل (12) الأنفعالات باتجاه (X)



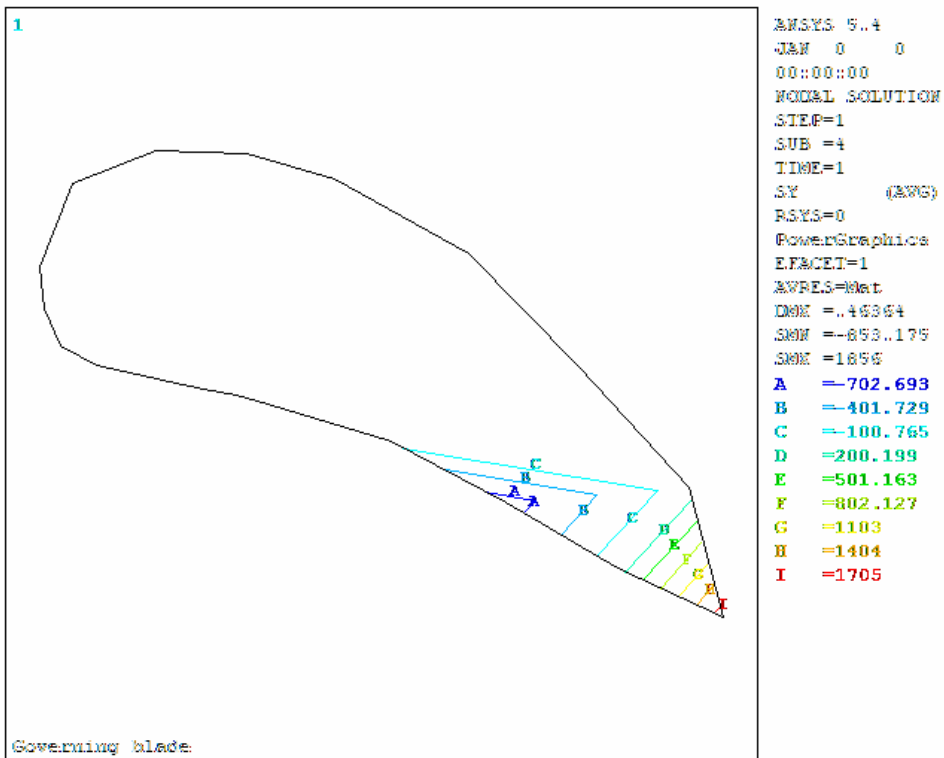
شكل (13) الأنفعالات باتجاه (Y)



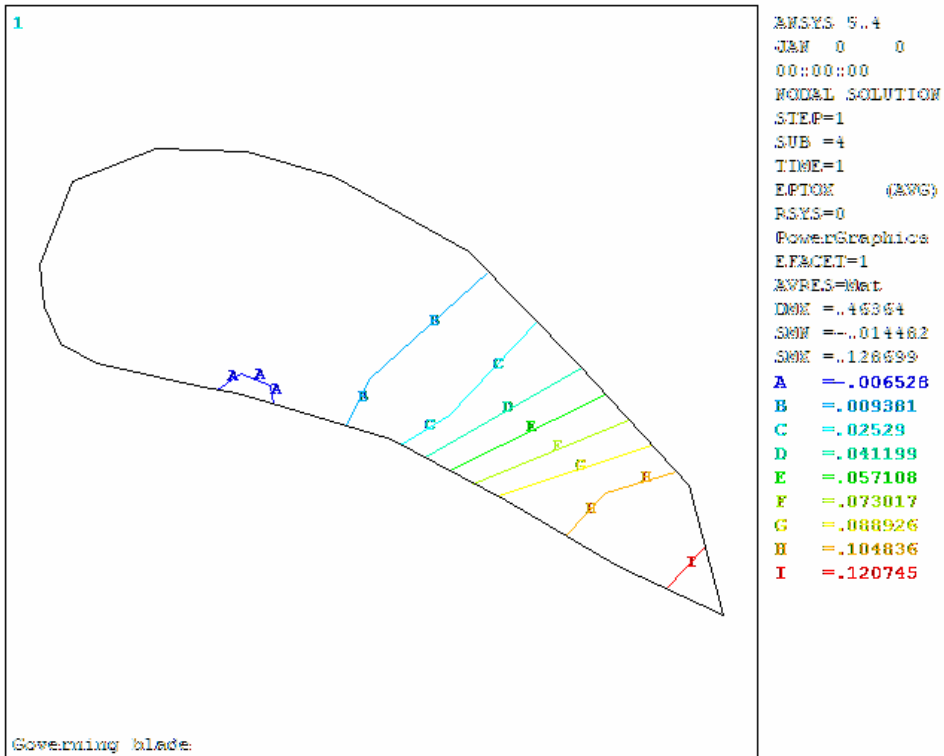
شكل (14) الأجهادات المكافئة (Von misses)



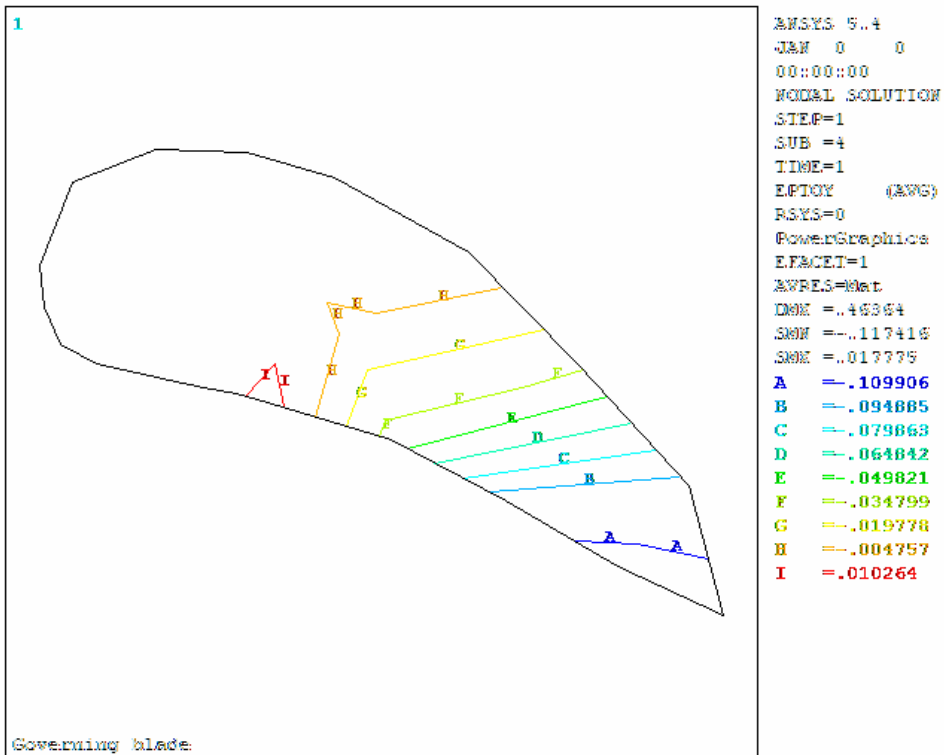
شكل (15) الأجهادات باتجاه (X)



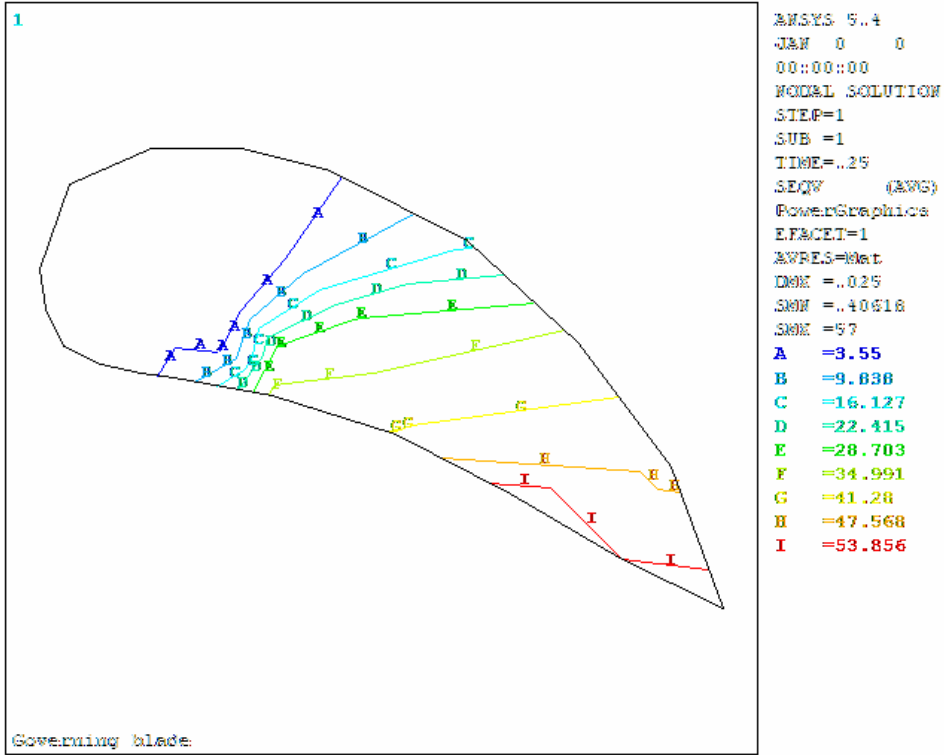
شكل (16) الأجهادات المكافئة (Von misses)



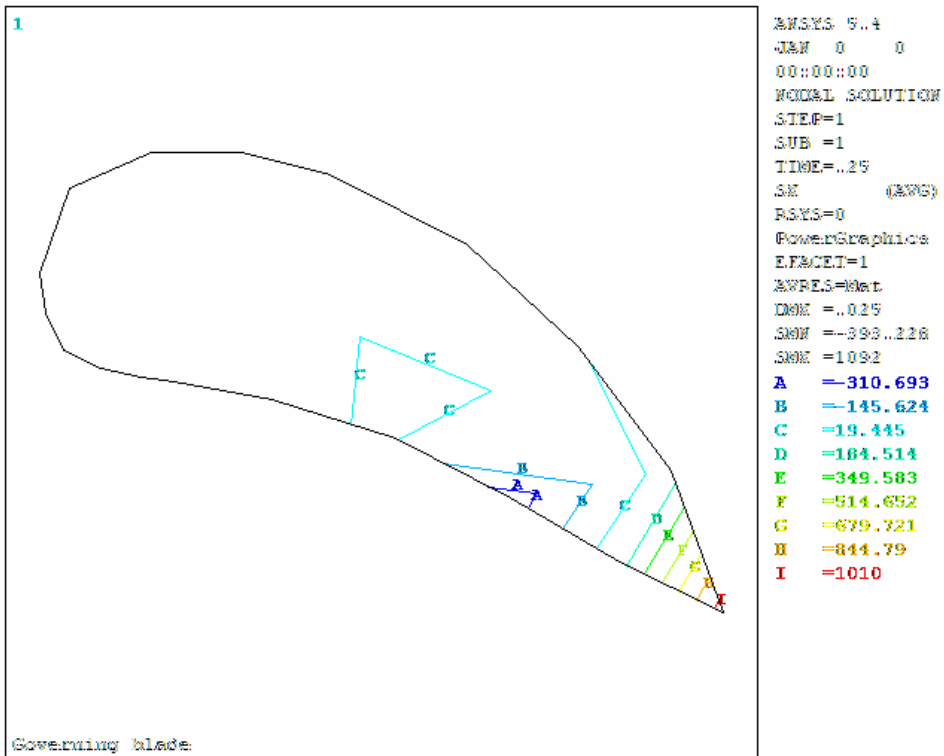
شكل (17) الأنفعالات باتجاه (X)



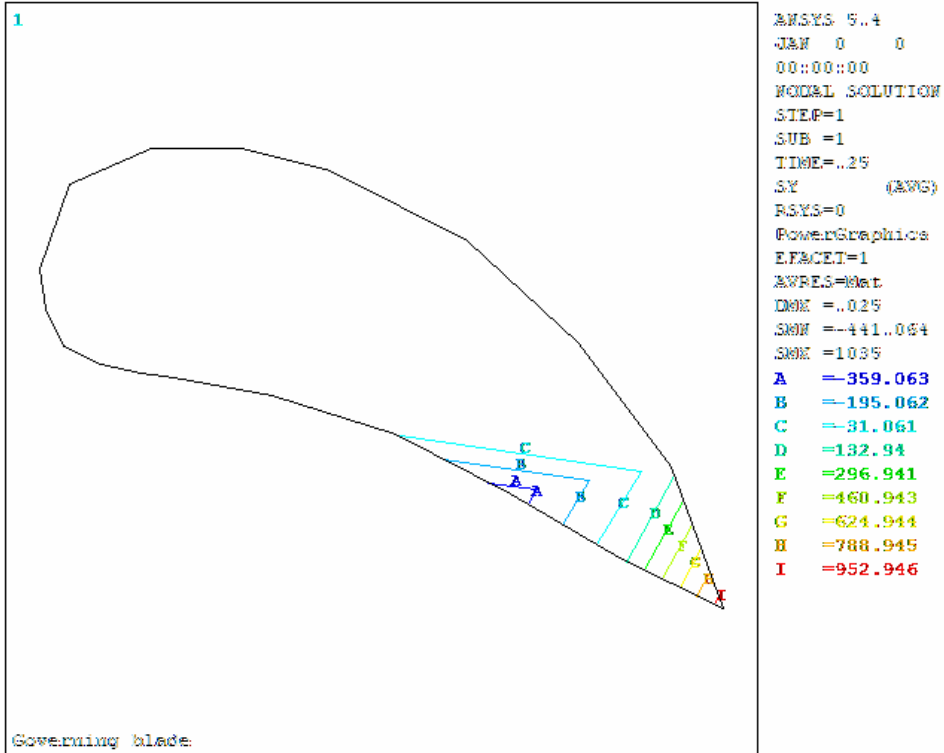
شكل (18) الأنفعالات باتجاه (Y)



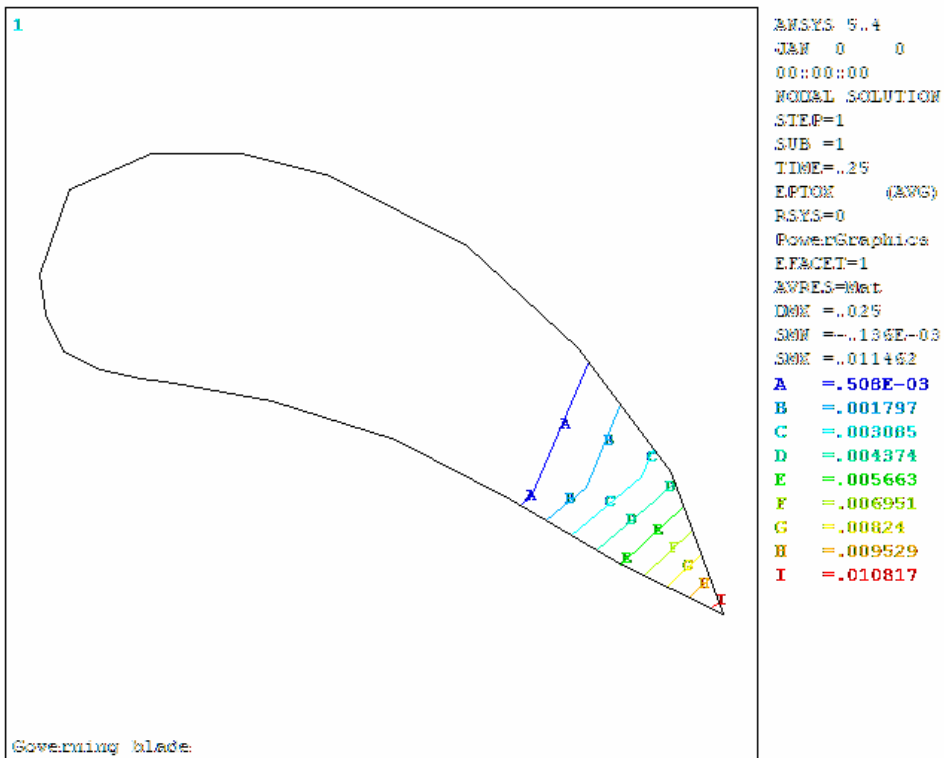
شكل (19) الأجهادات المكافئة (Von misses)



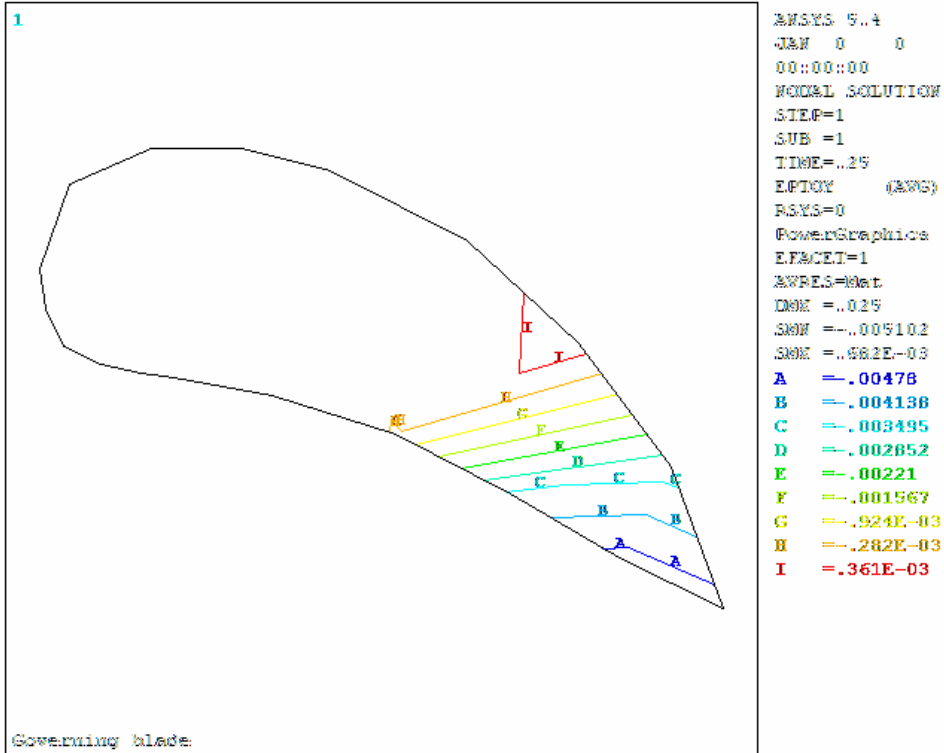
شكل (20) الأجهادات باتجاه (X)



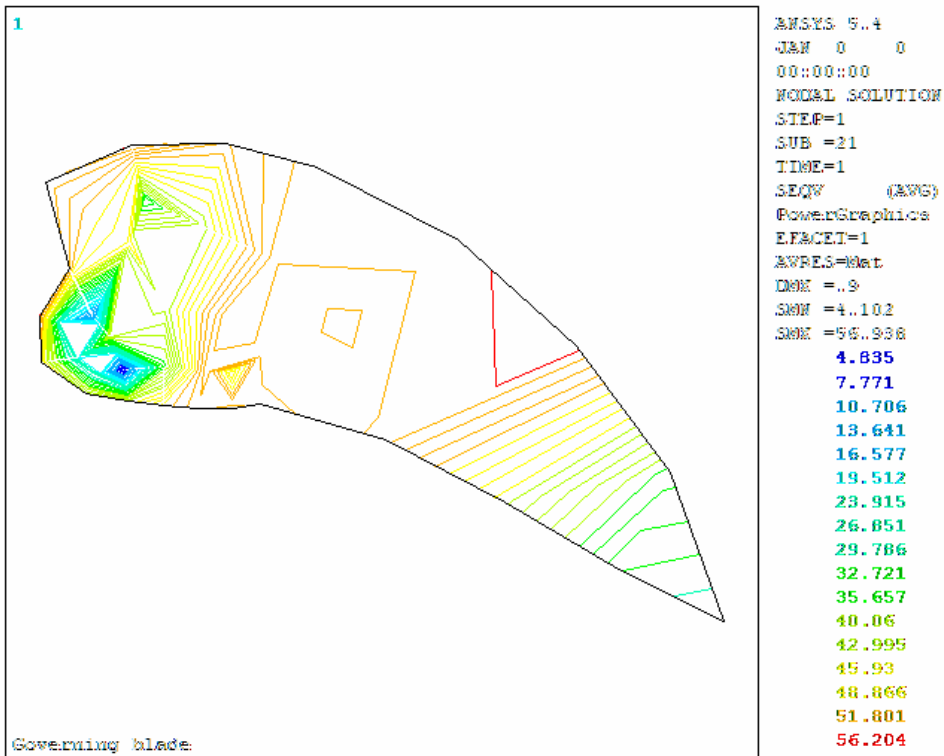
شكل (21) الأجهادات باتجاه (Y)



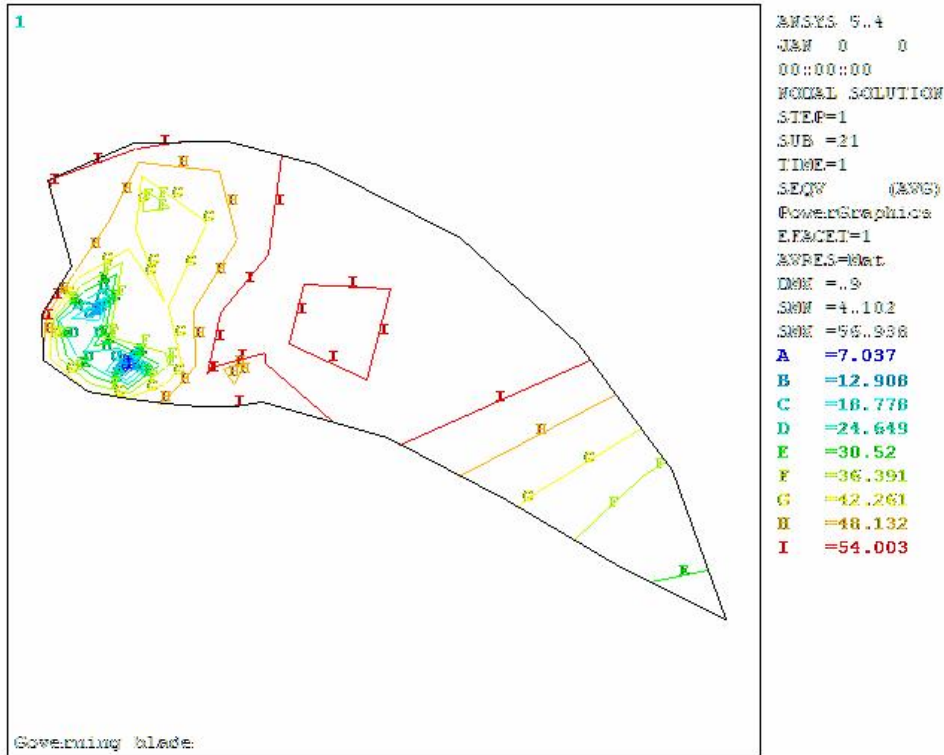
شكل (22) الأنفعالات باتجاه (X)



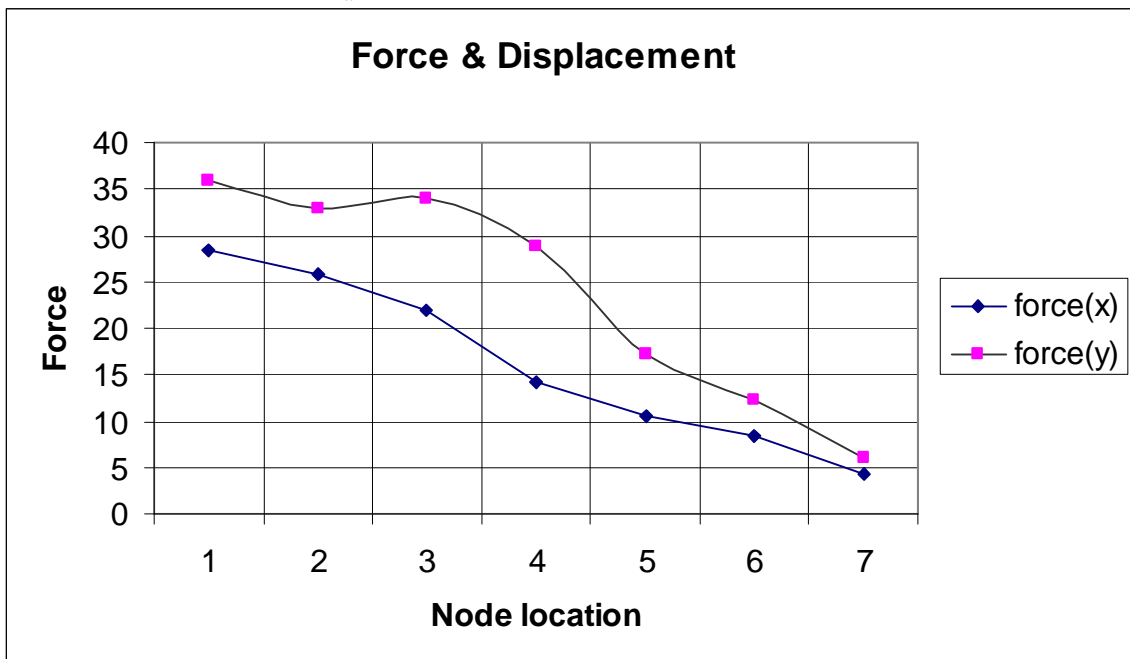
شكل (23) الأنفعالات باتجاه (Y)



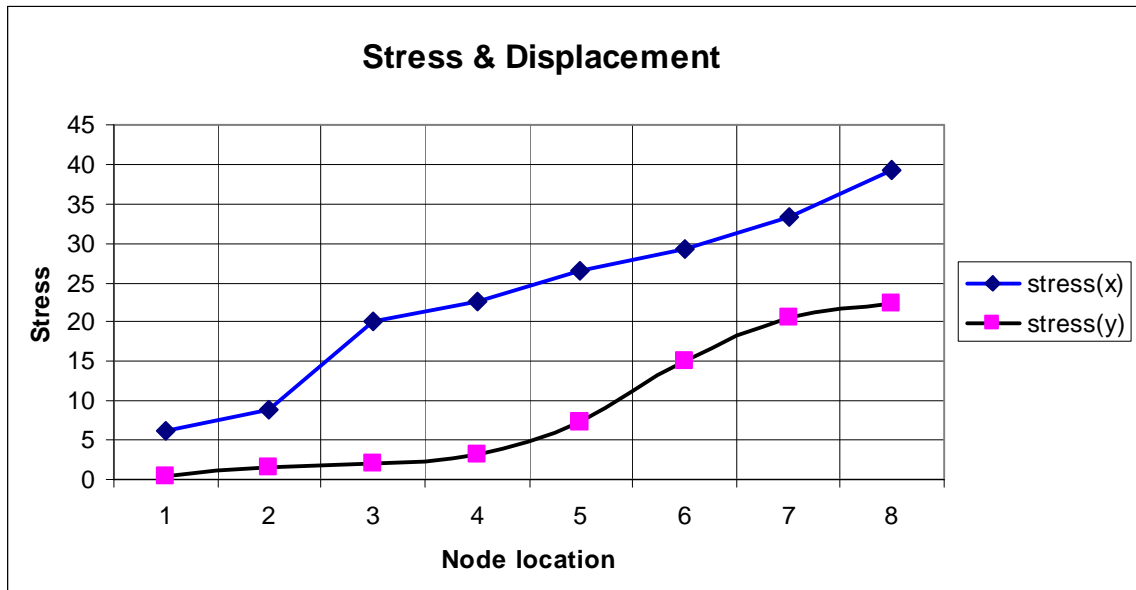
شكل (24) تشوه الريشة لتعرضها الى اجهادات عالية



شكل (25) تشوه الريشة لتعرضها الى انفعالات عالية



شكل (26) القوة المسلطة على النقاط وحسب مواقعها على طول الريشة



شكل (27) الأجهادات التي تتعرض لها النقاط حسب مواقعها على طول الريشة