دراسة تأثير شكل القالب على الحرارة المتولدة والأجهادات المكافئة لها خلال عملية البثق[+]

STUDY ON THE EFFECT OF DIE PROFILE ON THE GENERATION OF HEAT AND THE EQUIVALENT STRESSES PRODUCED DURING EXTRUSION PROCESS

عدي حسين كاظم [*]

المستخلص

في هذا البحث تم دراسة توزيع درجات الحرارة والاجهادات المكافئة لها خلال عملية البثق الأمـــامي وبيـــان تأثير شكل القالب على هذا التوزيع. وقد تم استخدام طريقة العناصر المحددة من خلال برنامج ANSYS ver.5.4 . وقد تم دراسة حالتين ، الحالة الاولى عندما يكون شكل القالب خط مستقيم اما الحالة الثانية عندما يكون شكل القالب منحني. وقد تم اختيار ابعاد القوالب بحيث تطابق بعض النتائج المنشورة في بعض النشريات. واتـــضح مـــن هـــذه الدراسة أن قيم درجة الحرارة والتوزيع لها لايتأثر بشكل القالب (مستقيم أو منحني) بينما يتناسب الاجهاد المكافىء طرديا مع تغير درجة انحناء القالب.

Abstract

The distribution of temperature and its equivalent stresses is studied, during the forward extrusion process, and investigated the effects of die profile on that distribution were investigated. The finite element method represented by ANSYS ver.5.4 program is used. Two cases are presented, the first when the die profile is straight, and the other when it is curve. Results show that the temperature and its distribution are not affected by changing the die profile, and the equivalent stresses are directly proportional to the change in the degree of curvature of the die profile from straight to curve.

١ – المقدمة

ان عملية البثق (extrusion) هي احدى طرائق التشكيل التي يتم بها الحصول على مقاطع (مبثوقات) ذات اشكال هندسية معينة باستعمال قوالب مختلفة المقطع (دائري و مربع و مستطيل ... الخ) ويتكون جهاز البثق بشكل عام من المدك (punch) الذي يكون متصل بذراع لتسليط الحمل والحاوية (container) لوضع الخامة (billet)

[+] تاريخ استلام البحث :٢٠٠٥/١١/١٥، تاريخ قبول النشر : ٢٠٠٧/١/١٧

[*] مدرس مساعد/قسم هندسة تقنيات المضخات/– الكلية التقنية/ المسيب/بابل/العراق.

والقالب (die). وتكون عملية البثق اما بثق مباشر (direct extrusion) او البثق غير المباشر (indirect extrusion) ومنها الجانبي والهيدروستاتيكي وغيرها [١] بشكل عام والمنتج يكون قضبان و انابيب و مقاطع مختلفة ... الخ. تتلخص الدراسة باستخدام طريقة العناصر المحددة المتمثلة ببرنامج ANSYS لدراسة توزيع درجات الحرارة والاجهادات المكافئة لها الناتجة من الاحتكاك بين القالب والمعدن خلال عملية البثق.

خلال العقود الماضية استخدمت طريقة العناصر المحددة (FEM) لتحليل مسائل التشكيل [٢]إذ تعد من الطرائق الفاعلة في حل مسائل تشكيل المعدن إذ بين لي وجماعته [٣] أن اقصى درجة حرارة على المعدن تبقى مستقرة بالقرب من مدخل القالب، إذ درس عملية التوزيع الحراري خلال عملية البثق عندما تكون معزولة حراريا (isothermal) .

لقد ظهرت العديد من البرامجيات مثل ABAQUS، ANSYS، DEFORM^{tM}-3D [٤] ...الخ. في بحثنا هذا تم استخدام برنامج (ANSYS ver.5.4) لبيان تأثير شكل القالب على توزيع درجات الحرارة والاجهادات المكافئة لها، وقد تم بناء نموذج نظري لتحليل عملية البثق على فرضية تماثل العينة وعلى اساس نموذج نصف المقطع.

٢- طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method):

يستخدم برنامج (ANSYS) الخاص بتقنية العناصر المحددة في تحليل كثير من المسائل لحالات السكون والحركة الخطية واللاخطية ومسائل انتقال الحرارة وغيرها ومن خلال بحثنا هذا تم استخدام البرنامج لتحليل ودراسة عملية توزيع الحرارة بين القالب والخامة خلال عمليةالبثق. إذ ان النموذج الرياضي لتمثيل الظاهرة الفيزياوية تخضع لقوانين ومعادلات لا خطية للمعدن المشكل فضلا عن ظروف التماس بين القالب والمعدن تشترط فيها ان تكون لا خطية ايضا [٥] . إذ تم الحل حسب المعادلات الاتية[٦] [٧]:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial T}{\partial z} + Q$$

حيث ان $\lambda = \rho c_p$

وبتبسيط المعادلة اعلاه نحصل على[٨]:

$$[K] \cdot T = q$$
$$[K] = [K_c] + [K_{cv}]$$
$$q = q_c + q_{cv}$$

حيث ان:

ρ ... الكثافة الكتلية للمعدن. (Kg/m^3)

Cp ... الحرارة النوعية. (KJ/Kg.K)

K_x, K_y, K_z ... معامل التوصيل الحراري باتجاه x,y,z . (watt/m.K)

[K] ... مصفوفة الجساءة

T ... متجه درجة الحرارة. (Kelvin)

q_c ... متجه الحرارة بالتوصيل. (watt)

q_{cv} ... متجه الحرارة بالحمل . (watt)

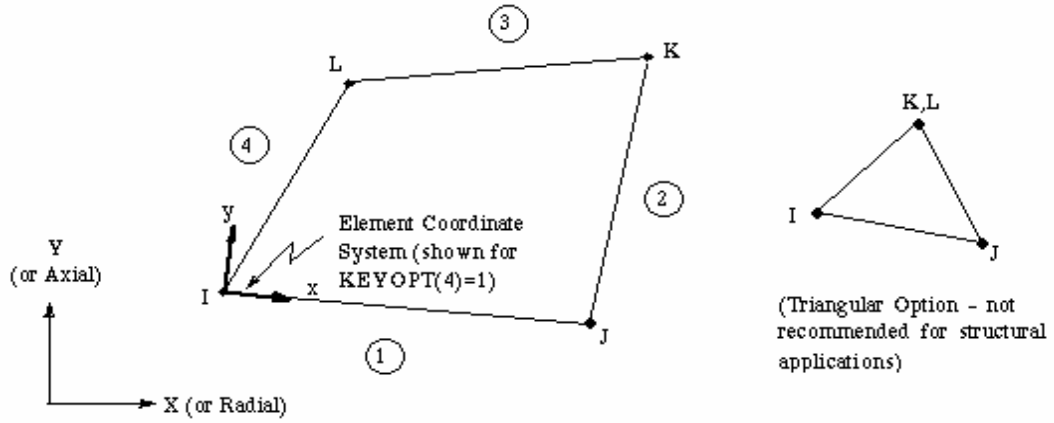
t ... الزمن . (minute)

وقد تم برمجة المسألة باستخدام طريقة الاوامر (Command Method) باستعمال لغة (APDL) حيث تم بناء برنامج يقوم بحساب توزيع درجات الحرارة والاجهادات المكافئة لها، وقد تم تثبيت نوع التحليل بحالة السكون (static condition) ثم استعمال خواص ثنائية متجانسة(Bilinear Isotropic Condition).

وتم استخدام نوعين من العناصر:-

١- العنصر الاول plane 13 :

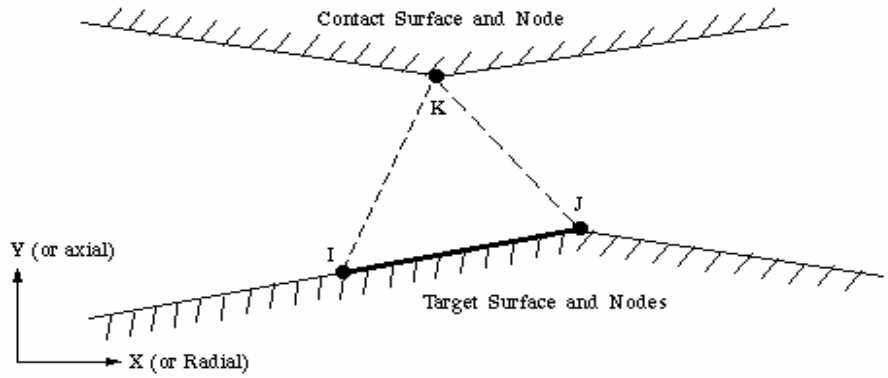
الذي استخدم تمثيل المعدن والقالب والذي يمتلك حالة الازدواجية بين الحرارة والتشوه ويمتلك في حالتنا هذه اربع درجات من الحرية هي (u_x , u_y , u_z , temp.) لكل عقدة. كما في الشكل (١):



الشكل رقم (١- أ) : plane 13 , 2-D coupled – field solid

٢- العنصر الثاني Contac 48 :

وقد استخدم هذا العنصر لتمثيل التماس الحراري بين القالب والمعدن إذ يمتلك هذا العنصر قابلية التماس الحراري ويمتلك درجتين من الحرية بأتجاه (x , y). الشكل رقم (١) (أ، ب) يبين اشكال العناصر المستعملة.



الشكل رقم (١- ب): contac 48 , 2-D node- to – surface contact element

وبعد ذلك يتم عرض النتائج حيث يتم عرض الرسوم الكنتورية (التخطيطية) وكذلك مراجعة النتائج لاي خطوة زمنية.

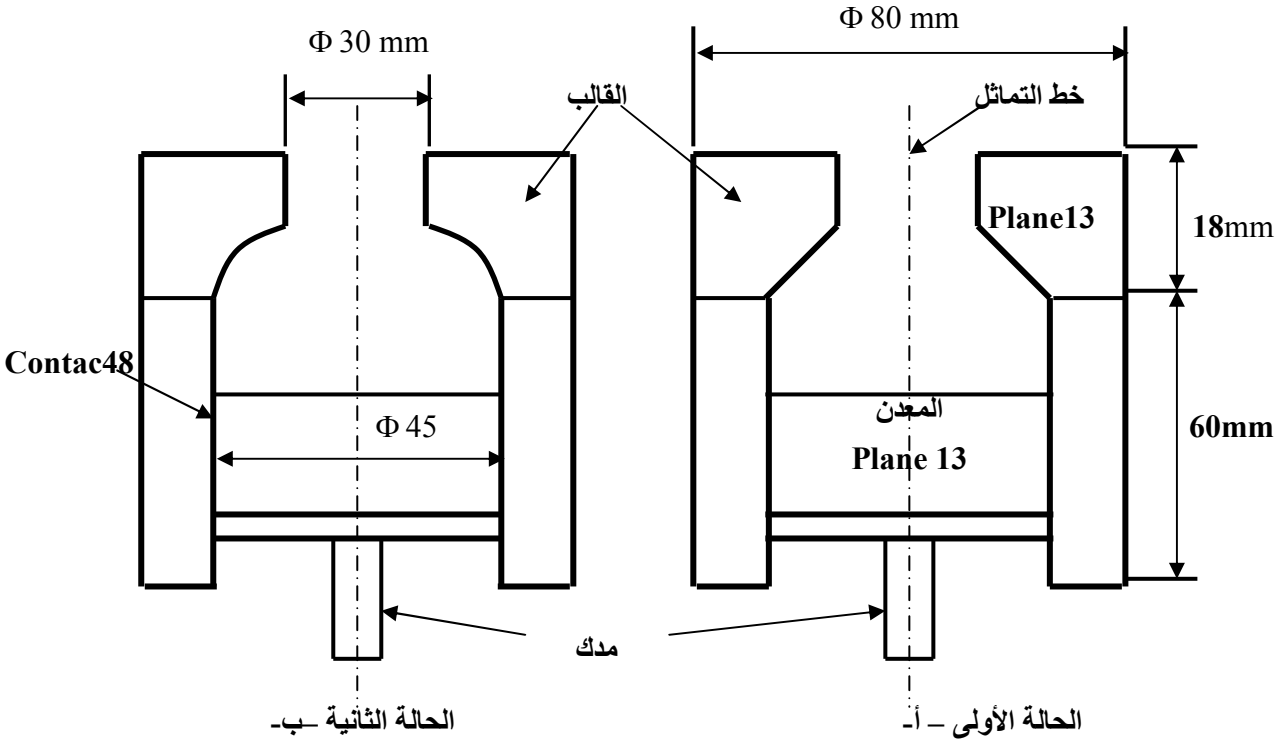
٣- الحالات التي درست (Cases Studied):

الشكل رقم (٢) يبين النموذج المستعمل (model). وقد دققت دراسة توزيع درجات الحرارة والاجهادات المكافئة لها لحالتين من القالب وهي:

١) عندما يكون القالب على شكل خط مستقيم (شكل – ٢ – أ).
٢) عندما يكون القالب على شكل منحني (شكل – ٢ – ب).

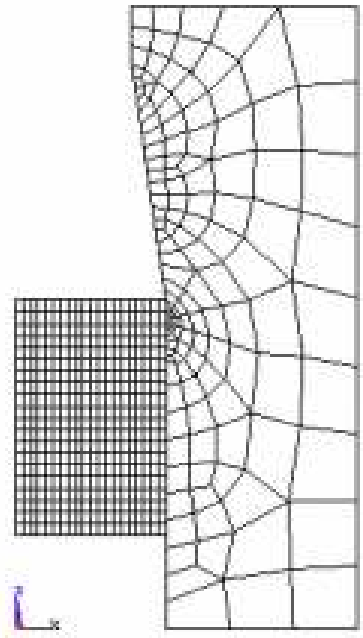
وقد تم تحديد زاوية ميل القالب ذي الشكل المستقيم وكذلك نوع خط الانحناء وهو (spline) بالنسبة للقالب ذي الشكل المنحني عن طريق الأبعاد المعطاة لنماذج القوالب المختارة. ملحق رقم (١) يبين مواصفات القالب والخامة.

أما الشروط الحدية (Boundary Conditions) للحالتين فقد تضمنت عد القالب معزولاً حرارياً مع وجود انتقال حراري بالحمل (Convection) باطرافه، اما في المعدن (Billet) فتم عد انتقال الحرارة بواسطة التوصيل (Conduction) إذ تم بناء نموذج نظري لتحليل عملية التوليد الحراري الحاصل نتيجة بثق المعدن على فرضية التماثل المحوري (Axisymetric). وكانت درجة حرارة الخامة قبل البثق هي درجة حرارة الغرفة نفسها ($25\ C^0$) وكانت سرعة البثق هي (0.16 mm/min.).

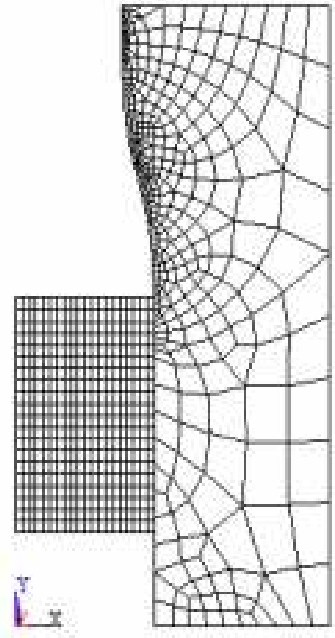


الشكل رقم (٢): يبين ان –أ– عندما يكون القالب مستقيم ، – ب – عندما يكون القالب منحني

الشكل رقم (٣) يبين الشبكة (Mesh) للموديل. حيث ان شكل (٣ – أ) عندما يكون شكل القالب مـــستقيم ، الشكل (٣ – ب) عندما يكون القالب ذو شكل منحني.



شكل (٣ – أ)



شكل (٣ – ب)

الشكل رقم (٣): يبين ان (٣ – أ) عندما يكون شكل القالب مستقيماً ، الشكل (٣ – ب) عندما يكون القالب ذو شكل منحني

٤ – النتائج والمناقشة:

الاشكال (٤ – أ)، (٤ – ب)، (٥ – أ)، (٥ – ب) تبين توزيع درجات الحرارة عندما يكون القالب خطاً مستقيماً ومنحني.كذلك الاشكال (٤ – ج)، (٤ – د)، (٥ –ج)، (٥ – د) تبين توزيع الاجهادات المكافئة عندما يكون القالب خطاً مستقيماً ومنحنياً.

الجدول رقم (١): يبين اقصى درجة حرارة واقصى اجهاد مكافئ.

شكل القالب	الإجهاد المكافئ (Mpa)	اقصى درجة حرارة (كلفن)
قالب مستقيم	708	673
قالب منحني	761	673.242

والشكل (٤ – د)، (٥ – د): بين توزيع الاجهادات على المعدن فقط حيث كانت قيم الاجهادات كما يلي:–

شكل القالب	الاجهاد (Mpa)
مستقيم	128
منحني	136

في هذه الدراسة فان فرضية الحالة هي ببعدين للتماثل المحوري (axisymetric) وقد تم تمثيل الموديل المجسم (3-D) كموديل ذي بعدين متماثل محوريا حسب الشكل رقم (٣ – أ)، (٣ – ب). في هذا البحث تم دراسة توزيع درجات الحرارة في الحالة العابرة (transient heat transfer) مع الاخذ بنظر الاعتبار التشوه العالي للمعدن (large strain) .

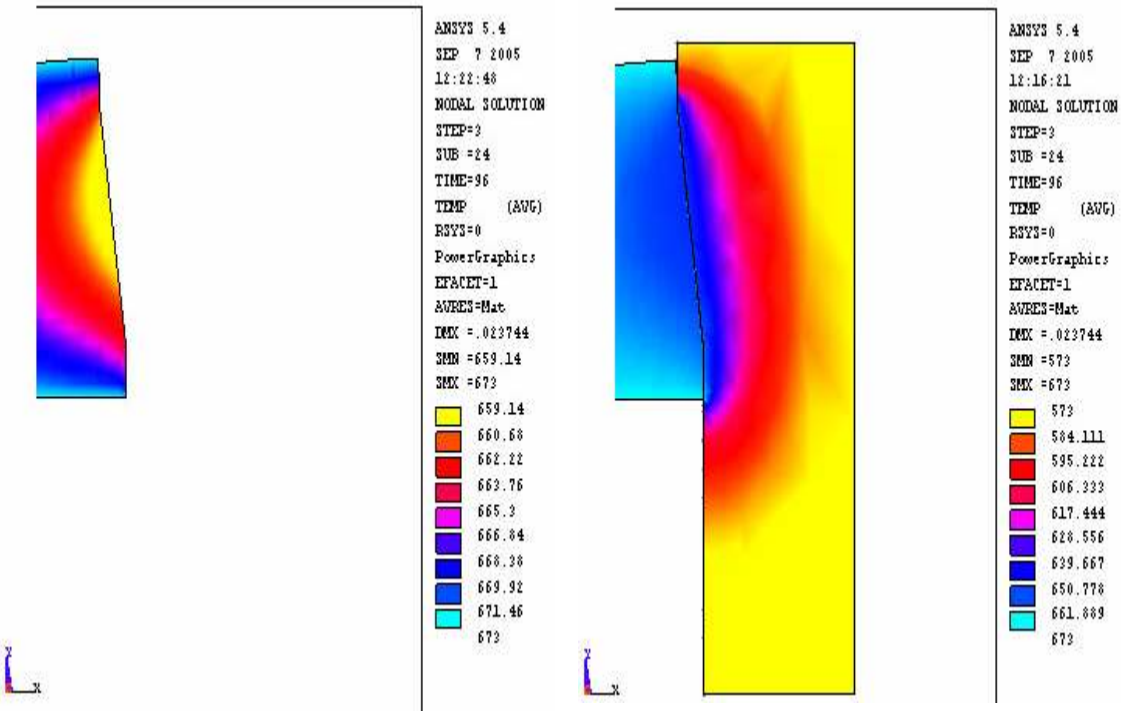
ومن الأشكال (٤ – أ)، (٥ – أ) تبين توزيع درجات الحرارة وقيمها على القالب والمعدن حيث نرى انه لا تغيير بتوزيع درجات الحرارة عند تغيير شكل القالب من مستقيم الى منحني وكذلك الاشكال (٤ – ب)و (٥ – ب) تبين توزيع درجات الحرارة على المعدن فقط وايضا نلاحظ انه لا يوجد تغيير في توزيع درجات الحرارة بين الحالتين.أي لا تغيير لدرجة الحرارة بالنسبة للحالة التي درست أما في حالات أخرى فربما تتغير.

أما الأشكال (٤ – ج)، (٥ – ج) فتبين توزيع الاجهاد المكافئ على القالب والمعدن حيث نرى ان قيمة الاجهاد تزداد كلما ازدادت درجة انحناء القالب ويعزى ذلك لزيادة طول المسار الذي سوف يبثق به المعدن مما يؤدي الى زيادة الاجهادات المتولدة على المعدن كما في شكل (٤ – د)، (٥ – د).

٥- <u>الاستنتاجات:</u>

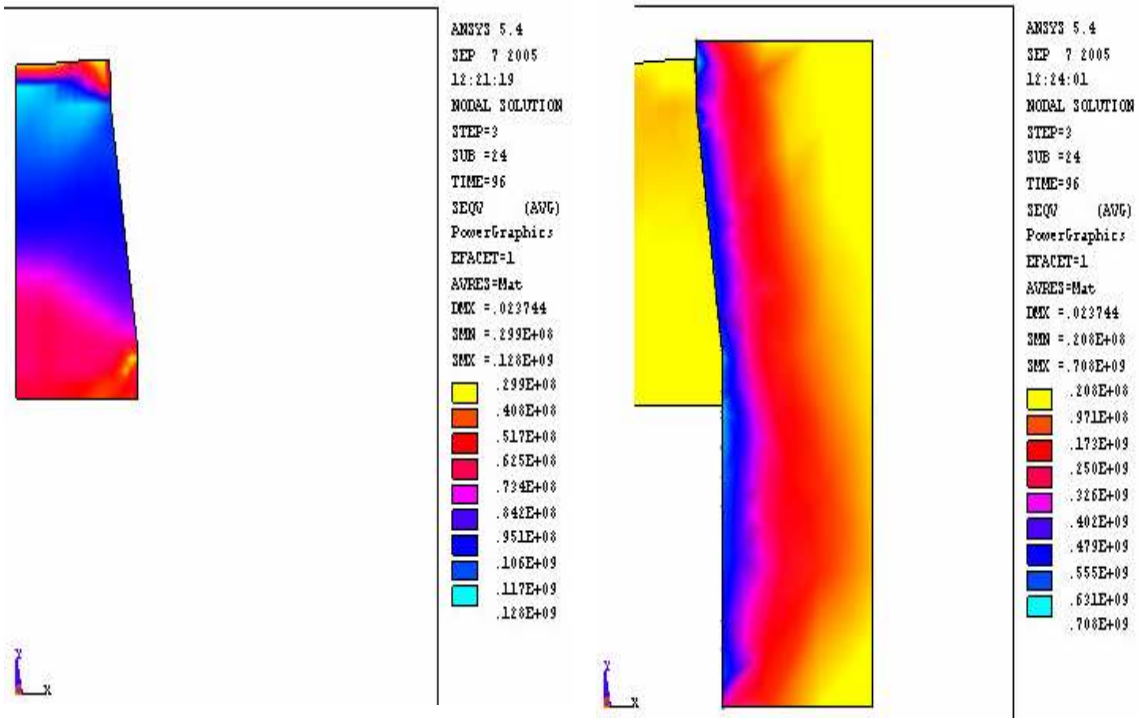
أ- لقد تمت الدراسة ضمن برنامج ANSYS ver.5.4 وهو معد ضمن طريقة العناصر المحددة وهو خاضع لكل المواصفات القياسية ونظام (ISO 9001) وتم بيان توزيع درجات الحرارة خلال عملية تشكيل المعدن وبيان جريان المعدن اثناء عملية التشكيل كما موضح في الأشكال.

ب- إن التوزيع الحراري لا يتغير بتغير شكل القالب ضمن الحالة التي درست لأنه يعتمد على الاحتكاك الناتج بين المعدن والقالب ولكن الذي يتغير هو قيمة الاجهاد المكافئ حيث انها ازدادت عندما تغير شكل القالب إلى منحني وتركزت هذه الاجهادات في المنطقة التي حصل بها التخصر فقط.



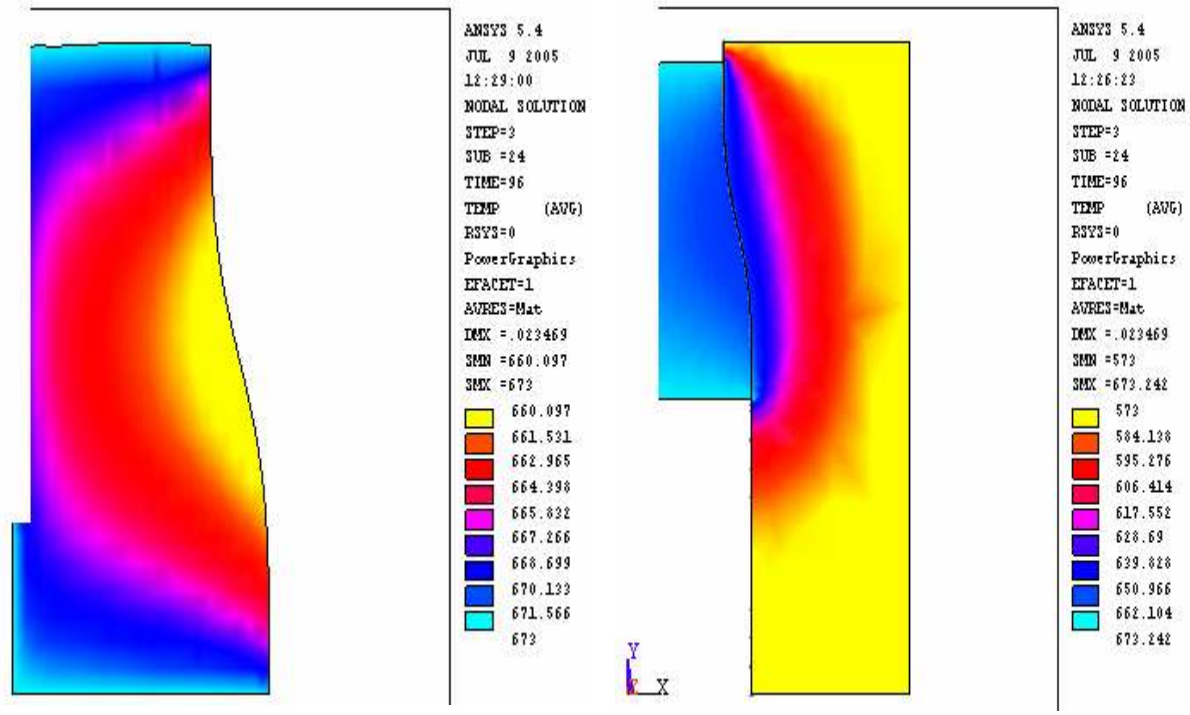
شكل (٤ – أ) **شكل (٤ – ب)**

الشكل رقم (٤-أ) و (٤-ب) يبين توزيع درجات الحرارة للقالب والخامة على الترتيب عندما يكون القالب خط مستقيم.



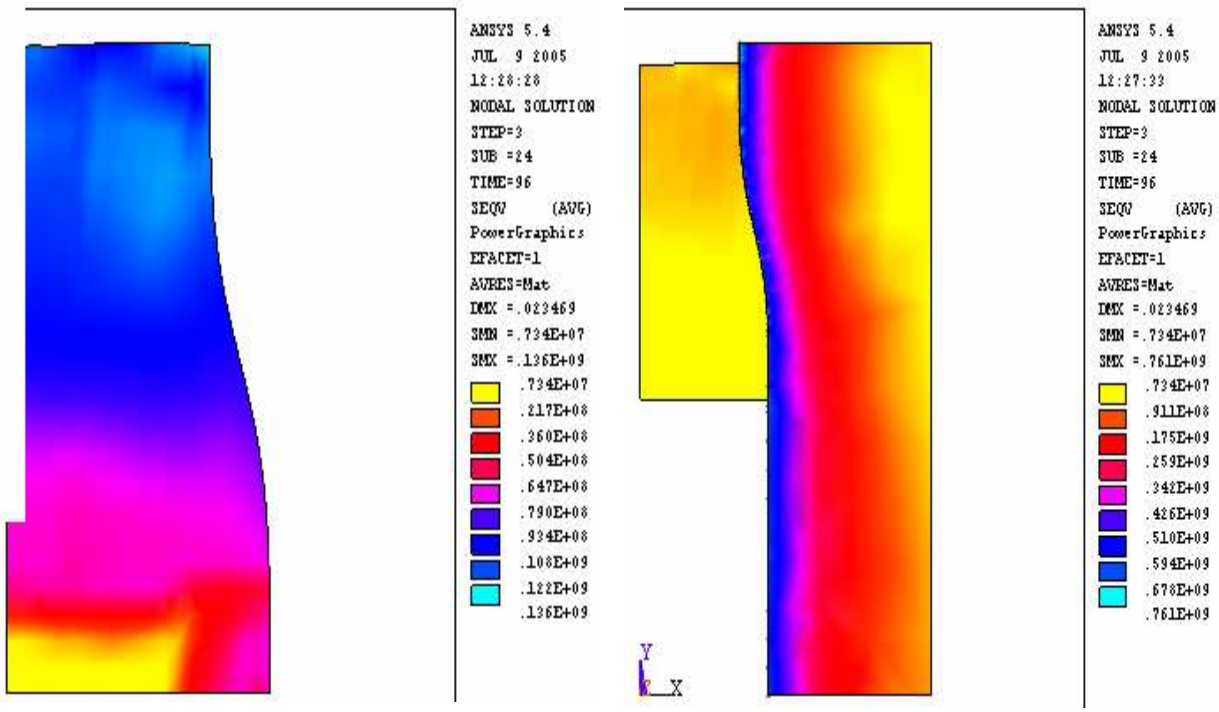
شكل (٤ –ج) **شكل (٤ – د)**

الشكل رقم (٤-ج) و(٤-د) يبين توزيع الاجهادات المكافئة للقالب والخامة على الترتيب عندما يكون القالب خط مستقيم.



شكل (٥ – ب) **شكل (٥ – أ)**

الشكل رقم (٥–أ) و (٥–ب) يبين توزيع درجات الحرارة للقالب والخامة على الترتيب عندما يكون القالب منحني.



شكل (٥ – د) **شكل (٥ –ج)**

الشكل رقم (٥-ج) و(٥-د) يبين توزيع الاجهادات المكافئة للقالب والخامة على الترتيب عندما يكون القالب منحني.

الملحق رقم (١):يبين مواصفات القالب والخامة المستخدمة.

No.	مواصفات القالب (الفولاذ)
1-	**Young modulus** E **= 200*10^9 Pa**
2-	**Thermal conductivity K = 17 W/m.K**
3-	**Possion ratio** υ **= 0.3**
4-	**Thermal expansion coef.** α **= 3.9*10^{-6} deg.$^{-1}$**
5-	**Heat capacitance cp =46 KJ/Kg.K**
6-	**Density** ρ **=7865 Kg/m^3**
7-	**Coef. Of friction** μ **=0.046**
No.	**مواصفات الخامة (الألمنيوم)**
1-	**Young Modulus E =55.1*10^9 Pa.**
2-	**Coef. Of friction** μ **=0.046**
3-	**Yield stress** σ_y **=70.2*10^6 Pa.**
4-	**Tangent Modulus E$_t$ =100*10^6 Pa.**
5-	**Thermal conductivity K =228 W/m.K**
6-	**Thermal expansion coef.** α **= 84.14*10^{-6} deg.$^{-1}$**
7-	**Density** ρ **= 2707 Kg/m^3**
8-	**Heat capacitance cp =896 KJ/Kg.K**
9-	**Possion ratio** υ **=0.365**

٦-المصادر

1-W.Johnson & P.B. Mellor ,*"Engineering Plasticity*",Von Nostrand Reinhold Company Limited, 1985.

2- D.R.J.owen & E.Hinton, *"Finite Elements in Plasticity*",Pineridge Press, 1980.

3- LLi, J. Zhou and J. Duszczyk, *" A 3D FEM Simulation Study on the Isothermal Extrusion of a 7075 Aluminium Billet with a predetermined non-Linear Temperature Distribution " Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* ,Vol. 11, No. 3, pp. 401-416 , 2003.

4- BhavinV.Mehta,"*Evaluation of MSC.SuperForgefor 3D Simulation of Streamlined &Shear Extrusion Die*",Ohio University,2004.www.ent.ohiou.edu/~meht.

5) ازل رفعت اسماعيل. *" دراسة تأثير طول منطقة التماس بين المعدن وقوالب البثق ذات الاشكال الهندسية المختلفة باستخدام تقنية العناصر المحددة (FEM)"*، *مجلة الهندسة والتكنلوجيا*.المجلد ١٢ ، العدد ٢٠ ، ٢٠٠١.

6-H.Tawfig & H.A.Ameen,"*Three Dimensional Heat Transfer Finite Element Analsis with Steady State Transient and Phase Change"* Eng. And Tech.Journal, vol. 19, No. 5, 2000.

7- A. El-Bahadli, " Heat Transfer", University of Baghdad, Iraq, 1991.

8- Frank L.Stasu*,"Applied Finite Element Analysis for Engineers",* Hold, Rinehart and Winston,1985.