دراسة تأثير شكل الزعنفة على الحمل الحراري الحر

وليد محمد عبد
كلية الهندسة
جامعة الانبار

الخلاصـــة:

في الكثير من الدوائر الالكترونية الحديثة تكون تأثيرات الطفو المستحثة حراريا غير كافية لتبريد الكثافة العالية من الأجزاء الالكترونية الدقيقة بالحمل الحر. لذلك نستخدم التقنيات الهندسية لتحسين انتقال الحرارة، مثل الجدران الحرارية (Heat sinks) حيث تستعمل لزيادة فعالية المساحة السطحية لنقل الحرارة من السطح الساخن إلى المحيط الخارجي، و تمتاز بانخفاض المقاومة الحرارية لها.

تم دراسة تأثير شكل الزعنفة على الأداء الحراري للسطح المزعنف، وحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية وزعانف وتدية. تم التوصل إلى أن التشتت (Dissipated) الحراري من السطوح المزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية اكبر مما هو علية في حالة السطوح المزعنفة بزعانف وتدية. حيث تكون المقاومة الحرارية في حالة السطوح المزعنفة بزعانف وتدية اكبر بمقدار (31%) من السطوح المزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية.

كذلك تم التوصل إلى معادلة تجريبية لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية وزعانف وتدية. تم مقارنة المعادلة التجريبية لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية مع بحوث سابقة وكان هناك تطابق جيد بينهما حيث كانت نسبة الخطأ (0.12%).

الكلمات الرئيسية: تاثير شكل الزعانف، سطوح مزعنفة، الحمل الحر، تَبريد الإلكترونياتِ

STUDY OF FINS SHAPES' EFFECT ON NATURAL THERMAL CONVECTION

Waleed Mohammad Abid
Engineering College
Anbar University

Abstract:

In many electric circuit boards thermally induced buoyancy effects are not always sufficient to adequately cool high density electronic packages found in modern circuit boards. Instances thermal enhancement techniques, such as heat sinks, must be used to increase the effective surface area for heat transfer so lower the thermal resistance between sources and sink.

Both vertical rectangular and pin finned surfaces were studied to show the shape effect and natural convection heat transfer coefficient. The thermal dissipated from vertical rectangular finned surfaces greater than pins finned surfaces. The overall thermal resistance of the pins finned surfaces greater (31%) compared with vertical rectangular finned surfaces.

An empirical equation was predicted to calculate average natural convection heat transfer coefficient from vertical rectangular and pin fins. The results show an excellent convince with the Literature review where the overall error was about (0.12%).

قائمة الرموز:

الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
As	المساحة السطحية (m^2)	Gr	عدد كراتشوف
b	المسافة بين زعنفتين (m)	N	عدد الزعانف
C_{net}	ثابت يعتمد على مساحة السطح و انبعاثية الأشعة المنعكسة من سطح إلى أخر.	Nu	عدد نسلت
D	قطر الزعنفة الوتدية (m)	P	محيط الزعنفة (m)
F	عامل الشكل	Pr	عدد براندتل
h	معدل معامل انتقال الحرارة بالحمل ($W/m^{2o}C$)	Q	كمية الحرارة المنتقلة (W)
H	طول الزعنفة (m)	Ra	عدد ريلاي
k	الموصلية الحرارية لمادة الزعنفة (W/mºC)	Ra^*	عدد ريلاي المطور (المحسن)
k_f	الموصلية الحرارية للمائع (W/mºC)	T	درجة الحرارة
m	ثابت يستخدم في حسابات كفاءة الزعنفة	t	سمك الزعنفة (m)
g	التعجيل الأرضي (m^2/s)	W	عرض الصفيحة المزعنفة (m)

الرموز ألاتينية

الرمز	المعنى
η	كفاءة الزعنفة
β	معامل التمدد ألحجمي (1/K)
ν	الزوجة الكينماتية (m^2/s)
σ	ثابت ستيفن–بولتزمان
ρ	الكثافة (kg/m^3)

الرموز ألدليليه السفلية

الرمز	المعنى
conv.	الحمل
rad.	الإشعاع
total	الكلي
s	السطحية
∞	المحيط

المقدمة

لتحسين معدل انتقال الحرارة بالحمل من أي جسم هناك طرق مختلفة منها بزيادة مساحة سطح التلامس مع المائع. يمكن زيادة سطح التلامس مع المائع بإضافة سطوح ممتدة (Extended surface) إلى السطح الساخن مكونة ما يدعى بالجدران الحرارية (Heat sinks). تدعى السطوح الممتدة بالزعانف (Fins) وتكون بأشكال وأنواع مختلفة مثل الزعانف الشاقولية (الطولية) (Vertical fins)، الزعانف الأفقية (Horizontal fins) أو الزعانف الوتدية (Pins). تستخدم تقنية السطوح الممتدة في الكثير من التطبيقات الهندسية كالمبادلات الحرارية، منظومات التبريد والتكييف و الأجهزة الكهربائية و الالكترونية المختلفة [1].

ناقشت الدراسات و البحوث السابقة في مجال انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مزعنف بطرق عملية (تجريبية) لكون الحلول النظرية و العددية تكون معقدة بعض الشيء حيث من الصعوبة نمذجة السطوح المزعنفة وحل معادلات الاستمرارية و الزخم و الطاقة [2].

من أهم المعادلات التجريبية المستخدمة لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح شاقولي مزعنف هي المعادلة التي توصل أليها الباحث (Elenbass) [3]:

$$Nu = \frac{1}{24} Ra^{*} \left[1 - e^{\left(\frac{-35}{Ra^{*}} \right)} \right]^{0.75} \qquad (1)$$

حيث (Ra^{*}) عدد ريلاي المطور (المحسن Modified).

قدم الباحثان (Van de pol and Tiemey) [4] علاقة تجريبية لعدد نسلت مقابل تغير رقم ريلاي للتبريد بالحمل الحر للزعانف الشاقولية المربوطة (المشدودة) بصفيحة مستوية ، مستندة على بيانات تجريبية سابقة (Welling and Wooldridge) [5] ضمن المدى ($0.6< Ra<100$).

ادى الباحثان (Jones and Smith) [6] دراسة مماثلة على مجموعة من الزعانف الافقية المستطيلة موجهة نحو الاعلى و الاسفل فيما يتعلق بمتجه الجاذبية. توصل الباحثان إلى علاقة تجريبية ضمن حدود ريلاي ($2\times10^{2}< Ra<6\times10^{5}$) بين رقم نسلت مقابل تغير رقم ريلاي لكلا الحالتين (الأعلى و الأسفل). طبق الباحثان (Garg and Velusamy) [7] حلول الطبقة المتاخمة (Boundary layer) على أساس معادلة بلاسيوس (Blasius equation) لحساب الشروط الحدية الغير منتظمة كشرط مزدوج في نموذجهم التكراري. النماذج المماثلة ليست متوفرة للتبريد بالحمل الحر أو المختلط. استخدم الباحثون (Culham et. al) [8] نموذج (META) كأداة لمحاكاة عرض انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مزعنفة بصورة شاقولية ضمن مدى واسع من رقم ريلاي ($10^{3}< Ra<10^{10}$) لغرض تحليل السلوك الحراري للدوائر الالكترونية حيث بينت النتائج توافق جيد بين النموذج المقترح (META) و النتائج العملية للباحث (Karagiozis) حيث كانت نسبة الخطأ بين النتائج (9%). كذلك توصل الباحثون (Yovanovichet et. al) [9] إلى علاقة لحساب معامل انتقال الحرارة

بالحمل الحر من سطح مزعنف بشكل شاقولي وكذلك من اسطوانة مزعنفة بزعانف حلقية الشكل، آخذا" بنظر الاعتبار منطقة الجريان الغير تام التشكيل (Developing) و منطقة الطبقة المتاخمة للمناطق الخارجية من السطح المزعنف.

يهدف البحث الحالي إلى دراسة تأثير شكل الزعنفة على الأداء الحراري للسطح المزعنف، وحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية وزعانف وتدية.

الجهاز المستخدم في الجانب العملي

تم استخدام جهاز انتقال الحرارة بالحمل المبين في **الشكل (١)** لعمل التجارب المختبرية العملية حيث يتكون الجهاز من مجرى مستطيل المقطع عمودي يستند على حامل حديدي مثبت على سطح مستوي، وسطوح مزعنف بزعانف وتديه اسطوانية وزعانف مستطيلة شاقولية متحركة، يمكن تركيبها في مجرى الهواء وإحكام تثبيتها بواسطة كلاب سريع التثبيت في جانب المجرى من الخارج، كل سطح مزعنف يحتوي على عنصر تسخين كهربائي (heater) مع حماية حرارية ضد التسخين المفرط (الزائد)، فعند الوصول إلى درجه الحرارة (100ºC) يقوم المتحسس بقطع التزويد بالطاقة وتراجعها عند هبوط درجه الحرارة إلى حوالي (85ºC). السطح المزعنف تحت الاختبار يمكن مشاهدته خلال فتحة مربعة الشكل في واجهه المجرى شفاف من ماده اكريليه. يمكن قياس درجه حرارة الهواء عند الدخول وعند الخروج من المجرى وكذلك درجه حرارة السطوح المزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية ووتديه من خلال مجس المزدوج الحراري (Thermocouple) وهو متصل مع مقياس رقمي للقراءة (Digital thermometer) مباشرة. كذلك يحتوي الجهاز على معدات السيطرة وتشتمل منظم قدرة للتحكم في ألقدره المزودة للسطح المزعنف تحت الاختبار والمقياس الرقمي لقيمتها. السطح المزعنف متصل بمعدات السيطرة عن طريق سلك وصله ألتغذيه. التزويد بالطاقة الرئيسية يتم بمصدر التيار الكهربائي في المختبر عن طريق سلك وصله التغذية المتصلة بنهاية معدات السيطرة.

طريقه أجراء التجارب العملية

تم تقسيم التجارب العملية إلى قسمين:

القسم الأول:

أجريت مجموعة تجارب عمليه باستخدام صفيحه مزعنفة (Finned Plate) (100mm×110mm) بزعانف مستطيلة شاقولية (Vertical fins) كما مبينه في **الشكل رقم (٢)** حيث ثبتت تسعه (٩) زعانف بشكل شاقولي إلى الصفيحة الشاقوليه المصنوعة من الألمنيوم (k=201W/mºC) بالإبعاد (L=100mm,

H=66.5mm, t=1.5mm). وتم تغيير ألقدره المجهزة بالمديات (W 18-1)، تم قياس درجه حرارة الجـــدار المزعنف (Ts) ودرجه حرارة الهواء الخارجي (T∞) عند جميع مديات ألقدره المجهزة.

تم حساب كميه الحرارة المنتقلة بالإشعاع كالأتي [2]:

$$Q_{rad.} = As\, F\, \sigma (Ts^4 - T\infty^4) \qquad (2)$$

حيث:

F: يمثل عامل الشكل للسطح المزعنف ويحسب من المعادلة التالية [9]:

$$F = \frac{2C_{net}}{H(b+2L)} \qquad (3)$$

حيث:

$C_{net.}$: ثابت يعتمد على مساحة السطح وانبعاثية الأشعة المنعكسة من سطح إلى آخر.

كذلك يمكن حساب رقم ريلاي (Ra) كالأتي [1]:

$$Ra_b = Gr\,\Pr = \frac{g\,\beta\,(Ts - T\infty)\,b^3}{\nu^2}\Pr \qquad (4)$$

حيث: (b) هو المسافة المحصورة بين زعنفتين(b=10mm). يتم حساب رقم ريلاي المطور(Ra* Modify Rayliegh Number) في حالة السطوح المزعنفة كلاتي[9]:

$$Ra^* = Ra_b\left(\frac{b}{L}\right) \qquad (5)$$

حيث :

(b/L)هو النسبة بين المسافة المحصورة بين زعنفتين إلى طول الزعنفة.(b/L=0.1).

يتم حساب رقم نسلت للسطح المزعنف كما يلي:

$$Nu_b = \frac{b\; Q_{conv.}}{k_f\; As\,(Ts - T\infty)} \qquad (6)$$

حيث:

As: المساحه السطحية للسطح المزعنف (***As=2LH(N-1)***).

N: عدد الزعانف (N=9) للسطح المزعنف.

كفاءة الزعنفة تأخذ كعامل مؤثر في حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل للسطح المزعنـــف وتحـــسب كلاتي [1]:

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh\sqrt{2Nu_b \frac{k_f}{k}\frac{H}{b}\frac{H}{t}(\frac{t}{L}+1)}}{\sqrt{2Nu_b \frac{k_f}{k}\frac{H}{b}\frac{H}{t}(\frac{t}{L}+1)}} \quad (7)$$

$$Nu_b^* = \eta_{fin}\, Nu_b \quad (8)$$

حيث: Nu_b^* رقم نسلت بعد اخذ تأثير كفاءة الزعنفة.

$$Q_{total} = Q_{rad.} + Q_{conv.} \quad (9)$$

القسم الثاني:

أجريت عدة تجارب عمليه باستخدام صفيحه مزعنفة بزعانف وتدية اسطوانية (Pins plat) (100mm×110mm) كما مبينه في الشكل رقم (٣) حيث ثبتت سبعة عشر (١٧) زعنفة وتدية اسطوانية مصنوعة من الألمنيوم بالإبعاد (D=13 mm, H=67 mm) مرتبة بشكل متخالف (Staggered) تم تغيير ألقدره المجهزة كما يلي (1- 18 W) وبالتالي تتغير درجه حرارة ألصفيحه المستوية. يتم حساب درجه حرارة ألصفيحه المزعنفة (Ts) باستخدام مقياس درجه حرارة رقمي(digital thermometer) ودرجه حرارة المحيط (T∞). بعد قراءه درجه حرارة ألصفيحه المزعنفة ودرجه حرارة المحيط والقدرة المجهزة يتم حساب مايلي:

$$Q_{rad.} = As\,\sigma\, F\,(Ts^4 - T\infty^4) \quad (10)$$

كذلك يتم حساب رقم ريلاي (Ra)

$$Ra_D = Gr.Pr = \frac{g\,\beta\,(Ts - T\infty)\,D^3}{\nu^2}\,Pr \quad (11)$$

حيث :

أخذت خواص الهواء عند درجه الحرارة الغشائية $(Tf = (Ts+T\infty)/2)$ وكذلك رقم براندتل (Pr).

يتم حساب رقم نسلت (Nu_D) كالآتي:

$$Nu_D = \frac{Q_{conv.}\,D}{As\,(Ts - T\infty)\,k_f} \quad (12)$$

حيث:

As: المساحة السطحية للسطح المزعنف وتحسب كلاتي: $As = \left(WL - (N\frac{\pi}{2}D^2)\right) + N\pi DL$

كفاءة الزعنفة تحسب كلاتي على فرض أن الزعنفة الوتدية ذات طول محدد ومعزولة من النهاية [1].

$$\eta = \frac{tanh(mH)}{mH} \qquad (13)$$

حيث :

$$m = \sqrt{\frac{4Nu_D}{D^2}\frac{k_f}{k}} \qquad (14)$$

$$Q_{total} = Q_{rad.} + Q_{conv.} \qquad (15)$$

مناقشة النتائج

الشكل (٤) يبين تغير الفرق في درجات الحرارة للصفائح المزعنفة بزعانف وتدية وزعانف مستطيلة شاقولية مع القدرة المجهزة. حيث نلاحظ من الشكل أعلاه أن الفرق في درجات الحرارة للصفيحة المزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية يكون اقل من الفرق في درجات الحرارة للصفيحة المزعنفة بزعانف وتدية. و السبب يعود إلى المقاومة الحرارية لكلا السطحين المزعنفين حيث:

$$\frac{\Delta T}{Q_{conv.}} = \frac{1}{hAs} = R_{th} \qquad (16)$$

تكون المقاومة الحرارية في حالة الزعانف المستطيلة الشاقولية اقل بمقدار (31%) من المقاومة الحرارية للزعانف الوتدية عندما تكون المساحة السطحية متساوية في كلا السطحين المزعنفين. كذلك نلاحظ من **الشكل (٤)** أن الفرق في درجات الحرارة يزداد بزيادة كمية الحرارة (القدرة المجهزة) في كلا السطحين المزعنفين. حيث كان اقل فرق في درجات الحرارة بين السطحين المزعنفين (0.7ºC) عند قدرة مجهزة مقدارها (1W) واكبر فرق في درجات الحرارة بين السطحين المزعنفين (6.2ºC) عند قدرة مجهزة مقدارها (18W).

الشكل (٥) يبين العلاقة بين عدد نسلت وعدد ريلاي العملية لصفيحة مزعنفة بزعانف وتدية، نلاحظ من الشكل أن عدد نسلت يزداد بزيادة عدد ريلاي. تم التوصل إلى معادلة تجريبية لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مزعنف بزعانف وتدية باستخدام البرنامج (Statistics V5.5) حيث كان شكل العلاقة:

$$Nu_D = 0.008\, Ra_D^{0.75} \qquad (17)$$

و (R^2= 95%) للمعادلة ونسبة الخطأ بين المعادلة و القيم العملية هي (0.18%) . أما **الشكل (٦)** يبين العلاقة بين عدد نسلت وعدد ريلاي العملية لصفيحة مزعنفة بزعانف مستطيلة شاقولية. حيث نلاحظ من الشكل أن عدد نسلت يزداد بزيادة عدد ريلاي. تم التوصل إلى معادلة تجريبية لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مزعنف بزعانف مستطيلة شاقولية باستخدام البرنامج (Statistics V5.5) حيث كان شكل العلاقة:

$$Nu_b = 0.045\left(Ra_b^*\right)^{0.75} \qquad (18)$$

و (R^2=98%) للمعادلة ونسبة الخطأ بين المعادلة والقيم العملية هي (0.08%)

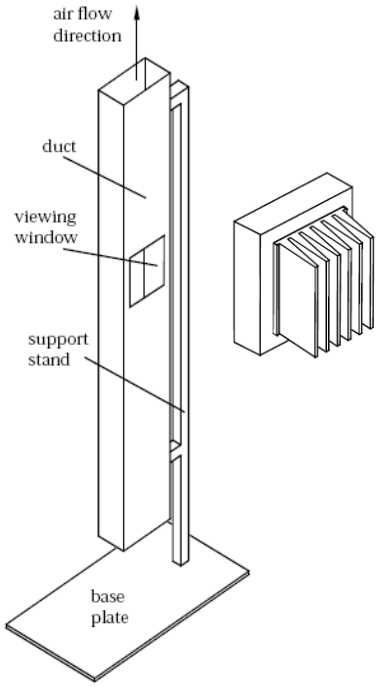
الشكل (٧) يبين العلاقة بين عدد نسلت وعدد ريلاي لصفيحة بزعانف مستطيلة شاقولية. الشكل يبين مقارنة بين القيم العملية والمعادلة التجريبية التي تم التوصل إليها من القيم العملية ولكن بصيغه مشابهة لمعادلة الباحث (Elenbass) [3] التالية:

$$Nu = \frac{1}{24} Ra^{*} \left[1 - e^{\left(\frac{-37.3}{Ra^{*}} \right)} \right]^{0.75} \qquad (19)$$

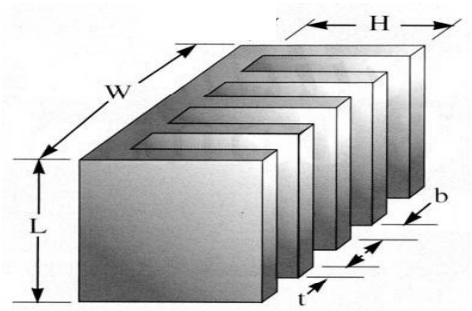
حيث كانت نسبة الخطأ بين القيم العملية و المعادلة أعلاه هي (0.31%) ونسبة الخطأ بين المعادلة التي تم التوصل إليها في **الشكل (٦)** و المعادلة أعلاه هي (0.12%).

المصادر:

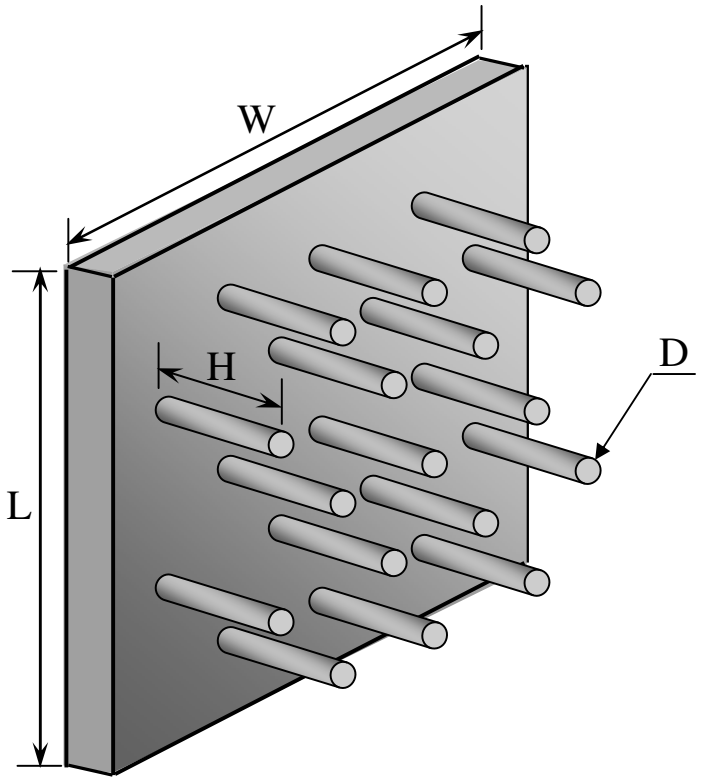
1. Cengel Y. A. *'HEAT TRANSFER A PRACTICAL APPROACH'* McGraw-Hill, Int. 2001.
2. Lienhard IV J. H. and Lienhard V J. H. *'A HEAT TRANSFER TEXTBOOK'* Third ed. Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2006.
3. Elenbass W. *'HEAT DISSIPATION OF PARALLEL PLATES BY FREE CONVECTION'* Physical, Vol. 9, No.1,1942.
4. Van de pol D. W. and Tiemey J. K. *' FREE CONVECTION NUSSELT NUMBER FOR VERTICAL U-SHAPED CHAMELS'* J. of Heat Transfer, Vol. 95, 1973.
5. Welling J. R. and Wooldridge C. B. *' FREE CONVECTION HEAT TRANSFER COEFFICIENTS FROM RECTANGULAR VERTICAL FINS'* J. of Heat Transfer, Vol. 87, 1965.
6. Jones C. D. and Smith L.F. *'OPTIMUM ARRANGEMENT OF RECTANGULAR FINS ON HORIZONTAL SURFACES FOR FREE CONVECTION HEAT TRANSFER'* J. of Heat Transfer, Vol. 92, 1970.
7. Garg V. K. and Velusamy K. *' HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS FOR A PLATE FIN '* J. of Heat Transfer, Vol. 108, 1986.
8. Culham J. R. , Yovanovich M. M. and Lee S. *'THERMAL MODELLING OF ISOTHERMAL CUBOIDS AND RECTANGULAR HEAT SINKS COOLED BY NATURAL CONVECTION'* IEEE Transaction on components, Packaging, and Manufacturing Technology-part A, Vol. 18, 1995.
9. Yovanovich M. M., Teertstra P., and Culham J. R. *' NATURAL CONVECTION MODELLING OF HEAT TRANSFER SINKS USING WEB-BASED TOOLS.* www.electronics-coollingcom/html/2000-sep-a4.html,2004.



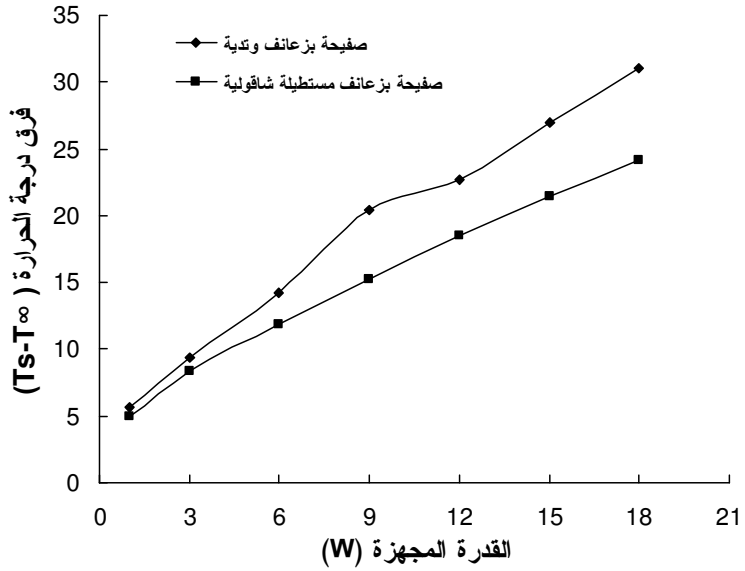
الشكل (١) جهاز انتقال الحرارة بالحمل الحر.



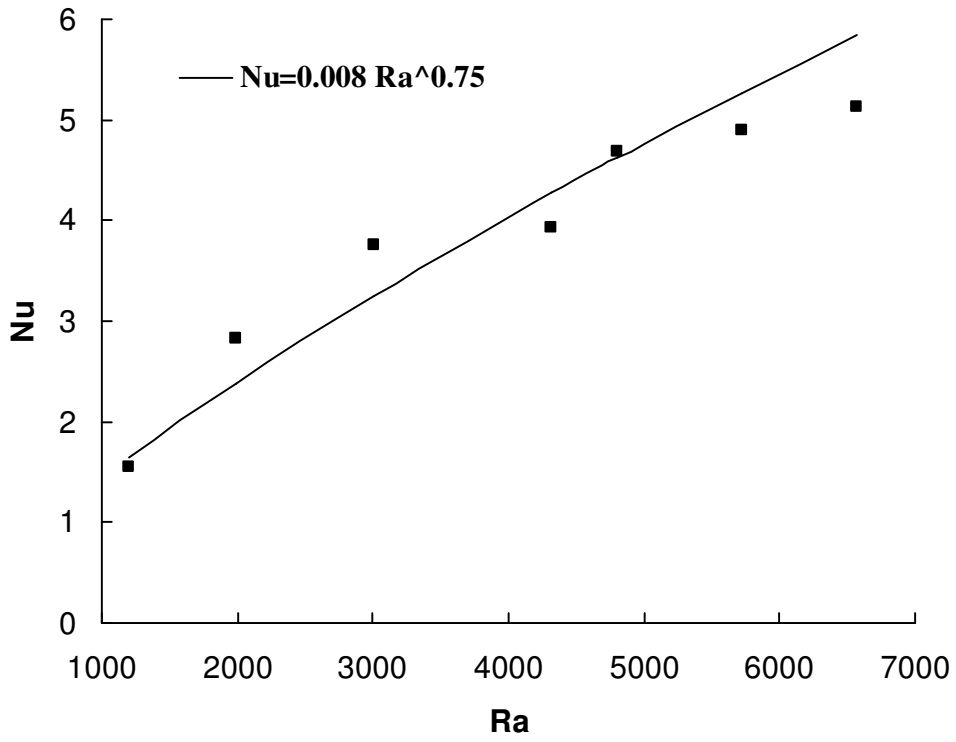
الشكل (٢) أبعاد السطح المزعنف بزعانف مستطيلة شاقولية.



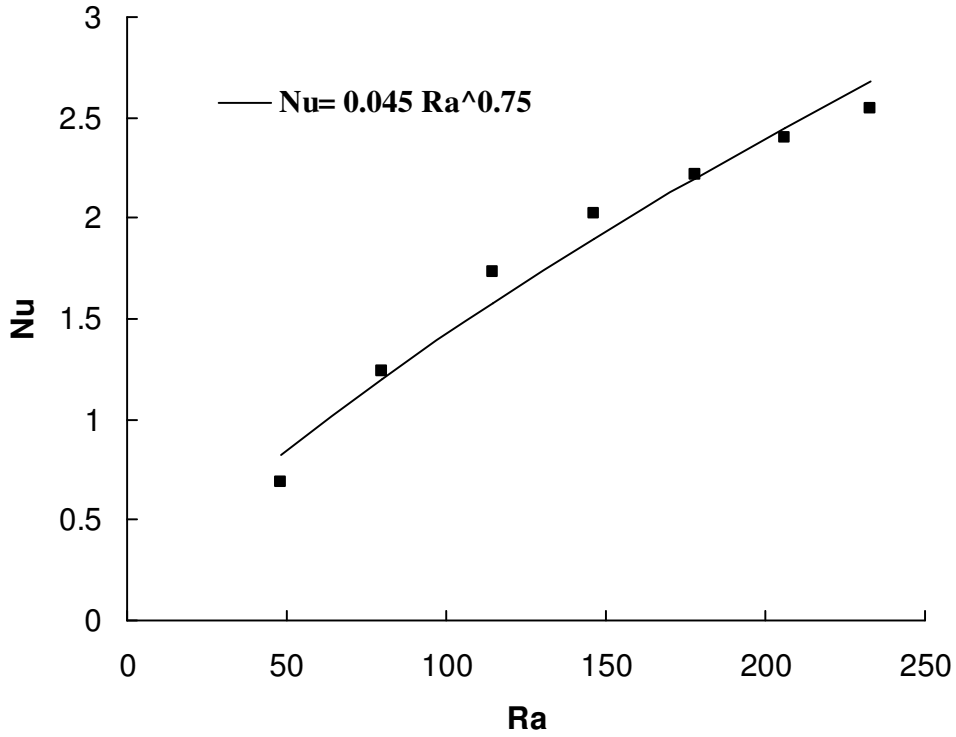
الشكل (٣) أبعاد السطح المزعنف بزعانف وتدية.



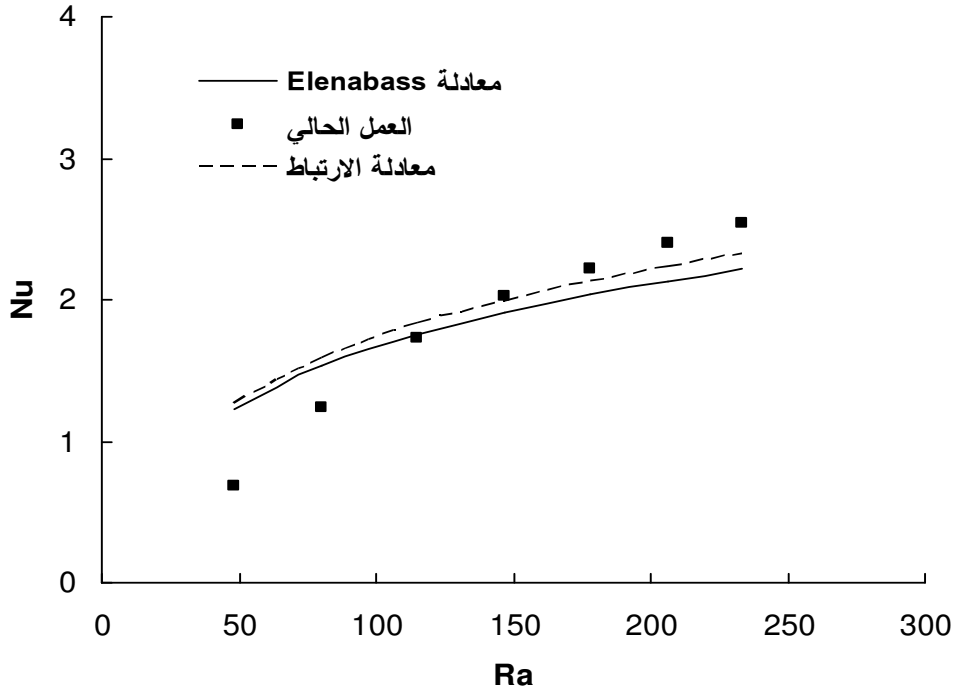
الشكل (٤) يبين تغير الفرق في درجات الحرارة للصفيحة المزعنفة مع القدرة المجهزة.



الشكل (5) يبين العلاقة بين عدد نسلت وعدد ريلاي لصفيحة بزعانف وتدية.



الشكل (٦) يبين العلاقة بين عدد نسلت وعدد ريلاي لصفيحة بزعانف مستطيلة شاقولية.



الشكل (٧) مقارنة العلاقة بين عدد نسلت وعدد ريلاي لصفيحة بزعانف مستطيلة شاقولية.