P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703
2007 ,(1), (2) :123-133

(JUAPS) مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة

Open Access

دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مجوف أفقي، مائل، وعامودي مربع الشكل بثبات الفيض الحراري

سعد محمد جليل

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة الأنبار

معلومات البحث:

تاريخ التسليم: ٢٠٠٦/٧/٢٠
تاريخ القبول: ٢٠٠٧/٣/١
تاريخ النشر: ١٤/ ٠٦ / ٢٠١٢

DOI:10.37652/juaps.2007.15532

الكلمات المفتاحية:

انتقال الحرارة ،
حمل حر ،
سطح مجوف ،
أفقي ،
مائل ،
عامودي مربع ،
ثبات الفيض الحراري.

الخلاصة:

أجريت دراسة عملية لبيان تأثير التجويف وزاوية الميل على قابلية سطح مربع الشكل على تبديد الحرارة بالحمل الحر.أقيم لهذا الغرض منشأ تجريبي مؤلف أساسا من صفيحة مربعة الشكل من معدن الألمنيوم النقي ذات تجويف مركزي بنسبة (٠,٢٥) من المساحة الكلية مسخنة بفيض حراري ثابت.إن الاختبار قد شمل زوايا الميل (0o,15o, 30o, 45o, 60o,75o, 90o) ولمدى عدد رالي تراوح بين (١٥١٥٥٠ إلى ١٦١٦٠٠٠).بينت الدراسة إن قابلية السطح على تبديد الحرارة المتمثلة بعدد نسلت هي دالة لعدد رالي معتمدة على وجود التجويف وزاوية الميل. حيث إن وجود التجويف زاد من قيمة متوسط عدد نسلت وبنسبة وصلت إلى(39%) في الحالة الأفقية. وهذه القابلية تتغير مع زاوية الميل وبلغت أقصى قيمة لها (48%) عند الزاوية (75o)، وبنسبة (22%) لمعدل زوايا الميل المدروسة بمقارنتها مع الحالة الأفقية للسطح المجوف و(٥٩%) مع السطوح المائلة الغير مجوفة.

المقدمة

إن عملية تبديد الحرارة من السطوح المستوية لها أهمية كبيرة في التطبيقات الهندسية (Engineering Application) والتطبيقات الصناعية (Industrial Application) حيث إنه مرتبط بتصميم الأجهزة الالكترونية ارتباطا وثيقا وكذلك في عملية تبريد المحولات فضلا عن كونه عملية تبادل حراري بين سطح صلب ومائع مماس له.لهذا حضيت السطوح المستوية بجهد وافر من البحث النظري والتجريبي لتخمين قابليتها على تبديد الحرارة ولكافة أنواع الجريان [1-11].

إن انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح (المربعة، الدائرية، المستطيلة) الأفقية والمائلة هو الأخر حضي بجهد واسع ومكثف لاستخراج علاقة مابين معامل انتقال الحرارة وعدد كراشوف و لمديات واسعة من عدد رالي.إن هذه الجهود العملية والنظرية كانت كافية لفهم طبيعة الجريان وانتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح الغير مجوفة الأفقية والمائلة وكانت حصيلتها استخراج علاقات اسية تربط مابين معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطح الأفقي أو المائل وعدد كراشوف أو عدد رالي،وان الصيغة التالية[12] :

$$Nu=C(Ra)n \quad \ldots\ldots\ldots \quad ١$$

حيث ان:

Nu : عدد نسلت

Ra: عدد رالي

C,n: ثوابت

* Corresponding author at: Department of Mechanical Engineering - College of Engineering - University of Anbar;
E-mail address: **saadm_79@yahoo.com**

وهي من أكثر الصيغ ملائمة لانتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح المسخنة وبمختلف الأشكال والأوضاع ولمديات واسعة من عدد رالي.

ومن الملاحظ إن الدراسات السابقة سواء كانت عملية أو نظرية اكتفت أما بدراسة تأثير الميل على انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح الغير مجوفة [2-5] أو دراسة تأثير التجويف على انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح الأفقية[7-9] حيث لوحظ من الدراسات [7-9] إن التجويف يزيد من معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر مقارنة مع السطح الغير مجوف وذلك بالاعتماد على شكل السطح ونسبة التجويف وفي الجانب الأخر نلاحظ من الدراسات [2-5] زيادة في معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطح المائل بمقارنته مع السطح الأفقي وذلك بالاعتماد على شكل الجسم وزاوية الميل.

وحيث إن تأثير الميل على السطوح الغير مجوفة قد تم التطرق عليه في العديد من الدراسات[2-5] وبيان ما له من أهمية في التطبيقات الهندسية والصناعية، وكذلك الأهمية التي لاقاها السطح المجوف الأفقي قد دفع باتجاه إجراء هذا البحث لبيان مدى تأثير كل من التجويف المركزي وزاوية الميل على قابلية السطح على تبديد الحرارة بثبوت الفيض الحراري وقد اختير لهذا الغرض سطح مربع الشكل ذو تجويف مركزي مثبت بزوايا ميل مختلفة.

المنشأ التجريبي

الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي المستخدم مبين في الشكل(١).

يتألف المنشأ التجريبي أساسا من سطح تبادل حراري من الألمنيوم يمتلك معامل شكل مقداره (١) وانبعاثية حرارية (٠,٠٤)، مربع الشكل وبأبعاد(96mmX96mm) وبسمك (9.6mm) مع تجويف مركزي مربع الشكل بأبعاد (24mmx24mm) أي بنسبة(٠,٢٥) من المساحة الكلية كما في الشكل(٢أ).

تم صقل السطح صقلا جيدا من اجل الحصول على سطح ناعم وذلك باستخدام ورق تنعيم يتراوح مداه مابين (320-1200) درجة وكذلك باستخدام جهاز التنعيم الميكانيكي وصقله باستخدام معجون اوكسيد الحديد(Fe3O4) ،وتم تثقيب السطح بثمانية ثقوب بقطر(2mm) وبعمق غير نافذ مقداره (8.8mm) بواقع ثلاثة ثقوب في كل ضلع كما في الشكل(٢ب).ولأجل قياس درجات حرارة السطح تم استخدام مزدوجات حرارية من نوع(T) وهي عبارة عن سلكين من معدنيين مختلفين (Copper-Constantan) وذلك بعد معايرتها وتم تثبيتها داخل الثقوب المخصصة لها باستخدام مادة لاصقة تتحمل درجات حرارية عالية.(Super Glue)

إن الوسيلة المستخدمة في عملية تسخين سطح التبادل الحراري تتمثل بشرائط رقيقة مصنوعة من النيكروم (سبيكة من النيكل والكروم) عرضها(1.28mm) وسمكها(0.07mm) تثبت طوليا على طبقة من المايكا(Mica) سمكها (0.5mm) وبمعدل مسافة فاصلة مقدارها(1mm) ثم يغطى بطبقة أخرى من المايكا وذلك لغرض العزل الكهربائي،ويثبت المسخن على السطح باستخدام (Super Glue).

استخدم صوف زجاجي ذا موصلية حرارية (0.05W/m.oC) وبسمك (4cm) والفلين ذا الموصلية الحرارية (0.024W/m.oC) وبسمك(3cm) لعزل الوجه السفلي لسطح التبادل الحراري والمسخن معاً، ووضع مزدوجين حراريين في أسفل مادة الفلين وذلك لتحديد الحرارة المنتقلة عموديا إلى الأسفل من السطح، كما أحيط المسخن والصوف الزجاجي والفلين بإطار خشبي سمكه(2.3mm) وذلك لضمان العزل الكهربائي. ولضمان جريان متوازي (Parallel Flow) عند حافات النموذج تم إحاطة سطح التبادل الحراري عند الحافات بلوح خشبي مربع الشكل بإبعاد (360mmX360mm) وبسمك (4mm) كسطح ممتد وتم عزله عن سطح التبادل الحراري باستخدام مادة التفلون(Teflon) ذات موصلية حرارية مقدارها (0.36W/m.oC) وعزلها عنه بمادة السليكون المطاطي والشكل (٣) يوضح طريقة العزل والسطح الممتد.

من اجل توفير المناخ المناسب لإجراء التجارب العملية وتقليل تأثير العوامل الخارجية على سطح التبادل الحراري أحيط الجهاز المختبري بحيز مغلق من جدران خشبية بأبعاد (220cmX160cmX200cm) بغية توفير حالة الاستقرار وتقليل تأثير التيارات الهوائية والحفاظ على درجة حرارة الحيز ثابتة، كما أحيط سطح التبادل الحراري بحيز مغلق من مادة النايلون وبأبعاد (70cmX70cmX130cm) وذلك بعد سحب أسلاك تجهيز القدرة الكهربائية للمسخن والمزدوجات الحرارية خارج الحيز وذلك لتامين ظروف اختبار مثالية لانتقال الحرارة بالحمل الحر وذلك بمنع حدوث أي تيارات هوائية وكذلك ضمان عدم تذبذب درجة حرارة المحيط الذي لم يبلغ أكثر من(±١oC) وبمختلف ظروف القراءات، حيث أخذت القراءات في الأشهر الثلاثة الأولى من السنة والتي تكون عندها درجات الحرارة في الغرف المغلقة ثابتة تقريبا وعند درجة حرارة (27oC).

جهز المسخن بتيار متناوب بواسطة محولة كهربائية ذات مدى من (٠-٢٢٠) فولت مربوطة إلى مثبت فولتية نوع (VOLTAC) استخدم مقياس رقمي متعدد الأغراض نوع (Philips-PM2521) لقياس كل من الفولتية والتيار المجهزان للمسخن وبدقة تصل إلى(٠,٠١) ملي فولت و(٠,٠٠١) ملي أمبير.

كذلك استخدم نفس الجهاز لقياس درجات حرارة سطح التبادل الحراري بقياس الفولتية المتولدة في المزدوجات الحرارية وبدقة تصل إلى(٠,٢٥) درجة مئوية.

طريقة الاختبار والنتائج

إن الغرض الرئيسي من الاختبار هو بيان مدى تأثير التجويف على معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مائل ومقارنتها مع نتائج الحالة الأفقية لنفس السطح وكذلك باقي الدراسات الأفقية والمائلة -1] 11]. لذلك اختير أولا انتقال الحرارة من السطح المجوف في الحالة الأفقية وبصورة حرة من الأسفل والأعلى أما الجانبين فيتم من خلالهما تثبيت السطح عند الزاوية المطلوبة بواسطة فكي تثبيت يوفران آلية حركة زاوية تسمح بتثبيت السطح عند زوايا الميل المدروسة (0o,15o, 30o, 45o, 60o,75o, 90o).

تم تجهيز السطح بقدرة كهربائية ثابتة بواسطة المحولة الكهربائية المتغيرة الجهد والتي تكون مربوطة على التوالي مع مثبت الفولتية، ترك السطح مدة كافية لحين وصوله إلى حالة الاستقرار والتي تراوحت مابين (٢-٤) ساعات معتمدة على القدرة المجهزة للمسخن وزاوية الميل.بعد الوصول إلى حالة الاستقرار تؤخذ قراءات المزدوجات الحرارية و الفولتية والتيار المجهزين للمسخن ودرجة حرارة المحيط، ثم تكرر طريقة الاختبار هذه لقدرة مجهزة أخرى ولجميع زوايا الميل المتمثلة بالزوايا (0o,15o, 30o, 45o, 60o,75o, 90o).

لغرض بيان تأثير التجويف على معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطح المائل وإيجاد علاقة متوسط عدد نسلت مع عدد رالي، تم اختزال البيانات التجريبية التي توفرت لدينا من القراءات وحصرها بمتوسط عدد نسلت ورالي وذلك بأجراء العمليات الحسابية التالية:

إن القدرة المجهزة للمسخن يمكن حسابها من قراءتي الفولتية والتيار المجهزين أي إن[9]:

$$I.P=V.I \quad \ldots\ldots\ldots 2$$

حيث ان:

I.P:القدرة المجهزة (W)

V:فرقد الجهد الكهربائي (volt)

I:التيار الكهربائي (Amp.)

ومن خلال إجراء موازنة للطاقة الحرارية المتولدة والمفقودة :

$$I.p=QConv.+Qcond.+Qrad.\ldots 3$$

حيث ان:

QConv: الحرارة المنتقلة بالحمل (W)

Qcond: الحرارة المنتقلة بالتوصيل (W)

Qrad : الحرارة المنتقلة بالإشعاع (W)

ومن خلال حساب كمية الحرارة المتولدة بالإشعاع والتوصيل سيتم حساب الحرارة المتولدة بالحمل.وتم حساب كمية الحرارة المتولدة بالإشعاع من المعادلة التالية[12]

Qrad=Fsur.ε.σ.As.(Ts4-Ta4) ... 4

حيث ان:

Fsur:معامل الشكل ومقداره (١)

ε:انبعاثية السطح (0.04)

σ:ثابت ستيفان بولتزمن ويساوي(5.677x10-8) (W/m2.K4)

As:المساحة السطحية (As=0.75At) (m2)

Ts :درجة حرارة السطح (oC)

T∞: درجة حرارة الهواء المحيط (oC)

At:المساحة الكلية للسطح

أما الحرارة المتولدة بالتوصيل فحسبت من المعادلة التالية[13]

$$Q_{Cond.} = \frac{(T_s - T_x)}{R_{ins}} \quad \ldots\ldots 5$$

حيث ان:

Tx:درجة حرارة السطح العازل (oC)

Rins:المقاومة الحرارية للعازل (m2. oC/W)

$$R_{ins} = \left[\frac{L_{ins1}}{K_{ins1}} + \frac{L_{ins2}}{K_{ins2}}\right]\frac{1}{A_s} \quad \ldots\ldots 6$$

حيث ان:

Lins1, Lins2:سمك العوازل (الصوف الزجاجي،والفلين)

Kins1, Kins2:الموصلية الحرارية للعوازل

ومن خلال المعادلة (٣)

$$Q_{Conv.} = I.p-(Q_{cond.} + Q_{rad}) \quad \ldots.7$$

ويمكن حساب متوسط معامل انتقال الحرارة (h) كالأتي:

$$Q_{conv.} = \bar{h}.A_s.(T_s - T_\infty) \quad \ldots\ldots 8$$

$$\bar{h} = \frac{Q_{conv.}}{A_s.(T_s - T\infty)} \quad \ldots\ldots 9$$

أما احتساب متوسط عدد نسلت(Nu) لانتقال الحرارة فيتم من خلال الاعتماد على الفرق بين الطول الخارجي والداخلي (Lo-Li) للسطح المستخدم كطول مميز[6]

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}.(Lo - Li)}{K_f} \quad \ldots\ldots\ldots 10$$

إن خواص الهواء قد أخذت عند درجة حرارة الطبقة الغشائية (T_f),وبالاعتماد على الجداول الموجودة في المصدر[12] وحسب المعادلة التالية[7]

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad \ldots\ldots\ldots 11$$

أما عدد رالي فقد تم حسابه لجميع الزوايا كالأتي[2]

$$Ra = \frac{g\ .\beta.(T_s - T_\infty).(Lo - Li)^3}{\upsilon.\alpha} \quad \dots 12$$

حيث ان:

g:مركبة التعجيل الافقية

α:الانتشارية الحرارية (m^2/s)

β:معامل التمدد الحجمي $(1/K)$

ν:اللزوجة الكينماتيكية (m^2/s)

حيث تم اعتماد مركبة التعجيل الأفقية في حساب عدد رالي لزوايا الميل($15^o, 30^o, 45^o, 60^o, 75^o$) .

ومن المعادلتين (12,١٠) أصبحت البيانات دالة لمتغيرين فقط هما متوسط عدد نسلت وعدد رالي ولزوايا الميل ($0^o, 15^o, 30^o, 45^o, 60^o, 75^o, 90^o$) وباستخدام البرنامجالإحصائي (STATISTICS) تم الحصول على قيم الثوابت (C,n) التي تحكم العلاقة بين متوسط عدد نسلت وعدد رالي وكما هو موضح في الجدول رقم (١).

النتائج والمناقشة

إن النتائج العملية التي تم الحصول عليها من خلال القراءات تم اختزالها إلى متغيرين فقط هما عدد رالي وعدد نسلت. وحيث إن الدراسة تعنى بالخصوص بدراسة تأثير التجويف على انتقال الحرارة بالحمل فكان لابد من أجراء القياسات على السطح المجوف في الحالة الأفقية ومن خلال النتائج العملية تم التوصل إلى المعادلة التي تحكم انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطح المجوف في الحالة الأفقية والتي كانت كالأتي: $\overline{Nu} = 0.773 Ra^{0.2355}$ والتي تم تمثيلها بالشكل (٤) ومنه نلاحظ زيادة في متوسط عدد نسلت مع زيادة عدد رالي .

الشكل(٥) يبين مقارنة لمعدل الزيادة في عدد نسلت للحالة الأفقية للبحث الحالي مع كل من نتائج الدراسات [7-9] حيث نلاحظ إن نتائج البحث الحالي تسلك نفس السلوك للدراسات المذكورة مع اختلاف نسبة الزيادة في عدد نسلت.إن سبب الزيادة في معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر بصورة عامة يعود إلى وجود التجويف، الشكل الهندسي، طريقة التسخين ونوع المعدن.

حيث نلاحظ من الشكل(٥) إن معدل الزيادة في متوسط عدد نسلت عن الدراسة [7] بلغت (45%) وعن الدراسة [8]هو(39%) وهما اكبر من معدل الزيادة عن الدراسة[9] الذي يبلغ (20%) والسبب في ذلك هو إن البحث الحالي استخدم سطح مجوف أما الدراسات [7-9] فقد استخدمت أسطح غير مجوفة بالإضافة إلى كون البحث الحالي أجرى التجارب العملية بثبوت القبض الحراري في حين البحث [7-9] تم عند ثبوت درجة الحرارة وان هذا يدل على إن التجويف يزيد من معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر وذلك بالاعتماد على عدد رالي ونسبة التجويف.وان الأسباب الرئيسية لهذه الزيادة يعزى إلى امتلاء التجويف المركزي بالهواء الساخن والذي يولد تيار سحب يزيد من معدل التبادل الحراري بين طبقات الهواء القريبة من السطح الساخن.وحيث إن منطقة الجريان الطباقي تتميز على السطوح المستوية بمنطقتين هما الطبقة المتاخمة الحرارية (Thermal Boundary Layer) الواقعة قرب حافة السطح والتي يكون معدل الفقدان الحراري عندها أعلى من المنطقة الثانية المتمثلة بمنطقة الانفصال حول خط المركز (Center Line) والتي تتمركز عندها الطبقة الساخنة من الهواء مولدة إعاقة للتبادل الحراري بين طبقات الهواء. لكن بوجود التجويف سيتم التخلص من منطقة الانفصال وكذلك زيادة الحافات الخارجية وكلاهما يزيدان من معدل التبادل الحراري.

الشكل (٦) يوضح النتائج العملية للسطح المجوف عند زوايا الميل (90^o ,75^o,60^o ,45^o ,30^o ,15^o) حيث تم تمثيل النتائج برسم لوغاريتمي من خلال المعادلة(١) التي تحكم كل زاوية والتي تم الحصول على ثوابتها من خلال البرنامج الإحصائي (STATISTICS) والجدول (١) يبين قيم (C,n) لكافة زوايا الميل. ونلاحظ من الشكل إن متوسط عدد نسلت يزداد مع عدد رالي وبنسب تختلف من زاوية إلى أخرى، حيث نلاحظ من الشكل إن أعلى معدل للزيادة في متوسط عدد نسلت يكون عند الزاوية (75^o) وبلغت(48%) من قيمته عند الحالة الأفقية. إن سبب الاختلاف في نسبة الزيادة يعود إلى الاختلاف الحاصل في انحراف الطبقة المتاخمة وزحفها باتجاه الأعلى بتأثير قوة الطفو المتولدة وكذلك وجود التجويف الذي يتضح من الشكل إن تأثيره يتغير من زاوية إلى أخرى لكن نلاحظ انه لا يوجد تأثير سلبي للتجويف على السطوح المائلة.

ومن اجل مقارنة النتائج العملية للبحث الحالي مع نتائج البحوث السابقة [2-4] فقد تم الحصول على معادلة عامة

لمتوسط عدد نسلت مع عدد رالي لجميع زوايا الميل (15º, 30º, 45º, 60º,75º, 90º) وبالصيغة المشابهة للصيغ التي توصلت إليها البحوث [2-4] كما هو موضح بالشكل (٧) وقد سعينا إن تكون الصيغة التي يتم استخراجها بواسطة البرنامج الإحصائي ذات قيمة للثابت (n) مساوية للحالة الأفقية وكانت الصيغة كالأتي $\overline{Nu} = 0.9424\, Ra^{0.2355}$.

الشكل (٨) يوضح مقارنة لنتائج البحث الحالي في الحالة الأفقية والمائلة ونلاحظ من الشكل تأثير الميل على انتقال الحرارة بالحمل الحر والذي يتمثل بالزيادة الحاصلة في متوسط عدد نسلت والتي كانت (22%) عن الحالة الأفقية للسطح ذاته.وان سبب الزيادة هذه يعود إلى زيادة معدل التبريد للسطح نتيجة لزيادة قوة الطفو التي تحاول دفع طبقات الهواء المستخدم كمائع للتبريد إلى الأعلى بالإضافة إلى قوة السحب المؤثرة على الطبقة المتاخمة الحرارية والتي تتولد بسبب تيار الهواء الساخن الذي يندفع من التجويف مما يزيد من معدل التبادل الحراري بين السطح والمائع الملامس له.

الشكل (٩) يبين مقارنة بين نتائج البحث الحالي مع نتائج بحوث سابقة استخدمت سطوح مائلة غير مجوفة ولمعادن مختلفة حيث يبين الشكل إن نسبة الزيادة متفاوتة، حيث كانت نسبة الزيادة في متوسط عدد نسلت بصورة عامة تقريبا (70%) وهذا يبين تأثير كل من التجويف وزاوية الميل وكذلك طريقة تسخين السطح.

الاستنتاجات

إن الدراسة تعطي تصورا كاملا عن تأثير التجويف وزاوية الميل على انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مربع الشكل ذا تجويف مركزي بنسبة (0.25) من المساحة الكلية وبحالته الأفقية والمائلة والعمودية.ويمكن تلخيص هذا التأثير كالأتي:

١.إن التجويف زاد من معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر في الحالة الأفقية وبثبوت الفيض الحراري بنسبة زيادة في متوسط عدد نسلت بلغت (45%) مقارنة بالدراسة [7] .

٢.إن أقصى زيادة في قيمة متوسط عدد نسلت من السطح كانت عند الزاوية (75º) وبلغت (48%) من قيمته عند الحالة الأفقية و (11.5%)عن الحالة العمودية.

٣. إن الميل زاد من معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر وبمختلف زواياه حيث بلغ معدل الزيادة في متوسط عدد نسلت في الحالة المائلة (22%) عن الحالة الأفقية ولمدى عدد رالي بين (١٥١٥٥٠ إلى ١٦١٦٠٠٠).

٤.إن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطح المربع الشكل عند ثبوت الفيض الحراري أعلى منه عند ثبوت درجة الحرارة مقارنة بالدراسة[7].

٥.إن معدل انتقال الحرارة من السطح المربع المجوف هو أعلى من معدل انتقال الحرارة من السطح الدائري المجوف(القرص) وذلك بالمقارنة مع الدراسات[5,6,10].

المصادر

[1] Cheng P., Zhao, T. S.(1999)"An experimental study of natural convection heat transfer in horizontal plate" Department of mechanical engineering university of Hawaii U.S.A vol.13: pp(517-521).

[2] Chen, T.S.Tien, H.C and Armaly, B.F (1986) "Natural Convection On Horizontal, Inclined, and Vertical Plated With Variable Surface Temperature or Heat Flux" Int. J. Heat Transfer,Vol.29:pp. (1465-1478),.

[3] AL-Arabi, M. And Saker,B. (1988) "Natural Convection Heat Transfer From Inclined Isothermal Plates" Int. Heat and Mass Transfer ,Vol. 31:pp.(559-566) ,.

[4] Vliet, G. C. and Ross, D. C. (1975) "Turbulent natural convection on upward and down ward facing inclined constant heat flux surfaces" J. of Heat Transfer, Nov: pp.(549-555),

[5] Churcill, S. W. And Chu, H. H. S. (1975) "Correlating Equations For Laminar And Turbulent Free Convection From A Vertical Plate" Int. J. Heat And Mass Transfer, Vol.18: pp. (1323-1329).

[6]احمد وحيد مصطفى، (٢٠٠١)"دراسة عددية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من قرص وحلقات"أطروحة ماجستير،هندسة المكائن والمعدات،الجامعة التكنولوجية،بغداد

[7]الخفاجي .رفاه عزيز نجم(٢٠٠٢) "منظومة تعليمية لدراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مستوية أفقية مربعة الشكل عند ثبوت درجة الحرارة"قسم التعليم التكنولوجي،الجامعة التكنولوجية،بغداد

[8] Sahraoui, M., Kaviany, M., and Marshall, H. (1990) "Natural Convection From Horizontal Disks And Rings "ASME J. Heat Transfer, Vol. 112: pp. (110-116).

[9] Yousef, W.W., Tarasuk, J. D.and Mckeen, W.J.,(1982)"FreeConvection Heat Transfer From Upward-Facing Isothermal Horizontal Surfaces". ASME J. Heat Transfer, Vol.104:pp. (493-500).

[10] Robinson S. B., Liburdy J. A. (1987)" Prediction of the Natural Convection heat

30º	0.858	0.236
45º	0.753	0.243
60º	0.891	0.232
75º	1.134	0.241
90º	1.053	0.222
15º – 90º	0.9424	0.2355

Transfer from a horizontal heated disk "ASME J. Heat Transfer, Vol.109 pp.(906-911).

[11] William J. Mcguinness, Benjamin SteinJohns, Reynolds (1998)"Mechani-cal and electrical equipment for buildings" sixth ed., America.

[12] Yunus, A., Cengl, (1998) "Heat Transfer A Practical Approach" McGraw–Hill.

[13] Kreith, F., bohn, M., "Principles of heat transfer" Fifth ed. (1997).

جـــدول (١) قـــيم الثوابـــت (C,n) عنـــد زوايـــا الميـــل (0º – 90º) للسطح المجوف المستخدم

Θ	C	n
0º	0.773	0.2355
15º	0.966	0.240

P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703 (*JUAPS*) مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة Open Access
2007 ,(1), (2) :123-133

EXPERIMENTAL STUDY OF THE NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER FROM HORIZONTAL, INCLINED, AND VERTICAL HOLLOW PLATE AT CONSTANT HEAT FLUX

SAAD M.J. AL-AZAWI

E-mail: saadm_79@yahoo.com

Abstract:

Experimental investigation was carried out to study the effect of a hollow and inclination angles on the ability of a square flat plate squander the convective heat transfer. An experimental set-up of an uniformly heated Aluminum flat plate of a centerial hollow representing 0.25 of the entire surface area of the plate heated by a constant heat flux was used basically for this purpose. Experiments were performed for inclination angles of (0o,15o, 30o, 45o, 60o,75o, 90o)for a region of Rayleigh number between (151550-1616000).This study showed that the ability of the surface to dissipate heat was presented by the average Nusselt number as a function of Rayleigh number depending on the existence of the hollow and the inclination angle. The existing of the hollow increased the value of average Nusselt number up to (39%) in the horizontal state and change sequentially with the inclination angle and it reached the maximum value of (48%) at the angle (75o) and (22%) as a average for all the inclination angles under test as compared with the horizontal state of the present hollow surface and reached (59%) with the unhollow inclination surfaces.