62 放熱器用ピンフィン群内の流れと伝熱特性

東京農工大学 水上 浩[○], 望月 貞成, 村田 章
東京職訓短大 八木 良尚
東芝総研 岩崎 秀夫

Flow and Heat Transfer Characteristics in Pin-Fin Arrays as a Heat Sink

K. MINAKAMI, S. MOCHIZUKI, A. MURATA, Y. YAGI, H. IWASAKI

Systematic measurements on the heat transfer and pressure loss performance of pin-fin arrays were conducted using a wind tunnel, by varying the pin pitch as a parameter. The pin-fin arrays used in the present testing study were made of square shaped thin pins arranged densely in a rectangular form. The modified single blow transient testing method was applied to the measurement. Additionally, the flow visualization tests were carried out utilizing fifteen times enlarged pin-array models with dye injection technique. Water was used as the test fluid. The test results showed a good correspondence between the heat transfer and pressure loss phenomena and the flow pattern characteristics.

1. はじめに

計算機の高速化, 小型化に伴うLSIの高発熱化に対応した空冷技術等, 高性能放熱フィンへの要求が高まっている. 伝熱面が極細線(ピン)で構成されるピンフィン⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾は, フィンの性能向上に有効な, 伝熱面の微細化に適した構造を有している. 筆者らは, 既報⁽⁶⁾にて矩形配列された $\square 0.2\text{mm}$ の微細角柱によって構成されるピンフィン群の, ピンピッチと熱伝達・圧力損失特性との関係について報告した. 既報では, 改良シングルブロー法⁽⁷⁾に基づく伝熱特性自動計測システム⁽⁸⁾⁻⁽⁹⁾によって伝熱特性を評価するとともに, ピンフィン群内の流動状況の可視化を, 15倍の拡大モデルを用いて行った. この結果によると伝熱特性の変化は, 可視化によって得られた流動状況の変化を如実に反映していると判断できるものであった. よって本報告では, ピンフィン群の伝熱特性の把握における, 流動状況の可視化の有用性について詳細に述べる.

2. 供用ピンフィン群および実験装置

図1に既報⁽⁶⁾にて伝熱試験に供したピンフィン群の概略を示す. 図中の流れに直角方向のピンピッチ a , および流れ方向のピンピッチ b を系統的に変化させ評価を行った. ピンは銅製であり一片長さ d_p は 0.2mm とした. また流れ方向のピン段数は, 20段($b/d_p=6$)

Fig.1 Pin fin array.

Fig.2 Schematic diagram of heat transfer test apparatus.

の場合は18段)とした。図2に伝熱特性試験装置の概略を示す。評価に用いた改良シングルブロー法は、テストセクションの上流に設けられたヒータによって空気温度を上昇させ、このときのピンフィン群入口と出口との空気温度の時間的変化から平均熱伝達率を算出する手法であり、測定時間が短く、フィン効率の影響を受けない($\eta=1$)という利点を持っている。ピンフィン群の圧力損失は、テストセクション前後の静圧孔間の差圧として測定した。

Fig.3 Schematic diagram of flow visualization test apparatus.

図3に可視化実験装置の系統図を示す。テストセクションは、内寸が50mm×60mmの長方形断面を有する縦型流路であり、流体には水を用いた。可視化実験用供試体は、伝熱評価に用いたピンフィン群の15倍のスケールを持つ□3mmの角柱群とした。この角柱はその両端部を、流れ方向各段毎に、リンク機構によって間隔が保たれたピアノ線によって支持されている。可視化手法は色素流脈法とし、トレーサーとしては、青、赤、緑、橙、桃、紫、計6色の光透過性染料を使用した(写真集にカラー版を掲載)。本染料には溶剤に若干のアルコールが含まれているため、食塩水によって比重の微調整を行った後、外径0.8mmのステンレス針によって流路に注入した。本方法によれば、ピンの後流、ピンフィン群内の攪乱・混合の状況などを詳細に観察することが可能である。

3. 実験結果及び考察

図4に、伝熱特性評価結果の代表例として $a/dp=4$ で、 $b/dp=1.5, 2, 3, 6$ の場合のレイノルズ数(Re)と、ヌセルト数(Nu)との関係を b/dp をパラメータとして示す。また図5に同配列の場合の Re と摩擦損失係数(f)との関係を示す。 Re 、 Nu の代表長さは dp とし、代表流速はピン間の最小隙間流速(U_c)を用いた。また f は次式により求めた。

$$f = \frac{1}{4N} \left(\frac{\Delta P}{\rho \cdot U_c^2 / 2} - (K_c + K_e) \right)$$

N : 流れ方向ピン段数, ΔP : ピンフィン群圧力損失, ρ : 空気密度,

K_c, K_e : ピンフィン群への空気の流入, 流出に伴う拡大縮小損失(文献(10)により決定)

Fig.4 Nusselt number versus Reynolds number for $a/dp=4$

Fig.5 Friction factor versus Reynolds number for $a/dp=4$

本実験の範囲内において、 Nu 、 f ともに b/dp が大きくなるにしたがって、増加しているのが分かる。詳細には、 Nu 、 f に共通して、次の特徴がみられる。

- 1) $b/dp=3$ の場合、 $Re=40$ 前後で変局点を持ち、高 Re 側で Nu の傾きは増加し、 f の減少の割合は小さくなる（圧力損失は増大する）。
- 2) 1) にともない、高 Re 域で $b/dp=2$ と3の差が大きくなっている。
- 3) 低 Re 域で、 $b/dp=1.5, 2$ の勾配は、 $b/dp=3$ とほぼ同じである。これに対して高 Re 域では $b/dp=6$ の勾配が $b/dp=3$ とほぼ等しくなる。

一方、図6、7、8に、 $a/dp=4$ で、 b/dp がそれぞれ2、3、6の場合の、 $Re=20\sim120$ のピンフィン群内流動状況を $Re:20$ 毎に示す。図6によれば、 $b/dp=2$ の場合全流速範囲においてピンフィン群内の流れは至るところ定常層流であり、下流側のピンが上流側ピンのWakeに、ほぼ完全に覆われている。これに対して図7の $b/dp=3$ の場合、 $Re\leq 40$ の低

Fig.6 Visualized flow patterns in pin arrays. [$a/dp=4, b/dp=2$]

Fig.7 Visualized flow patterns in pin arrays. [$a/dp=4, b/dp=3$]

Fig.8 Visualized flow patterns in pin arrays. [a/dp=4, b/dp=6]

Re域においてはピンフィン群内は $b/dp=2$ と同様に定常層流状態であるが、下流側ピンは上流側ピンのWakeに完全には覆われてはいない。さらにReが40を超える中Re以上の領域ではピンフィン群内に乱れが発生しているのが分かる。このピンフィン群内での乱れは、総じて、始めはピンフィン群最下流段において観察され、それがReの増加とともに上流側へと移行してゆく傾向にある。図8の $b/dp=6$ では低Re域($Re \leq 20$)でのWakeの影響はさらに小さくなっている。また、ピンフィン群内では $b/dp=3$ に比してより低いReから乱れが生じており、その攪乱の状態はより激しくなっている。

以下これらの流動状況に上記伝熱・圧力損失特性を照らしてみる。まずNu, f ともに b/dp の増加にともない、値が増大している傾向は、 b/dp が大きいほどWakeの影響が小さく、攪乱の状態が大きいという概略の流動状況を反映していると考えることができる。詳細には、上述の1)～3)に関して、次のように考えることができる。

- 1) $b/dp=3$ における伝熱性能の変局点は、ピンフィン群内での揺らぎ発生Reにほぼ対応しており、Reの増加に対して揺らぎが上流側へ移行するのに伴って、伝熱・圧力損失特性の上昇率は大きくなっている。
- 2) $b/dp=2$ では、 $Re=120$ においてもピンフィン群内に揺らぎが発生していないという状態を反映して、高Re域では $b/dp=2$ と3の特性の差が大きく開く傾向となる。
- 3) 低Re域での、 $b/dp=1.5, 2$, および3の勾配はピンフィン群内が定常層流状態の場合の特性と考えられ、また高Re域における、 $b/dp=3$ および6の勾配はピンフィン群内に揺らぎによる攪乱領域を持つ場合の特性であると判断できる。

4. 結論

矩形配列された微細角柱によって構成されるピンフィン群の、ピンピッチと熱伝達・圧力損失特性との関係について、伝熱性能試験および拡大モデルによる可視化実験を行い評価した。得られた伝熱・圧力損失特性はピンフィン群内の流動状況をよく反映していると考えられ、可視化の有用性が改めて確認された。

【参考文献】

- (1)水上, 他, 第28回日本伝熱シンポジウム講演集, D112, 220, (1991), (2)伊藤, 他, 第24回日本伝熱シンポジウム講演集, D114, 480, (1987), (3)神坂, 他, 第25回日本伝熱シンポジウム講演集, C133, 181, (1988), (4)S. Mochizuki & Y. Yagi, The 9th. IHTC, G. P., Vol. 3, 217, (1990), (5)佐藤, 他, 熱工学部門講演会講演集, B32, 171, (1991), (6)水上, 他, 機械学会69期通常総会講演論文集, No. 920-17, Vol. B, 242, (1992), (7)C. Y. Liang & W. J. Yang, Trans. ASME, Ser. C, Vol. 97, 16, (1975), (8)八木, 望月, 機論, Vol. 56, No. 529, 2724, (1990), (9)望月, 八木, 伝熱研究, Vol. 29, No. 112, 32, (1990), (10)W. Kays, A. London, Compact Heat Exchangers, 113