Experimental Study on Transient Forced Convection Heat Transfer for Twisted Heater Due to Exponentially Increasing Heat Input

正 柴原 誠 (神戸大) 正 劉 秋生 (神戸大)

正 福田 勝哉 (神戸大)

Makoto SHIBAHARA, Kobe University, 5-1-1, Fukae-Minamimachi, Higashinada, Kobe

Qiusheng LIU, Kobe University

Katsuya FUKUDA, Kobe University

1 緒 言

高温ガス炉や核融合炉をはじめとした各種熱エネルギー変換機器の工学的安全設計において、強制対流過渡熱伝達の理解は重要である。これまで著者ら¹⁾は、水平平板発熱体におけるヘリウムガス強制対流過渡熱伝達の実験及び数値解析を行ってきた。しかしながら、強制対流過渡熱伝達において、発熱体の形状による影響に関する研究例は少ない。そこで本研究では、発熱率が種々の速さで指数関数状に上昇する場合において、ヘリウムガスの流れに沿って水平に置かれたねじり発熱体の強制対流過渡熱伝達について実験を行い、発熱体の形状の影響を調べた。

2 実験装置及び方法

2.1 実験装置

実験装置は、圧縮機、タービン流量計、試験部、サージタンク、冷却器、熱入力制御システム及びデータ計測・処理システムから構成されている。詳細は、Liu ら²⁾の論文を参考にされたい。Fig.1 に試験部の詳細を示す。試験部は、ステンレス製(内径 20mm)の円形流路になっており、試験発熱体は流路中心部に流れに平行した状態で設置されている。試験発熱体は、厚さが 0.1 mm、長さが 50 mm、幅が 4 mm の白金リボンを用い、図に示すように、流れに平行な状態から発熱体中心部で 90° となるようにねじりを加えた。さらに、試験発熱体の両端には、厚さ 0.7mm の銅板をろう付けした。また、試験発熱体の有効長さは、40 mm である。

Fig. 1 Test section.

2.2 実験方法

試験発熱体に発熱率を指数関数状($\dot{Q} = Q_0 \exp(t/\tau)$, $\dot{Q}$: 発熱率, Q_0 : 初期発熱率, τ : 発熱率が e 倍に増大するために必要な時間(e -fold 時間), t : 時間)に上昇させ、その時間経過に伴う発熱体表面温度及び熱流束を求めた。発熱体の発熱率 $\dot{Q}$ と平均温度 T_a は、上述の熱入力システム及びデータ計測・処理システムより発熱体を一辺としたダブルブリッジ電気回路で計測される²⁾。発熱体表面からの熱流束 q は、発熱体の熱バランスより求め、発熱体の表面温度は、非定常熱

伝導方程式より求めた²⁾。

3 実験結果

3.1 熱伝達係数と e -fold 時間の関係

Fig. 2 は、平板発熱体及びねじり発熱体において、ガス温度が 313K、流速が 10 m/s、 e -fold 時間 τ が 46 ms ~ 17 s における、熱伝達係数 $h (= q/\Delta T)$ と τ との関係を示している。同図から分かるように、熱伝達係数 h は、いずれの e -fold 時間 τ においても、ねじり発熱体が平板発熱体より 13% 高い値を示した。この理由は、ねじり発熱体近傍のガスの流れが変化し、熱伝達が促進されたと考えられる。

Fig. 2 Quasi-steady-state and transient heat transfer coefficients at various periods for the twisted heater and plate heater.

3.2 準定常強制対流熱伝達

実験データをヌセルト数及びレイノルズ数で表し、最小二乗法により準定常熱伝達表示式を求め、 $\pm 4\%$ 以内で表示できた。

$$Nu_{st} = 1.40 Re^{0.5} Pr^{1/3} \text{ for twisted heater} \quad (1)$$

ここで、

 Nu_{st} : 準定常ヌセルト数, Re : レイノルズ数, Pr : プラントル数

4 結論

ヘリウムガス強制対流過渡熱伝達における発熱体の形状による影響を実験的に調べた。準定常及び過渡領域の熱伝達係数が、平板発熱体よりも 13% 高くなることがわかった。

参考文献

- (1) 劉, 福田, 柴原, “ヘリウムガスの非定常強制対流熱伝達の実験的研究及び数値解析,” *Thermal Science & Engineering*, Vol. 16, No. 4 (2008), PP. 157-162.
- (2) Liu, Q.S., Shibahara, M., and Fukuda, K., 2007, “Transient Forced Convection Heat Transfer for Helium Gas Flowing over a Horizontal Plate,” *Journal of Power and Energy Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 64-75.