303 高速蒸気流下の薄液膜凝縮と界面熱伝達

Thin film condensation of high-speed vapor flow and interface heat transfer

機学○荒川 智明 (九工大)

伝正 鶴田 隆治 (九工大)

Tomoaki ARAKAWA and Takaharu TSURUTA

Kyushu Institute of Technology, 1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu 804-8550

Key words: Interface Mass Transfer, Film Condensation, Condensation Coefficient

1. 緒言

近年、気液界面での熱・物質伝達を記述する重要なパラメーターである凝縮係数について、多くの本質的な情報が蓄積されてきた。特に、分子動力学法による検討は、従来のマクロパラメーターとしての凝縮係数から、ミクロスケールの界面相互作用を考慮し得る凝縮確率としての凝縮係数の必要性を明らかにしている⁽¹⁾⁽²⁾。すなわち、アルゴンのような単原子分子はもとより、極性を有する多原子分子である水分子においても、分子の並進運動が最も支配的な作用を持つことが明らかとなっている⁽³⁾。さらには、この並進運動の重要性に注目し、気液界面構造の三次元性を重要視して再構築された遷移状態説理論⁽⁴⁾により、平衡系における平均の凝縮係数が、遷移状態の存在する界面層の鉛直方向長さスケールと蒸気相のそれとの比によって次式で表現された。

$$\bar{\sigma}_c = \left(1 - \sqrt[3]{\nu_l/\nu_g}\right) \exp\left(-\frac{1}{2\sqrt[3]{\nu_g/\nu_l} - 1}\right) \quad (1)$$

Fig. 1は、これまでに報告された凝縮係数をこの式と比較したものである。これによれば、分子動力学法によって得られた値は式(1)と非常に良い一致をみるが、実験値はかなりばらついている。この理由として、分子動力学シミュレーションは、その系が純粋物質からなる理想的なものであるのに対し、実験系は異物質の混入、特に不凝縮性ガスの混入を完全に避けることはできず、その影響により特に気液界面に蓄積

することが考えられる凝縮実験においては大きな影響が現れるものと考えられる⁽⁵⁾。したがって、この不凝縮性ガス混入の影響を最大限に低減する条件での精度よい実験が望まれる。

以上の背景から、本研究では高速蒸気流によって不凝縮ガスの界面への蓄積を避けるとともに液膜の抵抗をできるだけ小さくし、液膜厚みの精度良い測定を行って界面熱抵抗を評価し、凝縮係数の定量的評価を実施すべく計画された。

2. 実験

2.1 実験装置及び実験方法

本研究では、純水を用いて薄液膜状凝縮熱伝達を実現する。実験装置の全体図をFig.2に示す。実験は密閉された装置内を真空ポンプにより1kPa程度まで排気した低圧下で行い、純水をマントルヒーターで加熱することで水蒸気を発生させる。発生した水蒸気はテストセクションでその流路を絞られ、流速は非常に高速になるように設計されている。テストセクションでは一部の蒸気が膜状凝縮し、凝縮し得なかった蒸気は凝縮器へ流れ込み、全て液体へと戻される。

テストセクション内部の詳細をFig.3に示す。蒸気の流速が高速であるほど、蒸気によるせん断力が大きくなり凝縮液膜はより薄くなる。また高速蒸気は不凝縮性ガスの排除という利点も持っている。テストセクションの冷却はペルチェ電子冷却器を用いて行い、凝縮面にはSUS303 (20mm×20mm, 厚さ0.5mm)に鏡面加工を施した。また凝

Fig.1 Mean value of condensation coefficient as a function of translational length ratio.

Fig.2 Experimental apparatus

Fig.3 Details of test condenser

縮面は膜状凝縮を発生させるために、界面活性剤に浸して親水性を持たせた。凝縮面の上部には石英ガラスが設けてあり、装置外部からレーザーを照射して膜厚計測を行う。

2.2 光干渉膜厚測定法

凝縮液膜厚みの測定は、ガラス部品等の測定によく使用されるフィゾー干渉計を用いた装置により行った。(Fig.4)

半導体レーザーを用いて照射されたレーザーは、まず拡散レンズで現象を捉えやすい大きさにするため光束を拡大され、次にコリメーターレンズを透して平行光線とし、ビームスプリッターで光を分割した後テストセクションへと導かれる。凝縮面近傍に到達した光の一部は鏡面加工された凝縮面(参照面)で反射し、残りの光は液膜表面(被検面)に到達して反射する。凝縮面からの反射光と被検面からの反射光は元の光路を逆戻りし干渉してビームスプリッターにより CCD カメラへと導かれ干渉縞画像が得られる。得られた干渉縞より液膜の厚みを計測することが可能である。

3. 結果と考察

蒸気速度 400m/s において凝縮面に形成された液膜の様子を Fig.5 に示す。画像の下方から上方に向けて蒸気は流れている。凝縮開始点近傍には、流れと直交する方向に波のようなものが現れ、そこから筋状の流れが流れ方向に発生し、光学観察に適した理想的な液膜を形成できていないことが見受けられる。この筋状流は、蒸気速度が大きく、蒸気のせん断力が大きかったことに起因するものと思われる。この筋状流部分を干渉縞画像として撮影したものを Fig.6 に示す。Fig.5 と同様に液膜の流れが筋状に流れる画像が観察された。しかし膜厚測定に適した液膜を形成できなかったために干渉縞は非常に複雑な形をしており、画像より液膜の厚さを計測するということまでには至らなかった。凝縮面全体において安定した膜面を形成させることが今後の課題である。

Fig.4 Fizeau interference system for film thickness measurement

Fig.5 Appearance of film condensation

Fig.6 Interference-fringes at condensation front

4. まとめ

高速蒸気流下の膜状凝縮実験を計画したが、現段階では安定した液膜の形成、及びそれから得られる干渉縞からの液膜厚みの測定は未だ成功に至っていない。今後精度良い計測が可能となるような実験装置・方法の改良が必要であり、その基礎となる知見を得る結果となった。

参考文献

- (1)Tsuruta, T., 他, *Int. J. Heat Mass Transf.*, 42, (1999), 4107.
- (2) 鶴田他 2 名, 機論, 64-618, B(1998), 456.
- (3)Tsuruta, T. and Nagayama, G., *J. Phys. Chem. B*, 108-5, 1736 (2004).
- (4)Nagayama, G. and Tsuruta, T., *J. Chem. Phys.*, 118-3, 1392(2003).
- (5)Tsuruta, T. and Naka, Y., *JSME Int. J.*, B, 46-4, 557(2003).