

セラミックス系親水性伝熱面を用いたサブクール沸騰における伝熱促進

東京理大 鈴木康一 河村 洋, 九州大 大田治彦, セントラルガラス(株) 杉本敏明

Heat Transfer Enhancement in Subcooled Boiling with Ceramics Wetting Surface

Koichi Suzuki and Hiroshi Kawamura

Tokyo University of Science, Noda, Chiba, 278-8510, E-Mail: suzuki@rs.noda.tus.ac.jp

Haruhiko Ohta Kyusyu University, Toshiaki Sugimoto Central Glass Corp.

Subcooled Boiling of water has been performed for a hydrophilic heating surface coated with ceramics materials under normal gravity and low gravity practiced by a parabolic flight of aircraft. The test surface is a thin stainless steel plate of 30 mm in length, 1 mm in width and 0.1 mm in thickness. Heat transfer enhancement is observed for the hydrophilic heating surfaces under both gravity conditions. Under the low gravity, several coalescing bubbles move rapidly on the hydrophilic surface and the burnout heat fluxes are considerably higher than those of non-coating surfaces.

Key words; Subcooled pool boiling, hydrophilic surface, bubble motion, heat transfer enhancement

1. はじめに

沸騰熱伝達において、固液接触の問題すなわち濡れ性は、熱伝達性能を左右する大きな要素として長く取り上げられているが、未だにその詳細は明らかではない。しかし、固液接触を促進して伝熱促進を図ることはこれまで多く試みられている。

最近、あるガラスメーカーで、金属酸化物の微粒子を含むペーストを金属面に薄く塗り高温で焼成した親水性のセラミックス膜[1]を開発した。本実験は、ステンレス薄板に当該親水性材料を成膜し、地上および航空機実験による低重力環境で純度の高い水のサブクールプール沸騰を行わせ、親水性膜による伝熱促進効果を調べたものである。

2. 実験装置および方法

2-1 テスト伝熱面

Fig.1 に示すように長さ 30mm、幅 1mm、厚さ 0.1mm のステンレス (SUS302) 薄板を伝熱面として、直流電流による通電加熱を行った。熱流束は、試験片に印加した電力から算出した。ここでは、温度データは採取していない。

当該親水性膜は、 TiO_2 、 SiO_2 などの平均粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以下の金属酸化物微粒子を含むペーストを金属面に塗布して温度 600°C で焼成したものである。厚さは仕上がり $40\sim 100\mu\text{m}$ である。水滴との接触角は、常温で $77\sim 96^\circ$ であるが、親水性膜を成膜した面では 30° 以下で、良好な濡れ性を示している。

2-2 テストセクション (試験部)

Fig.1 に示すように透明アクリル製の容器内の電極に複数個並列に配置し、直流電流により 1 本ずつ通電加熱をして沸騰を行った。航空機実験の場合は、1 回のパラボリック飛行について 1 本の試験片の

沸騰試験を行った。気泡挙動を、高速ビデオカメラで撮影し観察した。

3. 実験結果と検討

3-1 地上実験

成膜をしていない試験片のバーンアウト時の熱流束は $1.5\text{MW}/\text{m}^2$ であるが、同じ熱流束の親水性試験片の場合は、バーンアウトはせず、離脱気泡も小さい。さらに直流電流を増加すると、成長した気泡が伝熱面上を激しく動き、成膜をしていない試験片の 2 倍以上の熱流束、 $3.4\text{MW}/\text{m}^2$ でバーンアウトした。

液サブクール度に対するバーンアウト熱流束を Fig.2 に示す。何れのサブクール度においても、親水性試験片のバーンアウト熱流束は、平均して成膜をしていない試験片の 1.5 倍程度高い。気泡挙動およびバーンアウト熱流束の結果から、ステンレス試験片の通電加熱では、当該セラミックス系親水性膜の伝熱促進効果は大きい。

3-2 低重力における親水性膜の伝熱促進効果

低重力下の親水性伝熱面の沸騰気泡挙動の例として、サブクール度が約 10K の場合の写真を Fig.3 に示す。成膜なし試験片では、一つの大きな合体気

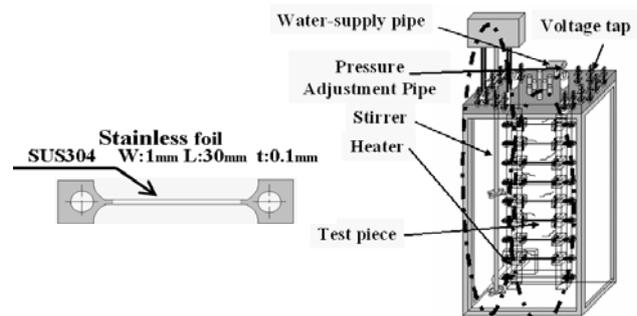


Fig.1 Test piece and test section

泡がほとんど試験片上に動かずにとどまりバーンアウトに至る。この時の熱流束は 2.5MW/m^2 である。親水性試験片では、複数の合体気泡が試験片上を激しく動き、そのうちの 하나가さらに成長してバーンアウトに至る。バーンアウト熱流束は 2.8MW/m^2 である。親水性伝熱面の場合、気泡底部に液が浸入しやすく合体気泡を移動させるので、伝熱面は乾きにくく、バーンアウト熱流束も増加するものと考えられる。

3-3 低重力下における気泡挙動

親水性伝熱面上には、Fig.3 に示すように複数の合体気泡が見られるが、そのうちの幾つかは千切れ、伝熱面から離脱してゆく。直接液体と接している部分も多くみられるが、長さ 20mm、幅 5mm、厚さ 0.1mm のステンレス薄板を試験片としたサブクール

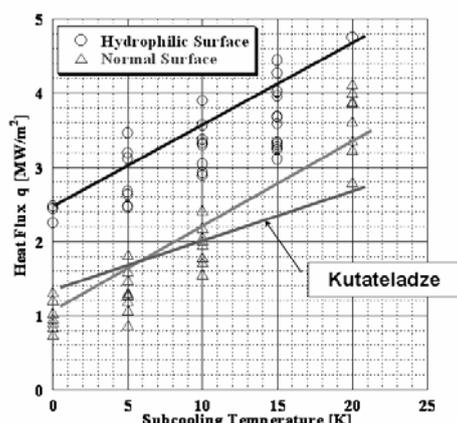


Fig.2 Effect of wetting on burnout heat flux in subcooled boiling of water with stainless plate heater under normal gravity

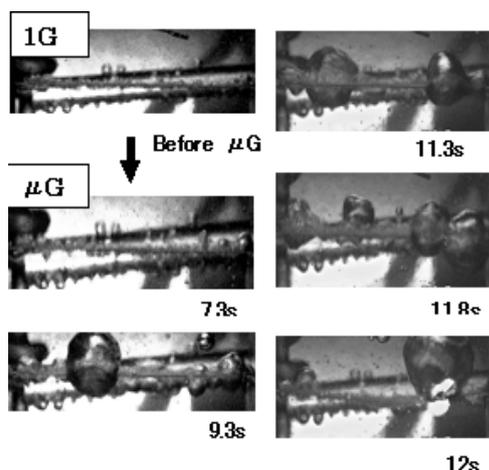


Fig.3 Bubble behavior on stainless steel plate heater coated with hydrophilic material at liquid subcooling of 10 K under low gravity of 0.01~0.04G
Burnout heat flux = 2.8MW/m^2

度 10K の同様の低重力実験[2]では、Fig.4 に示すように、気泡が離脱せず伝熱面を覆いながら大きく成長し、バーンアウトに至っている。この時のバーンアウト熱流束は、 1.3MW/m^2 である。親水性伝熱面の方がバーンアウト熱流束ははるかに高く、微小重力環境においても沸騰伝熱は熱輸送技術として期待できる。

しかし、微小重力環境で同一種類の伝熱面および沸騰媒体でも、気泡挙動に大きな差があることが分かった。微小重力環境における沸騰気泡の挙動の議論はこれからも大きな課題の一つである。

まとめ

セラミック系親水性材料をステンレス薄板伝熱面に成膜して、純度の高い水のサブクール沸騰を通常重力下および航空機による低重力下で行った。通常重力下では、親水性伝熱面の方が離脱気泡の直径が小さくバーンアウト熱流束も 2 倍ほど高く、伝熱促進効果が確認できた。

低重力下においても、複数の合体気泡が伝熱面上を激しく動き回り、気泡も離脱し、バーンアウト熱流束も通常重力下の場合の 80% と高く、本セラミック系親水性膜の伝熱促進効果が確認できた。

低重力下の伝熱面上の気泡挙動は、離脱する場合もあり、離脱しないでそのまま伝熱面上に成長して伝熱面を覆う場合もある。前者の方が、バーンアウト熱流束は当然高い。

本実験は、(財)日本宇宙フォーラムの第 7 回 (平成 16~17 年度) 宇宙環境利用公募地上研究において実施されたもので、ダイヤモンドエアサービス (株) と共にここに記し深甚なる謝意を表す。また、親水性伝熱面を提供してくれたセントラルガラス (株) に共に深甚なる謝意を表す。

参考文献

- [1] 特許第 3147251 号, 特許 3340149 号
特許 2599531 号
- [2] 鈴木, 河村ほか: 日本マイクロ重力応用学会誌 Vol.15, No.4, 206-212(1998)

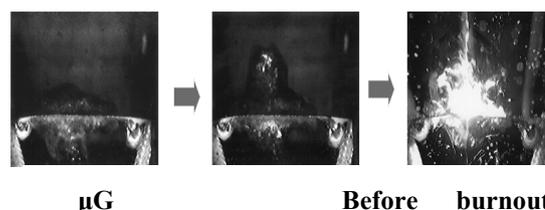


Fig.4 Bubble behavior in subcooled pool boiling of water with stainless plate heater at liquid subcooling of 10K under low gravity of 0.01~0.04G
Burnout heat flux = 1.3MW/m^2 [2]