

液滴蒸発およびプール沸騰に及ぼす表面濡れ性の影響

日高, 澄具

<https://doi.org/10.15017/1866374>

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (工学), 論文博士
バージョン :
権利関係 :

氏名 : 日高 澄具

論文名 : 液滴蒸発およびプール沸騰に及ぼす表面濡れ性の影響

区分 : 乙

論文内容の要旨

沸騰・蒸発などの気液相変化現象は、鉄鋼製造プロセスにおける圧延鋼板の噴霧・噴流冷却、鉄鋼材の焼入れ等の熱処理をはじめとして高温物体の冷却において非常に重要な素過程の一つである。噴霧冷却に影響を及ぼす因子として、冷却側では水量密度、噴霧液滴直径、速度、水温、水質などが、被冷却側では表面性状、材質、寸法などが挙げられる。鋼板の冷却時に膜沸騰から遷移沸騰に移行すると、鋼板は加速度的に冷却される。この急冷却開始点(クエンチ点)によって鋼板の性質が変わるため、水冷却による鋼板の温度制御が重要となる。現在、水冷却において鋼板の表面性状は大きく影響を及ぼすと考えられている。固体表面側の濡れ性を制御し濡れ性を変化させることによる伝熱特性の変化、特に相変化伝熱に対する効果に関心が高まっている。濡れ性の効果を正確に議論するには伝熱面の濡れ性のみを変化させた実験を行う必要がある。本論文では、濡れ性のみを変化させる方法として、酸化チタンの光励起超親水化現象およびプラズマ照射を併用して、まず単一液滴の蒸発に及ぼす影響を検討した。次いで、プール沸騰において酸化チタンによる超親水面およびテフロン粒子分散電気メッキによる超撥水面を利用して、広範囲の濡れ性が伝熱特性に及ぼす影響を調べた。

第1章は序論であり、1.1節では、工業上一般的に見られる圧延鋼板の噴霧・噴流冷却、鉄鋼材の焼入れ等の熱処理の際の高温物体の冷却においては沸騰、蒸発などの気液相変化伝熱が重要であり、固体表面側の濡れ性の効果を正確に議論するには伝熱面の濡れ性のみを変化させた実験を行う必要があることを述べた。これまでは、伝熱面に何らかの物質をコーティングすることにより濡れ性を変化させていたが、浸漬冷却実験などにおいては、コーティング層をミクロンオーダーまで薄くしてもコーティング層自体の熱物性の影響を無視できず濡れ性のみの影響は得られなかった。1.2節では液滴が関係する噴霧冷却の観点からの研究、Leidenfrost現象に関連した研究、接触角による表面濡れ性の評価についての研究などの報告例を示しているが、濡れ性を正確に制御した研究例は少ない。本研究の目的は、光励起超親水化現象およびプラズマ照射を用いて固体表面側の濡れ性を制御し、濡れ性のみを変化させることによって表面濡れ性が伝熱特性に及ぼす影響を調べることにある。1.3節では、濡れ現象の基礎的な説明とその評価方法について述べた。1.4節では光触媒である酸化チタンの性質および光励起超親水化現象発現のメカニズムについて述べた。1.5節ではプラズマ照射による濡れ性改善として、プラズマの特性を詳細に述べた。1.6節では超親水性伝熱面の特性および、種々の表面性状を変えた実験について述べた。

第2章では、酸化チタンの光励起超親水化現象を利用して、液滴蒸発に及ぼす接触角の効果を調べた。スパッタリングにより、銅の基材にTiO₂層とSiO₂層を設けた数種類の伝熱面を作製した。これらの伝熱面を使用し、熱的性質を含めて接触角以外の性質を一定にしたままで、接触角を変えた場合について液滴の蒸発実験を行った。実験は4種類の大きさの液滴で行い、蒸発曲線に及ぼす接触角と液滴サイズの影響を調べた。その結果、濡れ限界温度とLeidenfrost温度は共に、接触角の低下とともに上昇し、液滴の蒸発時間は、接触角が低下するにつれて減少する。また、蒸発時間を液滴の体積で除すると接触角毎に1つの曲線でまとめることが明らかになった。

第3章では、表面粗さを変えた銅、アルミニウム、ステンレスの3種類の伝熱面にプラズマを照射し、照射時間と接触角の関係、その接触角の時間的変化を調べた。そのデータを基に液滴の蒸発実験を行い、接触角が濡れ限界温度に与える影響について詳しく調べた。その結果、3種類の金属をエメリー紙 #600 で仕上げた初期接触角(64~88°)の表面に120秒間プラズマを照射することで安定した接触角(3~10°)が得られた。プラズマ処理は金属表面の濡れ性改善に有効であり、高温面の急速冷却への応用が期待できる。濡れ限界温度は接触角が小さいほど高くなるが、その上昇量は伝熱面材質の違いによる上昇量に比べて小さいことが明らかになった。

第4章ではプール沸騰に及ぼす表面濡れ性の影響について調べた。鏡面仕上げ伝熱面、酸化チタンをディッピングおよびスパッタリングした超親水性伝熱面での飽和沸騰の実験を行い、伝熱特性について調べた。その結果、沸騰開始過熱度は鏡面仕上げ面と比べディッピング面が高くオーバーシュートが見られる。ディッピング面、スパッタリング面の限界熱流束は、鏡面仕上げ面の1.3~1.4倍ほど高い値を示すことが明らかになった。一方、全面に超撥水性を施した伝熱面での伝熱特性および格子状、斑点状に超撥水性を施した伝熱面の伝熱特性を調べた。その結果、全面超撥水伝熱面では低い過熱度において膜沸騰となる。格子状・斑点状伝熱面では低過熱度域で熱伝達が良くなり、沸騰開始時のオーバーシュートが見られない。斑点状伝熱面では、斑点直径が小さい方が熱伝達は良くなる。超撥水加工部と基材部の面積が同じであればパターンの違いによる熱伝達の差はないということが明らかになった。

第5章では、結論を述べた。