高温面に衝突する微小液滴挙動と液温の関係

Effect of Liquid Temperature on Behavior of Droplet Impinging onto a Hot Surface

○学 井上 慎也¹, 学 堀 智朗¹, 正 喜多 由拓^{1,2}, 正 日高 澄具²
 福田 啓之³, 正 河野 正道^{1,2}, ◎正 高田 保之^{1,2}

Shinya Inoue¹, Tomoro Hori¹, Yutaku Kita^{1,2}, Sumitomo Hidaka²

Hiroyuki Fukuda³, Kohno Masamichi^{1,2}, Yasuyuki Takata^{1,2}

¹ Kyushu University, 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

² International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I²CNER), Kyushu Univ.

³ JFE Steel Corporation, 2-3 Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0011, Japan

Key Words: Oxide layer, Quenching, Film boiling, Spray cooling, Droplet impingement

1. 緒言

製鉄工程の冷却においてスプレー冷却は最も使用されている冷却技術であり, その中の急冷開始温度 (又はクエンチ温度) はスプレー冷却の重要な特性の一つである. 福田らは酸化スケールの種類と厚さがスプレー冷却特性に及ぼす影響を調べ, 酸化スケール種類によって膜沸騰域 (急冷開始前) からの冷却速度が異なること, および酸化スケール厚みが増すとみかけのクエンチ温度が上昇することを報告した⁽¹⁾. これを踏まえて, 著者らは酸化スケールの影響を含めたクエンチ開始のメカニズムを明らかにすることを目的とし, 酸化スケールを有する高温面を用いて単一液滴衝突実験を行ってきた. 最近, 固液接触時の非定常熱伝導を考えることで, 上記の結果を説明できることが分かってきた⁽²⁾. つまり, クエンチ開始は酸化スケールの種類や厚さに関わらず, 固液が接触する瞬間の界面温度で決まる可能性がある. 本報ではこのモデルの一般性を確かめるべく, 液滴温度を変化させて実験を行い, 液滴挙動と固液界面温度の関係を調査する.

2. 実験装置及び方法

試料をヒーターに挿入し, 目標の壁面温度 T_w まで加熱する. 定常状態で T_w に達したところで液滴を滴下し, ハイスピードカメラを用いて液滴の衝突様相を観察する. 本実験での液滴径は $600 \pm 30 \mu\text{m}$, 液滴速度は $1.48 \pm 0.1 \text{ m/s}$ であり, 液滴温度は 10°C , 30°C , 50°C である. 試料に付与した酸化皮膜は 5 種類 (TiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 , $\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2$, Fe_3O_4) であり皮膜厚さは約 $100 \mu\text{m}$ とした. また, 実験は試料表面の酸化を防ぐために窒素雰囲気にて行う.

3. 実験結果及び考察

全ての条件において, 高温度域に推移するにつれて固液接触時間, 最大液滴拡がり径 D_{max} と初期液滴径 D_d の比 (D_{max}/D_d) がともに小さくなり, ある温度以上ではほぼ一定となった. この液滴挙動が遷移する点がクエンチ点に相当すると考えられる^{(2), (3)}. 一方で, 液滴温度を高くすると, 各スケールにおいて液滴挙動の遷移温度 T_w が低温域にシフトすることが分かった. 接触界面温度 T_s で整理すると, いずれの液滴温度においても, 固液接触時間および D_{max}/D_d の遷移温度は約 250°C で一致した. 図 1 では代表して T_s と D_{max}/D_d の関係について Fe_3O_4 と No scale と $\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2$ の三つのサンプルについてまとめた. 以上の結果は酸化皮膜の種類および厚さの影響を検討した先行研究⁽²⁾の結果と同じであり, クエンチ開始の界面温度は一定の値をとる可能性が示された.

Fig.1 T_s vs D_{max}/D_d .

4. 結言

本研究では冷却水温度が冷却に与える影響を調査した. 本実験から界面温度で定義したクエンチ温度は冷却水温度によらず約 250°C 付近であることが確認できた. 以上よりスプレー冷却中に見かけのクエンチ温度は液温の影響を受け, 冷却水温度が下がるほど急冷開始が早くなることが示された.

参考文献

- (1) 福田・他 6 名, 鉄と鋼, 100-12 (2014), 1514.
- (2) Tsukamoto et al., Applied Thermal Engineering, 179 (2020), 115682.
- (3) Negeed et al., Int. J. Therm. Sci., 70 (2013), 65.