スプレー冷却曲線における急冷開始点の決定因子に関する研究

Study on determinants of quench point in spray cooling curve

伝学 仲松 幹弥 (九大) 機学 酒井 諒太 (九大)
伝正 日高 澄具 (九大) 伝正 喜多 由拓 (九大)
伝正 河野 正道 (九大) 伝正 高田 保之 (九大)

Mikiya NAKAMATSU¹, Ryota SAKAI¹, Sumitomo HIDAKA^{1,2},

Yutaku KITA^{1,2}, Masamichi KOHNO^{1,2}, Yasuyuki TAKATA^{1,2}

¹ Dept. of Mech. Eng., Kyushu Univ., 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan

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

Key Words: Spray cooling, Oxide layers, Heat transfer

製鉄プロセスにおいて、厚板の熱間圧延直後に行われるスプレー冷却には鋼の組織を微細化して鋼板の強度向上を行う目的がある。冷却過程において、鋼板内部の温度分布が不均一になると変形や割れの原因となるため、高品質な鋼板を得るには全体を均一に冷却する必要がある。しかし、冷却特性に影響を及ぼす因子は冷却水と被冷却体双方で多くあるため、正確な冷却を行うことは非常に困難である。したがって、冷却メカニズムの解明のためには、各因子が冷却に及ぼす影響を個別に定量的に評価する必要がある。

本研究では、被冷却体側の因子である母材表面の酸化膜に着目し、純鉄表面に鉄系酸化膜が形成された試料とそうでない試料の二種でスプレー冷却実験を行った。そして、試料内部に取り付けた熱電対の温度履歴から、冷却特性に及ぼす鉄酸化膜の影響を評価した。実験にあたり、チャンバー内の加熱雰囲気、加熱時間及び温度を制御することにより、厚さ約 30 μm の酸化膜を形成した。酸化膜は自由表面から Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO の順に形成されており、その大部分は FeO であった。また、酸化膜形成後、スプレー噴霧の際試料のさらなる酸化防止のためにチャンバー内の雰囲気をアルゴンに切り替え、試料温度 700 $^{\circ}\text{C}$ の時点からスプレー冷却し、母材内部の熱電対の温度履歴を取得した。その結果、純鉄試料は冷却開始から約 120 sec, 熱電対温度が約 250 $^{\circ}\text{C}$ で急冷(クエンチ)を開始した。また、酸化膜試料は冷却開始から 75 sec, 熱電対温度が約 350 $^{\circ}\text{C}$ で急冷を開始しており、純鉄試料と比べ急冷開始点温度が 100 K 程高く、また早期に急冷することを確認した。次に、クエンチ開始を決定すると考えられる固液界面近傍の伝熱現象を検討するため、2つの半無限物体接触モデルから界面温度を計算し、冷却曲線を整理し直した。なお、酸化膜の大部分が FeO であることから、その物性値⁽¹⁾を用いて計算した。結果として、酸化膜試料の冷却曲線が下方修正され、クエンチ点が純鉄試料のそれとほぼ一致するという結果が得られた。なお、Tsukamoto ら⁽²⁾は種々の酸化膜を形成した加熱試料への単一液滴衝突実験を行い、液滴挙動が反発から付着へ遷移する界面温度が酸化膜の種類・厚さに関わらずほぼ一致することを確認している。この遷移温度はクエンチ点に相当すると考えられ、本実験により、過渡的な伝熱現象であるスプレー冷却に対しても半無限物体接触モデルを適用できる可能性が示された。

参考文献

- (1) 秋山, 他, 鉄と鋼, 機論, 77-2 (1991), 231.
- (2) Tsukamoto, K. et al, Appl. Therm. Eng., 179 (2020), 115682.