

(226)

高温における水噴流の熱伝達係数について

(鋼板の冷却に関する研究-第5報)

日本鋼管(株)技術研究所 国岡計夫 杉山峻一 ○神尾 寛

1. 緒言

高温領域(沸騰領域)でのスプレーの冷却能は水量密度および鋼板表面温度により精度良く整理できることは前回報告した。今回は同じ水噴流冷却であるミストジェットおよびラミナーフローの冷却能に対してスプレーの場合と同様の実験方法、熱伝達係数算出法を用いて検討した。その結果、非沸騰領域(伝熱面温度50℃)も含めて良好な結果が得られたので報告する。

2. 実験方法および実験条件

実験条件の概要を表1に示す。非沸騰領域での定常実験の実験装置および熱伝達係数算出法は前々報で報告したとおりである。また、沸騰領域での非定常実験に対しては前報¹⁾と同様であり、熱伝達係数は板厚方向2点の温度履歴から逆算し推定した。なお、ミストの衝突速度を近似式から求めるために衝突圧力を測定した。

表1 実験条件の概要

冷却法	水量密度 $\times 10^{-3}$ m ³ /m ² s	流速 m/s	ノズル径 $\times 10^{-3}$ m	噴射距離 m
ラミナー	300~8000	2~8	9.2~16.2	0.25~1.5
スプレー	1~200	6~40	3~10	0.2~0.6
ミスト	0.5~1.6	30~200	0.5~1.0(ノット)	0.05~0.2

3. 実験結果

上述した実験方法および熱伝達係数算出法により得られた結果から、ミストおよびラミナーの冷却能の算出式をスプレーを含めて表2に示す。

表2 各種冷却法による熱伝達係数算出式

冷却方法	適用温度範囲	熱伝達係数算出式	備考
スプレー	$\theta_s = 50^\circ\text{C}$	$\alpha = 88.6 \times W^{0.76}$	$\theta_{max} = 10^{2.0} \times W^{0.14}$ $\theta_{inf} = 10^{2.8} \times W^{0.03}$
	$\theta_{max} \leq \theta_s \leq \theta_{inf}$	$\alpha = 10^{2.92} \times W^{0.68} \times 10^{-0.23 \times (\theta_s/100)}$	
	$\theta_{inf} \leq \theta_s \leq 900^\circ\text{C}$	$\alpha = 10^{1.98} \times W^{0.66} \times 10^{-0.1 \times (\theta_s/100)}$	
ミストジェット	$\theta_s = 50^\circ\text{C}$	$\alpha = 10^{2.38} \times W^{0.50} \times V^{0.30}$	VはW, Pより近似計算で求める。
	$200 \leq \theta_s \leq 600^\circ\text{C}$	$\alpha = 10^{6.63} \times (WV)^{0.36} \times \theta_s^{-1.87}$	
ラミナーフロー	$\theta_s = 50^\circ\text{C}$	$\alpha = 10^{3.77} \times \sqrt{WV}^{0.79}$	$\theta_w = 20^\circ\text{C}$
	$200 \leq \theta_s \leq 800^\circ\text{C}$	$\alpha = (1.04 \times 10^{-4} - 1.41 \times \theta_s + 2.9 \times 10^{-3} \times \theta_s^2) \times \sqrt{WV}^{(0.17 + 1.17 \times 10^{-3} \times \theta_s)}$ $\alpha = (279 + 0.29 \times \theta_s - 0.62 \times 10^{-3} \times \theta_s^2) \times \sqrt{WV}^{(0.17 + 1.17 \times 10^{-3} \times \theta_s) \times \theta_{sub}^{(0.86 - 0.72 \times 10^{-3} \times \theta_s + 0.38 \times 10^{-6} \times \theta_s^2)}}$	

ただし、 α :熱伝達係数、W:水量密度、V:液滴の衝突速度、 θ_s :鋼板表面温度、 θ_w :水温、 θ_{sub} : $(100 - \theta_w)$

- i) スプレーの冷却能は水量密度w、鋼板表面温度 θ_s だけでも精度良く推定することができる。^{1), 2)}
 ii) ミストの冷却能は液滴の衝突速度範囲が非常に広く、w、 θ_s は勿論、液滴の衝突速度vも考慮すると良く整理することができる。なお、vは(1)式に示す近似式³⁾より求めた。

$$v = (1/2) (a / \rho_g) w \{ \sqrt{1 + 8(\rho_g / \rho_f)(P \cdot g_c / \rho_f w^2)} - 1 \} \dots (1) \quad \rho_f, \rho_g: \text{液滴、空気の密度、} g_c: \text{力の変換係数}$$

- iii) ラミナーの冷却能は $\sqrt{wv}$ および θ_s で整理するとうまくまとめられる。ただし、vは(2)式より求めた。また、従来から報告されているとおり水温の影響が認められる。^{4), 5)}

$$v = \sqrt{V^2 + 2gH} \dots (2) \quad V: \text{ノズル出口速度、} g: \text{重力加速度、} H: \text{ノズル高さ}$$

4. 結論

鉄鋼製造プロセスでよく使用される水噴流冷却(スプレー、ミスト、ラミナー)の冷却能をw、v、 θ_s により精度良く推定することができた。ミスト、ラミナーの場合は衝突速度も考慮する必要がある。

参考文献 1)国岡ら:鉄と鋼、63(1977)、S184 2)国岡ら:鉄と鋼、62(1976)、S618

(3)戸田:日本機械学会論文集、38(1972)307、P581 (4)白岩ら:鉄と鋼、57(1971)、P485

(5)石谷ら:日本機械学会関西支部 第49回定時総会、(1974)、P42