

(154) 高温金属表面に衝突する液滴の変形挙動

名工大 材料開発研究施設・荒木和男 森山 昭

I. 緒言 本報では、高温金属表面に衝突する単一液滴の変形挙動を精密に記述するために、薄膜流厚さに関する前報¹⁾の理論式のかわりに実験結果²⁾から導出した実験式を使用して、前報の理論モデルを修正した。この修正モデルは400~800°Cの金属表面に衝突した液滴の変形挙動をきわめて良好に説明した。

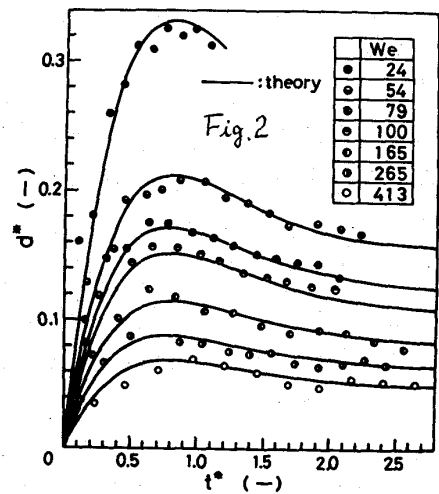
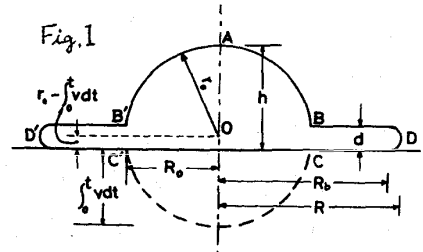
II. 理論 本報の理論は一般性を考慮して無次元形で取扱われる。

1. 前報¹⁾の理論の無次元化 考察にあたり前報と同じ仮定を設けると滴の運動方程式が前報の(29)式を無次元化した(1)式で与えられる。 R^* および v^* は幾何学的に各々(2), (3)式によってひの無次元積分形 ϕ^* に関係づけられる(Fig.1)。(1)~(3)式を $t^*=0$ で $v^*=0$ の条件下で解いて(4)あるいは(5)式が求まる。したがって滴頂部Aの位置変化は(6)式となる。いま薄膜流厚さを d^* とすると薄膜流半径 R^* が幾何学的考察から(7)式で与えられる。

2. 薄膜流厚さ d^* および薄膜流完成時間 t_c^* 薄膜流厚さ d^* は適当な仮定に基づき実験的知見²⁾から(8)式で記述できることがわかった。Fig.2 は d^* の実験値と計算値を比較している。次に薄膜流完成時間を $t_c = d$ (i.e. $t_c^* = d^*/2$) となる時点と定義すると、その時の

ϕ^* ($\equiv \phi_c^*$) および d_c^* ($\equiv d_c^*$) は(9)および(10)式で与えられる。したがって t_c^* が(11)式から求められる。

3. 薄膜流最大半径 R_{max}^* および薄膜流断面積の積分量 薄膜流完成時に R^* が最大となると考えられるから、 R_{max}^* は(9), (10)式で与えられる d_c^* , ϕ_c^* を使って(12)式から計算できる。また、高温金属表面と液滴間の伝熱面積に関連する薄膜流断面積の積分量 $I(R^*, t_c^*) \equiv v_0 \pi \int_0^{t_c^*} R^2 dt / (2\gamma_0)^3$ は(7), (8)式を使って変形すると(13)式となる。薄膜流の伸張および収縮に伴う半径方向運動エネルギー損失はきわめて小さいと考えられるから、収縮過程は伸張過程と全く逆の過程をたどると仮定すると、接触時間 t_c^* および伝熱面積 πR_b^2 の無次元化積分量 $I(R_b^*, t_c^*) \equiv v_0 \pi \int_0^{t_c^*} R_b^2 dt / (2\gamma_0)^3$ は各々近似的に(14)および(15)式で与えられる。



$$\frac{4}{3} v^* \frac{dv^*}{dt^*} = (R^*)^2 (v^*)^2 \quad (1)$$

$$R^* \equiv R_0/r_0 = \{(2-\phi^*)\phi^*\}^{1/2} \quad (2)$$

$$v^* \equiv V/\frac{4}{3}\pi r_0^3 = (1+\phi^*)(1-\phi^*/2)^2 \quad (3)$$

$$\phi^* \equiv \int_0^{t^*} v dt / r_0 = 3 \left\{ \frac{1-(2-\sqrt{3})\exp(-\sqrt{3}t^*)}{1+(2-\sqrt{3})\exp(-\sqrt{3}t^*)} \right\}^2 - 1 \quad (4)$$

$$v^* \equiv \frac{v}{v_0} = \frac{6\sqrt{3}(2-\sqrt{3})\{1-(2-\sqrt{3})\exp(-\sqrt{3}t^*)\}}{\{1+(2-\sqrt{3})\exp(-\sqrt{3}t^*)\}^3} \exp(-\sqrt{3}t^*) \quad (5)$$

$$h^* \equiv h/2r_0 = 1-\phi^*/2 \quad (6)$$

$$R^* \equiv R/r_0 = \{(2-\phi^*)\phi^* + (\phi^*)^2(3-\phi^*)/3d^*\}^{1/2} \quad (7)$$

$$d^* \equiv d/r_0 = 1.19We^{-0.56}\phi^*(2.6-\phi^*) \quad (8)$$

$$d_c^* = (1.4-0.84We^{0.56} + 0.706We^{1.12} - 2.35We^{0.56} + 6.76)/2 \quad (9)$$

$$\phi_c^* = (2.6+0.84We^{0.56} - 0.706We^{1.12} - 2.35We^{0.56} + 6.76)/2 \quad (10)$$

$$t_c^* \equiv v_0 t_c / 2r_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \ln \left[\frac{\{2+\sqrt{3}\}\{\sqrt{3}-(\phi_c^*+1)^{1/2}\}}{\sqrt{3}+(\phi_c^*+1)^{1/2}} \right] \quad (11)$$

$$R_{max}^* = \{(2-\phi_c^*)\phi_c^* + (\phi_c^*)^2(3-\phi_c^*)/3d_c^*\}^{1/2} \quad (12)$$

$$I(R^*, t_c^*) \equiv v_0 \pi \int_0^{t_c^*} R^2 dt / (2r_0)^3 = \frac{\pi}{4} \int_0^{\phi_c^*} \{ \{(2-\phi^*)\phi^* + 0.28We^{0.56}\phi^*(3-\phi^*)/(2.6-\phi^*) \} / (1-\frac{1}{2}\phi^*)(1+\phi^*)^{1/2} \} d\phi^* \quad (13)$$

$$t_c^* = 2t_c^* \quad (14)$$

$$I(R_b^*, t_c^*) = 2I(R^*, t_c^*) \quad (15)$$

Ⅲ. 理論と実験的知見²⁾の比較 R^* の実測値と計算値はきわめて良く一致し (Fig.3). 運動方程式 (1) の妥当性が示された。薄膜流半径 R^* および伝熱面半径 R_b^* の計算値と実測値の対応もきわめて良好である (Fig.4)。また、 R^* が最大となる時間 t_c^* および R_b^* が最大となる時間 $t_{b,c}^*$ の実測値と (11) 式に基づく計算値も良く一致する (Fig.5)。接触時間 t_c^* の実測値は低 We 数側で計算値よりかなり大きい。高 We 数領域では 400°C のデータを除いて計算値によって良く説明される (Fig.5)。(12) 式に基づく計算値と $R_{\max}^*$ および $R_{b,\max}^*$ の実測値の比較 (各々 Fig.6 および 7) から、(12) 式は $R_{\max}^*$ より $R_{b,\max}^*$ の実測値に良く適合することがわかる。薄膜流断面の積分量も、 R^* に関する $I(R^*, t_c^*)$, $I(R^*, t_{b,c}^*)$ よりも、 R_b^* に関する $I(R_b^*, t_c^*)$, $I(R_b^*, t_{b,c}^*)$ の方が理論値と実測値との対応が良好で、特に水滴に対しては、既報²⁾の実験式よりも本報の理論の方が実測結果を良く説明している (Fig.8)。なお、Fig.8 の点線および一点鎖線は各々 400°C のデータに対する $I(R_b^*, t_c^*)$ および $I(R_b^*, t_{b,c}^*)$ の実測値に対する実験式である。

[文献] 1) 森山 昭, 荒木和男: 鉄と鋼, 64 (1978), 533.

2) F. AKAO, K. ARAKI, S. MORI and A. MORIYAMA: Trans. ISIJ, 20 (1980), (to be published).

[記号] d , ρ , γ_0 , R , R_b , R_0 は Fig.1 参照。 V : ABC'C'BA 部体積。
 u_0 : 初期衝突速度。 u : 滴頂点の法線方向速度。 t_c : 薄膜流完成時間。
 $t^* \equiv u_0 t / 2\gamma_0$ 。 t_c : 接触時間。 $\phi^* \equiv \int_0^{t_c} u dt / \gamma_0$ 。 $*$ 印はすべて無次元変数を表す。その他は、本文、式中参照。

