

G108

微小液滴形状の解析によるガラス融液の表面張力と接触角の同時測定手法の開発

(名工大) (正)岩田修一・(学)鈴木宏典・(正)森 秀樹
(名工大 セラミック基盤工学センター) 加藤丈明・藤 正督

1. 緒言

我々は、水平平板上に付着している液滴形状および液中の気泡形状の解析による表面張力 σ と接触角 γ の同時測定手法を開発し、文献値の入手が容易な物質を用い、その有効性を検討してきた⁽¹⁾。今回、本手法をガラスの融液に適用することを試みた。ガラス融液の表面張力は、ガラス製造過程において重要であるが、その温度のために測定することは容易ではない。ガラス融液の表面張力は、静滴法やWilhelmy法などで測定され、報告されているものの、それらの値にはかなり幅がある。また、今回、融液に接する試料板の表面粗度にも注目し、表面張力の測定結果に与える影響についても検討を行った。

2. 数値解析

Fig.1は、球座標 (r, θ, ϕ) により示された計算系である。動径を f とする。ただし、代表寸法 a (三相接触円半径)を用いて動径 f を無次元化する。基礎式は、静止時 $(v=0)$ の運動方程式(1)と気液界面における力の釣り合い式(2)であり、圧力 p 、密度 ρ 、重力加速度 g を用い、それぞれ次式のように示される。

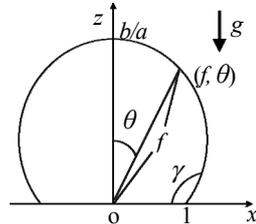


Fig.1 Calculation model

$$p = \rho g \quad (1)$$

$$n(p - p_G) + n \cdot (\tau - \tau_G) + 2H\sigma n = 0 \quad (2)$$

この両式から出発して、気泡形状 $f(\theta)$ の支配方程式として次の3階常微分方程式が得られる。

$$\frac{d}{d\theta} \left[\left\{ (f^2 + 2f_\theta^2 - ff_{\theta\theta}) + (f^2 + f_\theta^2) \left(1 - \frac{f_\theta}{f} \cot \theta \right) \right\} / (f^2 + f_\theta^2)^{3/2} \right] = (\rho g a^2 / \sigma) (f \sin \theta - f_\theta \cos \theta) \quad (3)$$

これを標準形に変形・整理すると(4)~(6)式を得る。ここで、 ψ は(3)式の{ }内の関数であり、 $F = f/f_\theta$ である。

$$\frac{df}{d\theta} = fF \quad (4)$$

$$\frac{dF}{d\theta} = (1 + F^2)(2 - F \cot \theta) - \psi (1 + F^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$\frac{d\psi}{d\theta} = (\rho g a^2 / \sigma)(f \sin \theta - F \cos \theta) + \psi F \quad (6)$$

$$\text{B.C.} \begin{cases} f = b/a, & f_\theta = 0 & \text{at } \theta = 0 \\ f = 1 & & \text{at } \theta = \pi/2 \end{cases} \quad (7)$$

上式はRunge-Kutta法により解くことができ、Shooting問題に帰着する。 $\theta = 0$ において、 $(f, F, \psi) = (b/a, 0, s)$ と ψ の出発値 s を仮定し、 $\theta = \pi/2$ になるまで計算を行い、 $\theta = \pi/2$ にて境界条件 $f = 1$ を満足するかどうかを確認する。不一致である場合、 ψ の出発値を修正し、収束するまで計算を繰り返す。収束時には、 $\theta = \pi/2$ での F の値が確定するので、接触角 γ は次式により求められる。

$$\cos \gamma = f_\theta / \sqrt{f_\theta^2 + f^2} \quad (8)$$

3. 実験方法

軟化点 730°C のソーダ石灰ガラスビーズ(アズワン製、直径約 5mm)をジルコニア板上に設置し、赤外線電気炉(アルバック理工製MS-E44-AN)で加熱する。まず 30min で 600°C まで昇温し、 $20^\circ/\text{min}$ で 900°C まで昇温する。次に 10°C 毎にステップ状に 1000°C まで昇温する。各ステップの保持時間は 20min であり、その後 $5^\circ/\text{min}$ で昇温した。

昇温時の溶融ガラスの形状を高解像度ビデオカメラにより写真撮影(3680×2760 pixels)する。ジルコニア板の上面に触れるように設置されたR型熱電対により温度が測定される。得られたガラス融液の形状を用いて解析を行い、表面張力と接触角を求めた。また、表面粗度の違いによる形状変化を調べるために、ジルコニア板は、未研磨状態の板と、研磨紙とダイヤモンドスラリーで研磨した板を用いた。それぞれの表面粗度は3D測定レーザー顕微鏡(OLYMPUS製OLS4000)を用いて評価した。

4. 結果と考察

950°C におけるガラス融液の画像と解析結果をFig.2に比較図示する。○は解析結果である。表面の最大高さ R_z と計算で得られた表面張力と接触角をそれぞれTable 1に示す。未研磨板の表面は縞状であり、 R_z は縞に平行な方向と

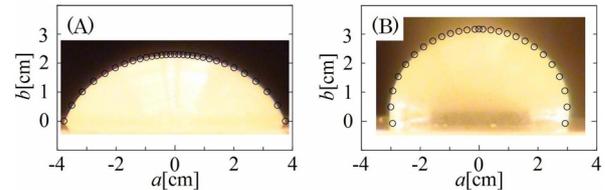


Fig.2 Calculation results on close up photo of a glass droplet on ZrO_2 plate at 950°C . (A): Polished plate, (B): Raw plate

Table 1 Experimental results

	Roughness R_z [μm]	Surface tension σ [mN/m]	Contact angle γ [$^\circ$]
Polished plate	0.194	265	62
Raw plate	0.326 / 2.579	410	96

横断する方向の値が示されている。研磨板では、表面張力値は小さな値を示し、接触角も異なった。これは、液深が小さいため、表面張力が曲率に及ぼす影響が小さく、誤差が生じたことが考えられる。

昇温時の三相接触円半径 a の推移をFig.3に示す。研磨板に設置されたガラス融液は、Fig.3 Effect of temperature t on radius of the contact line 'a.' 未研磨板よりも大きいことがわかった。今後、接触角の違いとも併せて検討を行いたい。

5. 結言

表面粗度の異なるジルコニア板上に設置されたガラス融液について、表面張力と接触角の測定を試みた。粗度の違いが測定結果に影響を与えることが分かった。

参考文献：(1)第41回化学工学秋季大会, E203 講演 (2009)

*TEL(052)735-5256,FAX(052)735-5255,Email: iwa@nitech.ac.jp