PTFE 板材の熱膨張率の測定

Measurement of Thermal Expansion Coefficient of PTFE at Low Temperatures
Using Electronic Speckle Pattern Interferometry○学 叶谷 憲太郎 (関西大・院)
正 中原 住雄 (関西大・工)正 久田 重善 (関西大・工)
正 藤田 武良 (関西大・工)Kentarou KANOYA, Graduate School of Kansai University, 3-3-35, Yamatecho, Suita, Osaka
Shigeyoshi HISADA, Sumio NAKAHARA, Takeyoshi FUJITA, Kansai University

The thermal expansion coefficient of rectangular shaped specimens at low temperatures was measured by ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry). The thermal expansion coefficient was obtained from the thermal strain acquired by ESPI and the temperature change. Polytetrafluoroethylene(PTFE) were investigated. The thermal expansion coefficients in the range of $50 \sim 600 (\times 10^{-6} \text{ K}^{-1})$ were obtained in the temperature from 100K to 350K.

Key Words : Electronic speckle pattern interferometry, Thermal expansion coefficient, Thermal Strain

1 緒言

低温工学が発展するにつれて、より厳しい環境下で使用される装置が増えている。そのような低温装置を設計、製作するときには、材料の熱的性質および機械的性質について十分に考慮して材料を選択する必要がある。その中でも、熱膨張率は、特に異種材料を組み合わせる際に重要になってくる。そういった場合、前もって低温下で使用される材料の熱膨張率を知っておくことは重要である。そこで、我々は、電子スペックルパターン干渉法¹⁾²⁾ (Electronic Speckle Pattern Interferometry ; ESPI)を用いて、低温下での熱膨張率の測定を行った。この方法は、光学的計測法の一つであるスペックル干渉法に位置する。この手法は、記録媒体に CCD カメラを用い、得られた熱膨張による変形前後の画像をコンピュータで処理を行い、実時間での面内ひずみ計測を可能にする。

ESPI は、被測定物全体の変形状態を一度に記録することができるため、材料の形状を選ばない。また、ひずみゲージによる方法と比較すると、ESPI は非接触測定であるため、温度変化の影響を受けず、温度補償の必要がないという利点を有している。

ESPI により得られた干渉縞よりひずみ量を求め、その間の温度変化を測定することにより熱膨張率の算出を行った。

2 実験装置と実験方法

使用した実験装置を Fig.1 に示す。冷却装置には、観測窓を設けてあるクライオスタットを用い、内部を真空にした後、冷凍機により試料を冷却する。この装置では、冷却中、冷凍機から生ずる振動によりスペックルの相関が崩れ、ESPI の測定が不可能であったため、試料表面の温度が平衡状態に達した後、冷凍機を停止し、その後の昇温過程で熱膨張率の測定を行った。光学系は、波長 $0.633 \mu\text{m}$ の He-Ne レーザをビームスプリッタにより分割した後、それぞれを直径 90mm の平行光とし、観測窓を通して、試料板表面の法線方向に対して等しい角度で対称に照射する。そして、その拡散光によるスペックル像を CCD

カメラにより取り込み、変形前と変形後のスペックル像の強度分布を減算し、絶対値をとることによってスペックルの輝度変化を求めると、縞模様が得られる。(Fig.2)

Fig.1 Experimental Apparatus

縞模様は、スペックルの輝度変化すなわち物体光の位相変化が等しいところを示している。この縞の示す相対変位量は、光学配置により決定され、ここで使用した二光束法では、面外変形による位相変化が打ち消され、ある特定方向の面内成分(ここでは Fig.2 の x 成分)のみの変位を示し、一縞あたりの相対変位量、すなわち縞感度 u_x は、次式で表される。

$$u_x = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

ここで θ は、物体の法線方向に対するレーザの入射角度であり、 λ はレーザの波長である。ここでは $\theta = 8.3^\circ$ としたので、縞感度 $2.2 \mu\text{m}/\text{本}$ となる。すなわち、縞間隔 d の2点間において $2.2 \mu\text{m}$ の相対変位が生じたことになるので、一定方向に対するひずみ量 ε_x は次式で表される。

$$\varepsilon_x = \frac{2.2 \times 10^{-6}}{d}$$

また、実験中の試料表面の温度測定には、 $\phi 50 \mu\text{m}$ の K 型熱電対を用い、その温度変化と熱ひずみ量から各温度での熱膨張率を求めた。

試料には、中心に冷却端取付け用の穴を設けた矩形の板材 ($150 \times 30 \times 5$) を用い、試料として PTFE (フッ素樹脂) を用意し、冷却端から 20mm の点を測定点とした。なお試料のうち、PTFE はレーザ光を一部透過し、その内部拡散光の影響により、変形前後でのスペックルパターンの相関が低下するため良好な縞が得られない。そのため、試料表面に Al 蒸着を施し、測定を行った。

Fig.2 Input Image from CCD and ESPI Processed Image

3 結果

Fig.3 に PTFE の試料表面の温度変化を代表例として示し、Fig.4 に ESPI により求めた冷凍機停止後の昇温過程における PTFE の熱ひずみを示す。それらのデータから算出した熱膨張率を Fig.5 に示す。Fig.5 において、低温領域では公表値³⁾と異なる挙動を示しているが、常温付近では、ほぼ一致した傾向を示していることが分かる。再現性については、現在実験中である。

Fig.3 Temperature change (PTFE)

Fig.4 Thermal strain (PTFE)

Fig.5 Thermal expansion coefficient (PTFE)

4 まとめ

電子スペックルパターン干渉法(ESPI)により、PTFE 板材の低温域から常温付近までの昇温過程における熱ひずみを測定し、PTFE の温度変化から熱膨張率を算出した。

PTFE の低温域での熱ひずみ測定が、平板上の任意の点において、非接触かつリアルタイム(テレビレート)で、可能であることを確認した。

参考文献

- 1) S.Sirohi : Speckle Metrology , Marcel Dekker Inc (1993)
- 2) R.Jone. : Holographic and Speckle Interferometry , Cambridge University Press , p122-124 (1983)
- 3) Takaomi Satokawa : ふっ素樹脂ハンドブック , 日刊工業新聞社, p60 (1990)