213 電子スペックルパターン干渉法による低温下での材料の微小変形の測定

Measurements of Micro-deformation of Several Materials at Low Temperatures
Using Electronic Speckle Pattern Interferometry

○学 西口 篤志 (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)

Atsushi NISHIGUCHI, Graduate School of Kansai University, 3-3-35, Yamatecho, Suita, Osaka 564-8680
Sumio NAKAHARA, Kansai University
Shigeyoshi HISADA, Kansai University
Takeyoshi FUJITA, Kansai University

Key Words ; Electoronic 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用いら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も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。そこで我々は、電子スペックルパターン干渉法¹⁾ (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の応用として記録媒体に CCD カメラを用いて得られた画像をコンピュータで処理を行い実時間での変位量の計測を可能にする。

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。

金属材料について、ESPI により得られた変位量を微分してひずみ量を求め、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。

Fig.1 Experimental Apparatus

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、観測窓を底部に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、その上部に取付けられている冷凍機により、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に分割した後、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 カメラにより取込み、変形前と変形後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.2 Input Image from CCD and ESPI Processed Image

これは、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 $\theta = 18.2^\circ$ としたので、縞感度は $2.0 \times 10^{-6}\text{m}$ となる。すなわち、縞間隔 d の 2 点間において $2.0 \times 10^{-6}\text{m}$ の変位量差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。

$$\varepsilon_x = \frac{2.0 \times 10^{-6}}{d}$$

また、実験中の試料表面の温度測定には、 $\phi 25\mu\text{m}$ 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 ($150 \times 30 \times 2$) を用い、金属材料としてオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304)、アルミニウム合金 (A1100)、Pure Ti を用意し、冷却端から 10mm と 30mm の点を測定点とした。なお温度上昇速度が約 1K/min 以下になるとヒータによって加熱し変形を早めることで、変形前後でのスペックルパターンの相関が外乱によって乱れるのを防いだ。

3. 結果

Fig.3 に SUS304 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 SUS304 の各測定点での熱膨張を示す。それらのデータから算出した熱膨張率を Fig.5 に示す。同様にして求めた A1100 と Pure Ti の熱膨張率の測定結果を Fig.6, Fig.7 に示す。Fig.5, Fig.6 および Fig.7 には公表値³⁾も同様に示したが、ほぼ一致した結果を示していることが分かる。

Fig.3 Temperature change (SUS304)

Fig.4 Thermal expansion (SUS304)

Fig.5 Thermal expansion coefficient (SUS304)

Fig.6 Thermal expansion coefficient (A1100)

Fig.7 Thermal expansion coefficient (Pure Ti)

4. まとめ

ESPI により、低温下での金属材料の熱膨張率を求めることができた。その結果、試料に応じて $0.1 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6} (1/K)$ の熱膨張率が得られ、公表値と似た傾向 および近い値を得ることができた。また、本実験を応用し熱膨張率の大きい試料の測定も可能である。

本研究の一部は関西大学重点領域研究の助成による。
また、関西大学 HRC の研究の一環である。

参考文献

- 1) S. Sirohi : Speckle Metrology, Marcel Dekker Inc., 1993
- 2) R. Jone et al. : Holographic and Speckle Interferometry, Cambridge University Press, 1983
- 3) ステンレス協会：ステンレス鋼便覧—第3版—, 1995