

El Tecnológico de Monterrey Campus Chihuahua y el "Decision Sciences Institute" otorgan el presente diploma a:

MSC RUBÉN CASTAÑEDA BALDERAS

Por haber participado en el Noveno Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria como expositor de la ponencia:

ANÁLISIS DE SALIDA TÉRMICA EN GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Autores participantes en el congreso:

IXCHEL MONROY SANCHEZ, ALBERTO DÍAZ DÍAZ, ALFREDO ALÁN REY CALDERÓN, RUBÉN
CASTAÑEDA BALDERAS

Chihuahua, Chih. a 17 de noviembre del 2017



M.C.P. Elias Solis Rivera
Director de Investigación,
Inovación y Desarrollo Tecnológico



M.A. Maria Cristina Torres Espinosa
Coordinadora del Congreso ICM

Corrección de salida térmica en galgas extensiométricas.

Ixchel Monroy Sánchez

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo
Blvd. Acceso Tolcayuca #1009 Ex Hacienda de San Javier, Tolcayuca Hgo.
ixchel.monroysz@gmail.com

Dr. Alberto Díaz Díaz

Departamento de Metalurgia e Integridad Estructural.
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.
alberto.diaz@cimav.edu.mx

Alfredo Alán Rey Calderón.

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.
alfredo.rey@cimav.edu.mx

M.S.C Rubén Castañeda Balderas

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.
ruben.castaneda@cimav.edu.mx

Temática general: Materiales.

Resumen

Las galgas extensiométricas son uno de los instrumentos mayormente utilizados en la medición de deformaciones en materiales. Los mayores errores de medición ocurren al realizar las pruebas a temperaturas diferentes de la temperatura ambiental. Las galgas cuentan con un polinomio de corrección propio dado por el fabricante. Sin embargo, este polinomio solo es eficiente para rangos de temperatura muy alta. En este documento se analizará la salida térmica, proponiendo un método de corrección para las mediciones en un rango de temperatura específico.

Palabras clave: Galgas extensiométricas, salida térmica, pruebas termo mecánicas, coeficiente de dilatación, factor de galga.

Abstract

The strain gauges are one of the tools mostly used in the measurement of deformations in materials. The largest measurement errors occur when testing at temperatures different than the environmental temperature. The gauges come with a self-correction polynomial given by the manufacturer. However, this polynomial is only efficient for very high temperature ranges. In this paper we will analyze the thermal output, proposing a correction method for measurements in a specific temperature range.

Keywords: Strain gages, thermal output, mechanical tests, thermal expansion coefficient, strain gage factor.

Introducción

En el estudio de materiales las mediciones forman parte fundamental, uno de los instrumentos mayormente ocupados son las galgas extensiométricas. Éstas son sensores de contacto directo capaces de medir la deformación de un material por medio de un cambio de resistencia eléctrica. El cambio es medido a través de un puente de Wheatstone. El cambio de resistencia se puede dar por diversos factores, como una carga mecánica externa que provoca una deformación en el material de prueba, la cual es el objeto de medición de la galga. También el cambio puede ser ocasionado por una variación de temperatura. Se conoce como salida térmica la respuesta a una variación de temperatura de una galga extensiométrica aislada. El no tomar en cuenta los cambios de temperatura puede provocar errores que pueden ser más grades a medida que la temperatura se aleja de la temperatura ambiente o de la temperatura a la que se calibraron las galgas. Este error también depende del material con el que esté hecho el filamento. Los cambios de resistencia no son forzosamente lineales en función del cambio de la temperatura puesto que con la variación de temperatura:

- La resistencia del filamento cambia.
- El factor de galga está sujeto a variación.
- La resistencia eléctrica de la rejilla de la galga extensiométrica varía por el tipo de material con el que está hecha y del cambio de temperatura.
- La diferencia de coeficientes de dilatación entre el material de prueba al cual está pegada la galga y el conductor en la rejilla de la galga, al estar en contacto con un cambio de temperatura, el material se expande o se contrae por lo que la galga se somete a compresión o tensión.

La salida térmica se puede observar en la gráfica de la figura 1 para una ventana de 300°C. En la gráfica se aproxima la salida por medio de una regresión utilizando un polinomio de grado 4. Este polinomio es proporcionado por el fabricante. Para una ventana menor de temperatura, si se sigue utilizando el mismo polinomio, se puede incurrir en errores. Estos errores se analizarán en este trabajo y se propondrá un método para corregir la salida térmica para temperaturas en un rango de

20 a 70°C. El método de corrección utilizado en este trabajo se ajusta con mediciones sobre un aluminio y se valida con mediciones sobre cobre y hierro.

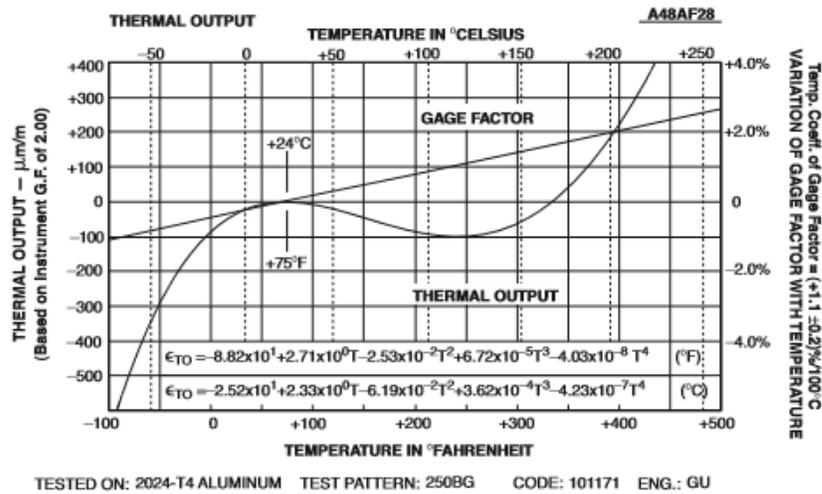


Figura 1 Variación del factor de galga y salida térmica respecto a la temperatura. Strain Gage Thermal Output and Gage Factor Variation with Temperature. (2014). Micro-Measurements, Tech Note TN-505. p.6.

Materiales y métodos.

Las galgas analizadas pertenecen a la serie EA-13-060LZ- 120/E, lo cual se refiere que tiene una aleación en el filamento de constantán, con una resistencia de 120Ω. El primer material de prueba será aluminio, el cual se someterá a un incremento de temperatura de 28°C a 70°C en un horno, dicha temperatura se corroborará mediante el uso de un termopar. También se utilizará hierro y cobre para validar las correcciones de la salida térmica de las galgas. Para el método de corrección proporcionado por el fabricante y el método propuesto en este trabajo, es necesario comenzar obteniendo el coeficiente de dilatación del material de prueba mediante pruebas en un TMA. Esto es para tener un valor de referencia que servirá para comparar la predicción de coeficiente de dilatación térmica.

Método proporcionado por el fabricante

La corrección de las lecturas de deformación proporcionada por el fabricante consiste en un polinomio de salida térmica (deformación que debe ser restada a la lectura de deformación cuando no se trabaja a temperatura ambiente):

$$\epsilon_{T/O} = a_0 + a_1(T) + a_2(T)^2 + a_3(T)^3 + a_4(T)^4 \quad (1)$$

Donde a_N son los coeficientes de cada serie y T es la temperatura de prueba. Las correcciones de las lecturas de deformación vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon'_{Real} = \varepsilon_{Lectura} - \varepsilon_{T/O} \quad (2)$$

Donde

$\varepsilon_{lectura}$ = Deformación proporcionada por las galgas extensiométricas.

ε'_{real} = Deformación parcialmente corregida del material.

$\varepsilon_{T/O}$ = Salida térmica.

La deformación es parcialmente corregida ya que es necesario realizar un ajuste al factor de galga por el cambio de temperatura. Para realizar la corrección de las lecturas con un cambio de factor sólo es necesaria la siguiente relación:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \left(\frac{F_1}{F_2} \right) \quad (3)$$

Donde

ε_2 = Salida térmica a temperatura inicial y corregida con el factor de galga.

ε_1 = Salida térmica a temperatura inicial.

F_2 = Factor de galga corregido.

F_1 = Factor de galga a temperatura ambiente.

El factor de galga corregido se calcula con la siguiente fórmula

$$F_2 = F_1 + \left(\frac{T_2 - T_1}{100} \right) \left(\frac{\Delta F * F_1}{100} \right) \quad (4)$$

Donde

T_1 = Temperatura de referencia (dada por el fabricante).

T_2 = Temperatura de prueba.

ΔF = Porcentaje de cambio del factor de galga proporcionado por el fabricante.

Método alterno

Se propone un método alterno para encontrar un polinomio más exacto a la salida térmica $\varepsilon_{T/O}$ en un rango de temperatura reducido. En este método se necesita conocer de antemano el coeficiente de dilatación térmica α de un material de referencia. En este artículo se escogió un aluminio y se midió su coeficiente de dilatación térmica con un TMA.

Posteriormente, se instrumentan 3 probetas de material de referencia con 2 galgas cada una y se somete a un incremento de temperatura ($0.25^{\circ}\text{C}/\text{min}$) en un horno y durante el cual se censan la temperatura de la probeta y las deformaciones en bruto $\epsilon_{lectura}$ obtenidas por las galgas. Se grafica luego la salida térmica

$$\epsilon_{T/O} = \epsilon_{lectura} - \Delta T * \alpha \quad (5)$$

contra el incremento de temperatura ($\Delta T = T_{inicial} - T_{final}$). Se realiza después una regresión polinomial de los datos obtenidos. Esta regresión permite predecir la salida térmica de las galgas para cualquier prueba termomecánica (dentro del rango de temperatura reducido) no sólo cuando la galga está pegada sobre el material de referencia, sino cuando está sobre cualquier otro material.

Desarrollo y Discusiones.

Se realizaron 3 pruebas en el TMA para obtener el coeficiente de dilatación del material de referencia (en este caso, el aluminio). Se obtuvieron las gráficas de la figura 2 y se determinó un promedio de coeficiente de dilatación de $\alpha=23.5\mu\epsilon/\text{K}$

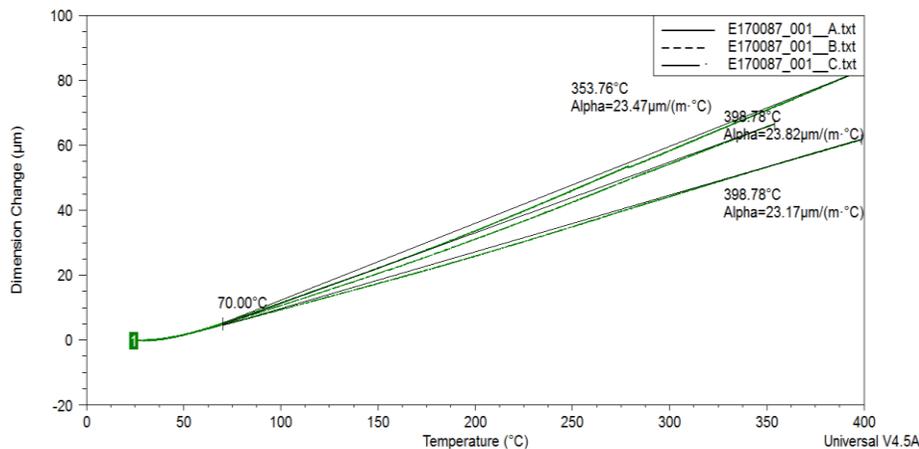


Figura 2 Cambio de dimensión de aluminio contra temperatura.

En un horno el material de prueba se sometió a un incremento desde temperatura ambiente hasta 72°C . Se obtuvieron las lecturas de deformación en bruto para cada temperatura mostradas en la figura 3.

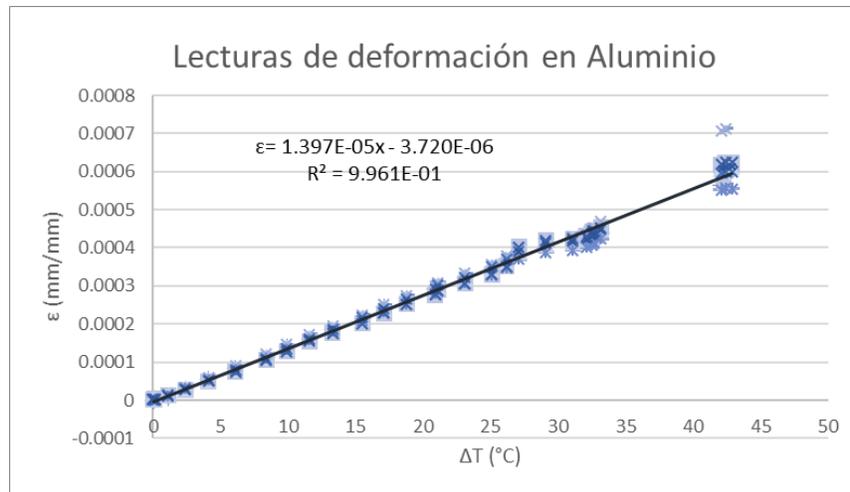


Figura 3 Gráfica de lecturas sin corrección de deformación contra temperatura en el aluminio.

Con los datos anteriores si se hace una regresión lineal y si se extrae la pendiente de la recta ($13.97\mu\epsilon/^\circ\text{C}$), se puede pensar que se obtiene el coeficiente de dilatación térmica del material pero en realidad no es así, se encuentra un error significativo de un 40% por causa de la no consideración de la salida térmica de la galga. Se prosigue a la corrección de los datos usando el polinomio y coeficientes proporcionados por el fabricante, así como la corrección del factor de galga y se obtuvieron gráficas de deformación corregida por el método del fabricante contra la temperatura (ver figura 4). La regresión lineal de esta gráfica permite obtener el coeficiente de dilatación térmica deducido por el método del fabricante. Se obtuvo un promedio de $14\mu\epsilon/^\circ\text{C}$, en lugar de $23.5\mu\epsilon/^\circ\text{C}$, por lo que para el rango de temperaturas anterior se detectó un error de 34.7%

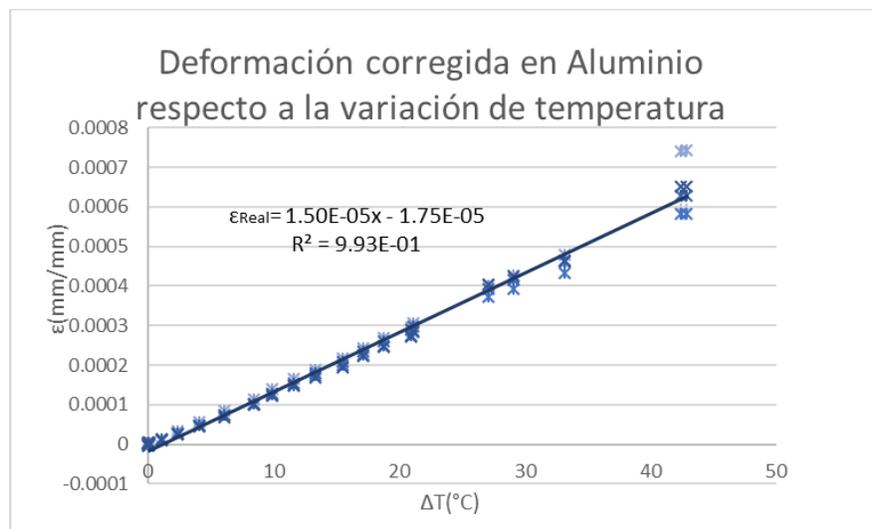


Figura 4. Deformación corregida en el Aluminio respecto a la variación de temperatura.

Método propuesto

Considerando que la salida térmica $\varepsilon_{T/O} = \varepsilon_{lectura} - \Delta T * \alpha$, se graficó la salida térmica en función de la variación de temperatura (ver figura 5) para el aluminio ensayado. Al observar la linealidad de los resultados se optó por una regresión lineal de los datos. En la figura 5, se muestran el polinomio de la regresión y el coeficiente de correlación, este último (de 0.995) indica que la regresión es de excelente calidad. La salida térmica es:

$$\varepsilon_{T/O} = a1 + a2(\Delta T) \quad (6)$$

Donde:

$$a1 = -5.5487E - 6$$

$$a2 = -9.5291E - 6$$

$\Delta T =$ Variación de temperatura.

Estos coeficientes son únicamente válidos para el rango de temperatura de 28°C a 72°C.

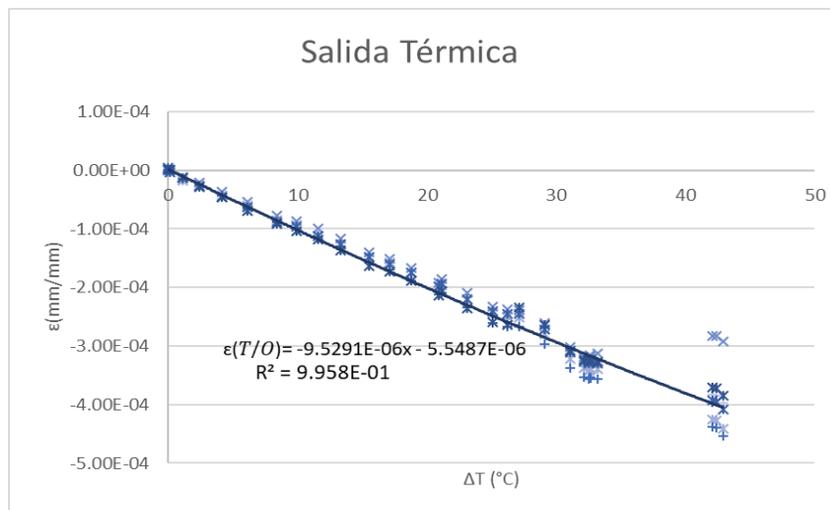


Figura 5 Salida térmica con el método propuesto.

Validación de coeficientes.

Los coeficientes anteriormente obtenidos se validaron con pruebas térmicas en materiales al igual que el aluminio, isotrópicos, en cobre y en acero en temperaturas similares a las que se realizó el balance y comparando con sus pruebas termo mecánicas su coeficiente de dilatación obtenido ($11\mu\varepsilon/^{\circ}\text{C}$ para el acero y $17\mu\varepsilon/^{\circ}\text{C}$ para el cobre medidos en el TMA). En la figura 6, se muestran las deformaciones en bruto y corregidas con el método propuesto (restando a la deformación en bruto la salida térmica) en función de la variación de temperatura para el acero ensayado. La

regresión lineal de estas gráficas arroja en la pendiente de regresión el coeficiente de dilatación térmica del material. Sin corrección se prevé un valor de $19.97\mu\epsilon/^\circ C$ mientras que con la corrección se prevé un valor de $11.5\mu\epsilon/^\circ C$. El error sin corrección es de 81.54% y con corrección es de 4.5% para el acero. Esto muestra que el método propuesto es preciso e idóneo. Para el cobre, se obtuvo un valor sin corrección de $6.95\mu\epsilon/^\circ C$, mientras que al realizar la corrección propuesta se prevé un valor de $11.5\mu\epsilon/^\circ C$ (Ver figura 7). Con los valores anteriores el error sin corrección presente en el cobre es de 36.81%, mientras que con corrección el error es de 4.54%. Al tener nuevamente un porcentaje de error menor por el método propuesto se puede observar que es eficiente y preciso el uso del mismo para la ventana de temperatura mostrada.

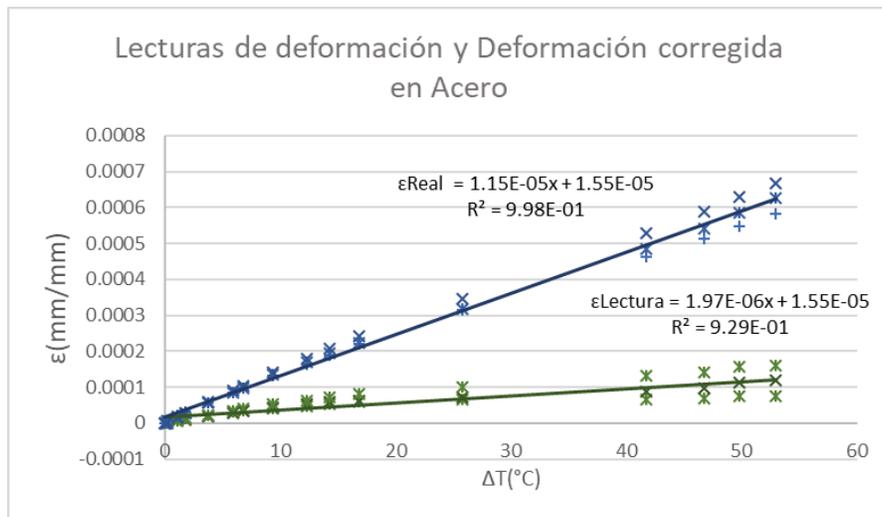


Figura 6 Lecturas de deformación y deformación corregida en Acero respecto a la temperatura.

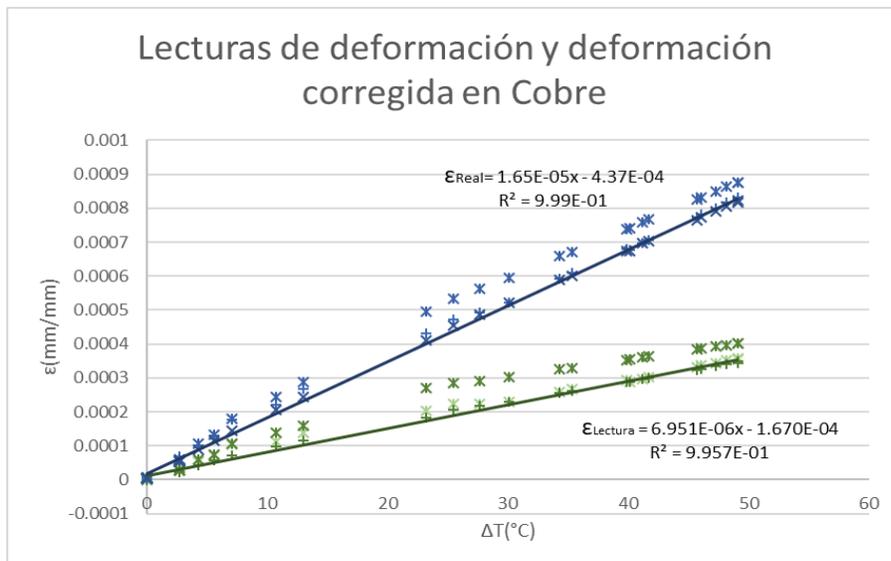


Figura 7 Lecturas de deformación y deformación corregida en Cobre respecto a la temperatura.

Conclusiones.

Se encontró una corrección eficiente de los errores presentados por la salida térmica de las galgas extensiométricas para medir deformaciones en pruebas termomecánicas. Se ha descrito una solución sencilla que requiere una calibración previa con un material de coeficiente de dilatación térmica conocido. Se probó la precisión del método corrigiendo las lecturas de deformación durante el calentamiento de otros materiales y se demostró que las deformaciones corregidas dan con excelente precisión el valor del coeficiente de dilatación térmica del material ensayado.

La corrección realizada sólo es válida para el tipo de aleación del filamento que tienen auto compensación térmica, como lo son la aleación A que corresponde a constantán y la aleación K correspondiente a Karma. Los coeficientes encontrados para las galgas EA-13-060LZ- 120/E son independientes del material de prueba y son válidos sólo en un rango de temperatura aproximadamente de 27°C a 80°C. El comportamiento de la salida térmica se consideró lineal. El cambio que existe en el factor de galga ocasionado por la temperatura es de 0.06% por lo que para este rango de temperaturas se desprecia.

Referencias

1. Precision Strain Gages and Sensors Databook. (2015). Raleigh,: VPG. Brand.
2. Micro Measurements (2014). Strain Gage Thermal Output and Gage Factor Variation with Temperature., Tech Note TN-504-1(11054).
3. MICRO MEASUREMENTS (2014), Strain Gage Selection: Criteria, Procedures, Recommendations. Tech Note TN-505-4(Tech Note TN-505-4)
4. Murray, W. and Miller, W. (1992). The Bonded Electrical Resistance Strain Gage. New York: Oxford University Press.
5. Hannah, R. and Reed, S. (1994). Strain gage users' handbook. London: Chapman and Hall, pp.53-56.
6. Micro-Measurements, V. (2007). Measurement of Thermal Expansion Coefficient Using Strain Gages. Tech Note TN-513-1, pp.119-129.