

*INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

**Misura della differenza tra i  
coefficienti di contrazione di  
AI 6062 e AI 6082**

I. Mochi, G. Falcini, S. Gennari, E. Oliva

Rapporto interno dell'Osservatorio di Arcetri

N°2 2006

La strumentazione per ottica infrarossa che lavora in ambiente criogenico viene allineata a temperatura ambiente e successivamente raffreddata. In quest'ultima fase le varie parti del sistema si contraggono per l'abbassamento della temperatura. Un modo per mantenere l'allineamento del sistema consiste nel realizzare alcune ottiche, i supporti ed il banco ottico con lo stesso materiale in modo tale che le dimensioni del sistema scalino in maniera uniforme.

Tradizionalmente gli specchi di alluminio per strumentazione infrarossa che opera in ambiente criogenico sono realizzati in alluminio 6061 con tecnica *diamond turning*. L'alluminio 6061 è una lega diffusa negli Stati Uniti presso le principali case produttrici di ottiche. In Europa tuttavia è utilizzato più comunemente l'alluminio 6082. Può capitare quindi di acquistare specchi di 6061 e disporre di supporti e banco ottico in 6082.

Queste misure hanno lo scopo di determinare la differenza tra i coefficienti di contrazione delle due leghe.

Precedenti misure hanno individuato una stima del valore della differenza tra i coefficienti di contrazione.

$$\Delta\alpha = (9.3 \pm 16.3) 10^{-8} K^{-1}$$

Di fatto questa stima pone un limite superiore a  $\Delta\alpha$  pari a  $25.6 \cdot 10^{-8} K^{-1}$ .

Per scendere sotto tale valore è stato utilizzato un metodo di misura che si basa sulle deformazioni indotte dalla differenza di contrazione di una lamina bimetallica.

Si consideri una lamina bimetallica realizzata saldando due sbarrette di alluminio 6061 e alluminio 6082 lunghe  $L$  e spesse  $t$ . Se i due materiali hanno un diverso coefficiente di contrazione la lamina si deformerà descrivendo un arco di circonferenza di raggio  $R$  che sottende un angolo  $2\theta$  (vedi figura 1).

$$L_1 = L(1 + \alpha_1 \Delta T) = \theta(R - t)$$

$$L_2 = L(1 + \alpha_2 \Delta T) = \theta(R + t)$$

$$L_2 - L_1 = L \Delta \alpha \Delta T = 2 \theta t$$

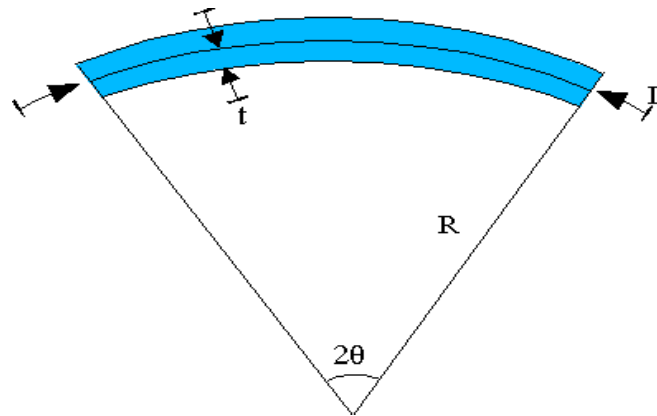
Se si considerano valori molto piccoli dell'angolo  $\theta$ , vale la relazione approssimata:

$$h \simeq \frac{\theta L}{2}$$

quindi, misurando la freccia  $h$  dell'arco, si può calcolare la differenza tra i coefficienti di contrazione secondo la relazione:

$$h \simeq \frac{L^2}{4t} \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta T$$

Figura 1. Schema di principio della deformazione della lamina bimetallica ottenuta saldando le due sbarrette di alluminio



La misura della freccia è stata effettuata con un comparatore a molla. Due sbarrette di alluminio 6061 e 6082 saldate insieme sono state appoggiate su un supporto di alluminio 6082 e bloccate su di esso con una molla a ciascuna delle estremità. Il comparatore è stato fissato al supporto con un braccio anch'esso di alluminio 6082 (vedi figura 2).

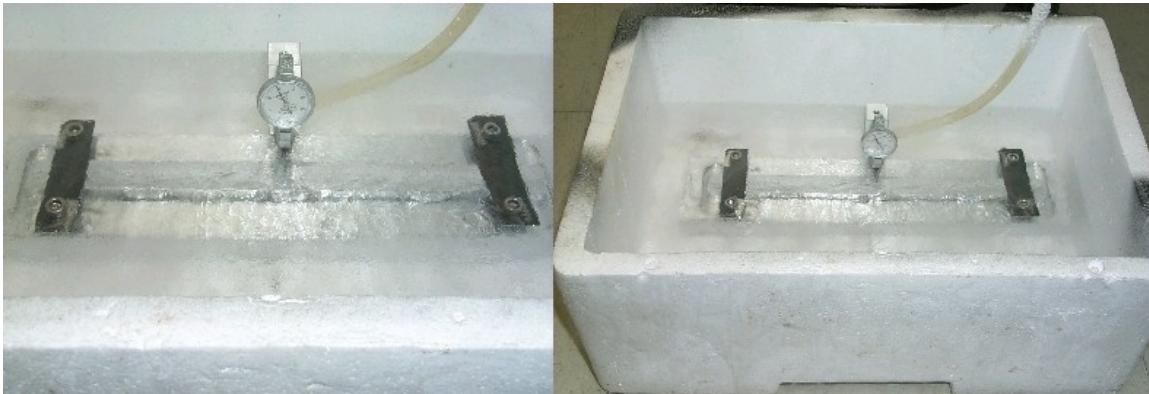


Figura 2. Il sistema di supporto e lamina immerso nell'azoto liquido.

Le misure sono state effettuate in due configurazioni: nella configurazione A la sbarra superiore è quella di 6082 e quella inferiore è quella di 6061. Viceversa nella configurazione B la sbarra superiore è quella di 6061 e quella inferiore è quella di 6082.

Ogni misura è stata effettuata azzerando il comparatore, immergendo il tutto nell'azoto fino a ricoprire le molle e aspettando che l'azoto smettesse di bollire prima di leggere lo spostamento sul comparatore. Fatto questo il blocco è stato estratto dal bagno di azoto (sollevandolo con 2 pinze dalle viti che fissano le molle) e lasciato riscaldare sul fan-coil fino a temperatura ambiente ( $\sim 293$  K). Infine una lettura di controllo dello spostamento del comparatore è stata effettuata per verificare che il sistema fosse tornato nelle condizioni originali.

Il comparatore è stato riposizionato ad ogni misura quando la lamina è stata voltata (passando da A a B).

<i>Misura</i>	<i>Spostamento (10<sup>-5</sup> m)</i>	<i>Controllo</i>	<i>Configurazione</i>
1	-0.5	-1.5	A
2	1.25	0	A
3	1.75	0	B
4	1	0	A
5	-1	-0.5	B
6	0.5	0	A
7	-0.75	0	B
8	0.75	0.5	A
9	-1	0	B

**Tabella 1.** Misura dello spostamento del comparatore. Le righe evidenziate sono quelle corrispondenti alle misure nelle quali il controllo è andato a buon fine i.e. il comparatore è tornato a 0 dopo il riscaldamento.

Considerando solo le misure nelle quali il comparatore è tornato a 0 dopo il riscaldamento si ha che la media dello spostamento nelle configurazioni A e B è:

$$\Delta A = 0.009167 \text{ mm}$$

$$\Delta B = 0 \text{ mm}$$

La configurazione A ha la concavità rivolta verso il basso quindi l'alluminio 6061 si contrae più del 6082.

Lo spessore dei due strati della lamina è stato misurato con il misuroscopio della Nikon in tre punti. I risultati ottenuti prima e dopo l'assottigliamento della lamina sono riportati nelle figure 3 e 4.

*Figura 3. Spessori dei due strati della lamina.*

5,060 mm	5,005 mm	5,065 mm
6061		
6082		
5,020 mm	5,060 mm	4,920 mm

*Figura 4. Spessori dei due strati della lamina.*

2,790 mm	2,690 mm	2,730 mm
6061		
6082		
2,130 mm	2,400 mm	2,270 mm

La lunghezza L della lamina è di 269 mm misurata dai bordi (escludendo le saldature), la differenza di temperatura è:

$$\Delta T = 293 - 77 = 216 \text{ K}$$

Utilizzando la formula:

$$h = \frac{L^2}{4t} \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta T$$

con  $h = 0.009167 \text{ mm}$ ,  $L = 269 \text{ mm}$ ,  $\Delta T = 216 \text{ K}$  e  $t = 5 \text{ mm}$  si ottiene

$$\Delta \alpha = (1.17 \pm 0.60) 10^{-8} \text{ K}^{-1}$$

Dato che le misure della deformazione della lamina risultavano al limite della sensibilità del comparatore è stato ritenuto opportuno eseguire la stessa misura dopo aver assottigliato le sbarrette portandole ad uno spessore  $t = 2.5 \text{ mm}$  ciascuna.

Misura	Spostamento ( $10^{-5} \text{ m}$ )	Controllo	Configurazione
1	0	-1	B
2	0.5	-2	A
3	0	-1.5	B
4	-0.75	-1.75	A
5	0	0	B
6	2	0	A
7	1	0	B
8	0	0	B
9	1	0	A
10	1.5	0	A
11	0	-1.5	B
12	2	0	A

**Tabella 2:** Misura dello spostamento del comparatore. Le righe evidenziate sono quelle corrispondenti alle misure nelle quali il controllo è andato a buon fine i.e. il comparatore è tornato a 0 dopo il riscaldamento.

Dopo aver assottigliato le sbarrette, ammettendo che i moduli di Young delle due sbarrette siano gli stessi, per calcolare la differenza dei coefficienti di contrazione si può utilizzare la formula:

$$\Delta \alpha = \frac{h}{2L^2} \frac{(t_a + t_b)^3}{t_a t_b \Delta T}$$

Con le sbarrette assottigliate fino a raggiungere gli spessori medi  $t_a = 2.48 \text{ mm}$  e

$t_b = 2.25 \text{ mm}$  si ottiene  $h = 0.016 \text{ mm}$  da cui si ricava:

$$\Delta \alpha = (1.04 \pm 0.58) 10^{-8} \text{ K}^{-1}$$

Queste misure permettono di individuare un limite superiore per la differenza dei due

coefficienti di contrazione di  $1.67 \cdot 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ . Il valore ottenuto si riferisce ai coefficienti di contrazione medi nell'intervallo tra 293 K e 77 K. A temperatura ambiente il coefficiente di contrazione dell'alluminio 6061 è circa  $25.4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  quindi la massima differenza tra i coefficienti contrazione delle due leghe è pari a circa lo 0.066%.