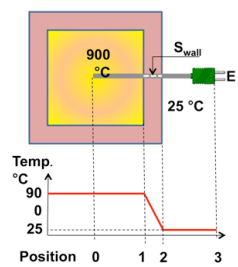


Termoelement N ger mindre kalibreringsfel än K i hög temperatur

Av tradition använder och kalibrerar man termoelement typ K i höga temperaturer inom t ex stålindustrin. Tidigare var kraven på noggrannhet så låga att kalibreringsfelen kunde ignoreras om de ens kunde mätas på den tiden. Dagens krav är emellertid högre och som följd blir kalibreringsfelen signifikanta. Vi reder ut orsakerna.

Grundregeln vid all kalibrering är att förutsättningarna ska vara lika vid kalibreringstillfället och vid mätningen i processen. [Ref 1]. Termoelementets utsignal beror av produkten känslighet S [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$] och temperaturskillnad som summeras utefter termoelementets hela längd från mätpunkt till referensstället. Se figur 1. [Ref 2]. S kallas även seebeckkoefficient. Vid mätning enligt figur 1 bildas hela signalen vid väggenomgången. Övriga temperaturskillnader längs hela termoelementet är i praktiken noll.

$$E = \sum_0^n [S_n * (T_n - T_{n+1})] \quad (1)$$

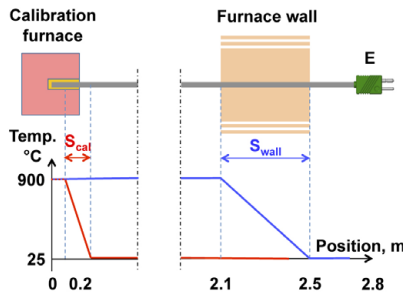


Figur 1. Termoelementet mäter temperaturskillnaden mellan sina ändpunkter. Enligt ekvation (1) fås: $E = S_{0-1} (900-900) + S_{1-2} (900-25) + S_{2-3} (25-25)$ som ger $E = 875 S_{1-2} = 875 S_{\text{wall}}$. Signalen bildas alltså där termoelementet passerar väggen.

Känsligheterna S_n och temperaturerna T_n i ekvation (1) är kopplade till längdindelningar (positioner i figur 1) hos termoelementet. Endast för de längdenheter där $T_n \neq T_{n+1}$ kan signal uppstå. För bättre anpassning till verkliga temperaturfördelningar kan ekvation (1) ändras till en integreringsfunktion.

Känsligheten sällan homogen

Figur 2 illustrerar grundproblemet att kalibrering och mätning kan ske under olika villkor. Vid mätning i en värmebehandlingsugn bildas utsignalen E där det nästan 3 meter långa termoelementet passerar väggen 2,1 – 2,5 m från sin mätspets. Se blå kurva. Vid kalibrering t ex i en blockkalibratorugn begränsas insticksdjupet ofta till 15 - 20 cm från spetsen. Vi tillämpar ekvation (1) på kalibrering respektive mätning:



Figur 2. Till vänster ses ett termoelement under kalibrering i en 15 cm djup ugn. Till höger används samma termoelement för mätning i en värmebehandlingsugn. Signalen uppstår där temperaturen ändras vilket praktiskt taget enbart sker i positionerna markerade med S_{cal} och S_{wall} för kalibrering respektive mätning.

$$\Delta E = S_{\text{cal}} (900 - 25) - S_{\text{wall}} (900 - 25)$$

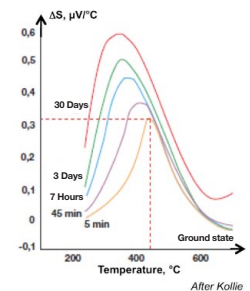
Övriga termer blir noll i praktisk avsaknad av temperaturskillnader. Skillnaden i utsignal borde vara noll eftersom vi jämför termoelementet med sig självt inom en kort tidsperiod. Men, det visar sig att skillnader på flera grader kan förekomma vilket innebär att $S_{\text{cal}} \neq S_{\text{wall}}$.

Det finns flera orsaker till skillnaden. En är åldring som kan ske olika i spets och väggenomgång beroende på olika temperaturhistorik; konstant 900 °C respektive alla temperaturer mellan 25 och 900 °C. En annan egenskap är SRO som har med kristallstrukturen i termoelementmaterialen att göra. Strukturen varierar med temperatur och tid och påverkar känsligheten S . Se figur 3. Variationen uppträder som ett hystereseffekt. [Ref 3].

SRO drabbar termoelementen K och N fast olika mycket. För K gäller att det kritiska området ligger inom ca 250-550 °C och den maximala avvikelsen från normal utsignal kan bli förhöjd upp till 4-5 °C. För typ N ligger motsvarande kritiska område ett par hundra grader omkring 700 °C men med en positiv avvikelse på ca 1-2 °C. Detta gäller för mantelmaterialet Inconel 600® som också är vanlig på typ K.

SRO-hysteres

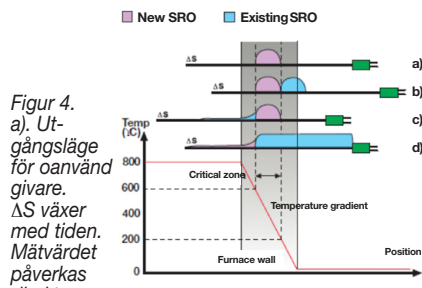
Figur 3 visar hur mycket ett termoelement typ K driver vid olika temperaturer och olika tider. I grundtillståndet är känsligheten ca 40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Redan efter 5 minuter i 450 °C har den ökat med 0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ vilket motsvarar 0,75 °C per 100 graders temperaturskillnad över det förändrade området på givaren. Så länge termoelementet



Figur 3. SRO-fenomenets påverkan på termoelement typ K vid olika temperaturer och exponeringstider. Redan efter 5 minuter i 450 °C har känsligheten ΔS ökat med 0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

hålls under 550 – 600 °C behålls uppnådd förändring som avstannar efter ca en månads kontinuerlig drift. Det innebär att värmebehandling till detta stadium och följande kalibrering ger en stabil givare men med förskjuten skala.

För den del av givaren som sätts in i mer än 600 °C återgår känsligheten till grundtillståndet. Snabb avkylning (sekunder) medför att grundtillståndet bevaras så länge temperaturen inte överskrider ca 200 °C. Figur 4a-d visar hysteresen vid mätning i mer än 600 °C. Nyttan av förinsatt värmebehandling är här tveksam. Ett bättre sätt att minska SRO-driften är att gå över till termoelement typ N. Typ N har dessutom klart lägre långtidsdrift (åldring) än typ K vid hög temperatur. [Ref 3]



Figur 4.

- a) Utgångsläge för oanvänd givare. ΔS växer med tiden. Mätvärdet påverkas direkt.
- b) Givaren dras ut snabbt motsvarande den kritiska zonen bredd. Redan bildad ΔS kvarstår och hamnar delvis inom gradienten. Ny SRO bildas i kritiska zonen. Mätvärdet ökar.
- c) Givaren skjuts in två zombredder. Befintlig SRO tillbakabildas ovan zongränsen. Mätvärdet minskar och vi återvänder till läge a.
- d) Värmebehandling i förväg lönar sig inte eftersom den då erhållna ökningen ΔS avtar i temperaturer över 600 °C. Endast en ökad del av ökningen ligger i gradienten och ger ett obestämbar bidrag till utsignalen.

Referenser se www.pentronic.se > Nyheter > Kundtidningen > Arkiv
 [Ref 1] se PentronicNytt 2014-1
 [Ref 2] se StoPextra 2007-5
 [Ref 3] se StoPextra 2010-1

Har du synpunkter eller frågor kontakta
 Hans Wenegård: hans.wenegard@pentronic.se