

Der K-Zustand in NiCr-Ni-Thermoelementen (Typ K)

Thermoelemente vom Typ K sind die am meisten eingesetzten Thermoelemente in der Prozessmesstechnik und nicht nur dort. Sie stellen eine technisch wie wirtschaftlich optimale Lösung dar:

- weiter Temperaturbereich von -200°C bis $+1200^{\circ}\text{C}$
- gute Langzeitstabilität unter oxidierenden Bedingungen
- hohe messtechnische Empfindlichkeit von $40\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- hervorragende Eignung in Mantelthermoelementen
- gegenüber Edelmetallen günstiger Preis

Immer wieder werden Stimmen laut, die diesen Thermoelementen die Eignung für die in der industriellen Mess- und Regeltechnik notwendigen Genauigkeiten absprechen, und zwar auf Grund des K-Zustandes, dem diese Legierungen unterworfen sind. Was ist der "K"-Zustand? Der "K"-Zustand ist ein Phänomen, das bei Nickel-Chrom-Legierungen auftritt und das sich insbesondere auf die thermoelektrischen Eigenschaften dieser Legierungen auswirkt. Es sind dies magnetische Ordnungszustände der einzelnen Gitterbausteine.

Man unterscheidet:

- einen "geordneten" Zustand, den schon genannten **"K"-Zustand** und
- einen "ungeordneten" Zustand, der im folgenden **"U"-Zustand** genannt werden soll.

Man kann sich das so vorstellen, dass die Gitterbausteine im "K"-Zustand in Reih und Glied stehen, während sie im "U"-Zustand wild durcheinander laufen. Diese Zustände können durch bestimmte Temperaturbehandlungen erzeugt und beliebig rückgängig gemacht oder umgekehrt werden. Daneben kommen – und das ist ein häufig auftretender Fall – beliebige Übergangszustände zwischen den beiden oben genannten Zuständen vor.

Was bewirken Ordnungszustände?

Die Thermospannung eines NiCr-Schenkels im "K"-Zustand kann gegenüber einem identischen Schenkel im "U"-Zustand je nach Temperatur und Prüfmethode um ein Äquivalent von 2°C bis 3°C höher sein. In den Übergangszuständen verringert sich dieser Wert.

Wie entstehen Ordnungszustände?

Oberhalb 600°C herrscht in einer NiCr-Legierung immer der "U"-Zustand; er stellt sich nach Erreichen dieser Temperatur sehr schnell ein.

Kühlt man die Legierung schnell (in wenigen Minuten) auf Raumtemperatur ab, bleibt der "U"-Zustand erhalten, so lange die Legierung nicht wieder über Raumtemperatur erwärmt wird. Er ist sozusagen eingefroren.

Kühlt man die Legierung langsam (in einigen Stunden) auf Raumtemperatur ab, stellt sich im allgemeinen ein Übergangszustand zwischen "K" und "U" ein.

Hält man die Legierung in einem Temperaturbereich von 250°C bis 500°C über längere Zeit, dann stellt sich der "K"-Zustand ein, der so lange bestehen bleibt, bis die Legierung wieder auf 600°C oder höher erwärmt wird.



Mit welcher Wärmebehandlung werden Mantelthermoelemente ausgeliefert?

Alle Hersteller wenden nach dem letzten Ziehvorgang eine Glühung an, um die durch plastische Verformungen entstandenen Verfestigungen des Mantels und der Drähte abzubauen, d.h. um das Mantelthermoelement weich und somit leicht biegsam und grosse Veränderungen der Thermospannung rückgängig zu machen.

Diese Glühungen finden durchweg bei Temperaturen oberhalb 600°C statt, d.h. die Drähte befinden sich im "U"-Zustand.

Üblicherweise versucht man, die Leitungen nach der Glühung möglichst schnell abzukühlen, um z.B. bei Mänteln aus rostbeständigen austenitischen Stählen (1.4571 oder dgl.) Ausscheidungsvorgänge zu vermeiden, die eine Schweissbarkeit beeinträchtigen würden. In den Drähten erzielt man dadurch einen mehr oder weniger undefinierten Übergangszustand zwischen "K" und "U"; lediglich bei einigen Anlagen zur Durchlaufkühlung kann man bei kleinen Leitungsquerschnitten eine so schnelle Abkühlung erzielen, dass der "U"-Zustand eingefroren wird.

Wie verhalten sich Thermoelemente in den unterschiedlichen Auslieferungszuständen?

Thermoelemente werden üblicherweise so eingebaut, dass sich ihre Messstelle bei einer erhöhten Temperatur befindet. Die Temperatur entlang der Gesamtlänge des Thermoelementes fällt dann mit einem beliebigen Verlauf auf Raumtemperatur ab.

Bei einem völlig homogenen Thermoelement, d.h. wenn die Thermoschenkel von vorne bis hinten absolut gleichartig sind und keinerlei örtliche Gefügeveränderungen oder Verunreinigungen aufweisen, ist die Thermospannung ausschliesslich von der Differenz zwischen Messstelle und Vergleichsstelle abhängig.

Ist das Thermoelement dagegen nicht mehr homogen, treten Abweichungen von der ursprünglichen Thermospannung auf, die abhängig sind von Art und Stärke der Inhomogenität und dem Temperaturverlauf entlang des Thermoelementes.

Jedes Thermoelement vom Typ K – gleichgültig in welchem Zustand die Leitung ausgeliefert wurde – wird sich nach dem Einbau und beim ersten Gebrauch verändern, da es immer durch einen Temperaturbereich geführt wird, in dem sich nach längerer Zeit der "K"-Zustand einstellt.

Wichtig dabei ist, dass sich der "K"-Zustand auch bei Temperaturen leicht unterhalb 250°C einstellt, nur deutlich langsamer, d.h. es kann Wochen dauern.

Was passiert beim ersten Aufheizen auf 600°C und mehr?

Für die folgende Betrachtung wird ein "normaler" Einbau der Thermoelemente vorausgesetzt, wie er in der Prozesstechnik üblich ist: Das Thermoelement ist fest eingebaut und die Betriebstemperatur ist immer in der gleichen Grössenordnung.

1. Auslieferung im "U"-Zustand

An der Messstelle passiert nichts, denn dort herrscht bereits der "U"-Zustand. Im sogenannten Temperaturgradienten, d.h. wo die Temperatur zum Ende hin abfällt, wird sich allmählich ein "K"-Zustand einstellen, was (siehe oben) Wochen dauert. Während dieser Zeit ändert sich die Abweichung von der wahren Thermospannung laufend. Eine verlässliche Temperaturmessung und -regelung ist nicht



gegeben. Am kalten Ende entsteht dann wiederum Übergang vom "K"-Zustand zum "U"-Zustand, eine weitere Inhomogenität mit zusätzlichem Einfluss auf die Thermospannung.

2. Auslieferung im Übergangszustand

An der Messstelle stellt sich der "U"-Zustand ein, was relativ schnellgeht. Im Temperaturgradienten geschieht dann wieder die schleichende Entwicklung des "K"-Zustandes und am kalten Ende entsteht wieder der Übergang vom "K"-Zustand zum Übergangszustand als zusätzliche Fehlerquelle.

3. Auslieferung im "K"-Zustand

An der Messstelle entsteht sehr schnell der "U"-Zustand. Im Temperaturgradienten und am kalten Ende geschieht nichts, da hierüberall bereits der "K"-Zustand vorhanden ist, d.h. man hat sofort eine stabile und verlässliche Temperaturanzeige.

Wie werden Mantelthermoelemente geprüft?

Zur Thermospannungsprüfung – wenn sie zuverlässig sein soll – werden die Proben in den "K"-Zustand versetzt. Wird dies nicht getan, geschieht bei der Kalibrierung genau das, was oben für die beiden ersten Auslieferungszustände geschildert wurde.

Wann ist eine zuverlässige Temperaturmessung zu erwarten?

Nur bei Auslieferung der Mantelthermoelemente im stabilen "K"-Zustand kann man eine zuverlässige Temperaturmessung erwarten, die auch mit der Thermospannung übereinstimmt, wie sie bei der Prüfung ermittelt wurde. Also sollten Mantelthermoelemente ausschliesslich im stabilen "K"-Zustand ausgeliefert werden. SENSYCON wendet als einziger Hersteller eine aufwendige zweite Schlussglühung an, die sicherstellt, dass sich die gesamte Leitung im stabilen "K"-Zustand befindet. MTS verwendet für ihre Mantelthermoelemente nach Möglichkeit immer Vormaterial von der Firma SENSYCON. Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

