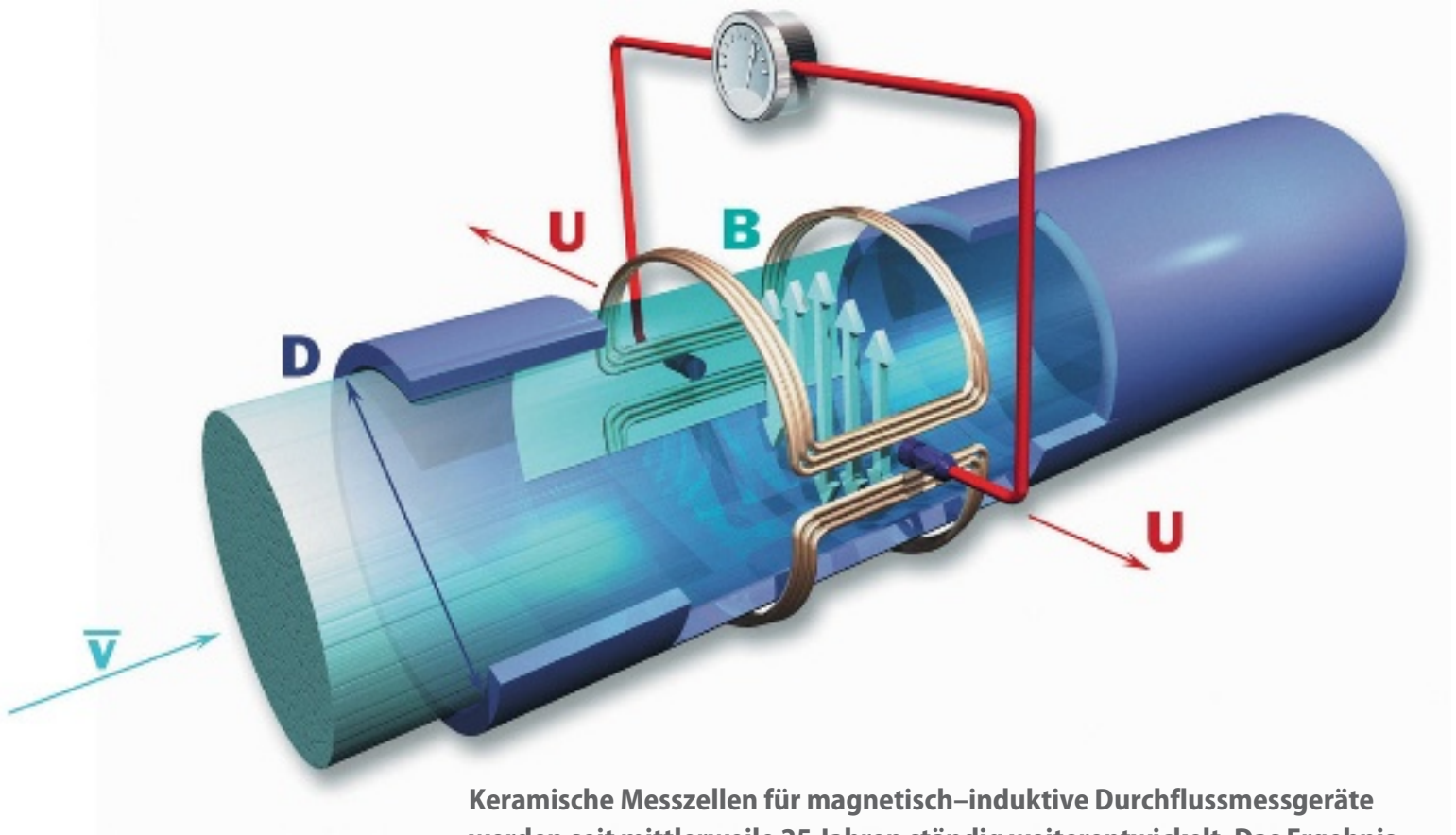


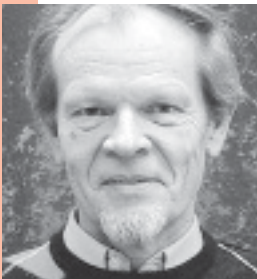
Thermomechanisch robust

Oxidkeramische Präzisionsmesszellen für die magnetisch-induktive Durchflussmessung



Keramische Messzellen für magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte werden seit mittlerweile 25 Jahren ständig weiterentwickelt. Das Ergebnis ist heute ein Produkt, das eine hohe Präzision der Messung mit robusten thermomechanischen Eigenschaften in sich vereinigt.

■ Helmut Mayer, Udo Stevens



Helmut Mayer
ist Leiter der Entwicklung bei
Friatec in Mannheim
T+49/621/486-1406
helmut.mayer@friatec.de



Udo Stevens
ist Berater von Krohne
Messtechnik in Duisburg
T+49/203/301231

Im europäischen Marktvolumen für Durchflussmessgeräte haben magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte (MID) inzwischen einen Anteil von 30 Prozent. Ein jährliches Wachstum von mehr als 2 Prozent wird erwartet. Von dieser Entwicklung profitieren auch MIDs mit keramischer Messzelle, da deren Zuverlässigkeit in der jüngeren Vergangenheit nachhaltig gesteigert wurde.

Bei dem anwendungstechnischen Einsatz von Messgeräten höchster Präzision, Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit gelangten die bisher verwendeten Werkstoffe aus Metall, Glas und Kunststoff oft an ihre technischen Grenzen. Diese Grenzen wurden vorwiegend dort sichtbar, wo korrosiver Angriff, hohe Betriebsdrücke und hohe Temperaturen in Verbindung mit ho-

her Belastung der Messzellen durch Verschleiß auftraten und darüber hinaus die erforderliche Maßhaltigkeit wegen thermisch und mechanisch bedingtem Fließen von Kunststoffauskleidungen in MID-Geräten nicht realisierbar war.

Es wurde daher erforderlich, Werkstoffe einzusetzen, die solchen extremen Anforderungsprofilen standhalten. Die Lösung bestand in der Verwendung hochreiner oxidkeramischer Werkstoffe. Der nachfolgende Beitrag fasst den erreichten Stand der Technik zusammen.

Die physikalische Basis des MID-Messprinzips ist das Faraday'sche Induktionsgesetz:

$$U = c \cdot D \cdot v \cdot B$$

(1)



Fügezone Cermet-Keramik.

(c = Gerätekonstante, U = Spannung, D = Elektrodenabstand, v = Strömungsgeschwindigkeit des Mediums, B = magnetische Induktion).

Der wesentliche Vorteil dieses Messprinzips ist im Kern der lineare Zusammenhang zwischen der Fließgeschwindigkeit des elektrisch leitenden Mediums und der abgegriffenen Spannung. Dadurch lassen sich weite Messbereiche problemlos erfassen und ohne aufwändige Korrekturmaßnahmen direkt auswerten.

Weitere Vorteile bietet dieses Messprinzip wegen des im praktischen Einsatz vernachlässigbaren Einflusses von Viskosität, Dichte, Druck und Temperatur des fließenden Mediums und durch den vollständigen Verzicht auf Einbauten im durchströmten Querschnitt der Messzelle. Gase und flüssige Dielektrika sind mit diesem Prinzip jedoch naturgemäß nicht messbar. Für solche Messaufgaben eignen sich Verfahren, die zum Beispiel nach dem Coriolis-Prinzip arbeiten.

Werkstoffprofil

Entscheidend für die hinreichende Reproduzierbarkeit des elektrischen Signals eines MIDs ist neben den Eigenschaften der elektrischen und mechanischen Komponenten vor allem die Formstabilität der rohrförmigen Messzelle unter Temperatur- und Druckbelastung, da diese den gegenseitigen Abstand der Elektroden und damit die Präzision der Messung wesentlich beeinflusst. Die Auswahl der Werkstoffe für das Messrohr und die Elektroden sowie die geeignete Technik zur Verbindung der Elektroden mit dem Messrohr sind daher für die dauerhafte Zuverlässigkeit der MIDs von zentraler Bedeutung.

Die Kernfähigkeiten der für Präzisions-MIDs geeigneten Werkstoffe lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- nicht magnetisierbar;
- Formänderung $< 0,1$ % bei maximaler Belastung durch Temperatur und Druck;

- Leckrate für He $< 10^{-7}$ mbar * l / s bei Druckbelastung mit 60 bar auf der Innenseite der Messzelle;
- dampfsterilisierbar;
- korrosionsbeständig in Säuren und Laugen;
- für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie zugelassen;
- marktgerechter Preis.

Nach dem heutigen Stand der Kenntnis bieten keramische Werkstoffe das weitreichendste Potenzial zur Erfüllung dieses komplexen Profils, wobei speziell die Forderung nach besonderen chemischen und elektrischen Eigenschaften das einsetzbare Werkstoffspektrum auf Oxidkeramik begrenzt.

Das Ziel, die MIDs für die zu messenden elektrisch leitenden Medien möglichst universell einsetzbar zu machen, erfordert die Verwendung von Edelmetallen als Werkstoffe für die Elektroden. Auf der Basis verschiedener Vorstudien wird zu diesem Zweck Platin verwendet, da dieses Metall in einem breiten Spektrum von Chemikalien beständig ist und sich wegen seiner thermischen und mechanischen Eigenschaften für die Herstellung hochvakuumdichter Verbindungen mit Oxidkeramik eignet.



Aktuelle Messzellen in DN 2,5 und DN 15 aus FZM.

Werkstoffe und Konstruktion

Seit der 1981 begonnenen gemeinsamen Entwicklung der Firmen Friatec, Mannheim, und Krohne Messtechnik, Duisburg, sind die genannten prinzipiellen Anforderungen an die Messzelle bis heute unverändert geblieben, jedoch wurden über diesen Zeitraum hinweg sowohl die Werkstoffe als auch die Konstruktion der Messzelle fortlaufend optimiert.

Ursprünglich wurde für alle produzierten MID-Durchmesser (DN 2,5 – DN 100) hochreine Keramik (Friatec, Typ F 99,7) eingesetzt, >

DRUCKTRANSMITTER FÜR DIE PROZESSINDUSTRIE

x|act

... what you need!

... where you need it!

- Prozessautomation
 - Lebensmittelindustrie
 - Pharmazie und Chemie

... when you need it!

- Druck
- Füllstand



... how you need it!

- frontbündige Prozessanschlüsse (Metall- und Keramikmembrane)
- Kugelgehäuse, Aluminium-Druckguss-Gehäuse, Edelstahl-Feldgehäuse (inkl. Anzeige- und Bedienmodul)

... why you need it!

- programmierbar
- selbstüberwachend
 - x|act und langzeitstabil
 - flexibel und anpassungsfähig



BD | SENSORS
pressure measurement

Tel.: +49 (0) 92 35 / 98 11- 0 • info@bdsensors.de
D-95199 Thierstein • www.bdsensors.de

die sich hinsichtlich der geforderten Eigenschaften prinzipiell eignet, da sie in den bekannten Anwendungsfällen der MIDs ausnahmslos korrosionsbeständig ist. In der Vergangenheit wurde in einigen Einzelfällen beobachtet, dass die Messzelle bei Belastung durch extreme Temperaturwechsel geschädigt werden kann. Um die Thermoschockbeständigkeit (TWB) der Keramik signifikant zu steigern, wurde ihr Design mit Hilfe der Finite Element Analyse (FEA) optimiert und parallel dazu ein neuer keramischer Werkstoff mit erhöhter Festigkeit entwickelt.

Die weitere Steigerung der TWB der Keramik war wegen der Beziehung

$$R' = \sigma_B (1 - \nu) / E / \alpha \quad (2)$$

(R' = erster Wärmespannungsfaktor, σ_B = Biegefestigkeit, ν = Querkontraktionszahl, E = Elastizitätsmodul, α = thermischer Ausdehnungskoeffizient)

durch die Erhöhung der Festigkeit des Werkstoffs zu erwarten. Ein Weg dazu ist prinzipiell die Reduzierung der Kristallitgrößen im Gefüge der Keramik. Vor diesem Hintergrund wurde ein neuer Werkstoff (Friatec Typ FZT) mit einem im Vergleich zu F 99,7 deutlich feiner kristallinen Gefüge entwickelt. Einige seiner wesentlichen Eigenschaften sind in der Tabelle auf der nächsten Seite zusammengefasst, wobei vor allem seine gegenüber F 99,7 deutlich höhere Festigkeit hervorzuheben ist.

Im Ergebnis ist der FZT-Werkstoff auch in MID-Anwendungen, die eine hohe TWB fordern, ein robustes Material. Mit beginnender Umstellung der Reinigungsmethoden für Abfüllanlagen von chemischen auf Heißdampfverfahren gelangte auch der neu entwickelte Werkstoff FZT in die Nähe der Grenzen seiner thermomechanischen Belastbarkeit. Diese bei den Anlagenbetreibern erkennbare Tendenz

löste die Weiterentwicklung der Messzellen von Al_2O_3 -hin zu ZrO_2 -Keramik aus, da diese Werkstoffe im Wesentlichen wegen ihrer hohen Festigkeit in Verbindung mit einem vergleichsweise niedrigen E-Modul eine wesentlich erhöhte TWB erwarten ließen.

Die Berechnung der R' -Werte von FZT und Zirkonoxid des Typs Friatec FZM auf der Basis der Werkstoffdaten aus der Tabelle auf der Seite XX führt zu einem um circa 20 Prozent höheren R' -Wert für FZM, ein Mg-teilstabilisiertes ZrO_2 . Einige wesentliche Werkstoffdaten von FZM sind in der Tabelle enthalten.

Ein besonderes Augenmerk ist bei der Messzelle auf die Verbindung zwischen Keramik und Elektrode zu richten, da unterschiedliche Werkstoffe und daher unterschiedliche Werkstoffeigenschaften so miteinander zu verknüpfen sind, dass eine dauerhafte Leckagefreiheit unter Betriebsbedingungen sichergestellt ist.

Fügetechnik Keramik-Elektrode

Die ursprüngliche Fügetechnik bestand darin, das Platin als massiven Stift in die Keramik während des Sinterprozesses so einzuschumpfen, dass durch Klemmung ein leakagefreier Verbund entstand. Die Beherrschung dieser Technik setzt tiefreichende Kenntnisse im Design der Bohrung in der Keramik, in die der Stift einzubringen ist, voraus, da die während der Sinterung erfolgende Schwindung der Keramik zum Einschrumpfen des Platinstiftes genutzt wird. Die Produktion von Messzellen mit einer solchen Technik ist daher immer auch mit einem hohen Aufwand verbunden.

Diese Situation gab den Anlass zur Entwicklung einer Elektrode mit engerer thermischer Passung zur Keramik. Die Lösung bestand in einer Cermet-Elektrode, die aus einer Mischung von keramischem Metalloxid mit Platinpulver hergestellt und nach einer Vorsinterung zwecks Einstellung der erforderlichen Schwindung in



Messgerät mit keramischer Messzelle aus FZM.

die Keramik eingesintert wurde. Die Cermetelektrode wurde mit einem Platinpulver erzeugt, das im Verarbeitungszustand von einer gezielt eingestellten Morphologie gekennzeichnet ist. Dieser von der Firma Heraeus entwickelte Pulvertyp ermöglicht Platingehalte von weniger als 35 Volumenprozenten im Cermet und damit relativ niedrige Edelmetallkosten.

Eine entscheidende Größe für die Praxistauglichkeit der MIDs ist ihre thermomechanische Belastbarkeit, wie sie beispielsweise bei Reinigungs- und Sterilisierprozessen gefordert ist. Nach den Ergebnissen von Simulationstests wurde durch die Einführung der Cermetelektroden eine TWB von 100 K im Fall der DN 15 über mehrere hundert Temperaturschocks hinweg erreicht. Da spezielle Einsatzbedingungen auch eine höhere TWB fordern können, wurde zur weiteren Steigerung der Betriebssicherheit des Systems ein neues Verfahren entwickelt: Cermet wird bereits bei der Formgebung in der Keramik integriert. Dadurch wird eine homogene Fügezone zwischen Keramik und Elektrode erzeugt.

Das Übergangsgebiet zwischen Keramik und Cermet wird nur durch die Anwesenheit von Platin sichtbar. Strukturen einer keramischen Kontaktzone sind nicht erkennbar. Makroskopisch äußert sich diese Verbundqualität sowohl in einer deutlichen Steigerung der TWB und in ungewöhnlich hohen Kräften, die zum Bersten der Messzellen erforderlich sind, als auch in extrem niedrigen Leckraten bei Belastung der Messzellen mit 60 bar Innendruck durch Helium.

Mit der Umstellung des keramischen Werkstoffs auf FZM wurde auch eine erhebliche Steigerung der Berstwerte bei Belastung mit Innendruck erreicht: Mit der bestehenden Prüfeinrichtung gelang es nicht, die Messzellen der Nennweiten DN

FAFNIR

Sensibel messen.

Optimal befüllen.

Umweltfreundlich arbeiten.

Als Spezialist für Überfüllsicherungen bieten wir Ihnen Lösungen mit System.
Infos unter Tel. 040/39 82 07-0 oder www.fafnir.de

Interkama, 24.04.–28.04.2006, Hannover, Halle 007 Stand A21

2,5 bis DN 15 aus FZM zu zerstören, da der maximale Druck der Anlage von 1000 bar dazu nicht hinreichend war. Dieses Ergebnis ist von zentraler Bedeutung für den Einsatz der MIDs in druckbelasteten Anlagen, da mit der Einführung von FZM- Keramik die hohen Anforderungen gemäß ASME-Code erfüllt sind.

Als weiterer positiver Effekt zeigt sich, dass der Untergrund des elektrischen Signals wegen der weitläufigen Verzweigung des Metallgerüsts im Cermet deutlich unter demjenigen des Metallstiftes liegt. Die Integration des Cermets bereits während der Formgebung der Messzellen führt darüber hinaus zu einer signifikan-

ten Abnahme ihres induktiven Widerstandes, die offenbar eine Folge des höheren Verdichtungsgrades im Vergleich mit der reinen Einsinterungstechnik ist.

Perspektiven

Das Ergebnis der Entwicklung ist heute ein Produkt, das sich durch hohe Zuverlässigkeit bei gleichzeitig hoher Präzision und Stabilität der Messwerte auszeichnet. Die Einsatzgebiete der keramischen MIDs sind dementsprechend weit gefasst. Einige Beispiele sind:

- volumetrisches Abfüllen von Flüssigkeiten in der Lebensmittel-, pharmazeutischen und Kosmetikindustrie;
- strömende Säuren und Laugen der chemischen Industrie;
- Dosieranlagen für Futtermittel.

Die aktuelle Produktionstechnik für die Messzelle ermöglicht deutlich niedrigere Herstellungskosten, die mit einer Qualitätssteigerung einhergehen. Damit haben die MIDs mit keramischer Messzelle eine gestärkte Position gegenüber anderen Systemen erreicht.

Dieses bisher nicht erreichte Qualitätsniveau der MIDs mit keramischer Messzelle ist ein Ergebnis der stark innovativ geprägten Zusammenarbeit der Firmen Friatec und Krohne. Da die keramischen Werkstoffe ein beständig hohes Innovationspotenzial bieten, ist die Entwicklung auch heute noch keineswegs abgeschlossen. Die aktuellen Arbeiten konzentrieren sich auf die weitere Senkung der Herstellungskosten, die Steigerung der Produktionssicherheit und die Optimierung des Gerätedesigns. ■

↓

Tabelle 1: Keramische Werkstoffkennwerte

Größe	Bedingungen	Dimension	F 99,7	FZT	FZM
Dichte	20 °C	g / cm ³	> 3,90	> 4,05	> 5,70
Mittlere Biegefestigkeit	20 °C	MPa	350	460	500
Elastizitätsmodul	20 °C	GPa	380	360	185
Querkontraktionszahl	20 °C	-	0,22	0,24	0,30
Thermischer Ausdehnungskoeffizient	20 - 100 °C	ppm / K	5,7	5,6	9,1
Spezifischer elektrischer Widerstand	20 °C	* cm	> 10 ¹⁵	> 10 ¹³	> 10 ¹⁰
Dielektrizitätskonstante	20 °C, 1 GHz	-	9,5	10	27
Erster Wärmespannungsfaktor R'	100 --> 0 °C	K	126	173	208

Weiterführende Infos auf www.PuA24.net

more @ click PA046002

FIELDCONNEX – VERBINDET FELDBUS-POWER UND KNOW-HOW




Hohe Leistung im Feld



Schutz im Feld



Feldbus Verteilung



Kabel, Kabelsätze und Zubehör



Besuchen Sie uns auf der Interkama+ Hannover Messe
24.-28. April 2006, Halle 7, Stand C14

Telefon 0621 776 2222
www.fieldconnex.info

