

друга жилами, меньше этого значения, нет необходимости обеспечивать выполнение требования к Lo.

Искробезопасные цепи должны быть смонтированы таким образом, чтобы наводки от внешних электромагнитных полей (например, от расположенного на крыше здания радиопередатчика, от воздушных линий электропередач или близлежащих кабелей для передачи большой мощности) не создавали опасного напряжения или тока на искробезопасных цепях. Это может быть достигнуто экранированием, правильным заземлением и удалением искробезопасных цепей от источника электромагнитной наводки [5, 6].

Заключение

Описанный ПТК спроектирован специально для применения на территории России, удовлетворяет требованиям российских стандартов и может быть широко и эффективно использован в промышленности, на взрывопожароопасных производственных объектах.

Виктор Васильевич Денисенко — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, директор,
Халявко Александр Николаевич — канд. техн. наук, **Николай Юрьевич Литвинов**, **Евгений Евгеньевич Метелкин**,
Олег Евгеньевич Трубочев — инженеры НИЛ АП (г. Таганрог).

Контактный телефон (8634) 324-140.
E-mail: info@RLDA.ru Http://www.RealLab.ru

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА ИЗ КЕРАМИКИ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА

Х. Майер (FRIATEC AG),

У. Стевенс (KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG)

Описан процесс разработки керамической футеровки для электромагнитных расходомеров, применяемый в последние 25 лет. Современные измерительные трубы с керамической футеровкой сочетают высокие точность и термомеханические свойства.

Введение

Электромагнитные расходомеры (ЭМР) в настоящее время составляют 30% от общего числа приборов измерения расхода, продаваемых на европейском рынке. Ежегодный темп роста продаж ожидается 2%. ЭМР с керамической футеровкой также становятся все более востребованными, так как их надежность за последние годы увеличилась.

Использование ЭМР, изготовленных по традиционной технологии с применением таких материалов, как металлы, стекло и пластмассы часто ограничено точностными характеристиками, безопасностью применения прибора и надежностью его работы. Эти ограничения становятся преобладающими при применении расходомеров на коррозионно-опасных средах, при высоких давлениях и температурах, где имеется реальная опасность возникновения отложений на измерительной трубе. Кроме этого, для обеспечения высокой точности приборов к футеровке предъявляются высокие требования по стабильности ее формы в течение

длительного времени. Футеровка, выполненная из пластмассы, не всегда удовлетворяет этому требованию. Поэтому появилась необходимость использовать материалы футеровки, которые могли бы противостоять этим необычным обстоятельствам. Решение проблемы — использование керамической футеровки.

Принцип измерения

В основе работы ЭМР лежит закон электромагнитной индукции, предложенный Майклом Фарадемом (рис. 1):

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

где c — константа прибора, U — напряжение полезного сигнала, D — расстояние между электродами, v — скорость потока среды; B — индукция магнитного поля.

Главное преимущество этого принципа измерения — линейная зависимость между скоростью потока электропроводной среды и напряжением полезного сигнала. Это означает, что приборы, работающие по этому принципу измерения, могут иметь

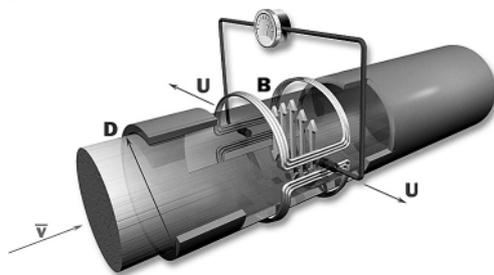


Рис. 1. Принцип измерения ЭМ расходомера

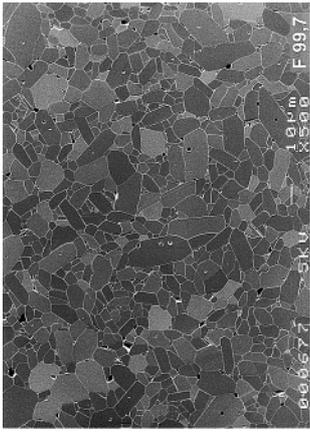


Рис. 2. Структура керамики F 99,7

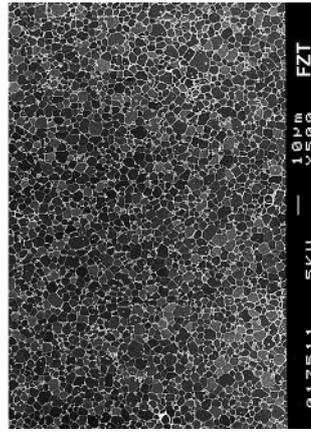


Рис. 3. Структура керамики FZT

Таблица 1. Свойства керамического материала

Величина	Условия	F 99,7	FZT	FZM
Плотность, г/см ³	20 °С	> 3,90	> 4,05	> 5,70
Средняя прочность при изгибе, МПа	20 °С	350	460	500
Модуль эластичности, GPa	20 °С	380	360	185
Коэффициент Пуассона	20 °С	0,22	0,24	0,30
Коэффициент теплового расширения, ppm / К	20..100 °С	5,7	5,6	9,1
Удельное электрическое сопротивление, W·cm	20 °С	> 10 ¹⁵	> 10 ¹³	> 10 ¹⁰
Диэлектрическая константа	20 °С, 1 ГГц	9,5	10	27
Температурное напряжение R', К	100..0 °С	126	173	208

большой динамический диапазон без дополнительных средств коррекции сигнала. Кроме этого, на показания ЭМР незначительное влияние оказывают вязкость, плотность, давление и температура измеряемой среды.

Измерение газов и неэлектропроводных жидкостей при помощи электромагнитных расходомеров невозможно. В таких случаях нужно применять приборы, работающие по другому принципу измерения, например, кориолисовые массовые расходомеры.

Требования к материалу

Помимо требований к электрическим и механическим свойствам, материал футеровки должен обладать высокой стабильностью формы под воздействием температуры, давления, вакуума, так как именно эти свойства определяют точность работы прибора в течение всего периода эксплуатации. Выбор материалов для измерительной трубы – ключевой вопрос, решение которого определяет надежность работы ЭМР.

Основные требования к материалам измерительной трубы можно сформулировать следующим образом:

- неферромагнитный материал;
- деформация < 0,1 % при воздействии максимальных температуры и давления;
- допустимая утечка для He < 10⁻⁷ mbar · l / s при перепаде давления в 60 бар;
- устойчивость к воздействию водяного пара (очистка паром по месту – SIP);
- коррозионная устойчивость к воздействию кислотам и щелочам;

- возможность применения в пищевой промышленности;
- привлекательная цена.

На сегодняшний день ЭМР с керамической футеровкой – наилучший выбор, удовлетворяющий практически всем перечисленным требованиям. Специальные требования к электрическим и химическим свойствам зачастую ограничивают диапазон выбора материалов с керамической футеровкой.

Чтобы получить универсальный ЭМР, в качестве материала электродов используется драгоценный металл. Основываясь на результатах практических испытаний, электроды из платины показали наилучшую химическую устойчивость и совместимость с футеровкой из керамики, исходя из теплофизических и механических свойств этого материала.

С начала совместной работы в 1981 г. компаний FRIATEC AG (Mannheim) и KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG (Duisburg) требования к материалу футеровки не изменились, однако сами материалы и конструкция первичного преобразователя значительно прогрессировали за этот период.

Первоначально высококачественная керамическая футеровка (Friatec, тип F 99,7) была использована для всех электромагнитных расходомеров (DN 2,5 – DN 100). Характеристики этого материала удовлетворяли базовым требованиям по коррозионной устойчивости в основных применениях ЭМР. На рис. 2 представлена типовая структура этого материала. В прошлом, в некоторых случаях были отмечены случаи повреждения футеровки из-за резкого изменения температуры. Чтобы увеличить устойчивость керамической футеровки к термическим ударам, конструкция была оптимизирована при помощи метода анализа конечных элементов. При этом параллельно разрабатывался новый материал для керамической футеровки, обладающий повышенной устойчивостью к термическим ударам.

Дальнейшее повышение устойчивости керамической футеровки к термическим ударам должно было ожидаться на основании соотношения:

$$R' = \sigma_b (1 - \nu) / E / \alpha,$$

где R' – коэффициент температурного напряжения, σ_b – сопротивление изгибу, ν – коэффициент Пуассона, E – модуль Юнга, α – коэффициент температурного расширения.

Один способ реализации этой задачи состоял в том, чтобы уменьшить размер кристаллов. С этой целью был разработан новый материал (FRIATEC тип FZT) с улучшенной структурой кристалла по сравнению с F 99,7 (рис. 3). В табл. 1, где сведены основные свойства материалов, в том числе показана более высокая устойчивость нового материала к термическому удару по сравнению с F 99,7.

Исходя из этого, FZT – материал наиболее пригодный для применений в ЭМР, где требуется высокая устойчивость термическому удару.

В процессе постепенного перехода разливочных агрегатов с химических методов очистки на технологию

с использованием перегретого пара, недавно разработанный материал FZT практически исчерпал свои возможности по своим термомеханическим свойствам. Эта проблема, впервые обозначенная операторами разливочных агрегатов, подтолкнула дальнейшее развитие материалов футеровки и переход с Al_2O_3 на керамическую футеровку с добавлением оксида циркония (ZrO_2). Предполагалось, что эти материалы смогут обеспечить гораздо большую температурную устойчивость благодаря своей способности сохранять первоначальные свойства вкпе со сравнительно малой константой упругости. Расчеты значений R' для FZT и FRIATEC FZM оксида циркония, базирующиеся на технических характеристиках материала (табл. 1), показали, что значение R' возросло приблизительно на 20 % для FZM. На рис. 4 показана типичная структура этого материала.

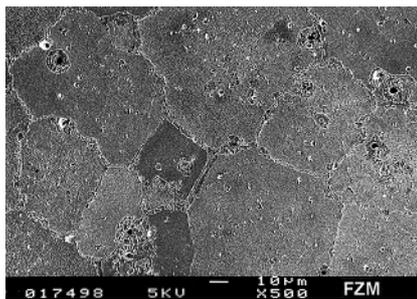


Рис. 4. Структура керамики FZM

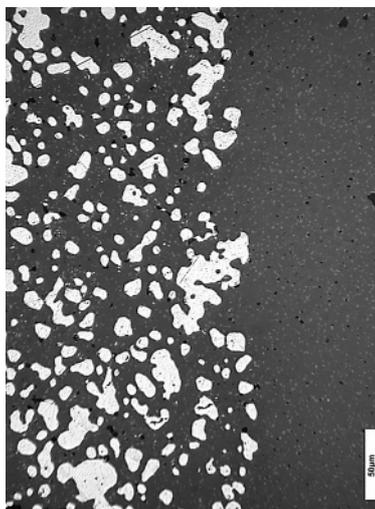


Рис. 5. Зона сочленения "металлокерамический электрод – керамическая футеровка"

Технология стыковки керамической поверхности и электрода

Особое внимание следует уделить стыковке керамической части и электрода в измерительной трубе, так как это подразумевает соединение двух материалов с разными свойствами и одновременное придание такой конструкции герметичности в рабочих условиях.

Первоначально применявшаяся технология стыковки заключалась во вдавливании жесткого платинового штифта в керамику в процессе прокаливания с целью создать герметичное соединение за счет плотного прижима. Такой способ требует высокой точности при высверливании в керамике отверстия для платинового штифта, так как именно за счет расширения керамики после прокаливания в футеровку вдавливается платиновый штырь. Очевидно, что такая технология производства измерительных труб сопряжена с высокими расходами. Именно поэтому возникла необходимость в разработке материала электрода с термическими свойствами, максимально приближенными к керамике. Таким техническим решением стали электроды из металлокерамики (cermet), которые изготавливаются из смеси керамики и платинового порошка, а далее, после предварительного прокаливания впекаются в керамику. Металлокерамический электрод создается с помощью платинового порошка, придающего электроду особые свойства. Такой порошок, производимый компанией Heraeus GmbH (Hanau), позволяет достичь менее чем 35% содержания платины в металлокерамике (по объему) и, таким образом, способствует значительному удешевлению конечного материала.

Основным фактором, определяющим пригодность ЭМР для промышленной эксплуатации, являются его термомеханические свойства, что важно для промывки и асептических процессов, например, при переходе с одного продукта на другой. Испытания показали, что металлокерамические электроды характеризуются термоустойчивостью 100 К (для DN 15) за несколько сотен циклов термических ударов. Исходя из того, что при эксплуатации ЭМР в особых рабочих условиях может потребоваться гораздо большая термоустойчивость, была предложена новая технология, обеспечивающая повышенную безопасность системы. Этот новый способ заключается в посадке металлокерамического электрода в футеровку уже в процессе формирования, что соответственно создает однородную зону сочленения электрода и керамической футеровки. Из рис. 5 видно, что у измерительной трубы из FZT зона перехода керамической футеровки в сермет заметна только из-за присутствия платины.

Преимущества такого сочленения очевидны: это и значительное улучшение термоустойчивости конструкции, и исключительное усилие, необходимое для того, чтобы расколоть такую измерительную трубу, а также ничтожно малая утечка при испытаниях измерительной трубы на герметичность с применением гелия.

Замена материала керамики на FZM также позволило значительно повысить прочность материала футеровки. Существующие модели испытательного оборудования не смогли разбить измерительные трубы DN2,5...DN15 (из FZM), так как давление 1000 бар, максимально допустимого для таких агрегатов, было

Таблица 2. Параметры измерительных труб из FZM для конкретного случая применения

Типоразмер DN	Нагрузка теплового удара (К)	Нагрузка внутреннего давления ¹ (бар)	Протекание измерительной трубы для гелия при 60 бар внутреннего давления (mbar·l / s)
2,5	140	1000	< 10 ⁻⁷
4			
6			
10			
15			
25			
40	700		
50	600		
80	100	500	
100		400	
		300	

¹ Граница давления для испытательного стенда = 1000 бар

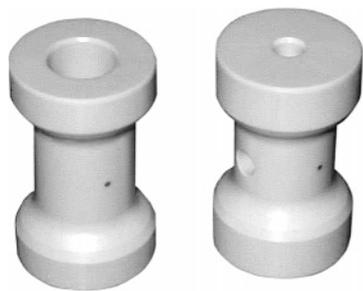


Рис. 6. Современные измерительные трубы DN 2,5 и DN 15 из FZM



Рис. 7. Прибор с керамической футеровкой из FZM (фланцевая версия OPTIFLUX 5000)

недостаточно. Такие прекрасные результаты послужили ключевым фактором в пользу применения ЭМР в системах с высоким рабочим давлением, так как внедрение керамики FZM удовлетворяет самым высоким требованиям.

В табл. 2 представлен обзор соответствующих технических данных современных ЭМ расходомеров.

Перспективы развития технологии

В конечном итоге производителю удалось разработать современный прибор, который в состоянии обеспечить высокую надежность и высокую точность измерения наряду со стабильностью. Соответственно ЭМР с керамической футеровкой имеют широчайший спектр применения, например:

- пищевая, фармацевтическая, косметическая промышленность: дозированная подача (розлив)

жидких продуктов в контейнеры различной вместимости;

- расход кислот и щелочных растворов в химической промышленности;

- животноводство: системы подачи корма.

На рис. 6 представлена измерительная труба современного дизайна DN2,5 и DN15. Рис. 7 демонстрирует новый ЭМР фланцевой версии OPTIFLUX 5000, который доступен в следующих типоразмерах: DN 15 ... DN 100 (CAPAFLUX DN 25 ... DN 100). Современная технология производства измерительных труб подразумевает значительное снижение произ-

водственных затрат при улучшении качества продукции. Благодаря этому ЭМР измерительные трубы с керамической футеровкой имеют значительные преимущества при позиционировании по сравнению с другими измерительными системами.

Такое непревзойденное качество ЭМР с керамической футеровкой измерительной трубы стало возможным благодаря взаимовыгодному научно-техническому и деловому сотрудничеству двух компаний: FRIATEC и KROHNE. Так как керамика все еще обладает большим потенциалом для исследований, в этой области остается большой простор для дальнейшей шлифовки технологии. В настоящее время исследования в основном сосредоточены на дальнейшем ее удешевлении, повышении надежности процесса производства и оптимизации конструкции прибора.

Хельмут Майер – специалист по минералогии FRIATEC AG (Манхайм, Германия),

Уве Стевенс – специалист по расходомерам KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG (Дуйсбург, Германия).

Контактный телефон (495) 911-74-11. E-Mail: krohne@krohne.ru <http://www.krohne.ru>

Новый настольный корпус для контрольно-измерительной техники и автоматики

Компания Schreff модернизировала системный корпус rgorac, хорошо зарекомендовавший себя в течение многих лет, добившись помимо существенного улучшения характеристик снижения его стоимости. Новый корпус rgoracPRO рассчитан прежде всего на установку контрольно-измерительной аппаратуры и автоматики, машиностроительного оборудования, а также систем сбора, передачи и обработки информации. Благодаря эффективной концепции экранирования этот корпус обеспечивает качественную защиту чувствительного электронного оборудования. Он может использоваться как настольный или портативный корпус с ручкой для переноски и оснащаться как 19-дюймовыми, так и нестандартными компонентами и модулями. Программу дополняет широкий ассортимент принадлежностей для портативных корпусов.

Конструкция корпуса rgoracPRO позволяет использование любых компонентов и принадлежностей для известной серии субблоков eugoracPRO от компании Schreff. Шаг по глубине для внутреннего монтажа таких компонентов составляет 15 мм. Резьбовые каналы с внутренней стороны боковых панелей позволяют закреплять дополнительные компоненты в любом ме-

сте по глубине. Даже предшествующая модель обеспечивала множество вариантов монтажа – теперь их еще больше. Сохранилась хорошо зарекомендовавшая себя концепция охлаждения с четырьмя рядами вентиляционных отверстий в нижней панели. Монтаж корпуса выполняется очень легко: боковые панели уже установлены на раму корпуса, при необходимости монтируются горизонтальные и направляющие рельсы, а затем вставляются печатные платы. Верхние панели привинчиваются вместе с задними ножками.

В новую программу включены варианты, в которых наиболее часто используемые компоненты и принадлежности уже содержатся в комплекте поставки корпуса, все под одним номером заказа. Это экономит время и повышает надежность заказа. В то же время нет никаких ограничений на индивидуальную конфигурацию. Возможны различные варианты дизайна rgoracPRO. Индивидуальные элементы дизайна с резьбовым креплением и современные цветные исполнения придают корпусам серии rgoracPRO современный вид. Возможны индивидуальные модификации с другой глубиной, нестандартными отверстиями или маркировкой.

[Http://www.schreff.mediaspray.de](http://www.schreff.mediaspray.de)