

УДК 620.165.29

К ВОПРОСУ О НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕЧЕЙ ПРИ НАКОПЛЕНИИ УТЕЧКИ В ПОРИСТОМ МАТЕРИАЛЕ

Мясников В.М., Сажин С.Г., Костиков Е.С.

Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, Дзержинск, e-mail: sekretar@dfngtu.nnov.ru

По результатам системного анализа современных газоаналитических методов преобразования утечки определены способы повышения эффективности средств локализации течей, достигаемой за счет накопления утечки в среде материала с пористой структурой, защищая концентрационное поле пробного газа от конвективных потоков атмосферного воздуха, обеспечивая требуемую достоверность контроля. При накоплении утечки в пористом материале уменьшается коэффициент диффузии пробного газа в поровом пространстве, приводящей к увеличению чувствительности измерительной системы. Распределение утечки в листе пористого материала описывается уравнением диффузии с использованием метода квазигомогенного приближения. Высокая производительность контроля достигается применением принципа пассивного сканирования, при этом вторичную обработку дефектоскопической информации целесообразно производить по результатам формализации дефектоскопического сигнала, используя для этой цели моменты n -го порядка.

Ключевые слова: течь, локализация течей, пробный газ

TO THE QUESTION ON CREATION OF SCIENTIFICALLY-METHODOLOGICAL BASES OF LOCALIZATION OF LEAK IN A POROUS MATERIAL

Mjasnikov V.M., Sazhin S.G., Kostikov E.S.

*Dzerzhinsky Polytechnic Institute of Nizhegorodsky State Technical University
of R.E. Alekseev, Dzerzhinsk, e-mail: sekretar@dfngtu.nnov.ru*

By the results of the system analysis of modern gas analytical methods of leak transformation there were defined the ways of increasing efficiency of means of leaks localization reached at the expense of leak accumulation in the environment of a material with porous structure protecting a concentration field of trial gas from convection streams of atmospheric air, providing demanded reliability of the control. With leak accumulation in a porous material the factor of diffusion of trial gas in the pore space decreases leading to the increase of measuring system sensitivity. Leak distribution in a sheet of a porous material is described by the equation of diffusion using the method of quasi-homogeneous approach. High efficiency of the control is reached by the application of a principle of passive scanning, thus secondary processing of flaw detecting information is expedient to be fulfilled by the results of a flaw detecting signal formalization, using the moments of the n -th order for this purpose.

Keywords: leak, leaks localization, trial gas

Согласно первому классификационному признаку (по использованию дефектоскопической информации) автоматизированные средства контроля герметичности делятся на установки, способные находить место течи и определять суммарный поток пробного газа (ПГ) через каналы течей [1]. Существующие средства локализации утечки не удовлетворяют потребности современного производства по производительности контроля и точности определения мест течей. Например, локализация течей с потоком 10^{-8} м³·Па/с производится со скоростью сканирования шупа не более 1 мм/с, а область регистрации течи при этом не превышает 2 мм [2]. Причиной столь низкой производительности является отток утечки ПГ из области расположения течи, происходящий в результате взаимодействия конвективных потоков воздуха, присутствующих на позиции испытания изделий, с концентрационным полем утечки ПГ в окрестности течи. В связи с этим возникла потребность модернизировать методы и средства локализации утечки. Ранее был предложен

способ, устраняющий перечисленные недостатки [3]. Согласно этому способу эффективность локализации течей в значительной мере повышается, если накопление утечки ПГ происходит в среде материала с пористой структурой. Пористая среда выполняет функции области накопления утечки, защищающей концентрационное поле от воздействия потоков атмосферного воздуха.

Целью настоящей работы является выявление факторов, влияющих на повышение эффективности процесса поиска течей при накоплении утечки в среде материала с пористой структурой. Для достижения поставленной цели сформулированы задачи исследования, включающие изучение влияния порометрических характеристик пористой среды и способов накопления утечки, описанных в работе [4], на качественные и количественные показатели концентрационного поля утечки пробного газа. Показателем качества является устойчивость концентрационного поля к внешним факторам воздействия, а к количественному показателю следует отне-

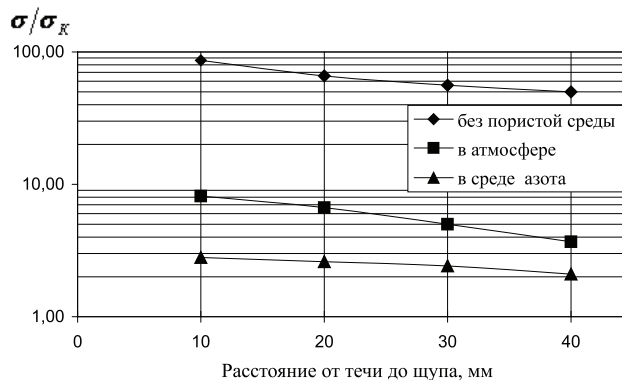
сти высокий уровень концентрации утечки ПГ в окрестности течи.

В работе исследовались макропористые материалы с губчатой структурой, имеющие открытую систему пор. Исследуемые образцы изготавливались из поролона в форме листов с толщинами от 5 до 45 мм. Исследовались пористые материалы, имевшие кажущуюся плотность в интервале от 30,5 до 37,2 кг/м³, воздухопроницаемость (при перепаде давления 20 мм водяного столба) соответственно от 1575 до 35 л/(ч·см²), с диаметром порового канала в диапазоне от 0,8 до 4,5 мм.

Помехозащищенность концентрационного поля оценивалась по стандартному отклонению показания гелиевого масс-спектрометрического течеискателя в момент измерения концентрации утечки ПГ в исследуемой точке поля. Анализируемая проба отбиралась капилляром с внутренним диаметром 0,3 мм и длиной 2 м над поверх-

ностью изделия, поток пробы составлял 2·10⁻³ м³·Па/с. Выбор столь малого потока обуславливается отсутствием искажения концентрационного поля в процессе отбора пробы. Концентрационное поле формировалось течью с потоком гелия 2·10⁻⁴ м³·Па/с. Калибровка течи проводилась согласно методике, изложенной в работе [2].

Стандартное отклонение выходного сигнала течеискателя обуславливается нестабильностью самой измерительной системы и наличием нестабильности концентрационного поля. Поэтому результаты исследований, показанные на рисунке, характеризуются отношением стандартного отклонения сигнала с течеискателя при измерении концентрации пробного газа в окрестности течи к стандартному отклонению при измерении такой же концентрации в замкнутом объеме σ/σ_k (в отсутствие воздействия дестабилизирующих факторов на концентрационное поле).



Зависимость относительного стандартного отклонения σ/σ_k от расстояния течи до щупа

Результаты получены для способов накопления утечки пробного газа без пористой среды, в пористой среде, окруженной атмосферным воздухом, и в среде защитного газа (в среде азота). Кажущаяся плотность материала соответствовала 37,2 кг/м³, воздухопроницаемость – 35 л/(ч·см²), диаметр порового канала – 0,8 мм, толщина пористого листа – 40 мм.

Из сопоставления характера зависимостей (см. рисунок) видно, что относительное стандартное отклонение в условиях накопления утечки в пористой среде по отношению к накоплению в атмосфере на порядок меньше, это свидетельствует о качественной защите КП утечки пробного газа от воздействия атмосферного воздуха. Из результатов исследования видно также, что разброс показаний становится сопоставимым с флуктуацией выходного сигнала течеискателя. Расхождение результатов исследования в условиях размещения пористой среды в потоке защитного газа и в атмосфере объясняется наличием нестабильной концентрации ПГ на границе

раздела пористой среды с атмосферным воздухом. В этом случае хаотическое изменение граничных условий по концентрации ПГ над поверхностью пористой среды приводит к нестабильному оттоку ПГ из зоны расположения течи к границе пористой среды. При наличии пористой среды в среде азота на границе раздела с пористой средой имеет место постоянное значение концентрации ПГ. Следовательно, причиной дестабилизации КП является непосредственное проникновение конвективных потоков атмосферного воздуха в зону формирования утечки, или изменение концентрации пробного газа на границе раздела пористой среды с атмосферным воздухом.

Из графиков видно, что относительное стандартное отклонение увеличивается вблизи течи. Объясняется это тем, что в окрестности течи градиент концентрации ПГ больше, поэтому незначительное смещение поля вызывает резкое изменение концентрации.

В ходе исследования установлено, что помехозащищенность концентрационного поля в слое пористого материала напрямую

зависит от воздухопроницаемости пористого материала, а диаметр порового канала связан с ней опосредованно и может изменяться от характера топологии порового канала. Установлено также, что выбор пористого материала с губчатой топологией порового канала можно оценивать как по воздухопроницаемости, так и по диаметру пор, поскольку их влияние на помехозащищенность является равноценным.

Размещение пористого листа в вакуумной среде позволяет использовать воздух в качестве ПГ и исключить опрессовку изделия пробным газом. Такой вид накопления обеспечивает чувствительность контроля течей с потоками более 10^{-6} м³·Па/с. Этот метод контроля является перспективным направлением в области локализации течей, поскольку способен локализовать течи в изделиях, которые до недавнего времени можно было контролировать только пузырьковым способом. В ближайшей перспективе он может заменить пузырьковый способ, который является трудоемким, малопроизводительным и не подлежит автоматизации, а следовательно, имеет низкий уровень достоверности результатов испытания.

Структура пористого материала должна быть однородной, поскольку при этом допускается использовать метод квазигомогенного приближения для описания процесса переноса пробного газа в пористой среде. Он упрощает получение полевой функции утечки ПГ в окрестности течи. Метод квазигомогенного приближения следует считать обоснованным, если разброс результатов измерений концентрации ПГ, произведенных в разных точках отбора в пористой среде, но на одинаковом расстоянии от течи, не превышает значение флуктуации фонового компонента выходного сигнала течеискателя.

Количественный показатель концентрации поля утечки ПГ повышается в поровом пространстве по следующим соображениям. Например, даже для больших течей с потоком гелия 10^{-4} м³·Па/с число Пекле будет соответствовать $Pe = 2,6 \cdot 10^{-3}$ на расстоянии 1 мм от течи. Следовательно, перенос пробного газа в пористой среде опишется уравнением диффузии:

$$[D]\nabla C = Q_{\tau} \cdot \delta(P, P_0),$$

где Q_{τ} – поток пробного газа через течь 10^{-4} м³·Па/с; $\delta(P, P_0)$ – δ -функция; ∇ – оператор Лапласа.

Решение краевой задачи с граничными

условиями $\left. \frac{\partial C}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$ примет вид

$$C(p) = \frac{Q_{\tau}}{[D] 2\pi R(P, P_0)},$$

где $C(p)$ – концентрация пробного газа в точке отбора пробы; $R(P, P_0)$ – расстояние от течи до пробоотборника; $[D] = D \cdot \frac{\varepsilon}{T}$ – коэффициент эффективной диффузии пробного газа в пористой структуре, который определяется коэффициентом диффузии пробного газа (гелия) в воздухе D , пористостью материала мембраны ε и извилистостью порового канала T . Выбрав, например, пористый материал с параметрами $T = 1,5$ и $\varepsilon = 0,4$, можно уменьшить коэффициент эффективной диффузии, а следовательно, увеличить концентрацию пробного газа в окрестности течи в 3,75 раза, соответственно, повысить чувствительность испытаний.

Заключение

Процесс локализации течей способом шупа становится более эффективным, если накопление утечки пробного газа происходит в среде материала с пористой структурой. Скелет пористого материала препятствует конвективным потокам воздуха, исключая дестабилизацию концентрационного поля утечки пробного газа и отток ее из места расположения течи. В результате повышается чувствительность и достоверность контроля. Чувствительность контроля повышается также за счет снижения величины эффективной диффузии пробного газа в пористой среде по сравнению с коэффициентом взаимной диффузии в воздухе.

Список литературы

1. Сажин С.Г. Классификация высокопроизводительного оборудования для контроля герметичности изделий // Дефектоскопия. – 1979. – №11. – С. 74–78.
2. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Клюева (в 7 томах). – Т. 2. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 241–687.
3. Способ испытания изделий на герметичность и устройство для его осуществления: А. с. 1068755 СССР / В.М. Мясников, В.И. Шапоренко, А.И. Юрченко. – Оpubл. БИ, 1984, – №3. – 3 с.
4. Сажин С.Г. Классификация установок для локализации течей / С.Г. Сажин, В.М. Мясников // Дефектоскопия. – 2009. – №10. – С. 87–93.
5. Сажин С.Г., Мясников В.М. Эффективные методы для определения мест утечки // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: сб. 8-й Международной конференции: Программа конференции. Тезисы докладов. Москва, 18–20 марта 2009 г. – М.: ИД «Спектр», 2009. – С. 44. – 160 с. – ISBN 978-5-904270-04-9.

Рецензенты:

Никандров И.С., д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт и механика» Дзержинского политехнического института НГТУ им. Р. Е. Алексеева, г. Дзержинск;

Луконин В.П., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация и информационные системы» Дзержинского политехнического института НГТУ им. Р. Е. Алексеева, генеральный директор ФГУП «НИИ полимеров им. академика В. А. Каргина», г. Дзержинск;

Масленников А.В., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация и информационные системы» Дзержинского политехнического института НГТУ им. Р. Е. Алексеева, г. Дзержинск.

Работа поступила в редакцию 07.07.2011.