

Контроль герметичности систем жидкостного охлаждения

От компонента до системы: полный цикл предотвращения утечек

Контроль герметичности жидкостного охлаждения: компоненты, испытательные установки и технологические этапы. Производитель оборудования — Hirays.

Компания Shenzhen Hirays Automation Technology Co., Ltd. основана в 2008 году и специализируется на контроле герметичности, масс-спектрометрическом течеискании и масс-спектрометрическом анализе. Портфель предприятия включает более 200 ключевых патентов и прав на программное обеспечение, а также решения для манометрического контроля, обнаружения газов и масс-спектрометрии.

Применимый стандарт на гелиевые масс-спектрометрические течеискатели, его номер, юрисдикцию и редакцию определяют в техническом задании.

Полный охват задач контроля: заявленный диапазон обнаружения от 10^{-1} до 10^{-13} Па·м³/с — от предварительного выявления грубых течей до обнаружения микротечей. Это обобщённый диапазон разных решений, а не диапазон одного прибора.

Отраслевые применения: жидкостное охлаждение, полупроводники, автомобильная промышленность, новая энергетика, аэрокосмическая отрасль и другие производства.

Комплексный портфель: испытательные приборы Hirays, системы автоматизации, заказная испытательная оснастка и приспособления. Возможности системного решения: единая поставка от отдельной установки до интеграции в полную производственную линию.

Развитие компании и три ключевых показателя

2008–2015. Формирование технологической основы и масштабное внедрение. Компания сообщает, что преодолела зависимость от зарубежных технологий, самостоятельно разработала приборы контроля герметичности и внедрила их в производстве бытовой техники, сантехнических изделий, защищённого освещения и медицинских изделий.

2016–2020. Расширение отраслевого применения и развитие системы технологий. Используя возможности рынка электроники 3С и новой энергетики, Hirays, по её данным, вошла в цепочки поставок BYD, Huawei и Xiaomi. Одновременно компания развивала водородно-азотный контроль течей, гелиевое масс-спектрометрическое течеискание и квадрупольную масс-спектрометрию.

2021 — настоящее время. Выход в передовые отрасли и расширение высокотехнологичного производства. Совместное применение нескольких методов используется для отраслевых решений: жидкостное охлаждение инфраструктуры искусственного интеллекта, новая энергетика, литиевые аккумуляторы и полупроводники. В иллюстрации представлены HM-Leaklab-310 — контроль утечек электролита при атмосферном давлении, HM-Leaklab-400 — гелиевый течеискатель и HM-Leaklab-500 — многогазовый течеискатель.

Показатели компании: участие в 4 стандартах; более 200 патентов и прав на программное обеспечение; более 3000 решений; производственная база 16 000 м².

Три основных обещания производителя: возврат гелия 95 % при интеллектуальном регулировании потока; минимальный обнаруживаемый поток утечки $5 \cdot 10^{-13}$ Па·м³/с в высокочувствительном режиме; время отклика менее 1 с для интеграции с высокоскоростными производственными линиями. Эти показатели относятся к соответствующим приборам и конфигурациям, а не ко всем установкам.

Четыре этапа: грубые течи и гелиевый контроль

01. Предварительное выявление грубых течей. Быстрая отбраковка явно негерметичных изделий предотвращает их поступление на последующие более дорогие этапы высокочувствительного контроля.

Метод прямого измерения давления: изделие заполняют сжатым воздухом или азотом до заданного давления. Система отслеживает изменение давления в реальном времени и автоматически определяет наличие грубых течей. Метод предназначен в том числе для быстрой проверки изделий большого объема.

Повторная проверка забракованных изделий: диагностическая оснастка DEBUG позволяет локализовать течь и подготовить изделие к последующей доработке.

Преимущества решения: приборы серии HL-Leaklab с конфигурацией от 1 до 8 каналов; быстрое заполнение полостей объемом от десятков до сотен литров; повышение эффективности более чем на 50 % относится к отдельному исполнению и требует проверки для конкретной линии; встроенный интерфейс MES поддерживает автоматическую передачу данных и прослеживаемость всего процесса.

Основные параметры этапа 01: испытательное давление 0,2–2 МПа, расширение до 2,5 МПа по исполнению; метод прямого измерения давления; поддержка многопозиционной параллельной работы. Основное оборудование — серия HL-Leaklab.

02. Обнаружение микротечей. Гелиевый контроль — высокочувствительный количественный промышленный метод.

Методы: испытание в вакуумной камере и метод щупа. Для повторной проверки забракованных изделий щуп используют для точной локализации места течи.

Преимущества решения: масс-спектрометрическое обнаружение микротечей для изделий с высокими требованиями к надёжности; сочетание вакуумной камеры и щупа под разные процессы; многопозиционное параллельное испытание; интеграция с автоматизированными производственными линиями; возврат гелия для уменьшения расхода газа и эксплуатационных затрат.

Основные параметры этапа 02: минимальный обнаруживаемый поток утечки в вакуумном режиме $5 \cdot 10^{-13}$ Па·м³/с; в режиме щупа — $1 \cdot 10^{-8}$ Па·м³/с, исполнение подбирают под изделие; испытательное давление 0–2 МПа; возврат гелия не менее 95 %. Основное оборудование — гелиевые масс-спектрометрические течеискатели HM-Leaklab-400 и HM-Leaklab-410.

Четыре этапа: сушка и окончательная проверка

03. Удаление остаточной жидкости и вакуумная сушка. Цель процесса — высокотемпературная сушка для обеспечения чистоты изделия.

Эффективное обезвоживание и дегазация уменьшают ложные сигналы и помехи при испытании. Вакуумная обработка повышает эффективность сушки. Точное управление температурой обеспечивает стабильную обработку разных материалов и конструкций. Автоматизация уменьшает влияние оператора и повышает повторяемость.

Основные параметры этапа 03: максимальная температура 150 °C с точным регулированием; манометрическое разрежение до –100 кПа; контроль температуры и влажности; автоматизированное управление. Основное оборудование — установки вакуумной сушки.

Вакуумная сушка остаточной жидкости связывает гелиевый контроль с проверкой выдержкой под давлением и, по описанию производителя, способствует длительной стабильной работе компонентов жидкостного охлаждения после поставки.

04. Проверка выдержкой под давлением. Последовательность: автоматическое заполнение → стабилизация и выдержка → наблюдение давления → запись данных → автоматическое решение.

Метод: заполнение азотом и выдержка под давлением. Это заключительная проверка надёжности собранной системы перед поставкой.

Преимущества: одно- или двухканальная конфигурация с возможностью расширения до 8 каналов; адаптация к размерам изделий и такту линии; работа в составе линии или автономно; полностью автоматизированный процесс с уменьшением ручного вмешательства.

Основные параметры этапа 04: испытательное давление до 3 МПа; предельное манометрическое разрежение –100 кПа; время выдержки 30 с с настройкой под процесс; автоматическое определение скорости падения давления. Основное оборудование — система заполнения азотом и контроля выдержкой под давлением.

Изделие заполняют азотом высокого давления, стабилизируют условия и наблюдают падение давления. Результат используется для окончательной проверки надёжности и заводской приёмки герметичности.

Типовые изделия и примеры испытательных установок

Проверяемые изделия: быстродействующие соединители, охлаждающие плиты, распределительные коллекторы, микроканальные охлаждающие плиты, теплообменники, металлические сильфоны, серверы с жидкостным охлаждением и шкафы жидкостного охлаждения.

Ниже представлены восемь применений испытательных систем. Компоновку и комплектацию выбирают под конкретное изделие.



01. Автоматизированная гелиевая установка контроля соединителей UQD



02. Гелиевая установка контроля охлаждающих плит



03. Гелиевая установка контроля распределительных коллекторов



04. Гелиевая установка контроля микроканальных охлаждающих плит



05. Гелиевая установка контроля теплообменников



06. Гелиевая установка контроля сильфонов



07. Гелиевая установка контроля серверов с жидкостным охлаждением



08. Контроль блоков CDU методом щупа или в вакуумной камере

Пять преимуществ комплексного решения

01. Полный замкнутый технологический цикл. Предварительное выявление грубых течей → обнаружение микротечей → удаление остаточной жидкости и сушка → проверка выдержкой под давлением. Производитель описывает такой цикл как контроль качества, направленный на предотвращение утечек в системах жидкостного охлаждения.
02. Чувствительность и производительность. Обнаружение микротечей; многопозиционная параллельная работа для повышения выработки на оператора в час (UPPH); интеграция с автоматизацией для соблюдения такта серийного производства.
03. Опыт производственного внедрения. Решения охватывают типовые компоненты жидкостного охлаждения, проверены внедрениями у заказчиков и поддерживают быстрое развёртывание заказных конфигураций.
04. Управление качеством на основе данных. Автоматический сбор данных со всех рабочих позиций, интеграция с MES и прослеживаемость полного технологического процесса.
05. Модульная конструкция. Возможность отдельной установки или интеграции в полную линию, гибкий выбор конфигурации под требуемую производительность и разные изделия жидкостного охлаждения.

Особенности применения

Поток утечки в $\text{Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ не является погрешностью измерения. Минимальный обнаруживаемый поток утечки не равен допустимой утечке проверяемого изделия. Для приёма нужны отдельные критерии, заданные технической документацией на изделие.

Разрежение -100 кПа — манометрическое обозначение вакуума. Отрицательное абсолютное давление физически невозможно; остаточное абсолютное давление определяют для конкретного технологического режима.

Испытательное давление изделия и допустимое давление на входе течеискателя относятся к разным частям системы. Для HM-Leaklab-400 техническая карточка указывает давление на входе менее 1500 Па ; изделие под высоким давлением испытывают через согласованную схему камеры, клапанов и защиты.

Для HM-Leaklab-410 параметры камеры, испытательное давление, критерий годности и полный цикл определяют по комплектации. Характеристики HM-Leaklab-400 на это исполнение не переносят.

Наименования единиц: Па — паскаль; кПа — килопаскаль; МПа — мегапаскаль; м^3 — кубический метр; с — секунда; $^{\circ}\text{C}$ — градус Цельсия; м^2 — квадратный метр; UPPH — изделий на оператора в час. MES — система управления производственными операциями; UQD — унифицированный быстродействующий соединитель; CDU — блок распределения охлаждающей жидкости. NG в схеме означает изделие, не прошедшее контроль.