

## Теплоизоляционные материалы

Характеристики теплоизоляционных материалов: фазовые переходы, теплопроводность



# Теплоизоляционные материалы

## Общие сведения о теплоизоляционных материалах

Теплоизоляционные материалы специально разрабатываются для уменьшения теплообмена с окружающей средой при ограничении теплопроводности, уменьшения тепловой конвекции и излучения или всех трех условий одновременно. Обычно выделяются следующие наиболее важные свойства теплоизоляционных материалов:

- Экономия энергии за счет уменьшения потерь тепла.
- Контроль температуры поверхности материалов для безопасной и комфортной работы.
- Способность регулировать конденсацию потока пара и воды.
- Увеличение производительности процессов нагрева, вентиляции, охлаждения в отраслях теплоснабжения и в различных областях коммерческой и промышленной деятельности.

- Защита производственных схем в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности от потерь энергии и сохранения технологических условий.

Теплоизоляционные материалы обычно подразделяются на три группы, каждая из которых обладает общими характерными свойствами:

### 1. Волокнистая теплоизоляция

Волокнистая теплоизоляция состоит из тонких волокон, разделяющих воздушное пространство и расположенных продольно или поперечно относительно друг друга. Волокна могут быть связаны или разделены каждый по отдельности и изготавливаются из кварца, стекла, шерсти, базальта. Наиболее широко распространенная теплоизоляция этого типа – стекловата (стекловата) и минеральное волокно (минеральная вата).

### 2. Вспененная теплоизоляция

Вспененная теплоизоляция состоит из небольших отдельных изолированных ячеек, изготовленных из стекла, вспененной пластмассы (пенополистирол), пенополиуретана, полиизоцианокрилата, полиолефина или эластомеров.

### 3. Гранулированная теплоизоляция

Гранулированная теплоизоляция состоит из небольших гранул, содержащих поры, пустоты, углубления. Такие материалы не могут считаться ячеистыми, так как в них может происходить конвекция газа между отдельными гранулами. Они могут использоваться в сочетании с волокнистыми или вспененными теплоизоляционными материалами для создания твердых теплоизоляционных изделий. В качестве материалов для гранулированной теплоизоляции используются силикат кальция, вспененный вермикулит, перлит, целлюлоза, диатомит и вспененный пенопласт.



## Основные способы теплопередачи

Теплопередача – это передача тепловой энергии (или просто нагревание) от горячего объекта к холодному. Существуют три основных способа теплопередачи:

### Конвекция

Конвекция обычно является доминирующей формой передачи тепла в жидкостях или газах. Конвекция включает объединенные эффекты проводимости и потока жидкости. При конвекции теплообмен происходит при движении горячих или холодных частиц жидкости или газа в сочетании с теплопроводностью.

### Излучение

Излучение – единственная форма теплопередачи, которая возможна даже при отсутствии среды (например, в вакууме). Основой теплового излучения является электромагнитное излучение, которое переносит энергию от поверхности в пространство. Электромагнитное излучение на поверхности постоянно поддерживается энергией более глубоких слоев вещества.

### Теплопроводность

Теплопроводность вносит самый существенный вклад в теплопередачу. В микроскопическом масштабе теплопроводность представляет собой передачу энергии атомов и молекул при их перемещении или колебательном движении другим близкорасположенным атомам. Свободное перемещение электронов также способствует теплопроводности. Об истинной теплопроводности можно говорить только для твердых тел. Для определения теплопроводности необходимо учитывать коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , который зависит от кристаллической структуры твердого тела и температуры. Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  может быть определен из количества теплоты  $Q$ , переданной за промежуток времени ( $t$ ) через толщину вещества ( $x$ ), в направлении, перпендикулярном поверхности площадью  $A$ , из-за температурного градиента (разницы температур) ( $\Delta T$ ).

Уравнение, связывающее коэффициент теплопроводности, температурный градиент и площадь поверхности  $A$ , выведено Фурье (Fourier) в 1822 году; закон Фурье:

$$\dot{Q} = -\lambda A \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} ; q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

# Тестирование теплоизоляционных материалов

При разработке, изготовлении и контроле качества теплоизоляционных материалов непрерывно исследуется степень соответствия теплоизоляционных материалов предъявляемым требованиям. Некоторые из возникающих вопросов:

- Как ведет себя конкретный материал теплоизоляции?
- Как наиболее эффективно теплоизолировать криорезервуары?
- Какова оптимальная изоляция печей, работающих при различной температуре, атмосфере или при различном давлении?
- Каковы нагрев/охлаждение здания?
- Как влияют погодные условия на эксплуатируемые материалы, возможно ли их улучшение?
- Как наилучшим образом обеспечить отвод тепла от электронных компонентов?
- Как спроектировать систему теплообмена с наибольшей эффективностью и какие материалы применить?

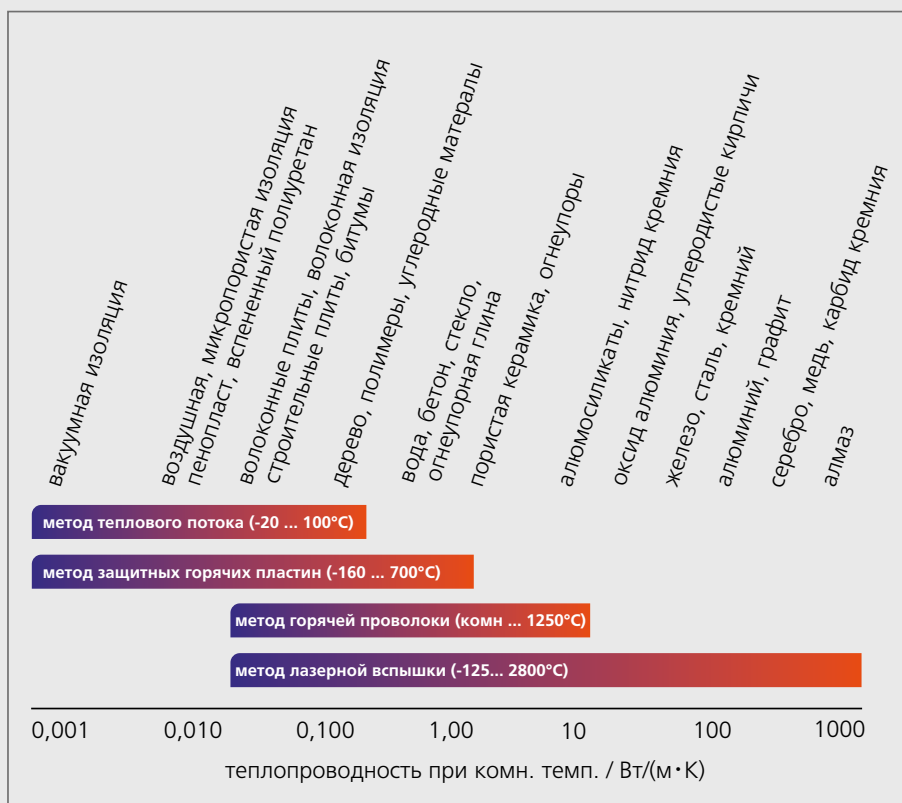
Для ответа на эти вопросы необходимо знание таких свойств материалов, как термическая диффузия и термическая проводимость.

Для анализа теплоизоляционных материалов обычно используются методы горячего теплового потока (Heat Flow Meter - HFM) или метод горячей охранной зоны (Guarded Hot Plate GHP).

Для измерений высокопроводящей керамики, металлов или алмазных соединений часто используется метод лазерной вспышки LFA. Теплопроводность огнеупорных материалов измеряется стандартизированным методом горячей проволоки.

Теплофизические свойства, такие как удельная теплоемкость ( $c_p$ ), могут быть проанализированы с помощью

высокотемпературных дифференциальных сканирующих калориметров (ДСК), а изменения плотности и длины образца измеряются с помощью dilatометров.



## Стандарты для тестирования теплоизоляционных материалов

Стандартизированными методами являются метод защитных горячих пластин, который относится к стационарным методам. Применения «теплоизоляционных материалов» имеют много разработанных стандартов. Приборы серий NETZSCH GHP 456 и HFM 436 полностью соответствуют этим требованиям. Ниже приведены примеры разработанных стандартов для измерений теплоизоляционных материалов.

### Международные стандарты

ASTM C 177	Стандартный метод испытаний для измерений потоков тепла и теплопроводности методом горячей охранной зоны.
ASTM C335 - 05ae1	Стандартный метод испытаний для измерений теплопроводности трубной изоляции.
ASTM C518	Стандартный метод испытаний для измерений теплопроводности аппаратурой для измерений тепловых потоков.
ASTM C 1363 - 05	Стандартный испытательный метод для измерений тепловой эффективности строительных материалов аппаратурой горячей охранной зоны.
ASTM D5470 - 06	Стандартный измерительный метод для измерений теплопроводности электрических изоляционных материалов.
ASTM E1225 - 04	Стандартный измерительный метод для измерений теплопроводности твердых материалов сравнительным методом продольного защищенного теплового потока.
ASTM E1530 - 06	Стандартный измерительный метод для измерений теплового сопротивления материалов методом защищенного теплового потока.
ASTM F433 - 02(2009)	Стандартная практика измерений для оценки теплопроводности уплотнительных материалов.
DIN EN 12667/12939	Европейский стандарт для измерений теплопроводности изоляционных материалов методом защищенного теплового потока и методом горячих пластин.
DIN EN 13163	Европейский стандарт для измерения характеристик вспененной изоляции методом теплового потока и горячей охранной зоны для применения в строительстве.
ISO 8301/8302	Стандартная техника измерений изоляционных материалов методом защищенного теплового потока и методом горячих пластин.
ISO 8894-1 (EN 993-14)	Определение теплопроводности; метод горячей проволоки (диапазон $\lambda \leq 1,5$ Вт/(м·К)).
ISO 8894-2 (EN 993-15)	Определение теплопроводности; метод горячих пластин (диапазон $\lambda \leq 25$ Вт/(м·К)).

# Теплопроводность – методы измерения



NETZSCH GHP 456 Titan®

## Теплопроводность

Теплопроводность  $\lambda$  является теплофизической величиной, которая характеризует способность материала проводить тепло. Величина теплопроводности зависит от количества теплоты, проходящей за единицу времени через единицу поверхности при разнице температур в  $1^\circ\text{C}$  на единицу длины. Она зависит от фазы среды, температуры, плотности, молекулярного строения, влажности и давления.

Параметр  $R$  показывает термическое сопротивление материала, особенно важного для строительной промышленности и для конструкционных материалов. Чем выше  $R$ , тем лучше эффективность

теплоизоляции. Значение параметра  $R$  взаимно обратно значению другого важного параметра  $U$ .

$$R = \frac{d}{\lambda} = \text{термическое сопротивление} \\ (\Delta T = R q)$$

Уменьшение или увеличение теплопередачи можно варьировать тепловым сопротивлением.

Коэффициенты теплопроводности показывают, какое количество теплоты будет передано через определенную область нагреваемого вещества. Значение, обратное термическому сопротивлению, показывает коэффициент теплопроводности. Коэффициент теплопроводности обозначается  $k$  или параметр  $U$ :

$$k = \frac{\lambda}{d} = U\text{-параметр (k-параметр)}$$

## Прибор для измерений теплопроводности (Thermal Conductivity Tester) TCT 426

С помощью прибора TCT 426 проводят измерения теплопроводности по стандартному методу горячей проволоки. Линейный источник высокой температуры (горячая проволока) размещена между двумя образцами тестируемого материала. Нагреватель находится под постоянным напряжением. При измерении регистрируется изменение во времени температуры нагревателя и температуры проволоки, расположенной параллельно или перпендикулярно нагревателю. Измерения теплопроводности возможны от комнатной температуры до 1450°C для стандартных образцов в стабильной гомогенной печи. В зависимости от теплопроводности материалов может применяться различная методика измерений. Для материалов с низким значением теплопроводности 2 Вт/(м·К) используется метод пересеченной проволоки. Для значений теплопроводности до 20 Вт/(м·К) используется метод параллельной проволоки. Метод изменения сопротивления или T(R)-метод используется для более точного измерения неоднородных образцов, исключает ошибки «точечного» контакта проволоки, тепловые потери в подключениях термопар. Метод применяется для измерений теплопроводности до 15 Вт/(м·К). Прибор TCT 426 применяется для измерений теплопроводности любым из трех перечисленных способов.



NETZSCH Thermal Conductivity Tester 426

**Дополнительная информация**

на [www.tct426.info](http://www.tct426.info)

# Измерения теплопроводности

## Измерители теплового потока HFM 436 *Lambda*<sup>TM</sup> – высокое качество и точность

Измерители теплового потока (Heat Flow Meters – HFM) – это точные, быстрые и удобные в обращении приборы для измерения материалов с низкими значениями теплопроводности, например, изоляционных. HFM 436 *Lambda*<sup>TM</sup> – калибруемый прибор, работает в соответствии с методом, изложенным в ASTM C 518, ISO 8301, а также ГОСТ 7076-99.

Приборы серии HFM 436 *Lambda*<sup>TM</sup> обеспечивают быстрые и точные результаты благодаря патентованной системе контроля температуры (три температурных датчика в каждой пластине) и технологии измерения потока теплоты. Результаты измерений доступны уже в течение 15 минут с очень высокой точностью и воспроизводимостью.

### Дополнительная информация

на [www.hfm436.info](http://www.hfm436.info)

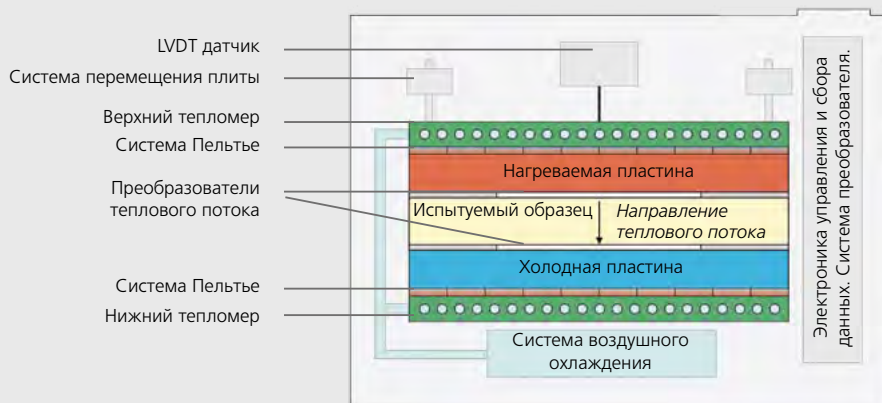


NETZSCH Heat  
Flow Meter 436

## Принцип действия

Образец помещают в прибор между двумя пластинами с различной температурой. Тепловой поток через образец измеряется преобразователями теплового потока. Тест выполняется после установки теплового равновесия. Для измерений используется стандартный образец 100 x 100 мм. Результаты измерений преобразователей теплового потока калиброваны по стандарту NIST.

Прибор стабилен в пределах 0,1 – 0,25% при непрерывной работе в течение нескольких дней и обладает высокой воспроизводимостью. Это позволяет использовать результаты быстрых тестов как надежный индикатор старения продуктов или исследовать их долгосрочную стабильность. Время установления показаний



чаще всего находится в пределах 15-20 мин., что позволяет использовать прибор в лабораториях с большой пропускной способностью. Прибор HFM 436 имеет встроенную

систему регистрации перемещения плиты с разрешением в пределах мкм (LVDT система), которая позволяет с высокой точностью определять толщину образца.

## Техническая спецификация для различных моделей приборов серии HFM 436 *Lambda*<sup>TM</sup>

	HFM 436/3/0	HFM 436/3/1	HFM 436/3/1E	HFM 436/6/1
Температурный диапазон пластин	фиксированный от 0 до 40°C	переменный от 0 до 100°C	переменный от -30 до 90°C	переменный от -20 до 70°C
Система охлаждения	воздух	воздух	встроенный охладитель	встроенный охладитель
Система контроля температуры	система Пельтье	система Пельтье	система Пельтье	система Пельтье
Программируемое число точек измерения	1	10	10	10
Размеры образца (мм)	300 x 300 x 100	300 x 300 x 100	300 x 300 x 100	600 x 600 x 200
Диапазон термического сопротивления / (м <sup>2</sup> •К)/Вт)	от 0,1 до 0,8	от 0,1 до 0,8	от 0,1 до 0,8	от 0,1 до 0,8
Диапазон теплопроводности / Вт/(м•К)	от 0,005 до 0,50	от 0,005 до 0,50	от 0,005 до 0,50	от 0,005 до 0,50
Воспроизводимость	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Погрешность	от +/- 1% до 3%	от +/- 1% до 3%	от +/- 1% до 3%	от +/- 1% до 3%
Размеры прибора см. (ДхШхВ)	48 x 63 x 51	48 x 63 x 51	48 x 63 x 51	80 x 90 x 80

# Измерения теплопроводности

## GHP 456 *Titan*<sup>®</sup> – совершенная техника для исследований

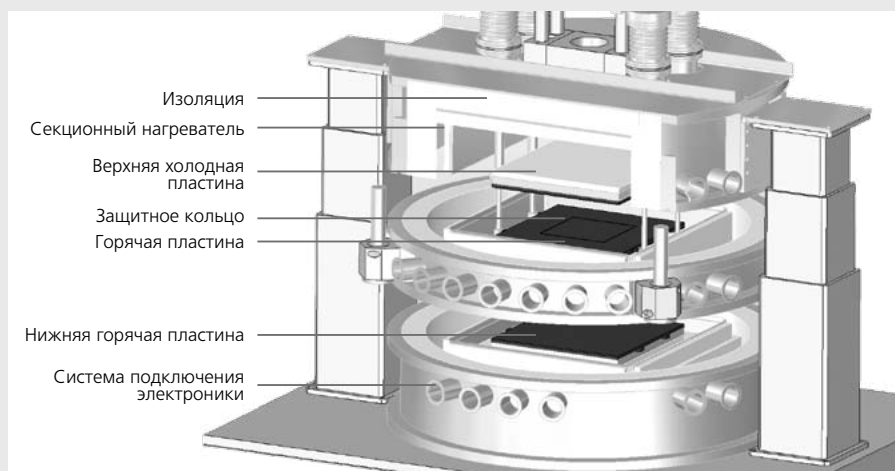
Прибор GHP 456 *Titan*<sup>®</sup> является идеальным инструментом для исследователей и ученых в области тестирования изоляции. Основанный на известном стандартизированном принципе горячей охранной зоны прибор обеспечивает высококачественную работу в самом широком диапазоне температур. Высокотемпературная версия позволяет тестировать образцы в диапазоне от -160 до 700°C. Принцип GHP основан на абсолютном методе измерения и поэтому не требует применения стандартов для калибровки. Выпускаются две основные модели прибора, отличающиеся материалом пластин, используемых в измерениях.

Для вспененной теплоизоляции используются пластины из алюминиевого сплава. Эта система перекрывает диапазон температуры от -160 до 250°C. Для измерений до 700°C, используются специальные пластины из тугоплавкого металла. В приборе используются защищенные индивидуально калиброванные датчики температурного сопротивления PT100 (разрешение 1 мК, точность в диапазоне 100 мК). Благодаря специальному защитному покрытию, датчики могут использоваться до 700°C. Система пластин помещена в вакуумплотный корпус. В зависимости от используемого вакуумного насоса (роторный или

турбомолекулярный), измерения могут быть выполнены под вакуумом менее чем  $10^{-4}$  мбар (0,01 Па), а также в очень чистой атмосфере (окислительной или инертной) или при определенном давлении. Система полностью симметрична и требует двух образцов для каждого теста. Это условие гарантирует максимальную возможную точность лучше 2 %. Каждая пластина, защитное кольцо и печь связаны с отдельной системой управления и собственным стабильным электропитанием. Полностью цифровая пятиступенчатая система управления гарантирует быстрый и точный нагрев пластин и высокую стабильность измерений.



NETZSCH GHP 456 *Titan*<sup>®</sup>



## Уникальные особенности

- Моторизованный подъемник для вакуумного отсека и пластин.
- Внешний нагреватель (секционная печь) для уменьшения тепловых потерь на теплообмен с окружающей средой.
- Измерение температуры с высокой разрешающей способностью (1 мК), используются отдельно калиброванные температурные датчики.
- Гарантируемая механическая стабильность положения пластин при минимальной или максимальной температуре эксплуатации.
- Отсутствие радиального теплового потока через датчики, систему электропитания.
- Современная компьютерная система контроля температуры для увеличения точности и скорости измерений.

## Принцип работы

Горячая пластина и защитное кольцо находятся между двумя образцами материала одинаковой толщины. Вспомогательные нагреватели (холодные пластины) помещены выше и ниже образцов. Холодные пластины нагреваются, таким образом, чтобы был установлен выбираемый пользователем необходимый температурный градиент между горячими и холодными пластинами по всей толщине образца. Теплопроводность по перепаду температур между поверхностями образца, толщине образца, мощности и площади основного нагревателя. После установления в образце теплового равновесия данные регистрируются, и вычисляется теплопроводность, используя уравнение теплопередачи в условиях установившегося теплового равновесия:

$$\dot{Q} = -\lambda_2 A \frac{\Delta T}{\Delta x}; \quad \lambda_{\text{eff}} = -0,5(IU) \frac{1}{A} \frac{\Delta x}{\Delta T}$$

## Технические характеристики прибора GHP 456 Titan®

Система измерений	симметричная (2 образца)
Температурный диапазон	от -160 до 250°C (низкотемпературная версия) от -160 до 700°C (высокотемпературная версия)
Диапазон теплопроводности	0 – 2 Вт/(м•К)
Атмосфера	инертная, окислительная или вакуум
Толщина образцов	до 100 мм
Размер образцов	300 x 300 мм (стандартная версия)
Вакуум	в зависимости от требований: до 10 <sup>-4</sup> мбар
Система охлаждения	воздух: минимум 40°C циркулирующий охладитель: мин. 0°C охлаждение жидким азотом: -160°C
Отдельно откалиброванные защищенные датчики температуры Pt-100 (29) для точных измерений температуры	

# Определение удельной теплоемкости – энтальпии – потери массы – состава

## Термический анализ (ДСК, СТА)

Для разработки и изготовления экологических и экономических материалов для теплоизоляции, необходимо знание и контроль их теплопроводности. Другие теплофизические свойства этих материалов также имеют большое значение, включая удельную теплоемкость, изменение длины и плотность. Эти свойства могут меняться в зависимости от температуры, давления и состава, затрагивая теплопроводность и теплоемкость.

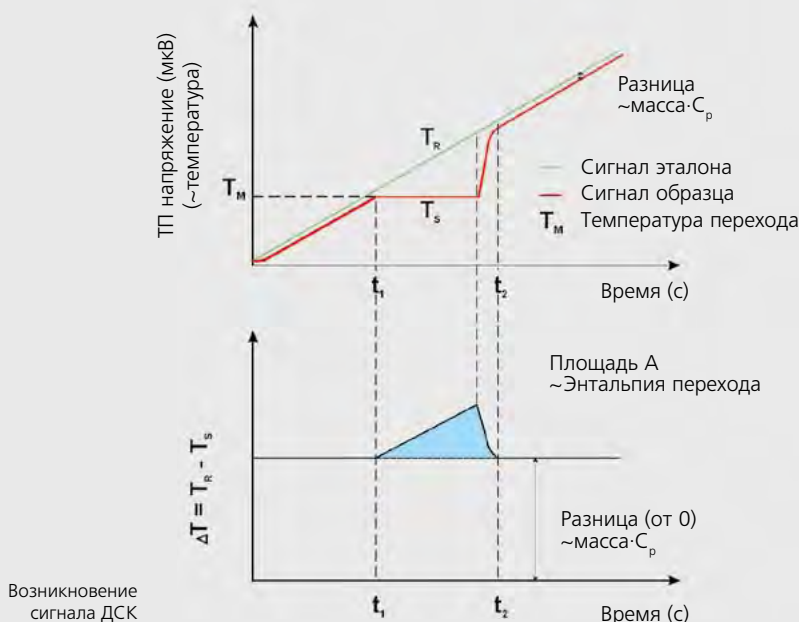
### Дифференциальная сканирующая калориметрия

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) один из наиболее часто используемых методов термического анализа. Этот метод может использоваться для анализа практически любого энергетического эффекта, происходящий в твердом веществе или жидкости во время теплового воздействия. Прибор DSC 404 **F1 Pegasus**® позволяет проводить измерения в диапазоне температур от -150 до 2400°C. Вакуумплотная конструкция (менее 10<sup>-4</sup> мбар) гарантирует точный контроль атмосферы. Теплоемкость материалов может быть определена между -150 и 1400°C.

### Синхронный термический анализ

Синхронный термический анализ (СТА) сочетает одновременные измерения термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) в одном измерении в одном приборе. При этом условия измерений совершенно идентичны для ТГ и ДСК сигналов (одна атмосфера, поток газов, давление пара над образцом,

температурный диапазон, тепловой контакт с тиглем и датчиком, воздействие излучения и т.д.). Кроме того, это увеличивает пропускную и качественную возможность измерений. Приборы ДСК и СТА охватывают практически все возможные методики и стандарты измерений для систем ДСК и ТГА.



Подключение прибора STA 449 **F1 Jupiter**® к масс-спектрометру QMS 403 **C Aeolos**® и Фурье-ИК спектрометру Tensor 27 фирмы Bruker

## Дополнительные возможности системы

### Возможности ДСК анализа

- Теплоемкость
- Реакции плавление / кристаллизация
- Фазовые переходы в твердом теле
- Полиморфизм
- Степень кристалличности
- Переходы стеклования
- Структурообразующие реакции
- Окислительная стабильность
- Чистота материалов
- Термокинетика

### Возможности ТГ анализа

- Изменения массы
- Температурная стабильность
- Окисление
- Реакции разложения
- Разложение
- Стадии коррозии
- Анализ компонентов
- Термокинетика

Основными возможностями расширения аппаратных средств являются установка устройства автоматической подачи образцов и дополнительные программы обработки результатов, учитывающие последние достижения науки и технологий. Эти дополнения делают DSC 404 **F1 Pegasus**<sup>®</sup> и STA 449 **F1 Jupiter**<sup>®</sup> самыми универсальными ДСК и СТА системами для исследований и развития производства, для контроля качества, анализа брака и оптимизации процессов производства. Для глубокого газового анализа системы ДСК и СТА могут быть подключены к квадрупольному масс-спектрометру КМС и / или системе Фурье-ИКС, даже если прибор оборудован устройством автоматической подачи образцов.

### Дополнительная информация

на [www.ega-ms-ftir.info](http://www.ega-ms-ftir.info)



# Определение изменений размеров

## Анализ смол в волокнистой изоляции

### Дилатометрия (ДИЛ)

Для прецизионных измерений процессов спекания, плавления, объемного расширения в условиях программируемого изменения температуры с незначительной деформацией образца дилатометрия является лучшим методом. Дилатометры широко применяются при разработке и исследованиях свойств сплавов, керамики, огнеупорных материалов,

компаундов, стекла, композитных материалов, пластмасс и др. NETZSCH предлагает широкую линейку различных дилатометров с толкателем. Все модели дилатометров работают в соответствии с общими стандартами, разработанными для методов дилатометрии и термомеханического анализа.

#### Возможности ДИЛ анализа

- Тепловое расширение
- Определение коэффициента термического расширения
- Объемное расширение
- Изменение плотности
- Температуры спекания
- Стадии сжатия
- Определение температур стеклования
- Точки размягчения
- Фазовые переходы
- Влияние добавок
- Оптимизация процессов
- Спекание с контролируемой скоростью
- Стадии кинетики

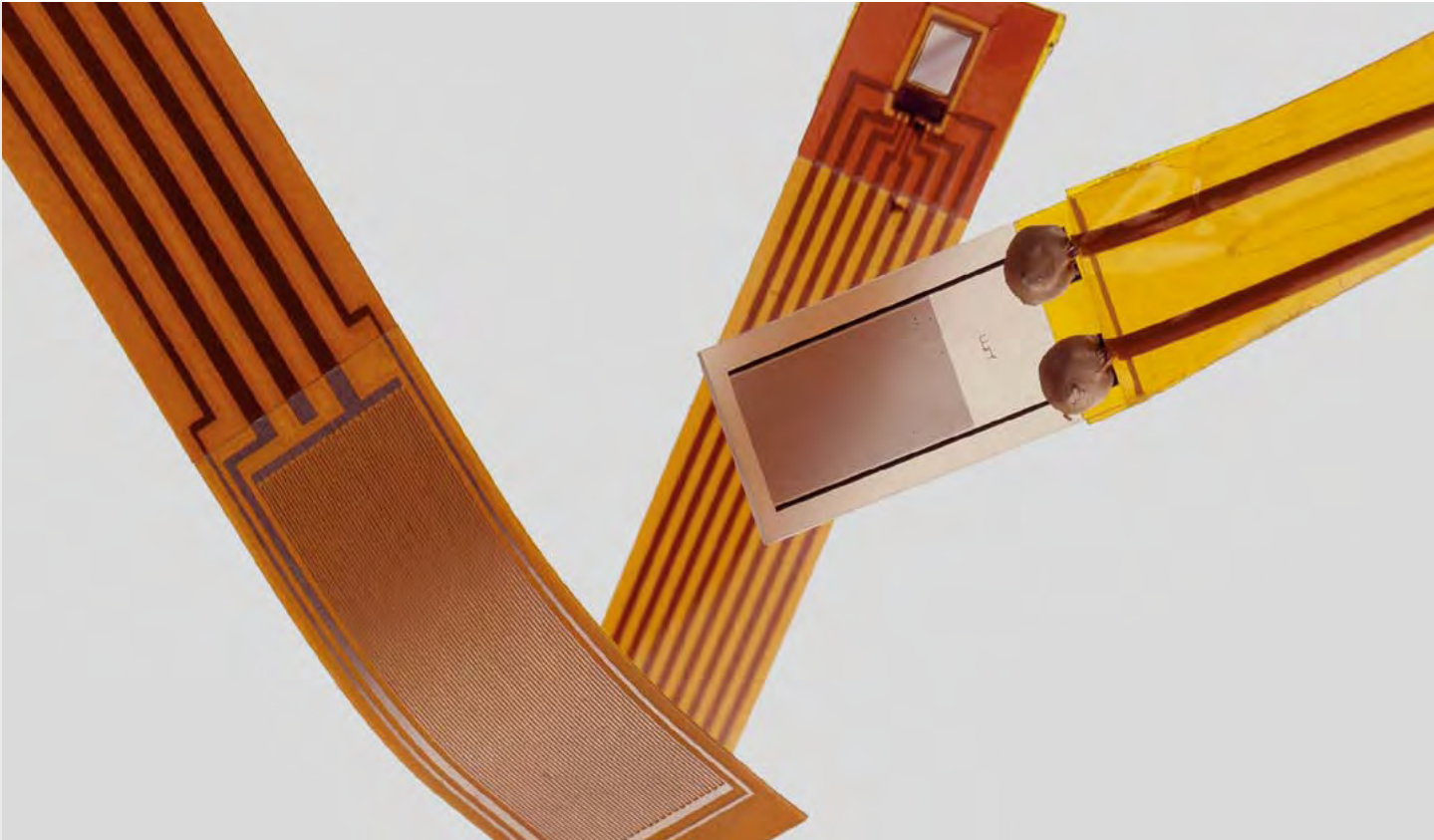
#### Дополнительная информация

на [www.dil402.info](http://www.dil402.info)



NETZSCH дилатометр DIL402 C

ДИЛ модель	Температурный диапазон	Атмосфера	Δl разрешение
DIL 402 PC	комн... 1600°C	Инерт., окисл.	8 нм
DIL 402 C	-180... 2000°C	Инерт., окисл., восстан., вакуум.	0,125 / 1,25 нм
DIL 402 E	комн... 2800°C	Инерт., окисл., восстан., вакуум.	0,125 / 1,25 нм
DIL 402 CD	-180 ... 1600°C	Инерт., окисл., восстан., вакуум.	0,125 / 1,25 нм



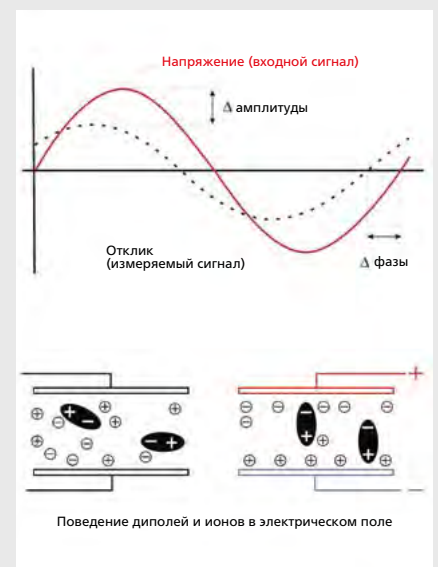
## Диэлектрический анализ (ДЭА)

Для исследования процессов отверждения и реакций образования сетчатой структуры отверждаемых смол, композитных материалов, красок и полимеров в материалах изоляции широко применяется диэлектрический анализ (ДЭА). Большое преимущество ДЭА состоит в том, что метод может быть применен как в лабораториях, так и в реальных условиях производства.

### Принцип работы

На один электрод подается невысокое синусоидальное напряжение (вход, возбуждение). Сигнал отклика, принимаемый на другом электроде (измеряемый сигнал), ослаблен и сдвигнут по фазе.

Диэлектрический датчик контролирует подвижность ионов (ионная проводимость), а также способность диполей ориентироваться в переменном поле. По мере отверждения ионная проводимость и способность диполей ориентироваться падает.



Дополнительная информация

на [www.dea230.info](http://www.dea230.info)

# Применения - пеноизоляция

## Пенные изоляционные материалы

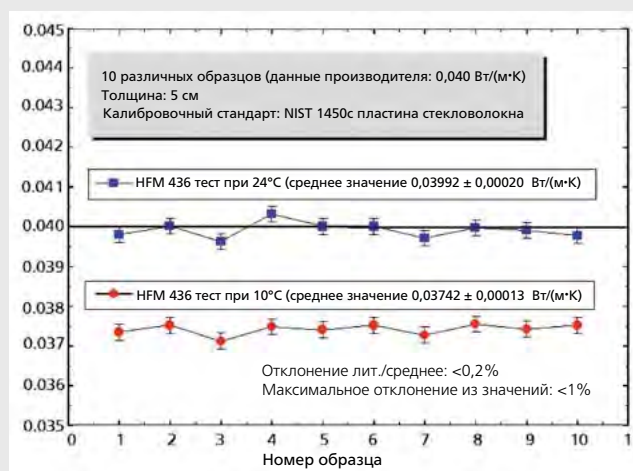
Есть четыре основных вида теплоизоляционного пенопласта, обычно используемого для жилой, коммерческой и промышленной теплоизоляции: расширенный полистирол (EPS), прессованный полистирол (XPS), полиуретан (PUR), и полиизоцианурат (PIR). Один из самых популярных материалов для тепловой изоляции зданий расширенный

полистирол (EPS). Твердая ячеистая структура обеспечивает тепловую и акустическую изоляцию, сочетание прочности и низкой массы с низкими потерями тепла. В отличие от другого стандартного типа полистирола, прессованного, EPS изготовлен без использования хлорфторуглеродов (CFCs), которые опасны для окружающей среды. В расширенном

полистироле (EPS) реагент расширения – пентан. Одна из важных механических особенностей теплоизоляции и строительных изделий из EPS - их сопротивление сжимающим усилиям, которое увеличивается, так как плотность становится выше. Теплопроводность таких материалов находится в пределах 0,02 и 0,045 Вт/(м·К).

### Расширенный полистирол (EPS)

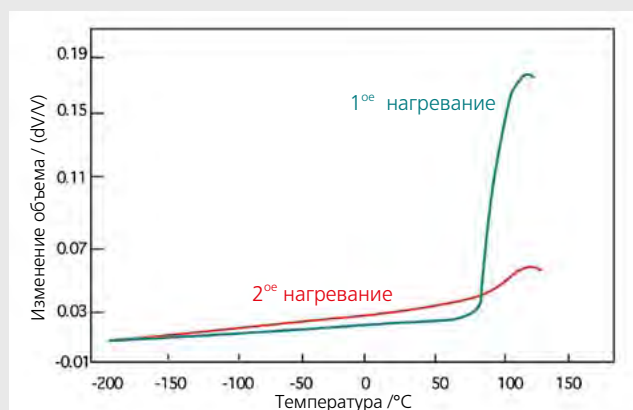
Приборы серии HFM 436 выполняют измерения с высокой точностью и воспроизводимостью. Приведенный пример показывает контроль качества, который ведется на коммерческом производстве расширенного полистирола (EPS 040). Десять образцов одной партии продукции были проверены при 24°C и в соответствии с DIN EN 13163 при 10°C. Отклонение между различными образцами составляет меньше 1%. Измеренная теплопроводность  $\lambda$  90/90 согласно DIN 13163 составила 0,03808 Вт/(м·К).



Контроль качества EPS 040 на приборе HFM 436

### Полистирол (PS)

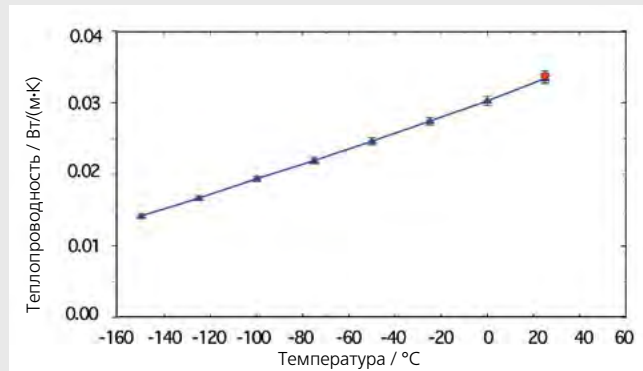
Определенный объем полистирола может быть измерен методом дилатометрии с использованием специального цилиндра в качестве держателя. Перед первым нагреванием образец был выдержан при температуре ниже температуры перехода стеклования (Tg); второе нагревание проводилось на том же самом образце после того, как он подвергался контролируемому охлаждению после первого нагревания. Релаксация объема при 1-ом нагревании ясно наблюдается при температуре



Изменения объема для образца полистирола между -180 и 140°C, измеренные на дилатометре DIL 402 C

стеклования Tg, также как и изменение в наклоне кривой после Tg при 2-ом нагревании.

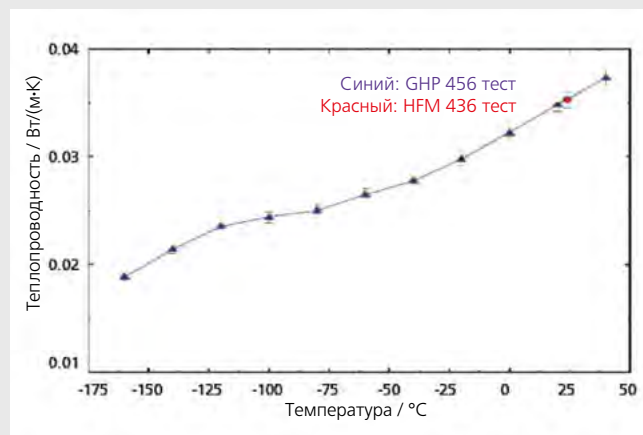
Низкотемпературные измерения материала Styrodur® С на приборе GHP 456 Titan®



## Экструдированный вспененный полистирол (XPS)

Этот материал имеет воздушные включения, которые придают ему умеренную гибкость, низкую плотность и низкую теплопроводность. XPS характеризуется надежностью и превосходной устойчивостью природному воздействию. Пластины толщиной 50 мм из материала Styrodur® С были измерены между -150°C и 20°C на приборе GHP 456 Titan®. Хорошо видно точное совпадение с литературными данными при комнатной температуре.

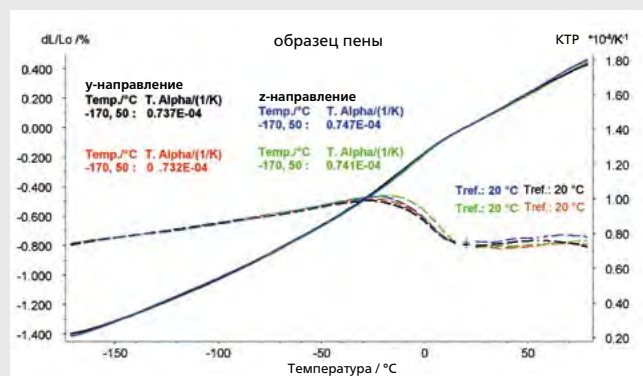
Сравнение измерений ППУ на приборах HFM 436 и GHP 456 Titan®



## Пенный полиуретан (ППУ)

В сочетании с низкой теплопроводностью ППУ обладает высокой механической прочностью. Поэтому он широко используется в качестве материала теплоизоляции крыш, холодильниках, в кораблях для перевозки сжиженных углеводородов. Показано сравнение теста, проведенного на приборе HFM 436 Lambda™ при комнатной температуре и измерения на приборе GHP 456 Titan® до температуры -160°C. Оба результата отлично совпадают. Измерения на приборе GHP 456 Titan® дополнительно показывают характеристики материала между -50 и -125°C.

Тепловое расширение и КТР пенного полиуретана



## Тепловое расширение ППУ

Измерения теплового расширения ППУ показывают незначительный уровень анизотропного поведения. Измерения проведены с помощью dilatометра. Значения КТР (коэффициента термического расширения) почти одинаковы в y- и z-направлениях между -160 и 100°C. Дополнительное измерение было выполнено в каждом направлении; результаты демонстрируют превосходную воспроизводимость измерений на dilatометре DIL 402 С.

# Приложения – аэрогели и волокнистая изоляция

## Аэрогели

Аэрогели - хорошие тепловые изоляторы, имеющие чрезвычайно небольшие поры, что значительно уменьшает газовую конвекцию. Они производятся в процессе извлечения жидкого компонента геля в режиме суперкритического высухания. Этот процесс позволяет не разрушать матрицу, что обычно происходит при испарении, а сохраняет ее благодаря медленному удалению жидкости и отсутствию капиллярного воздействия.

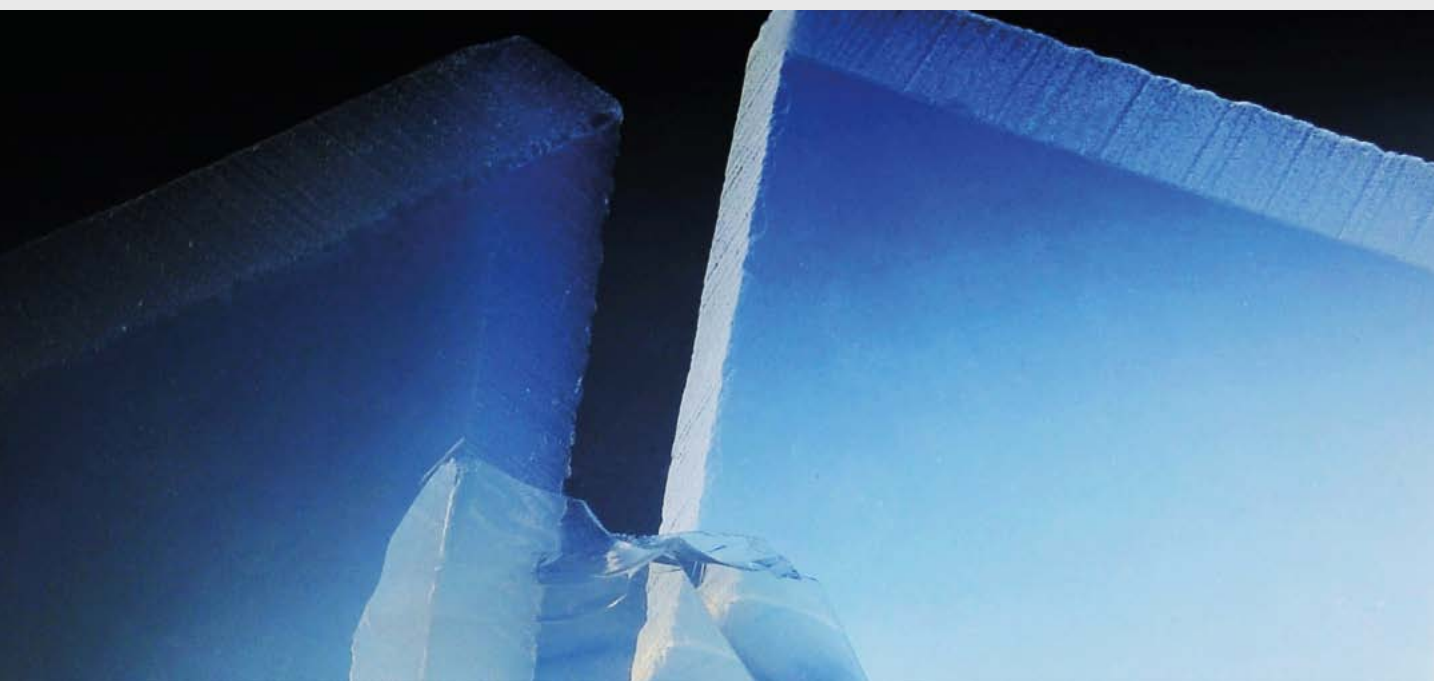
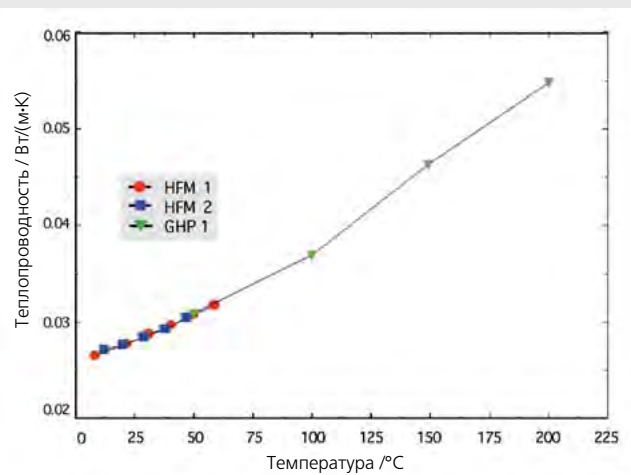
Аэрогели показывают самую низкую известную плотность твердого тела. Их называют замороженный дым, твердый дым или синий дым из-за их прозрачной природы и путей распределения в материале; однако, они ведут себя подобно расширенному пенополистиролу.

## Измерения теплопроводности

Теплопроводность нанопористого аэрогеля была измерена различными приборами NETZSCH методами теплового потока (2 различных прибора) и горячей

охранной зоны. Результаты, полученные на трех различных приборах, хорошо совпадают во всем диапазоне температур измерения.

Измерения теплопроводности аэрогеля, проведенные на приборах по методу теплового потока и горячей охранной зоны.



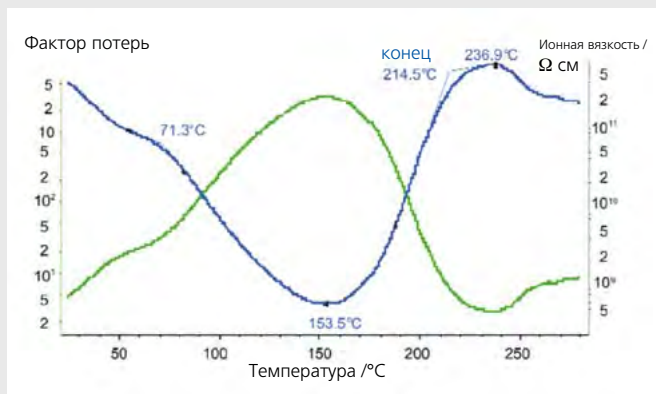
## Волокнистая изоляция из природных горных пород

Волокнистая изоляция из природных горных пород (например, базальтовая вата) обладает превосходными тепловыми, акустическими и огнестойкими свойствами. Этот материал применяется в строительстве и огнезащите. Высокая температура плавления (>1000°C) делают этот материал идеальным для противопожарной

защиты. Методы производства высокотехнологичны и основаны на вращении выдавленных расплавленных волокон породы на быстровращающихся барабанах. Для получения теплоизоляции волокна обычно склеиваются смолой для уменьшения пыли и формирования более или менее четкого блока материала.

### ДЭА измерения

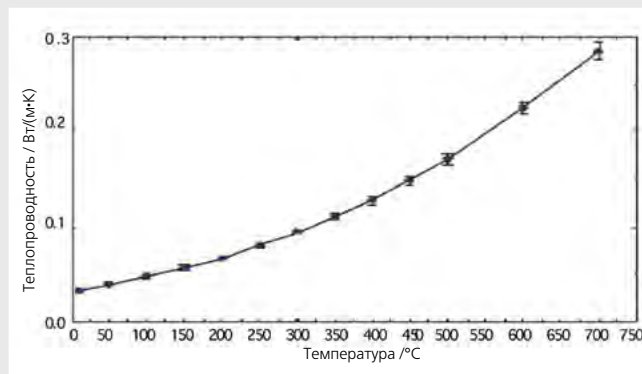
Методом измерения диэлектрической проницаемости (ДЭА) была проанализирована волокнистая изоляция, пропитанная неотвержденной смолой. Представлен логарифм ионной вязкости и фактор потерь смолы полиэстера на волокнистой изоляции в зависимости от температуры. Во время нагревания ионная вязкость уменьшается, начиная с температуры немного выше 70°C. Фактор потерь увеличивается в этом же температурном диапазоне. Это происходит из-за размягчения высушенной смолы. От 153°C ионная вязкость увеличивается до достижения температуры примерно в 237°C. Это указывает на уменьшение ионной подвижности и демонстрирует процесс отверждения смолы. Таким образом, процесс отверждения заканчивается при температуре 237°C.



Процессы отверждения смолы для пропитки волокнистой изоляции.

## Минеральная волокнистая теплоизоляция

Образец минеральной волокнистой теплоизоляции, обычно используемой для теплоизоляции духовых шкафов, был измерен в диапазоне температур от комнатной и до 700°C с помощью прибора GHP 456 Titan®. Как и для большинства подобных изоляционных материалов, теплопроводность растет практически линейно от комнатной температуры. В области высоких температур теплопроводность увеличивается более заметно. Это объясняется увеличением вклада теплового излучения вклад в эффективную теплопроводность.

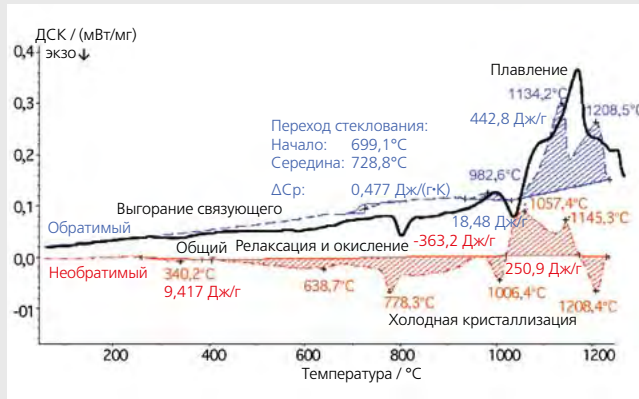


Высокотемпературные измерения теплопроводности минеральной волокнистой теплоизоляции.

# Применения – волокнистая изоляция

## Температурно-модулированный ДСК

Температурно-модулированный ДСК (ТМ-ДСК) обычно используется для низкотемпературных применений, например, при работе с полимерами. Приборы STA 449 **F1 Jupiter**® и DSC 404 **F1 Pegasus**® являются первыми приборами, способными выполнять температурную модуляцию при высоких температурах. Представлены результаты измерения для волокнистой минеральной теплоизоляции. В кривой ДСК (нагрев, положительная волна синусоиды) показаны размягчение, окисление и переход стеклования. Переход стеклования может быть точно проанализирован на кривой ДСК, относящейся к отрицательной волне синусоиды нагрева (охлаждение).



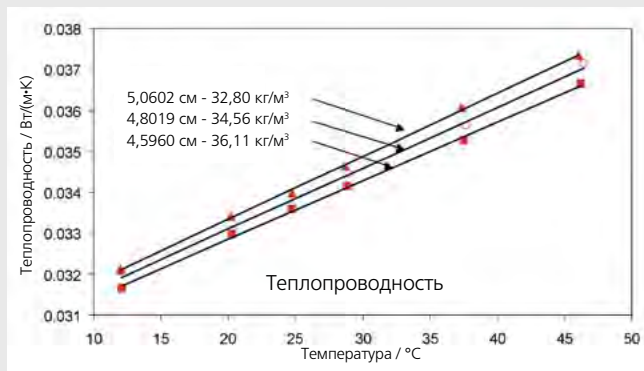
Температурно-модулированные ДСК измерения минеральной волокнистой изоляции.

## Стекловолоконная изоляция

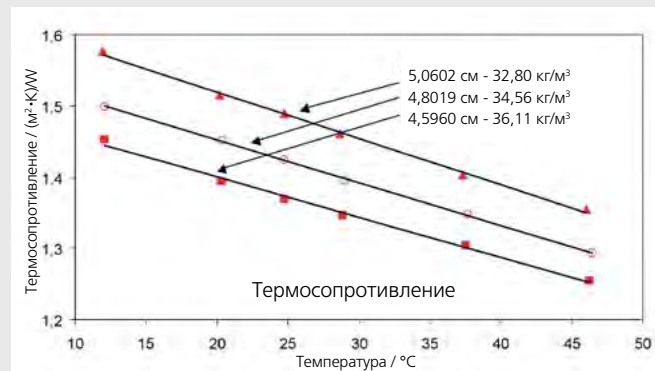
Стекловолоконная изоляция вырабатывается из силикатного песка и пропитывается смолами. Это один из наиболее широко используемых материалов изоляции. Стекловолоконная изоляция обладает гибкостью, упругостью и превосходными

теплоизолирующими свойствами. Температура применений может варьироваться от -40 до 535°C. Один и тот же образец стекловолна был измерен под различной нагрузкой на приборе HFM 436, что приводило к различной толщине и различной

плотности. Из-за уменьшения излучающей/конвективной теплопередачи, эффективная теплопроводность уменьшается с ростом плотности. Однако из-за уменьшения толщины также уменьшается тепловое сопротивление.



Теплопроводность стекловолоконной изоляции под различной нагрузкой.



Термическое сопротивление стекловолоконной изоляции под различной нагрузкой.



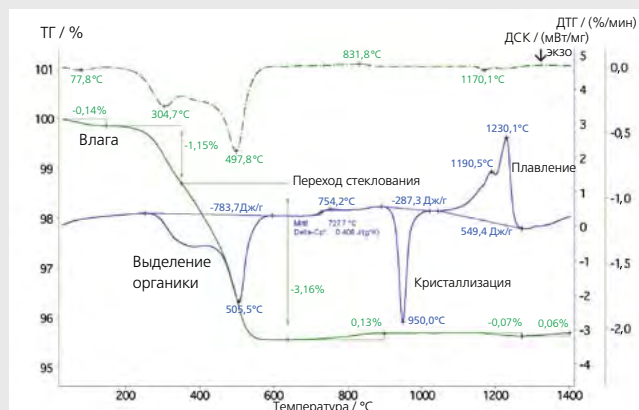
## Стекловата

Стекловата – один из видов стекловолна, где очень тонкие стеклянные нити собраны в рыхлую структуру, подобную шерсти. Сцепление и механическая целостность обеспечиваются присутствием переплетений, которые удерживают

волокна вместе. Благодаря переплетению гибких волокон, стекловата обладает превосходными несгораемыми свойствами как материал для теплоизоляции, а также широко применяется как шумопоглощающий материал в акустических работах.

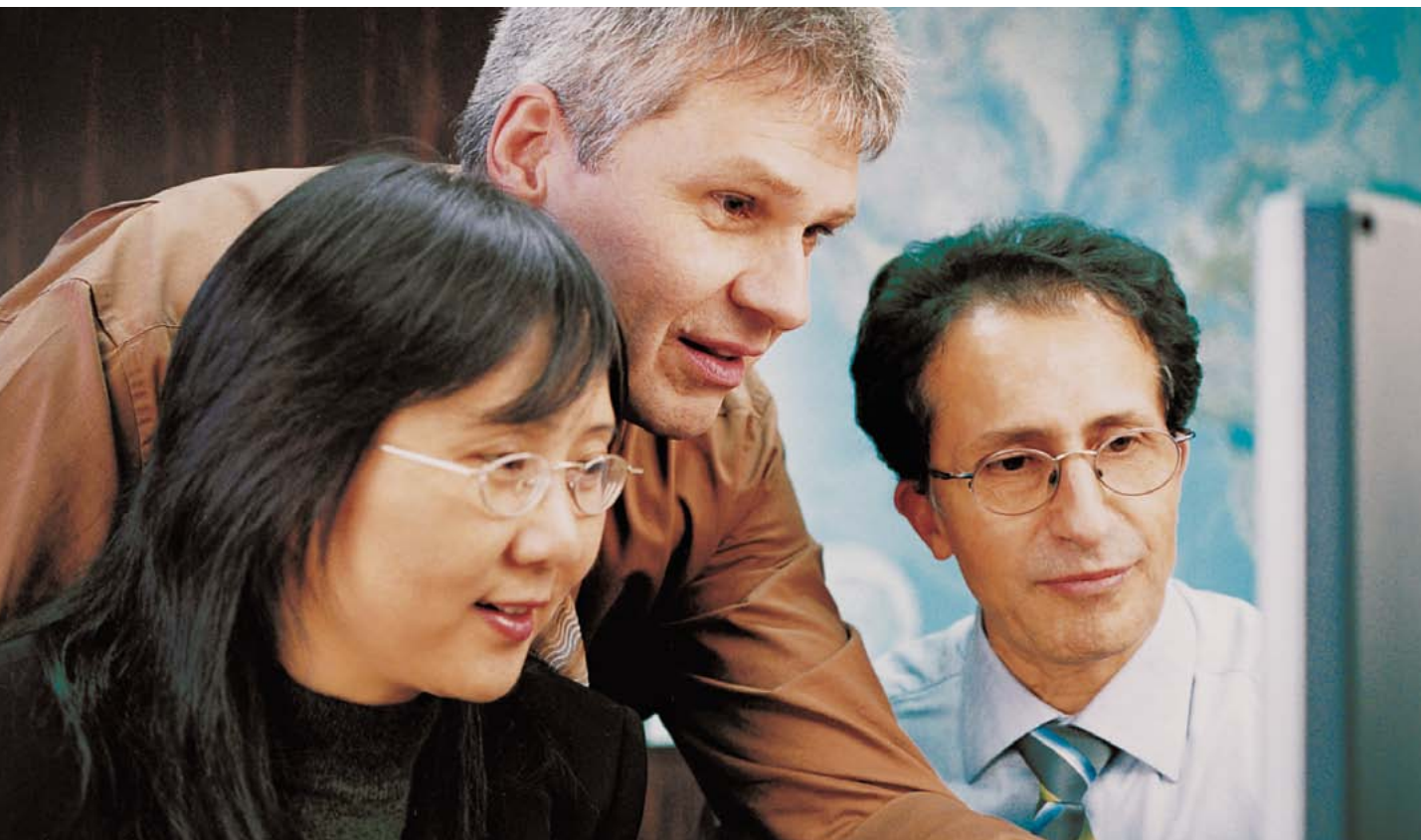
## СТА измерения

Измерения стекловаты на приборе СТА (ТГА-ДСК) (масса образца 50 мг) были проведены в температурном диапазоне от комнатной до 1400°C в воздушной атмосфере. Три стадии потери массы, в диапазоне до 600°C обусловлены испарением влаги и экзотермическим выгоранием органического связующего. Пик в сигнале ДСК при 727°C показывает переход стеклования. Экзотермический пик ДСК при 950°C (энергия -287 Дж/г) относится к процессу кристаллизации; эндотермические эффекты между 1050 и 1250°C с общим теплопоглощением 549 Дж/г – к процессу плавления. Вероятно, что небольшое изменение массы выше 700°C происходит из-за окисления и испарения примесей.



СТА измерения стекловаты.

## Сервисное обслуживание



### Наша поддержка и сервис

Во всем мире имя NETZSCH обозначает всестороннюю поддержку, надежное обслуживание опытными специалистами, гарантийное и послегарантийное обслуживание. Наш компетентный обученный технический персонал и лаборатории всегда доступны для проведения консультаций.

Специально составленные программы обучения и повышения квалификации позволят Вам максимально раскрыть потенциал вашего прибора.

Ваши инвестиции в оборудование всегда будут защищены нашей опытной командой обслуживания на протяжении всего срока эксплуатации Вашего прибора.

### Возможности нашего сервиса

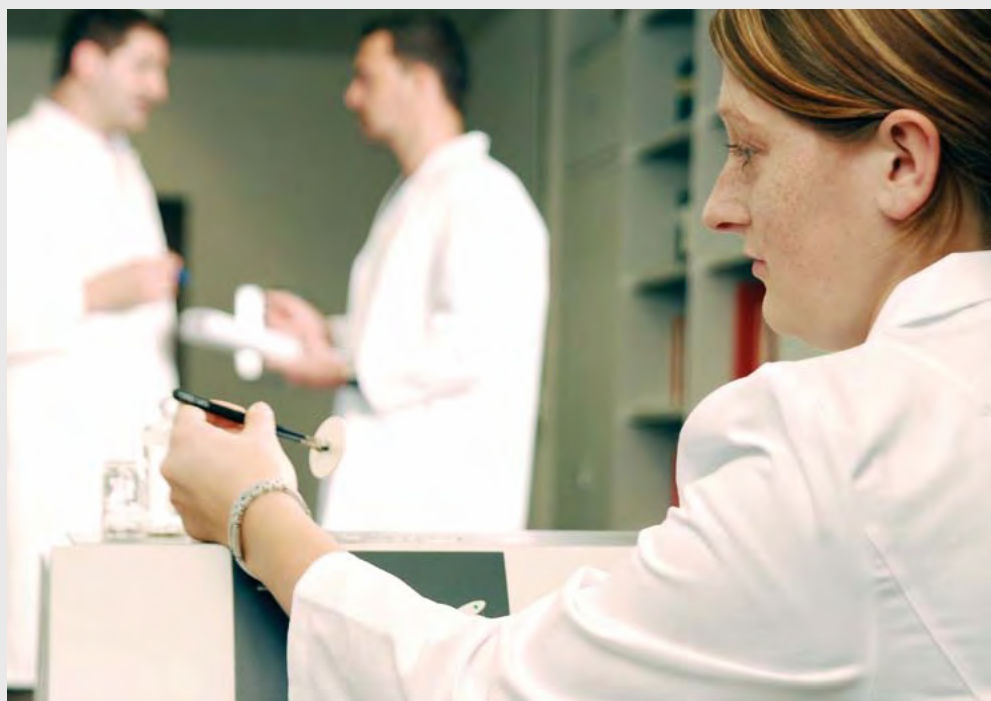
- Установка и запуск приборов.
- Экстренные консультации.
- Профилактическое обслуживание.
- Калибровка приборов.
- IQ / OQ / PQ (монтажная, операционная, эксплуатационная квалификация).
- Ремонт на месте и замена компонентов NETZSCH.
- Выезд специалистов.
- Предоставление технической информации.
- Поставки запасных частей.

Наши эксперты – лаборатория по применениям.

Лаборатория по применениям NETZSCH – опытный партнер для практически любой области термического анализа. Наша помощь в Вашем проекте начинается с тщательной подготовки к эксперименту, его высококвалифицированное проведение и всестороннюю интерпретацию результатов. Разнообразные методы исследований материалов, лаборатории в более чем 30 странах обеспечат быстрое и качественное решение ваших проблем в области термического анализа материалов, в том числе твердых, жидких и порошкообразных материалов. Измерения могут быть выполнены на самых различных конфигурациях

оборудования для получения всесторонней характеристики материала. Вы получите высокоточные результаты измерений и их интерпретацию. Это поможет вам избежать проблемы в развертывании производства материалов, минимизирует риски и предоставит Вам конкурентные преимущества.

Для промышленности мы предлагаем свою помощь в оптимизации производства. Минимальные инвестиции в измерения, проведенные с нашей помощью, позволят вам сэкономить время и средства на отработку максимально эффективных производственных процессов.



Группа NETZSCH является частной компанией, ведущей свою деятельность по всему миру, со штаб-квартирой в Германии.

Три компании - "Анализ и тестирование", "Измельчение и диспергирование" и "Насосы и системы" предлагают высокотехнологичные решения для наших пользователей. Более 2200 сотрудников в 125 подразделениях по производству и продажам более чем в 23 странах мира гарантируют всестороннюю и квалифицированную сервисную поддержку наших заказчиков.

Если Вам необходим термический анализ или адиабатическая реакционная калориметрия, или определение теплофизических свойств – обращайтесь в NETZSCH. Более 50 лет опыта в прикладных исследованиях, современное высокотехнологичное собственное производство гарантируют, что наши технические решения не только смогут соответствовать Вашим требованиям, но и превзойдут Ваши ожидания.

NETZSCH-Gerätebau GmbH  
Wittelsbacherstraße 42  
95100 Selb  
Germany  
Tel.: +49 9287 881-0  
Fax: +49 9287 881-505  
at@netsch.com

[www.netsch.com](http://www.netsch.com)