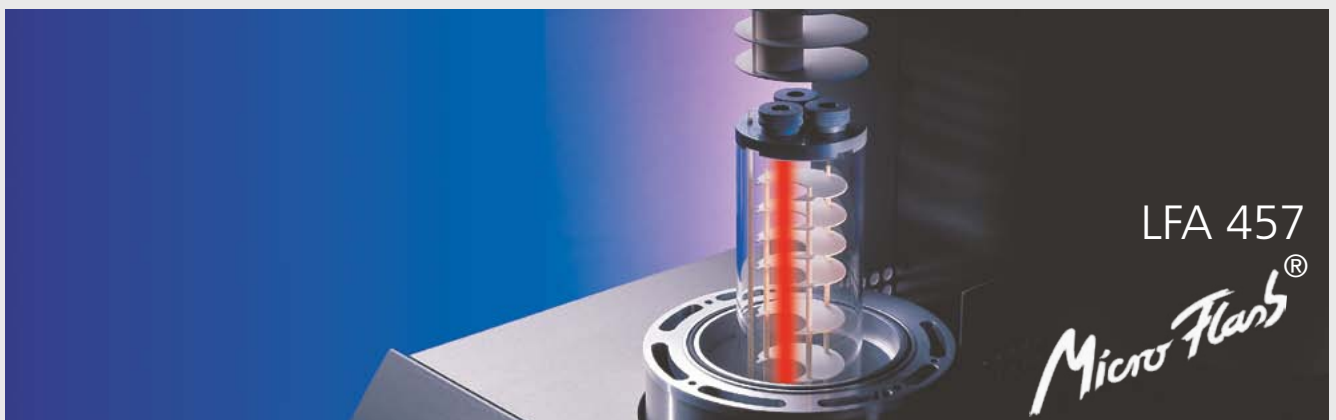


## Температуропроводность - Теплопроводность



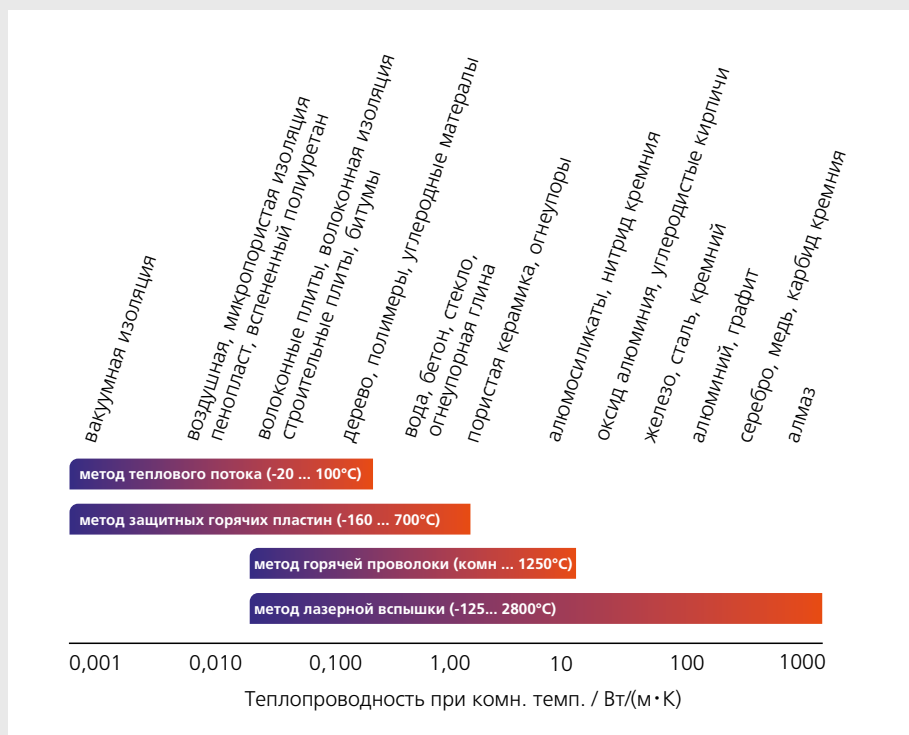
# LFA 457 *MicroFlash*® -

## принцип измерения

Какова тепловая и охлаждающая нагрузка в зависимости от погодных условий и как можно ее улучшить? Как можно улучшить теплопередачу в электронных компонентах? Что такое оптимальные материалы и как можно сконструировать теплообменную систему с требуемой эффективностью? Для того, чтобы ответить на подобные вопросы, необходимо знать такие свойства материала, как температуро-

проводность и теплопроводность. Инженерам приходится выбирать из множества методов тестирования характеристик огромного числа материалов, применяемых в своих конструкциях. Для металлов, керамики, композиционных материалов и многослойных систем метод вспышки является идеальным выбором. Несложная подготовка образца, малое время измерений и высокая точность – только некоторые

из достоинств этого бесконтактного метода испытания. NETZSCH предлагает несколько систем с методом вспышки, чтобы перекрыть широкий ряд применений и температур до 2800°C. NETZSCH LFA 457 *MicroFlash*™ – универсальный прибор высокой точности для испытания в диапазоне температур –125 до 1100°C.



Для измерения материалов с низкой теплопроводностью, таких как изоляция, NETZSCH предлагает целый ряд приборов с тепломерами и с горячей охранной зоной. Для испытания огнеупорных материалов предлагается измерительная система ТСТ 426, работающая по методу горячей проволоки. Предлагаются

также дифференциальные сканирующие калориметры (DSC 404 *F1/F3*, DSC 204 *F1*) для измерения удельной теплоемкости и дилатометры (серия DIL 402 C) для анализа плотности и изменения длины до высоких температур.

Работа прибора NETZSCH LFA 457 *MicroFlash*® основывается на хорошо известном и разработанном методе вспышки. Принцип работы состоит в следующем. Передняя сторона плоскопараллельного образца твердого тела нагревается коротким лазерным импульсом. Тепло распространяется через образец и вызывает увеличение температуры на его задней поверхности. Это возрастание температуры измеряется в зависимости от времени с помощью инфракрасного детектора. Температуропроводность ( $a$ ) и в большинстве случаев удельная теплоемкость ( $c_p$ ) могут быть определены по измеренному сигналу. Если известна плотность ( $\rho$ ), теплопроводность может быть рассчитана по формуле:

$$\lambda(T) = a(T) \cdot c_p(T) \cdot \rho(T)$$



Основные характеристики прибора NETZSCH LFA 457 *MicroFlash*® следующие:

#### Температурный диапазон тестирования

Прибор позволяет проводить измерения от  $-125^{\circ}\text{C}$  до  $1100^{\circ}\text{C}$ .

#### Быстрота измерений

Тест при одной температуре длится обычно несколько секунд. Измерения по всему температурному диапазону могут занять несколько часов.

#### Неразрушающий, бесконтактный метод тестирования

После измерений образцы могут быть проанализированы другими методами.

#### Широкий диапазон измерений

Метод может быть использован для материалов с температуропроводностью между  $0,01$  и  $1000 \text{ мм}^2/\text{с}$  (теплопроводность между  $0,1$  и  $2000 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ).

#### Абсолютный метод измерения

Метод вспышки – абсолютный метод измерения температуропроводности. Для определения этой теплофизической характеристики не требуется калибровки прибора.

#### Высокая точность и воспроизводимость

Измерения на стандартных материалах показывают, что температуропроводность может быть определена с погрешностью в пределах 3%. Теплопроводность может быть определена с точностью 5% для большинства материалов.

#### Многослойные системы

Использование улучшенных программ позволяет анализировать двух- и трехслойные системы, например, для определения характеристик покрытий при реальных условиях применения.

#### Держатели образца

В приборе могут использоваться специальные держатели для образцов с различной геометрией и даже для тестирования жидкостей.

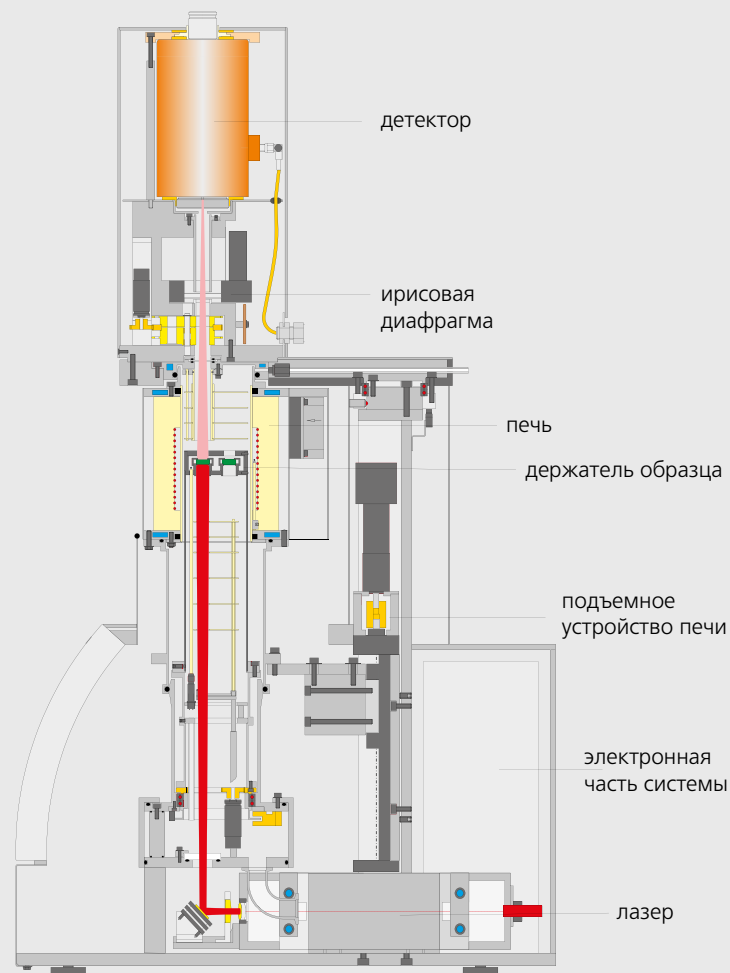
#### Встроенное устройство смены образца

Прибор NETZSCH LFA 457 *MicroFlash*® оснащен устройством автоматической смены до трех образцов.

#### Стандартизованный метод

Прибор NETZSCH LFA 457 *MicroFlash*® работает в соответствии со следующими стандартами: ASTM E-1461, DIN EN 821 и DIN 30905.

# LFA 457 *MicroFlash*<sup>®</sup> - конструкция программное обеспечение



LFA 457 *MicroFlash*<sup>®</sup> - версия 1100°C

Настольный измерительный прибор, прочная конструкция, современные технологии, простота обслуживания. Импульс лазера направляется зеркалом к держателю образца в печи. ИК-детектор направлен сверху вниз на обратную сторону образца. Малые расстояния между источником света, образцом и детектором обеспечивают хорошее отношение сигнал-шум, легкость в управлении и смене образца. Широкий набор различных держателей образца, типов детекторов и печей, наряду с вакуумплотной конструкцией позволяют проводить

быструю настройку прибора почти для всех возможных применений.

## Лазер

Лазер (кристалл Nd:YAG, неодим: алюмоиттриевый гранат) с максимальной мощностью импульса 15 Дж и шириной импульса 0,33 мс расположен в нижней части прибора. Мощность излучения управляется программным обеспечением и может быть легко настроена в зависимости от применения. Система блокировки позволяет произвести лазерный импульс только в случае, если система полностью закрыта (класс лазера 1).

## Печи

С прибором LFA 457 *MicroFlash*<sup>®</sup> могут поставляться две печи. Низкотемпературная печь с системой охлаждения жидким азотом позволяет проводить измерения в диапазоне температур от -125 до 500°C. Высокотемпературная печь, с воздушным охлаждением обеспечивает измерения от комнатной температуры до 1100°C. Перемещается печь с помощью подъемного устройства.

## Детекторы

В основном используется высокочувствительный ИК-детектор МСТ (ртуть-кадмий-теллурид). Данный детектор покрывает температурный диапазон от -125 до 1100°C. Для большей чувствительности в области высоких температур предлагается дополнительно детектор из антимонида индия (InSb). Оба детектора могут быть заменены оператором за несколько минут.

## Автоматическая смена образца

Встроенное устройство автоматической смены образца позволяет провести измерение до трех образцов одновременно. Держатели образцов улаиваются на прочной трубе, которая вращается во время смены образца. Для образцов с большими размерами система может быть оснащена несущей площадкой для работы с одним образцом.

## Держатели образца

Предлагается широкий набор различных держателей для круглых или квадратных твердых образцов от 6 до 25,4 мм. Держатели для образцов с особой геометрией поставляются по заказу. Поставляются также держатели для испытания слоистых образцов, волокон, паст и жидкостей.

Прибор LFA 457 *MicroFlash*® поставляется со специально разработанным программным обеспечением, ориентированным на нужды пользователей и работающим в среде Microsoft® Windows®. Наряду с простым проведением экспериментов пользователь имеет возможность проводить сложные комплексные анализы результатов измерений, что способствует решению практически всех задач, с которыми ему приходится сталкиваться. Пользователю предлагается более 20 различных оценочных моделей. Они были разработаны ведущими специалистами науки и промышленности и отвечают новым требованиям самой современной технологии.

## Основные характеристики программного обеспечения:

- программное обеспечение полностью совместимо с другими программами Microsoft®Windows®
- многозадачность: одновременные измерения и оценка результатов измерений
- полная совместимость с компьютерными сетями
- простая распечатка, экспорт графиков и данных измерения (ASCII)
- свободный дизайн окон (docking windows)

- многомодульность: управление одним компьютером до 4 различных приборов
- интегрированный банк данных

## Задачи измерения:

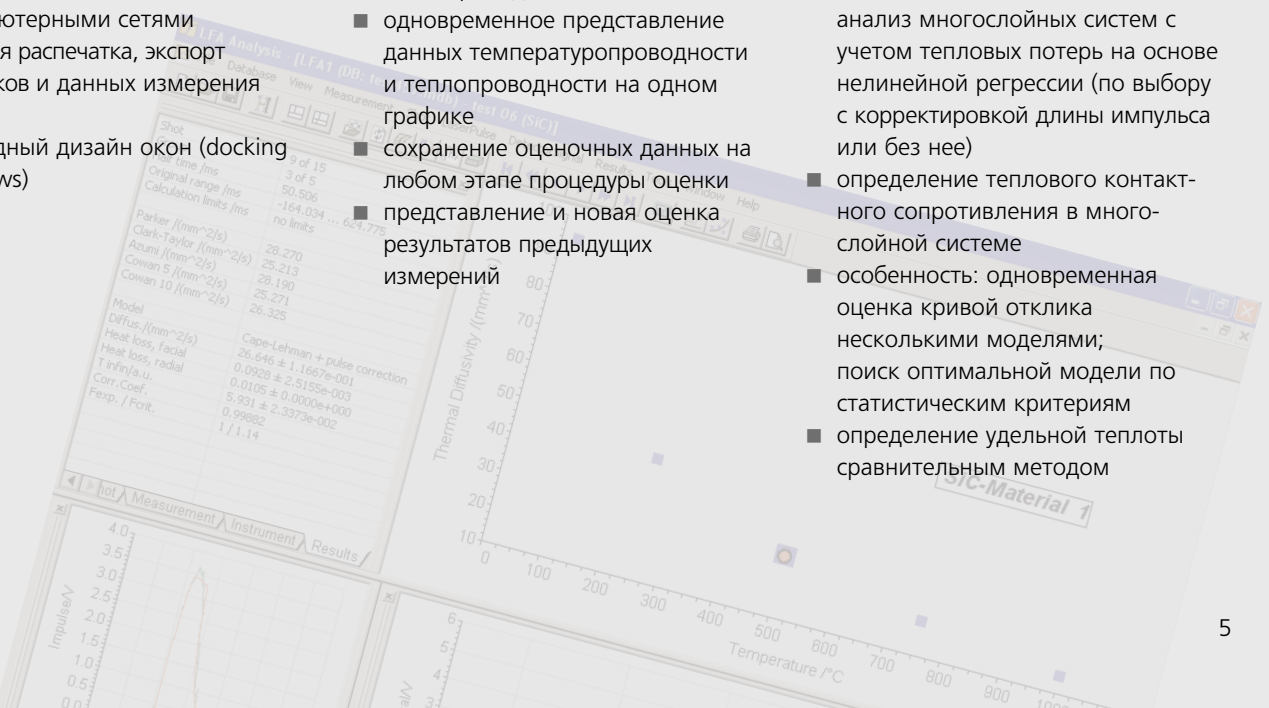
- полный контроль смены образца
- простой и удобный ввод параметров измерения
- свободное задание температурных программ
- оптимизация системных параметров (время измерения, усиление и т.д.)
- автоматическая оценка измерения после каждого выстрела с одной или несколькими оценочными моделями

## Задачи оценки:

- представление отдельной кривой отклика/ответа, параметров измерения, а также всех результатов измерения в одном окне
- свободный ввод или импорт значений плотности и удельной теплоемкости для определения теплопроводности
- одновременное представление данных теплопроводности и теплопроводности на одном графике
- сохранение оценочных данных на любом этапе процедуры оценки
- представление и новая оценка результатов предыдущих измерений

## Оценочные модели:

- точная корректировка длины импульса на основе соответствующего данному измерению лазерного импульса (finite pulse correction)
- стандартные поправки на потери тепла: известные из литературы методы корректировки по Cowan, Clark и Taylor
- Cowan-аппроксимация: нелинейная регрессия на основе оригинальной статьи (по-выбору с корректировкой длины импульса или без нее)
- улучшенный метод Cape-Lehmann'a. Нелинейная регрессия с учетом радиальных и фронтальных потерь тепла (по выбору: с корректировкой длины импульса или без нее)
- поправка излучения: для исследования оксидной керамики или стекол была интегрирована модель, учитывающая передачу излучения и производящая корректировку в случае необходимости (одновременно с корректировкой потери тепла и длины импульса)
- 2- или 3-хслойные системы: анализ многослойных систем с учетом тепловых потерь на основе нелинейной регрессии (по выбору с корректировкой длины импульса или без нее)
- определение теплового контактного сопротивления в многослойной системе
- особенность: одновременная оценка кривой отклика несколькими моделями; поиск оптимальной модели по статистическим критериям
- определение удельной теплоты сравнительным методом

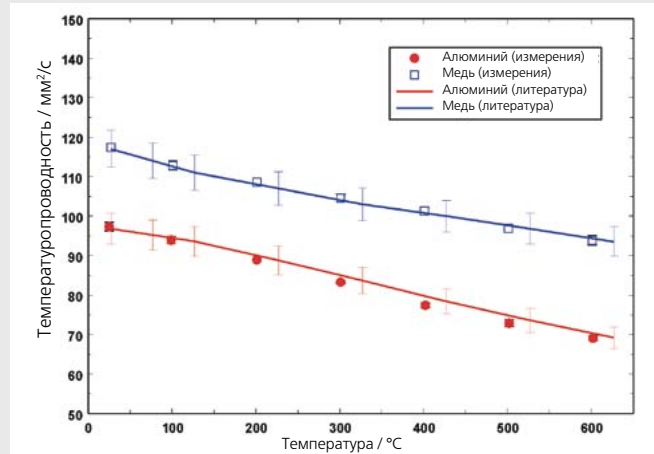


# LFA 457 *MicroFlash*<sup>®</sup> - эффективность, применения

## Технические характеристики

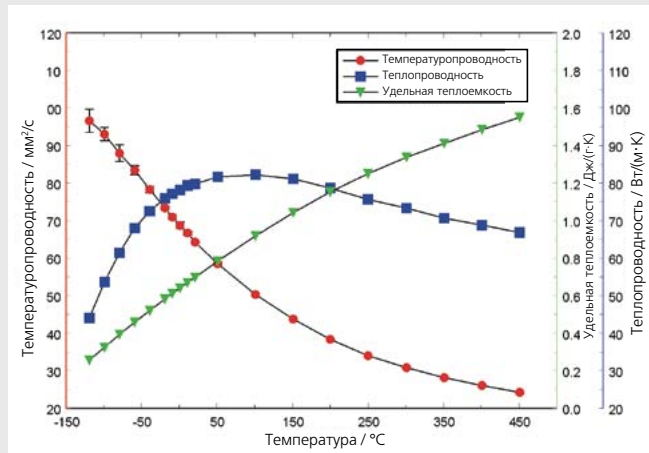
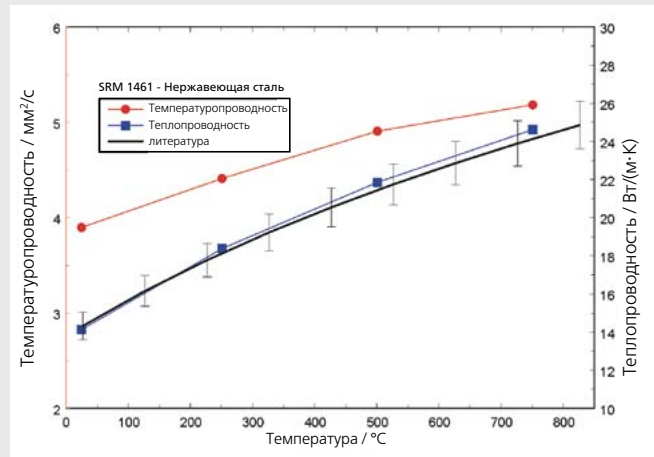
### Медь и алюминий

Образцы чистого металла являются превосходным примером для испытания эффективности приборов с методом лазерной вспышки. На графике представлены результаты измерений чистой меди (99,999%) и чистого алюминия (99,9%) между комнатной температурой и 600°C. Результаты измерений сравниваются с литературными значениями, взятыми из банка данных TPRC (The Thermophysical Properties of Matter<sup>^</sup>, Center for Information and Numerical Data Analysis and Synthesis (CINDAS)). Литературные значения имеют указанную погрешность ±4% (планки погрешностей). Результаты измерений, полученные с помощью прибора *MicroFlash*<sup>®</sup> находятся в согласии с литературными данными в пределах ±2%.



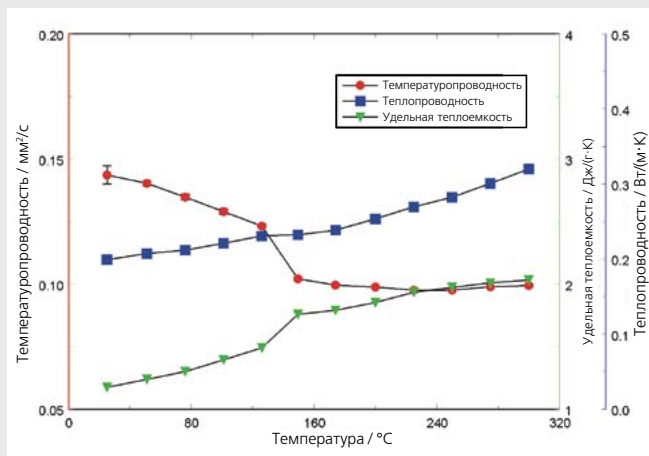
### Нержавеющая сталь

Нержавеющую сталь (марки SRM 1461) можно отнести к надежному образцу сравнения для проверки эффективности оборудования для испытания теплофизических свойств материалов вплоть до высоких температур. Здесь представлены результаты измерений температуропроводности и теплопроводности эталона NIST (SRM 1461). Дополнительно показаны значения теплопроводности соответствующего NIST сертификата вместе с погрешностями. Как видно, результаты, полученные с помощью LFA 457, хорошо совпадают с литературными значениями и лежат в пределах указанных погрешностей.



### Поликристаллический графит

Графит известен как материал, обладающий максимумом теплопроводности в районе комнатной температуры и может быть легко проанализирован с использованием низкотемпературной версии LFA 457. Максимум температуры объясняется высокой дебаевской температурой этого материала (> 1000 K). Снижение температуропроводности с ростом температуры доминирует над температурной зависимостью теплопроводности в высокотемпературной области. Удельная теплоемкость сильно возрастает с ростом температуры в области температур ниже комнатной и доминирует там над температурной зависимостью теплопроводности.



## Поликарбонат

Поликарбонат – распространенный полимерный материал, используемый среди прочего в качестве материала для корпусов электрических приборов. Для оптимизации процесса отливки методом конечных элементов требуются знания теплофизических свойств материалов. Использование ячейки для расплавленных материалов в LFA 457 позволяет определять температуропроводность не только в твердой фазе, но и при температурах выше температуры стеклования (>140°C). Совместно с определением удельной теплоемкости (измеренной с помощью ДСК) и плотности (по данным дилатометрии) возможно определение теплопроводности. Легкое возрастание теплопроводности с увеличением температуры типично для 100% аморфных материалов. Кроме того, переход стеклования можно видеть на кривых удельной теплоемкости и температуропроводности. На результатах теплопроводности данный переход второго рода не виден.

### Технические характеристики

Размеры стандартных образцов	Ø10 мм, 0,1 до 6 мм толщ. Ø12,7 мм, 0,1 до 6 мм толщ. Ø25,4 мм, 0,1 до 6 мм толщ. □10 мм x 10 мм, 0,1 до 6 мм толщ.
Печи	-125 до 500°C (рекомендуется гелиевая атмосфера) 25 до 1100°C
Лазер	Nd-YAG, Энергия: от 0 до 18,5 Дж, Ширина импульса: 0,5 мс
Сенсоры	MCT (Mercury Cadmium Telluride), охлаждение LN2 InSb (Indium Antimonide), охлаждение LN2
Диапазон температуропроводности	0,01 мм²/с до 1000 мм²/с
Диапазон теплопроводности	0,1 Вт/(м·К) до 2000 Вт/(м·К)
Воспроизводимость	температуропроводность: ±3% (для большинства материалов) удельная теплоемкость: ±5% (для большинства материалов)
Погрешность измерения	температуропроводность: ±5% (для большинства материалов) удельная теплоемкость: ±5% (для большинства материалов)
Атмосфера измерения	инертная, окислительная или вакуум (>10 <sup>-2</sup> мбар)
Питание	110/230 В 50/60 Гц, 16 А расход воды 1 л / неделя, LN2 2 л / день
Размеры (измерительная часть)	(Д x Ш x В) 570 мм x 550 мм x 880 мм

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.

Германия  
NETZSCH-Gerätebau GmbH  
Wittelsbacherstraße 42  
95100 Selb  
Германия  
Тел.: +49 9287 881-0  
Факс: +49 9287 881-505  
at@netsch.com