

Динамический механический анализ

Метод, техника, приложения



Динамический механический анализатор – DMA 242 E *Artemis*

Самый универсальный ДМА в мире

Динамический механический анализ (ДМА) является незаменимым методом для определения вязкоупругих свойств, главным образом, полимерных материалов.

Новый DMA 242 E *Artemis* сочетает в себе простоту управления с удобным программным обеспечением *Proteus*® для измерений и оценки результатов. С его помощью можно легко и быстро измерять динамические механические свойства в зависимости от частоты, температуры и времени.

Модульная конструкция вместе с широким разнообразием держателей образцов и систем охлаждения позволяет использовать DMA 242 E *Artemis* для широкого спектра образцов и применений. Различные дополнительные возможности делают его идеальным прибором для любой лаборатории и являются надежным вложением капитала в долгосрочной перспективе.

Дополнительные опции

- Погружная ванна для измерений образцов в определенной жидкой среде.
- Подключение к диэлектрическому анализатору DEA 288 *Epsilon* для одновременного измерения вязкоупругих и диэлектрических свойств, например, при отверждении смолы.
- Подключаемая УФ-лампа для измерения отверждения светореактивных образцов.
- Подключение генератора влажности для определения влияния влажности на динамические механические свойства материала.

Вертикальная конструкция

с нижним расположением образца обеспечивает легкий доступ, установку и смену различных держателей образца.

Контролируемый поток газа

(инертного или окислительного), с оптимальной передачей тепла к образцу для заданных условий измерения.

Различные варианты охлаждения

Две различные системы охлаждения:
жидкий азот –
≠ контролируемое охлаждение до -170°C
и охлаждение воздухом до -50°C.

дополнительная информация

www.netzsch.com/n11171



Контролируемый диапазон нагрузки до 24 Н
для измерений очень жестких образцов. Повышенное разрешение по нагрузке в диапазоне измерения 8 Н.

Статический диапазон хода до 20 мм
обеспечивает точное тестирование материалов, которые обладают существенными изменениями по длине во время измерений ДМА. Это особенно важно для различных статических экспериментов, доступных на DMA 242 E Artemis, например, для изучения ползучести, релаксации и при TMA режиме.

Более 30 различных держателей образца
для оптимальной настройки условий измерений свойств материалов.

Динамический механический анализатор – DMA 242 E Artemis

Функциональный принцип

Динамический механический анализ дает информацию о вязкоупругих свойствах в основном полимерных материалов при контролируемой температуре и/или при частотной деформации.

Во время испытаний синусоидальная нагрузка (усилие σ) прикладывается к образцу. Это приводит к синусоидальной деформации (деформация ϵ).

Некоторые материалы, например, полимеры, проявляют вязкоупругое поведение, т.е. они обладают как упругими характеристиками (такими, как идеальная пружина), так и вязкими (такими, как идеальный демпфер).

Это вязкоупругое поведение вызывает смещение кривой деформации относительно кривой приложенного к образцу усилия со сдвигом фазы δ .

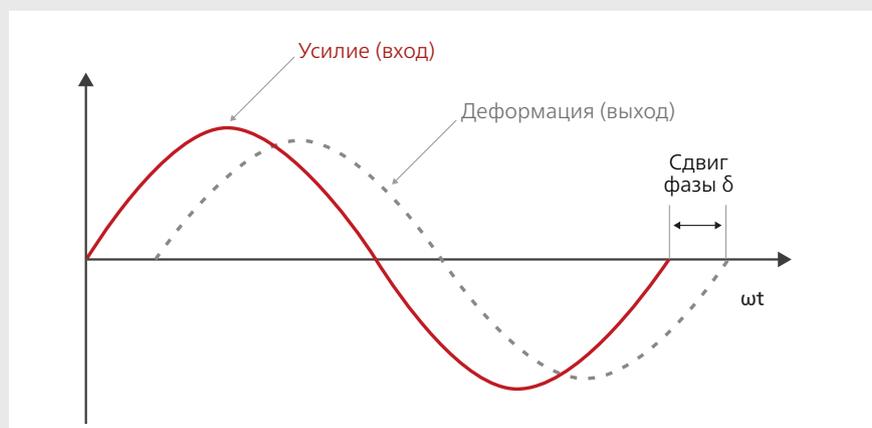
Ответный сигнал (деформация, ϵ)

делится на части «в фазе» и «не в фазе» с помощью преобразования Фурье.

Результатами этой математической операции являются модуль упругости E' (относится к обратимой составляющей «в фазе») и модуль потерь E'' (относится к необратимой части «не в фазе»).

Тангенс угла механических потерь (или фактор потерь) $\tan \delta$ представляет собой соотношение между модулем потерь и модулем упругости ($\tan \delta = E'' / E'$).

Как правило, модуль упругости (E') относится к жесткости материала, в то время как модуль потерь (E'') представляет собой меру энергии колебаний, преобразованной в тепловую энергию. $\tan \delta$ характеризует механическое демпфирование или внутреннее трение вязкоупругой системы.



DMA - принцип измерения

Получаемые данные

| Комплексная переменная ДМА | Действительная часть | Мнимая часть |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Комплексный модуль E^* | Модуль упругости E' | Модуль потерь E'' |
| Модуль сдвига G^* | Накопление модуля сдвига G' | Потери модуля сдвига G'' |
| Податливость D^* | D' | D'' |
| Полная амплитуда A^* | A' | A'' |
| Амплитуда образца A_s^* | A_s' | A_s'' |
| Нагрузка на образец F_s^* | F_s' | F_s'' |
| Константа упругости c^* | c' | c'' |

Общие данные

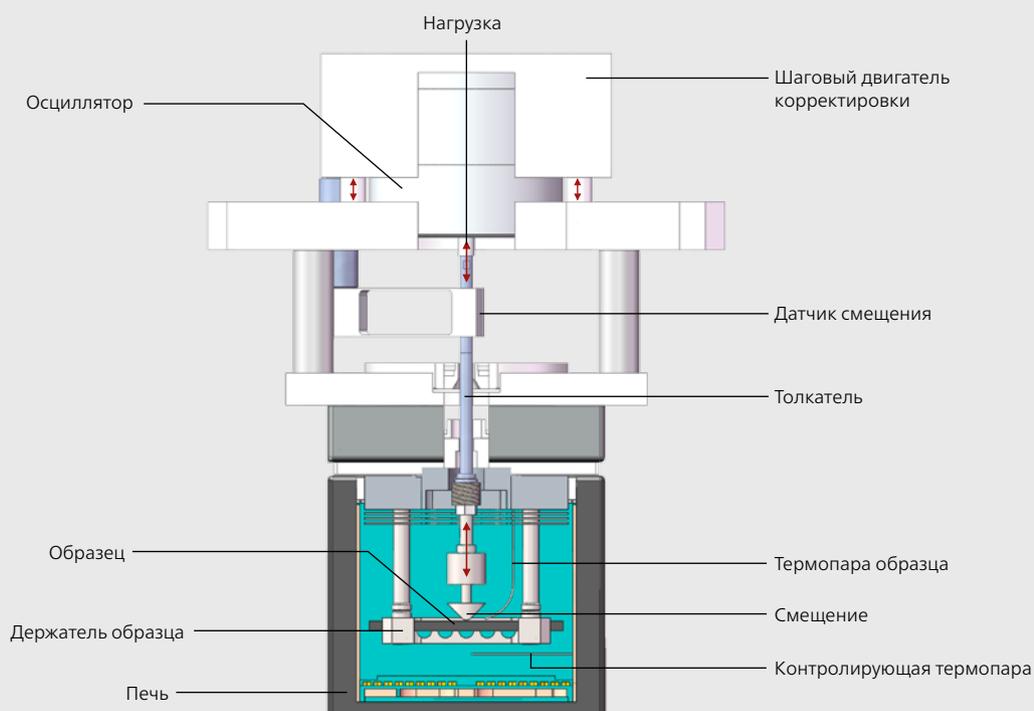
Статическое изменение длины dL

Смещение

Полная динамическая нагрузка F_{dyn}

Статическая нагрузка на образец F_{stat}

Фактор потерь $\tan\delta$



DMA 242 E Artemis – функциональный принцип

Динамический механический анализ – DMA 242 E Artemis

Динамическое механическое тестирование в исследованиях и контроле качества полимеров

Исследования и разработки

Метод ДМА является очень чувствительным инструментом для получения важных данных о механических свойствах полимеров и композитов при разработке материалов в таких отраслях, как, например, автомобилестроение.

Контроль качества

α - и β -переходы могут быть использованы для сравнения производимой продукции со стандартами и с продукцией конкурентов. Наши эксперты ДМА помогут вам найти правильный подход для конкретных приложений в области ваших интересов.



DMA 242 E Artemis

Информация ДМА измерений

- Получение данных о жесткости и демпфирующих свойствах (величина модуля и коэффициента затухания при различных условиях)
- Данные о составе и структуре полимерных смесей (совместимость)
- Температуры стеклования усиленных, аморфных или частично кристаллических полимеров и композитов
- Отверждение / пост-отверждение
- Старение
- Ползучесть и релаксация
- Развертки напряжений и деформаций
- Многочастотные тесты
- Прогнозирование поведения материала с использованием суперпозиции время-температура (TTS)
- Тесты с погружением в жидкость

Основные технические данные DMA 242 E Artemis

| | |
|--|--|
| Диапазон температур | от -170°C до 600°C |
| Скорость нагревания | от 0,01 К/мин до 20 К/мин |
| Диапазон частот | от 0,01 Гц до 100 Гц |
| Диапазон нагрузки с повышенным усилием | 24 Н (макс.) |
| Диапазон нагрузки с повышенным разрешением | 8 Н (макс.) |
| Максимальная регулируемая амплитуда деформации | ± 240 мкм |
| Статическая деформация | до 20 мм |
| Диапазон модуля | 10 ⁻³ до 10 ⁶ МПа |
| Диапазон демпфирования (tan δ) | 0,005 до 100 |
| Устройство охлаждения | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Жидкий азот до -170°C ▪ Сжатый воздух с вихревой трубкой для охлаждения до 0°C ▪ Механическое охлаждение воздухом до -50°C |
| Режимы деформации | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3-х точечный изгиб ▪ Простой / двойной шарнирный изгиб ▪ Сдвиг ▪ Растяжение ▪ Сжатие / пенетрация |
| Дополнительные режимы измерений | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Iso-деформация ▪ ТМА режим ▪ Сдвиг / релаксация ▪ Развертка напряжение / деформация |
| Геометрия образца | Максимальные размеры образца зависят от режима деформации, например, для 3-х точечного изгиба: длина: 60 мм, ширина: 12 мм; толщина: 5 мм. |
| Дополнительные аксессуары | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ванна для измерений с погружением в жидкость ▪ Генератор влажности ▪ УФ-оборудование ▪ Диэлектрический анализатор (ДЭА) |

Держатели образцов для различных режимов

Держатели образцов для любых приложений

От жидкостей и армированных термопластов до металлов и керамики – все эти материалы могут быть измерены с помощью DMA 242 E *Artemis*. Получение точных результатов требует оптимальной адаптации условий испытаний для каждого

материала и применения. Для этого в NETZSCH разработан широкий набор держателей образцов, аксессуаров и режимов измерений. Все держатели образцов доступны и перечислены в таблице ниже, а также на следующих страницах.

| Держатель образца | Размеры образцов | | | Применения |
|---------------------|--|-------------------------------|-------------------|---|
| ОДНО- / ДВУПЛЕЧЕВОЙ | Свободный изгиб Длина * | Ширина (макс.) | Высота (макс.) | |
| Стандартный | (2x) 1 мм | 12 мм | 5 мм | Термопласты, эластомеры |
| | (2x) 5 мм | 12 мм | 5 мм | |
| | (2x) 16 мм | 12 мм | 5 мм | |
| | (2x) 17 мм | 12 мм | 5 мм | |
| Жесткий зажим | 17 мм | 12 мм | 5 мм | Для определения температуры стеклования (T_g) армированных полимеров, используемых в авиационной промышленности |
| Свободный толкатель | 20 мм | 12 мм | 5 мм | Очень жесткие образцы, например, углепластики |
| 3-х ТОЧЕЧНЫЙ ИЗГИБ | Свободный изгиб Длина * | Ширина (макс.) | Высота (макс.) | |
| Округлый | 10 мм | 12 мм | 5 мм | Волоконно-армированные или высоконаполненные термопласты (металлы, керамики) |
| | 20 мм | 12 мм | 5 мм | |
| | 40 мм | 12 мм | 5 мм | |
| | 50 мм | 12 мм | 5 мм | |
| Острый | 20 мм | 12 мм | 5 мм | Жесткие, армированные волокном или высоконаполненные полимеры, металлы, керамика |
| | 40 мм | 12 мм | 5 мм | |
| РАСТЯЖЕНИЕ | Свободное растяжение Длина* (макс.) | Ø/Ширина / Толщина (макс.) | | |
| Стандартный | 15 мм | 6,8 мм | | Пленки, волокна, тонкие полоски резины |

* Примечание: Образцы должны быть больше в длину, чем указанные здесь значения свободного изгиба и свободного растяжения.

| Держатель образца | Размеры образца | | | Применения |
|---------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| СЖАТИЕ / ПЕНЕТРАЦИЯ | Диаметр образца (макс.) | Диаметр толкателя [мм] | Высота (макс.) | Мягкие образцы; например, резина |
| | Стандартный | 15 мм | 0,5, 1, 3, 5, 15 | |
| | | 30 мм | 0,5, 1, 3, 5, 15, 30 | 6 мм |
| СДВИГ | Ø/Ширина / Высота (макс.) | Толщина (макс.) | Поперечное сечение (макс.) | Клеи, эластомеры |
| | Плоские поверхности | 15 мм | 6 мм | |
| | Рифленные поверхности | 15 мм | 6 мм | 225 мм ² |



Держатель образца для 3-х точечного изгиба.



Держатель образца для одно- / двуплечевого изгиба.



Различные размеры рамок и толкателей гарантируют оптимальную адаптацию держателя образца для измерений параметров в режимах сжатие / пенетрация.



Держатель образца для растяжения.



Держатель образца для сдвига.

Широкий выбор специальных держателей образцов

| Широкий выбор специальных держателей образцов | Размеры образца | | | Применения |
|---|---|-------------------|----------------|--|
| | Диаметр образца (макс.) | Диаметр толкателя | Высота (макс.) | |
| Толкатель изготовлен из кварцевого стекла и свободного диска из оксида алюминия | 15 мм | 5 мм | 6 мм | Пеноизоляция |
| Вкладыш образца | 7 мм | 3 мм | 2,5 мм | Отверждение пастообразных образцов с высокой вязкостью |
| Толкатель сферической формы | Контейнер: Ø 19 мм, высота 15 мм. Диаметр шара толкателя: Ø 8 мм | | | Отверждение вязких образцов |
| Окно из кварцевого стекла для УФ излучения | 15 мм | 15 мм | 6 мм | Отверждение УФ-чувствительных материалов |
| Синхронные ДМА - ДЭА измерения | 15 мм | 15 мм | 6 мм | Отверждение реактивных смол |



Держатель образца для измерений пастообразных образцов при сжатии с вкладышем.



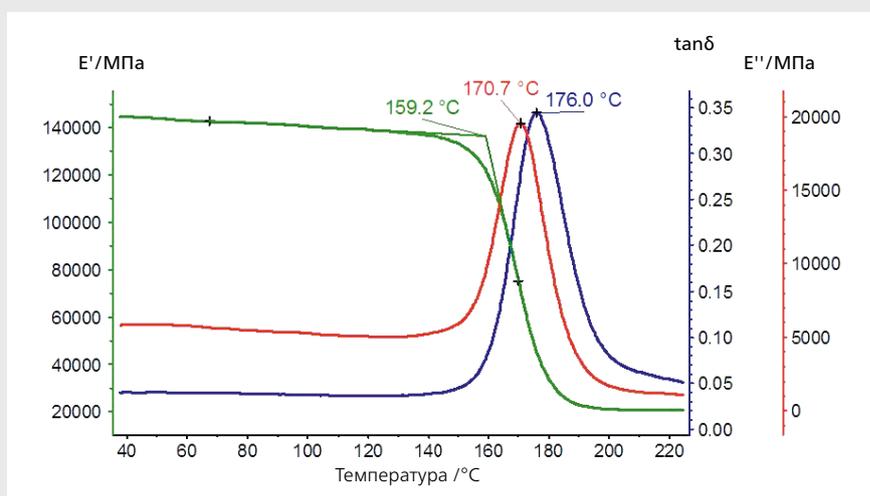
Держатель образца для одноплечевого изгиба со свободным толкателем специально используется для жестких материалов.



Модуль Юнга углепластика

Держатель образца для одноплечевого изгиба со свободным толкателем был специально разработан для точного измерения очень жестких материалов. Образец жестко закреплен одним концом в держателе, на другой конец образца свободный толкатель оказывает осциллирующую нагрузку.

Результаты теста ДМА эпоксидной смолы, армированной углеродным волокном, представлены на графике с правой стороны. Высокий модуль упругости при 50°C (приблизительно 145000 МПа) демонстрирует, что этот материал жестче, чем металлический титан. Снижение кривой при 159°C (температура начала), связано с максимумом модуля потерь, и кривая коэффициента потерь при 171°C и 176°C показывает переход стеклования в эпоксидной матрице.



ДМА измерения очень жесткой, армированной углеродным волокном, эпоксидной смолы. Держатель образца для одноплечевого изгиба, 20-мм, со свободным толкателем. Параметры измерения: скорость нагревания 3 К/мин, частота: 10 Гц, амплитуда: ± 40 мкм.

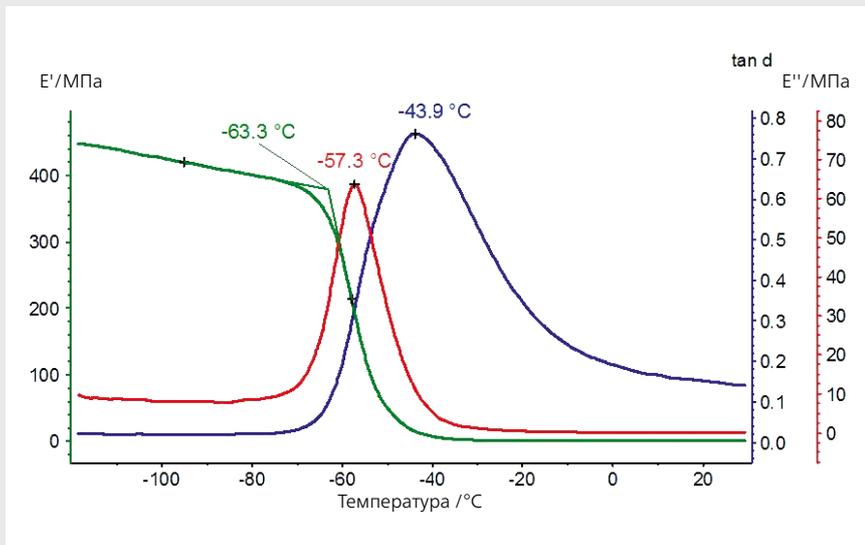
Широкий выбор специальных держателей образцов

Держатель образца для вспененной изоляции

Из-за очень низкой теплопроводности пенопластов и изоляционных материалов тепло может быть потеряно, если используется стандартный металлический толкатель. В таких измерениях целесообразно использовать специально разработанный толкатель из кварцевого стекла со свободным диском из оксида алюминия и держатель для режима сжатия.



Толкатель изготовлен из кварцевого стекла со свободным диском из оксида алюминия.



Измерения на сжатие изоляционной пены (толщина 5 мм). Держатель образца для измерений в режиме сжатия: толкатель из кварца/диск из оксида алюминия. Параметры измерения: от -120°C до 30°C при 2 К/мин, частота: 10 Гц, амплитуда: ±30 мкм.

Вязкоупругие свойства пены

Пеноизоляция становится все более важным компонентом в строительной индустрии как для нового строительства, так и для реконструкции зданий. Пеноизоляция позволяет снизить потери тепла через стены, и, как следствие, снизить потребление энергии. Данный график показывает измерения пеноизоляции в интервале между -120°C и 30°C при частоте 10 Гц.

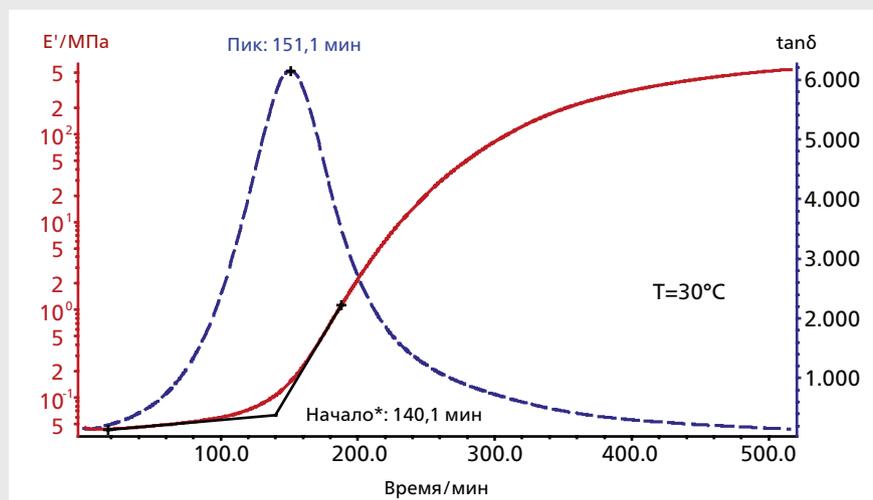
Снижение кривой модуля упругости начинается при -63°C и связано с пиками при -57°C (модуль потерь) и -44°C (tan delta). Это соответствует переходам стеклования данного изоляционного материала, тем самым ограничивая диапазон его применения.

Отверждение жидкого эпоксидного клея

Результаты измерений ДМА жидкого эпоксидного клея показаны на графике ниже. Для тестирования был использован держатель образца с контейнером и шарообразным толкателем, который был

разработан для исследований отверждения жидких образцов. Увеличение модуля упругости через 140 минут (время начала) является результатом реакции отверждения. Это связано с пиком на кривой $\tan\delta$

при 151-й минуте. Дальнейшее увеличение значения модуля упругости приблизительно через 500 минут показывает, что отверждение не завершилось.



ДМА измерение с помощью держателя образца с шарообразным толкателем.
 Образец: эпоксидный клей.
 Держатель образца: для сжатия с контейнером и шарообразным толкателем.
 Параметры измерения: изотермический режим 30°C, частота: 1 Гц, амплитуда: ± 20 мкм.



Специальный держатель образца с шарообразным толкателем для исследования отверждения высоковязких жидкостей.

Широкий выбор аксессуаров – влияние влажности и погружения

Дополнительные аксессуары для любых специальных применений

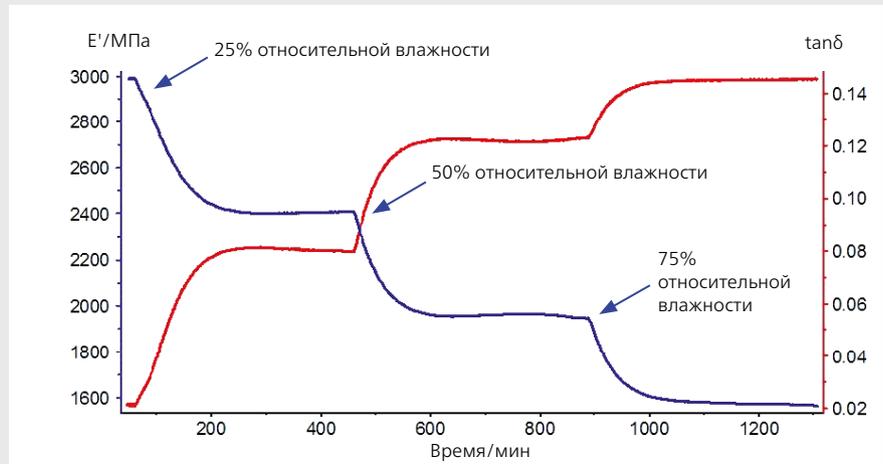
В дополнение к широкому выбору держателей образцов DMA 242 E Artemis предлагает множество других дополнительных аксессуаров. Например, к печи прибора может быть легко подключен генератор

влажности. Измерения могут проводиться с продувкой газом, содержащим определенное количество влаги. Это дополнение является полезным для изучения влияния влажности на дина-

мические механические свойства чувствительных к влажности образцов, таких как полиамиды и полиэфиры.

Влияние влажности на механические свойства полиамидной пленки*.

В этом примере полиамидная пленка была высушена и измерена в режиме растяжения с подключением генератора влажности. В начале теста генератор влажности был выключен, и модуль упругости был постоянным – примерно 3000 МПа. Как только влажность воздуха в печи изменилась, модуль упругости полимера резко уменьшился, установившись на уровне примерно 2400 МПа. Увеличение влажности до 50% и 75% (после 7 часов и 14 часов) привело к дальнейшему снижению модуля упругости. Эти результаты показывают, что содержание влаги оказывает большое влияние на модуль упругости полиамида, так как вода действует как пластификатор для полимеров.



ДМА измерения с генератором влажности.
Образец: полиамидная пленка (толщина 50 мкм).
Держатель образца: для режима растяжения.
Параметры измерения: изотермический 30°C, частота: 1 Гц, амплитуда: ±75 мкм.
Параметры генератора влажности: относительная влажность: 25%, 50%, 75% при 30°C, продувочный газ: N₂, 10 мл/мин.



*Мы благодарим профессора д-р Т. Родел и М. Вендт из Университета прикладных наук в Мерзебурге за проведенные измерения и обсуждение.

Удобные измерения в жидкостях: погружная ванна

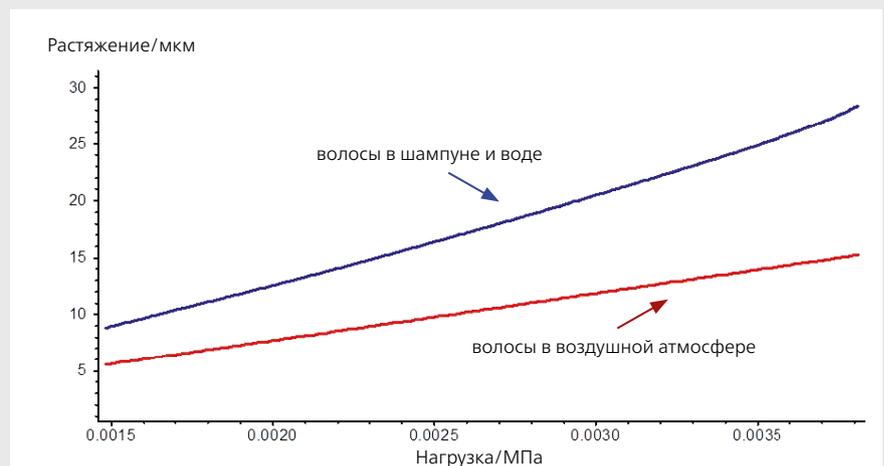
Погружная ванна может быть использована в комбинации с любым из доступных держателей образцов для исследования влияния данной жидкости на вязкоупругие свойства материала. Погружная ванна вставляется в стандартную печь, поэтому температура может варьироваться во время измерения. Единственным ограничением является температурное разложение образца или испарение жидкости.



Контейнер для погружных измерений.

Влияние шампуня на человеческие волосы

Деформационные испытания с нагрузкой проводились на человеческих волосах в воздушной атмосфере и в смеси воды и шампуня. Затем эти волосы были использованы для измерений. Нагрузка варьировалась от 0,1 Н до 1 Н, при этом измерялось растяжение. График представляет собой участок напряженно-деформированного измерения. Кривые отличаются по наклону: волосы имеют более низкий модуль упругости - то есть мягче - при контакте со смесью воды и шампуня, чем с воздухом.



Влияние шампуня на мягкость волос.
Пример: человеческий волос (толщина от 70 мкм до 80 мкм).
Параметры измерений: режим растяжения, температура: 25°C, частота: 1 Гц, нагрузка варьировалась между 0,1 и 1 Н.

Широкий выбор аксессуаров – УФ подключение и ДМА-ДЭА

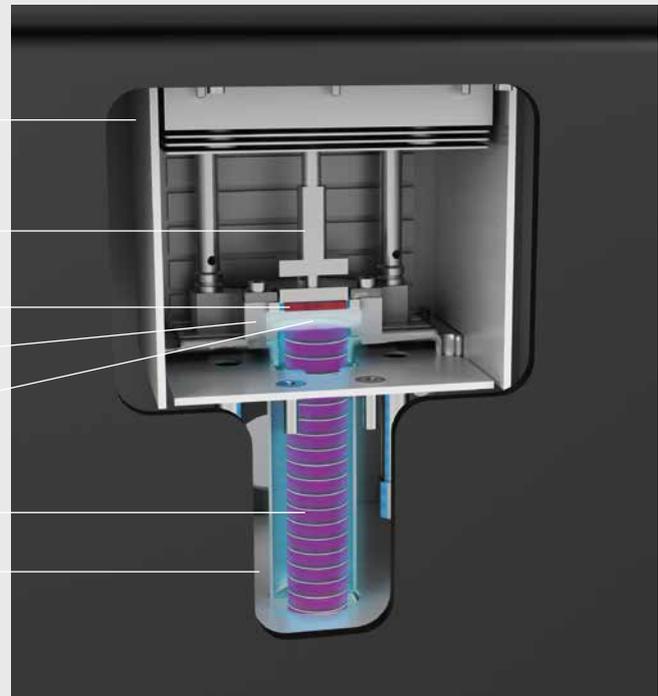
Светоотверждение: подключение к источнику УФ излучения

Печь прибора DMA 242 E *Artemis* может быть подключена к источнику света для исследований отверждения УФ-реактивных материалов. Специальный держатель образца для сжатия позволяет свету проходить через окно из кварцевого стекла.

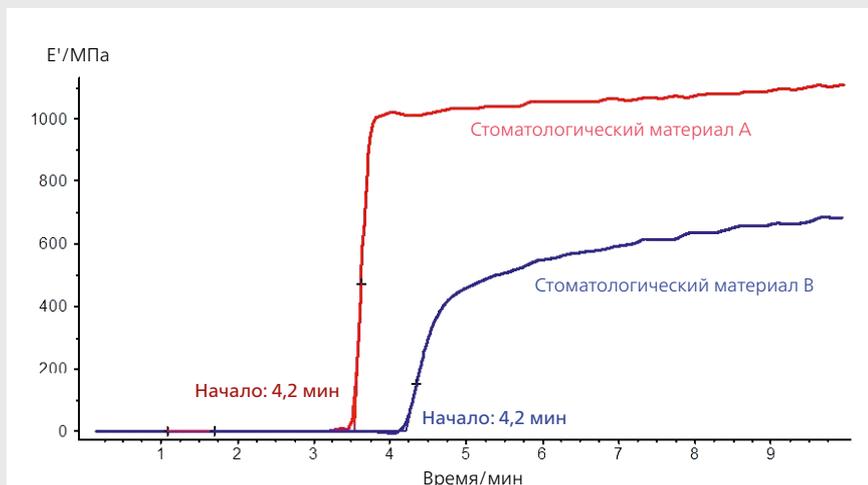


Специальный держатель образца с окном из кварцевого стекла для ДМА измерений под воздействием УФ излучения.

- печь
- толкатель
- образец
- держатель образца
- диск из кварцевого стекла
- источник ультрафиолетового излучения
- опорная трубка



Набор инструментов для подключения DMA 242 E *Artemis* к источнику УФ излучения.



Сравнение процессов отверждения двух стоматологических материалов. Параметры измерений: режим сжатия, температура: 30°C, частота: 10 Гц, амплитуда: ±15 мкм.

УФ отверждение двух стоматологических материалов

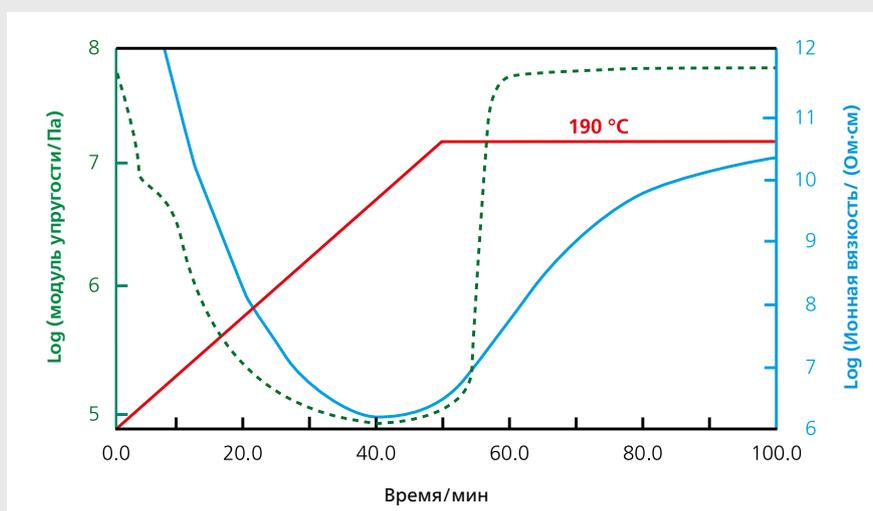
Процессы отверждения двух стоматологических материалов под воздействием УФ излучения были сопоставлены для сравнения. Модуль упругости стоматологического материала А (красный) резко возрос после 3,5 минут, что может быть связано с его отверждением. Реакция стоматологического материала В (синий) началась почти через одну минуту и проходила медленнее, как можно видеть из сравнения наклонов графиков двух измерений. Разница окончательных значения модулей упругости (1100 МПа для материала А и 700 МПа для материала В) связана с различиями механических свойств отвержденных материалов.



Держатель образца для синхронных ДМА-ДЭА измерений.

Синхронные ДМА-ДЭА измерения: два измерения в одном

ДЭА (Диэлектрический анализ) представляет собой способ исследований отверждения реактивных смол с помощью мониторинга ионной вязкости. В синхронном ДМА-ДЭА измерении сенсор ДЭА установлен на специальном ДМА держателе образца для режима сжатия, и оба измерения ДМА и ДЭА выполняются одновременно по одной и той же температурной программе.



Отверждение эпоксидной смолы.

Держатель образца: специальный держатель образца для сжатия и синхронных ДМА-ДЭА измерений.

Параметры измерений: нагревание от комнатной температуры до 190°C, скорость нагревания 3 К/мин и изотермический режим при 190°C, частота: 10 Гц.

ДМА-ДЭА измерения эпоксидной смолы

В этом примере неотвержденную эпоксидную смолу нагревают до 190°C и далее поддерживают постоянную температуру. Из-за размягчения образца при нагревании сначала происходит снижение модуля упругости и ионной вязкости. Увеличение модуля упругости связано с началом отверждения. Последующее резкое увеличение модуля упругости демонстрирует чувствительность ДМА в начале реакции отверждения.

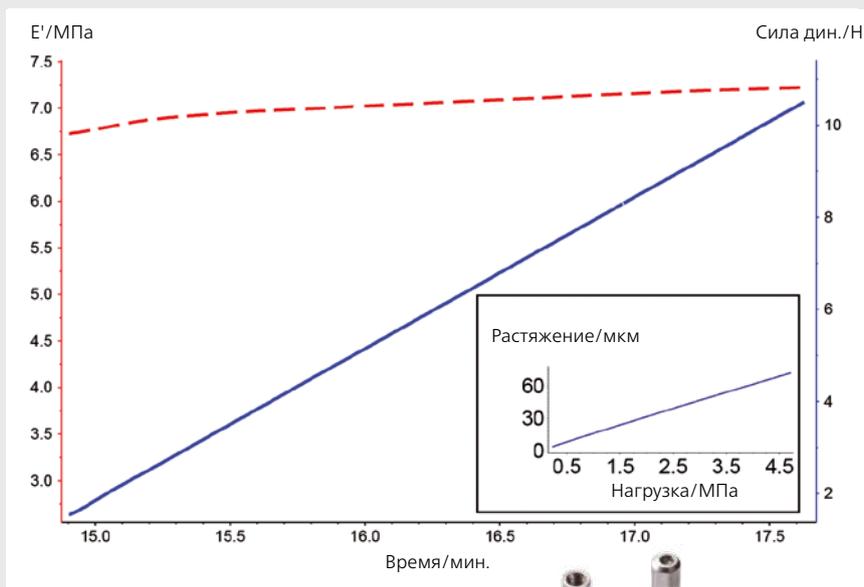
При изотермической выдержке при 190°C модуль упругости стабилизируется в режиме сжатия. Тем не менее, ионная вязкость продолжает увеличиваться; более чувствительный ДЭА метод позволяет определить, что отверждение не закончилось через 100 минут.

Различные режимы измерения – повышенная нагрузка, ТМА режим



Повышенная нагрузка для дополнительной информации

Новый DMA 242 E Artemis работает с нагрузкой до 24 Н. Благодаря такому широкому диапазону могут быть исследованы очень толстые и жесткие образцы, особенно в режимах сжатия и растяжения. В этом примере натуральный каучук измеряли в режиме сжатия. Максимум статической нагрузки был установлен до 12 Н. Динамическая нагрузка изменялась в пределах от 0,5 Н до 10,5 Н, при этом измерялась полученная деформация (напряженно-деформированный тест). На графике показаны динамическая нагрузка и результирующий модуль упругости. Кроме того, деформация показана как функция от приложенной нагрузки (вставка), чтобы убедиться, что испытания проводились в области Гука (линейность кривой).



Stress-sweep тест (напряженно-деформированное измерение) натурального каучука толщиной 2,01 мм.

Держатель образца: для сжатия, диаметр 15 мм. Параметры измерения: комнатная температура, частота: 10 Гц.



Держатель образца для измерений при сжатии.

Статический режим: ползучесть, релаксация, ТМА

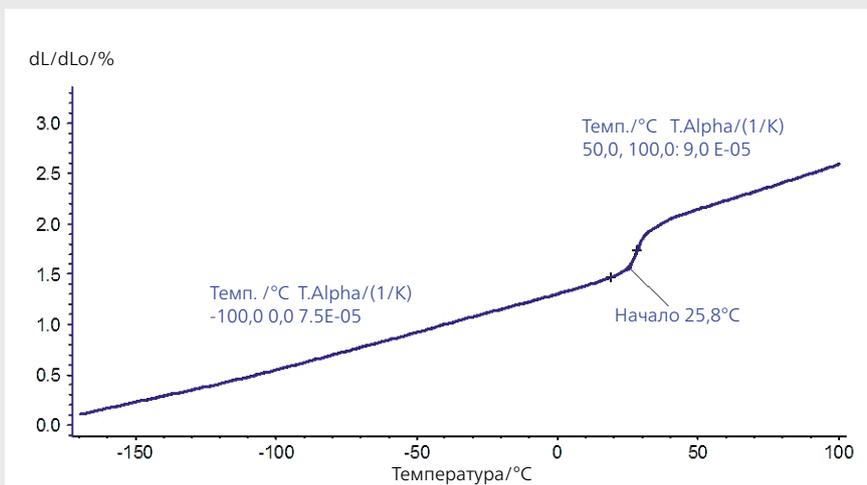
Наряду с динамическими измерениями DMA 242 E *Artemis* также позволяет проводить измерения в трех статических режимах: ползучести, релаксации и ТМА.

В режиме ползучести к образцу приложено постоянное статическое усилие, и измеряется результирующая деформация.

В измерениях релаксации определяется статическое усилие,

необходимое для достижения определенной постоянной деформации.

В режиме ТМА определяется термическое расширение материалов. Для этого небольшое приложенное к образцу статическое усилие и полученное при этом изменение длины измеряют как функцию от повышения температуры.



ТМА измерение ПТФЭ.

Держатель образца: сжатие в режиме ТМА.

Параметры измерения: -170°C до 100°C со скоростью нагревания 2 К/мин, статическое усилие: 0,1 Н.

ТМА режим: тепловое расширение ПТФЭ

В этом примере изменение длины ПТФЭ было измерено в температурном диапазоне от -170°C до 100°C с DMA 242 E *Artemis* в ТМА режиме.

В начале измерения длина образца линейно возрастает. Ступенька в графике расширения образца при 26°C связана с переходом ПТФЭ от хорошо упорядоченной фазы к неупорядоченной фазе.

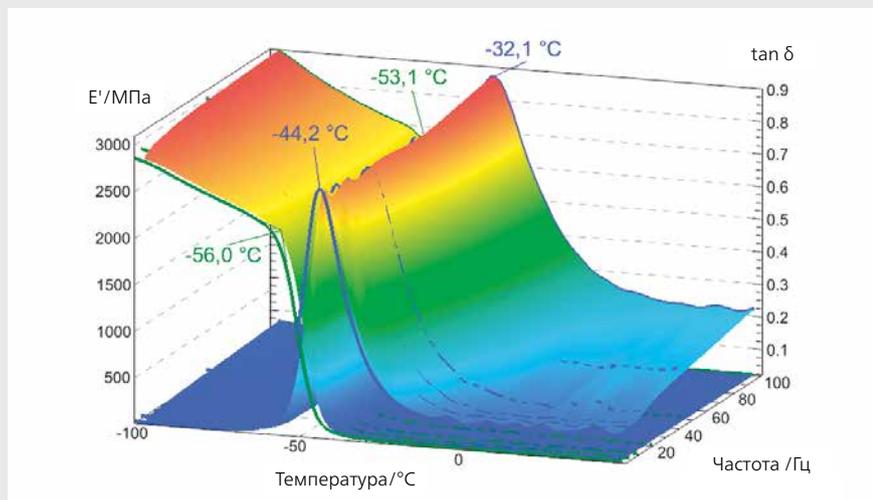
Различные режимы работы – 3D-представление, мультимастотные режимы

Мультимастотные измерения эластомера

Дополнительно к возможности проведения измерений на нескольких частотах, пользователь также имеет возможность увидеть результаты в трехмерном представлении: вязкоупругие свойства исследуемого материала можно рассматривать как функцию температуры и частоты.



Держатель образца для двухплечевого изгиба.



3D-график вязкоупругих свойств эластомера (высота: 2,66 мм, ширина: 7,77 мм).
Держатель образца: для двухплечевого изгиба 2x16 мм.
Параметры измерения: нагревание от -100°C до 50°C при 2 К/мин, частота: 1, 5, 10, 20, 50 и 100 Гц, амплитуда: ± 40 мкм.

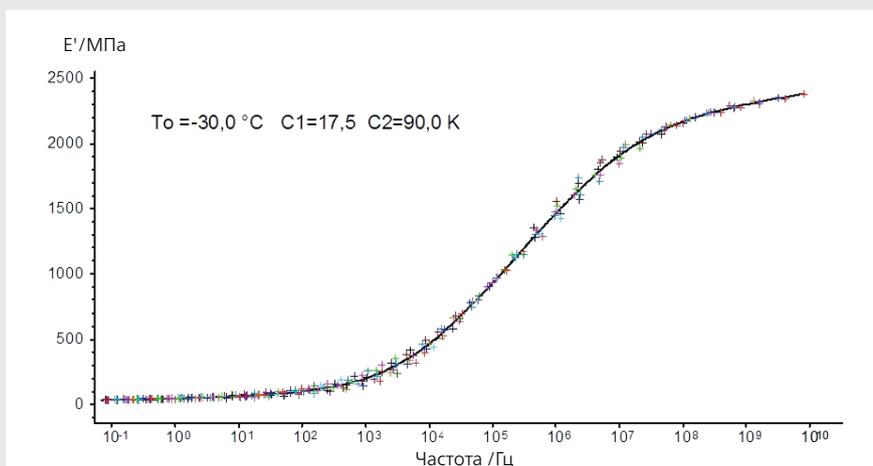
В этом примере вязкоупругие свойства эластомера были определены при нагревании от -100°C до 50°C и при частотах от 1 до 100 Гц.

График показывает кривые модуля упругости и фактора потерь в зависимости от температуры и частоты. Для каждой частоты снижение кривой E' связано с пиком в кривой $\tan \delta$. Этот эффект обусловлен стеклованием образца. Как и ожидалось, переход стеклования смещается в сторону значительно более высоких температур с увеличением частоты. Значения, приведенные на графике, являются температурами onset кривой модуля упругости и пиковых температур кривой фактора потерь для 1 Гц и 100 Гц.

Мастер-кривая и кривая Аррениуса для эластомера

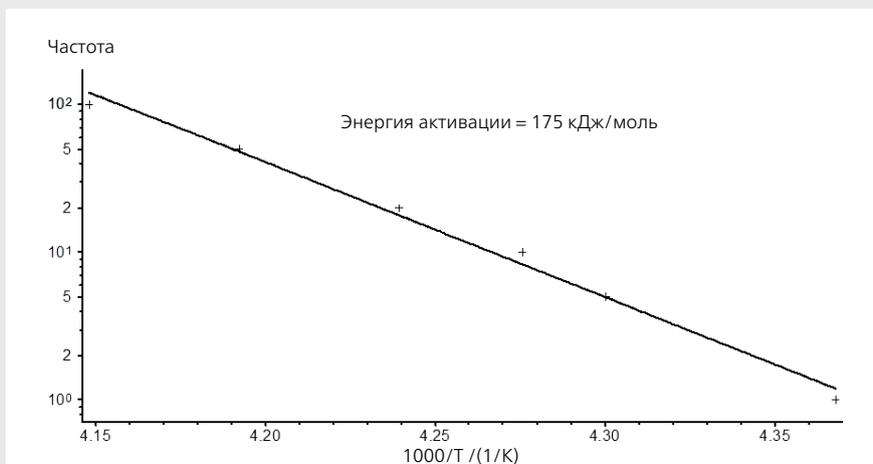
Вязкоупругое поведение полимера как функция частоты может легко и быстро быть определено с использованием мастер-кривой, рассчитанной из одного многочастотного измерения. Чтобы сделать это, используется температурно-временная суперпозиция: зависимость отношения E' , E'' и $\tan\delta$

от частоты могут быть экстраполированы на частоты, превышающие диапазон измерения прибора. С уравнением WLF (Williams-Landel-Ферри) фактор сдвига может быть вычислен и мастер-кривая может быть установлена в указанной эталонной температуре.



Мастер-кривая эластомера при эталонной температуре от -30°C .

В этом примере мастер-кривая динамического модуля упругости рассчитывалась при эталонной температуре -30°C . Программное обеспечение ДМА оценивало коэффициенты $C1$ и $C2$ фактора сдвига согласно уравнению WLF. Значение E' может быть получено в экстраполированном диапазоне частот до 10^{10} Гц.



Кривая Аррениуса для эластомера.

Кроме того, программное обеспечение *Proteus*[®] позволяет рассчитывать энергию активации для перехода стеклования. Чтобы сделать это, логарифмическая зависимость фактора потерь ($\tan\delta$) построена от абсолютной температуры. Энергия активации определяется как наклон линейной аппроксимации через полученные точки. Была определена энергия активации 175 кДж/моль для перехода стеклования эластомера.

DMA 242 E *Artemis* – программное обеспечение *Proteus*[®]

DMA 242 E *Artemis* управляется программным обеспечением *Proteus*[®], работающим в 32- и 64-битной операционной системе Windows[®] и включает в себя все необходимое для проведения измерений и обработки полученных результатов. Удобное меню в сочетании с автоматизированными процедурами делают *Proteus*[®] очень простым в использовании и позволяют проводить самые тонкие анализы.

Ключевые характеристики основного программного обеспечения

- Для операционных систем Windows XP Professional[®], Vista[®] (Enterprise, Business), Windows 7 (Professional[®], Enterprise[®], Ultimate[®]).
- Многозадачность: одновременное измерение и оценка.
- Многомодульность: одновременное управление несколькими различными приборами (до 4) с одного компьютера.
- Комбинированный анализ: сравнение и/или оценка ДСК, ТГА, СТА, ДИЛ, ТМА, ДМА и ДЭА измерений в одном окне.
- Сравнительный анализ до 64 кривых/температурных сегментов из одинаковых или различных измерений (кривая сравнения).
- Хранение результатов анализа и состояния, когда все окна анализа и просмотр графиков сохраняются в файл для последующего восстановления и продолжения анализа.
- Распечатка возможна на 9 языках.
- Экспорт графики с результатами оценки в буфер обмена или распространенные форматы, такие как EMF, PNG, BMP, JPG, TIF или PDF.
- ASCII-файл экспорт данных для обработки данных с более обширными программами анализа (например, расстояние между пиками).

- Поддержка по электронной почте: сообщения о состоянии измерений или файлы могут быть отправлены автоматически после измерения или при возникновении ошибки.
- Online оценка измерения в процессе (снимок).

Основные характеристики программного обеспечения для измерений

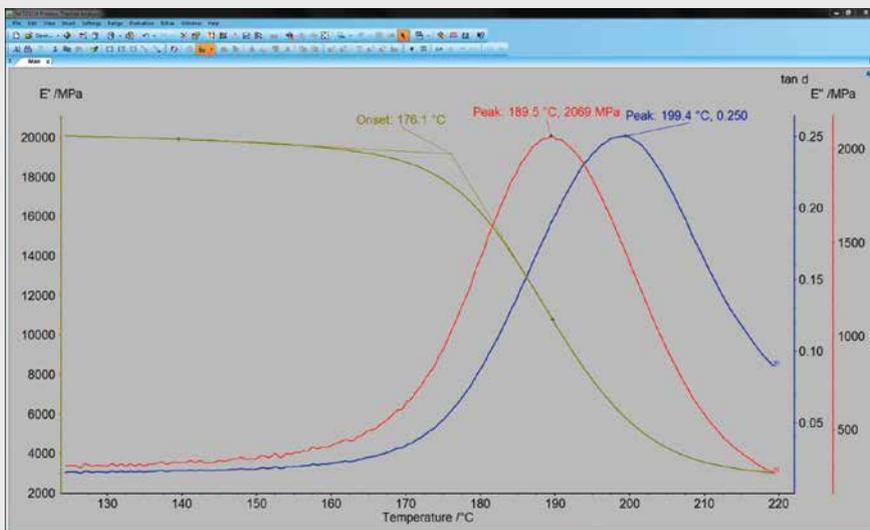
- Несколько программируемых температурных сегментов (изотермический, динамический) и температурных наклонов с одной или несколькими частотами, свободный выбор значений нагрузки, амплитуды деформации и частоты для каждого сегмента.
- Онлайн графики до восьми различных свободно выбираемых осей, с онлайн масштабированием, масштабированием времени или температуры, одного сегмента или кривой в полном виде.
- Процедуры калибровки: динамическая масса, пустая система, жесткость системы, настройка вращения, температура.
- Управление колебаниями: легкий выбор контроля напряжений, деформаций и специального управления в смешанном режиме (управление деформацией с дополнительным ограничением усилия) для материалов с вязко-упругими свойствами, проявляющими значительные изменения.

Встроенные специальные режимы измерений

- Режим ползучести.
- Режим релаксации с диапазоном деформации до 20 мм (в зависимости от размера образца и выбранной геометрии держателя образца).
- Stress-деформационный режим.
- Strain-деформационный режим.
- Iso деформация.
- TMA режим.
- Режимы нагрузки: диапазон нагрузки с максимальным усилием (24 Н), диапазон нагрузки с повышенным разрешением (8 Н).

Ключевые особенности аналитического программного обеспечения

- Определение модуля упругости E' модуля потерь E'' и фактора потерь $\tan\delta$.
- 1-я и 2-я производные.
- Суперпозиция частотно-масштабируемых кривых (мастер-кривые).
- Графическое представление кривых измерения с возможностью масштабирования по оси Y, например, модуля упругости E' , модуля потерь E'' , фактора потерь $\tan\delta$, амплитуды.
- Функциональная возможность 3-D представления для многочастотных данных ДМА - для визуализации, например, частотно-зависимого сдвига температуры стеклования.
- Определение энергии активации (Аррениус-анализ).
- Определение Cole-Cole участка (графическое представление (E'') или ($\tan\delta$) как функции (E')).
- Графическое представление статических изменений длины, в абсолютных единицах (dL в мкм) для всех видов держателей образцов, а также в относительных единицах (dL/L₀, dL/L₀ в %) для всех держателей образцов типа «сжатия» или «растяжения».
- TMA режим: графическое представление статического изменения длины, „dL“ (режим TMA), с возможностью для коррекции калибровки и вычисления коэффициентов расширения (КТР) в динамических сегментах.
- Графическое представление поведения ползучести и релаксации.
- Графическое представление усилия и напряженно-деформированного поведения, график напряженно-деформированного поведения.



Типичные измерения ДМА с графическим представлением E' , E'' и $\tan\delta$.

Группа NETZSCH является средней компанией в сфере машино- и приборостроения, находящейся в семейном владении, располагающей производственными, сбытовыми и сервисными организациями в разных странах мира.

Три бизнес подразделения – Анализ & Тестирование, Измельчение & Диспергирование и Насосы & Системы предлагают высокотехнологичные индивидуальные решения для потребностей самого высокого уровня. Более 3000 сотрудников в 163 центрах по производству и продажам в более чем 28 странах мира, обеспечивают нашим заказчикам всестороннюю и квалифицированную сервисную поддержку.

Если Вам необходим термический анализ, адиабатическая реакционная калориметрия или определение теплофизических свойств – обращайтесь в NETZSCH. Более 50 лет опыта в прикладных исследованиях, современная линейка приборов и широкий спектр предлагаемых услуг гарантируют, что наши технические решения не только смогут соответствовать всем Вашим потребностям, но и превзойдут Ваши ожидания.

www.netzsch.com/n11171



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

www.netzsch.com