

热分析超越系列



DMA 1

创新科技

全能模块

瑞士品质



动态热机械分析仪DMA 1

METTLER TOLEDO

多用途DMA

材料分析的最佳解决方案

动态热机械分析（DMA）是一种测试材料机械性能和粘弹性能的重要技术，可用于热塑性树脂、热固性树脂、弹性体、陶瓷和金属等材料的研究。在DMA中，可以使用不同的形变模式使样品经受周期性变化的应力，从而可以得到力的振幅、位移的振幅以及相位差这三个物理量与温度、时间及频率之间的函数关系。

梅特勒-托利多 DMA 1的特征和优点：

- **测试头位置灵活** - 可以在所有形变模式下进行测试，甚至在液体中或不同相对湿度条件下进行测试
- **操作方便** - 可快速更换形变模式
- **TMA测试模式** - 可测试膨胀系数、蠕变效应和松弛时间
- **湿度附件** - 可用于吸附和解吸附测试
- **大触摸屏人性化设计** - 便于样品夹持以及监控测试过程
- **宽广的温度范围** - 从-190℃到600℃
- **高效经济的冷却系统** - 节省测试时间，液氮消耗量少

测试头可旋转是DMA 1非常独特的方面。这使得测试不但可以在所有标准形变模式下进行，甚至可以在液体或者特定相对湿度条件下进行。



无以匹敌的多功能性 为所有应用优化结构及参数



DMA 1强大的多功能性使得测试可以在最优化的参数下进行。DMA 1操作方便，既可以进行传统DMA分析，而且可以使用静态力进行实验或者在液体中进行测试。

可控的相对湿度条件下测试

湿度附件由一个特殊的湿度炉体、可加热的循环浴装置和一个湿度发生器组成。它可以保证每一种形变模式都可以在最优化的条件下进行测试。安装湿度附件后不需要重新校准。

静态力条件下测试

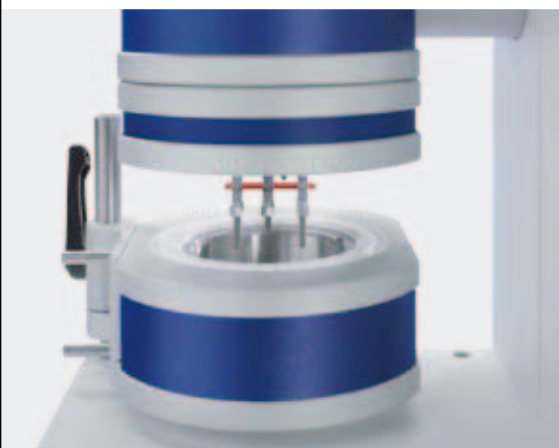
除了动态模式，DMA1可以使用静态力进行测试(TMA模式)。DMA 1的所有形变模式都可以使用TMA模式。

典型的TMA应用包括：

- 热膨胀系数测定
- 蠕变与恢复实验
- 应力-应变图
- 形变-松弛图
- 材料的软化温度

液体中测试：

液体池附件可以使样品在液体中进行DMA和TMA实验，而且所有的标准形变模式都可以使用液体池附件。测试过程中整个夹具及样品都浸入液体。液体池附件由一种特殊的浸入池和外部温度控制部件组成，外部温度控制部件包含循环升温浴及冷却器。



快速获得实验结果 得益于多项创新成果

方便的样品夹具

测试头可以被放在最方便的位置，便于装配夹具和夹持样品。而且它也可以被放在最优化的位置，用于特殊形变模式的测试。测试头的方向由仪器自动检测。

虽然测试头的位置是不同的，但是系统不需要重新校准。



完整的热分析系统

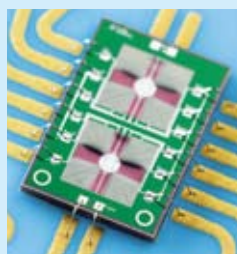
一套完整的热分析系统由四种测试技术组成。每一种技术以自己独特的方式表征样品。将所有测试结果综合起来可以给出全面的信息并便于解释。DMA测试机械模量；DSC和Flash DSC测试热流；TGA测试重量曲线；TMA测试长度变化。所有这些物理量都是温度的函数。



DMA



DSC



Flash DSC



TGA



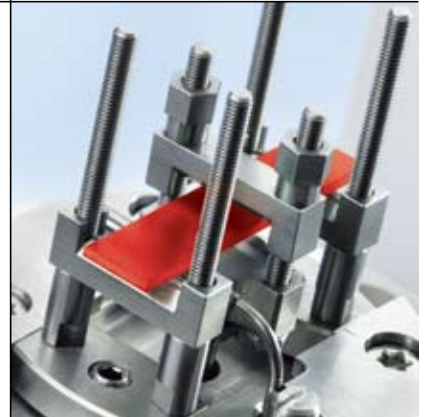
TMA

完美的设计 注重细节

DMA 1的触摸屏

触摸屏便于观察，甚至从远处也清晰可见。它有两个重要的功能：

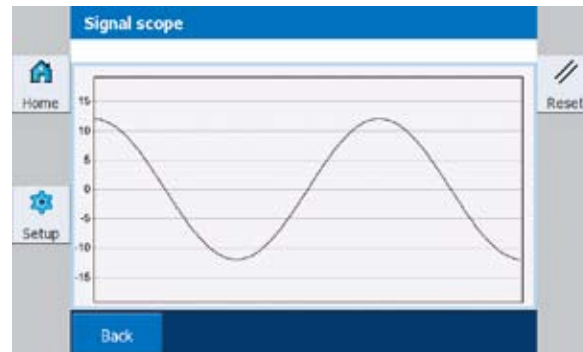
- 在装配夹具和夹持样品时能够显示当前的弹簧位移。这可以保护测试系统，确保没有零件损坏。
- 监控正弦函数。这非常有用，尤其在测试开始的时候。通过观察正弦函数，可以判断样品是否被正确地装载在夹具上。



钛合金样品夹具

样品夹具对于获得准确的测试结果是非常重要的。DMA 1夹具由钛合金制成，具有如下优点：

- 由于夹具质量轻，系统的共振频率偏向高频
- 夹具非常耐腐蚀，因为钛与空气接触后形成了惰性的氧化层。这尤其适合于液体中的测试。
- 夹具可以被快速加热和冷却，因为钛的热传导性好于绝大多数其它适合的材料。



多种附件

配件盒中包含所有样品夹具以及用于装配样品夹具的工具，以及温度传感器。校准工具箱包含所有温度校准的物质，这是获得准确可靠测试结果的一个关键因素。



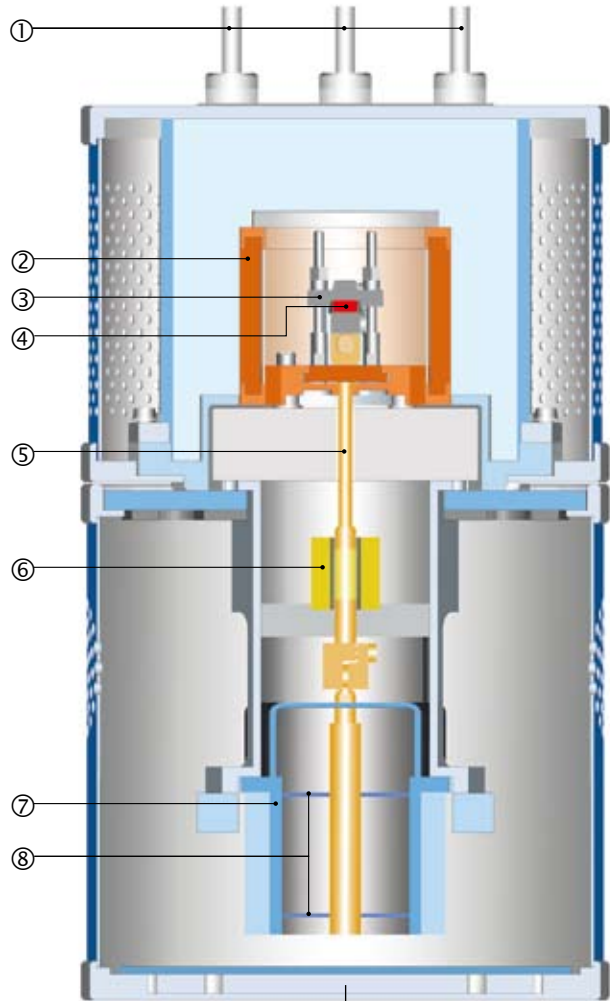
在整个温度范围内一流可靠的性能

测试原理

在动态热机械分析仪(DMA)中, 样品经受动态力, 然后测试产生的位移振幅。力和位移信号之间的相位差来源于这两条曲线的时间滞后。

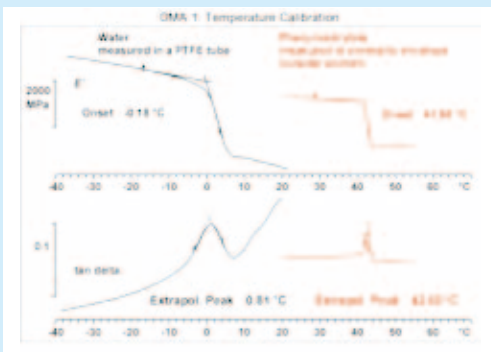
准确的位移测试

LVDT (线性可变差动变压器)是DMA 1的关键部件。LVDT测量 $\pm 1\text{mm}$ 范围内长度的变化, 分辨率为 2nm 。它被装配在靠近样品的位置, 这可以将测试系统带来的影响最小化, 从而提高了力和位移之间时间滞后(相位差)的准确性。



主要部件

- | | |
|-----------|---------------|
| 1 液氮进口/出口 | 5 驱动杆 |
| 2 加热丝 | 6 LVDT位移传感器 |
| 3 样品夹具 | 7 驱动马达 |
| 4 样品 | 8 驱动杆引导装置(弹簧) |



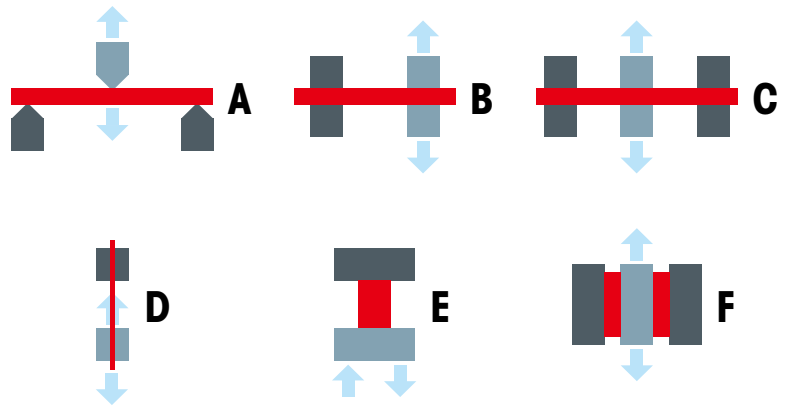
用PT100测试温度

PT100温度传感器的位置尽可能靠近样品。在希望的形变模式下进行温度调节可以确保测试温度准确。

优化的样品夹具 方便易用

DMA 1提供了六种不同的形变模式。对于特定的应用，最适合的模式取决于希望得到的信息、样品的性质和几何因子。必需选择合适的样品刚度，以便其低于测试系统的刚度。所有六种测试模式均可被用于动态测试和静态测试。

样品夹具系统的一个重要特点是在样品夹具中可以容易地调整样品长度，可以从每种夹具的最小样品长度以每步2.5mm调整到最大样品长度。样品长度也可以使用专用的螺丝设定。



不同的形变模式

3-点弯曲模式(A): 这种模式用于准确测试非常刚硬的样品，例如复合材料或热固性树脂，尤其适合于玻璃化转变温度以下的测试。它对于TMA测试也非常重要。

单悬臂(B): 这种模式非常适合于条形高刚度材料(金属或聚合物)。单悬臂模式是玻璃化转变温度以下的理想测试方法，而且是测试粉末材料损耗因子的推荐模式。

双悬臂模式(C): 这种模式适合于低刚度的软材料，特别是比较薄的样品，例如膜材料。

拉伸(D): 它是薄膜或纤维的常规形变模式。它对于TMA测试也非常重要。

压缩(E): 压缩模式用于测试泡沫、凝胶、食品以及静态(TMA)测试。

剪切(F): 剪切模式适合于测试软样品，例如弹性体，压敏胶，以及研究固化反应。

形变模式	最大有效样品长度(mm)	最大有效样品宽度(mm)	测试头标准位置(非液体测试)
单悬臂	17.5	13	水平
双悬臂	35	13	水平
3点弯曲	45	13	垂直(朝上)
拉伸	20	13	水平

形变模式	最大样品直径(mm)	最大样品厚度(mm)	测试头标准位置(非液体测试)
剪切	10	12	水平
压缩	10	16	垂直(朝上)

卓越的制冷能力 节省宝贵的测试时间

温度范围和冷却附件

DMA 1的制冷能力令人印象深刻。它能够在10分钟之内将样品从室温冷却至-190°C，并且仅仅消耗极少量的液氮。不到1升的液氮即可以完成三次室温至-100°C的冷却循环。这既节省时间又节省金钱，因为不需要经常向液氮罐中填充液氮。因此DMA 1的优势之一就是具有更大的样品测试量。

如果从室温开始进行实验，DMA 1可以不使用冷却附件。



液氮制冷	1L液氮罐	35L液氮罐
温度范围	-190°C至600°C	-190°C至600°C
液氮消耗量(室温降温至-190°C)	< 1L	~1.8L
液氮消耗量(室温降温至-100°C)	< 0.3L	< 0.4L
降温时间(室温至-190°C)	< 10min	< 15min

附件	DMA测试	TMA测试	相对湿度	液体
DMA 1基本款	所有模式	所有模式	所有模式	所有模式
液氮罐(1L)	•	•		
液氮罐(35L)	•	•		
湿度炉体			•	
湿度发生器			•	
液体池				•
循环加热池或冷却器			•	•

极具灵活性的DMA 可进行DMA和TMA测试

DMA理论

模量是由施加力的振幅 F_a 、测量的位移振幅 L_a 以及力和位移之间相位差通过计算得到。模量的类型有：

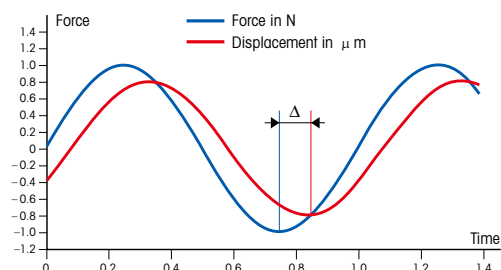
- 复合模量 M^* ，(拉伸模式：弹性模量 E^* ；剪切模式：剪切模量 G^*)
- 储能模量 M' ，(与储存的弹性能量和可恢复能量成正比)
- 损耗模量 M'' ，(与转变成热能以及不可恢复的能量损失成正比)

然后模量值可以用来计算损耗因子($\tan \delta$)，它是损耗模量 M'' 和储能模量 M' 的比值。完全弹性的材料的损耗因子为0，而完全粘性材料的损耗因子为无穷大($\delta = 90^\circ$)。

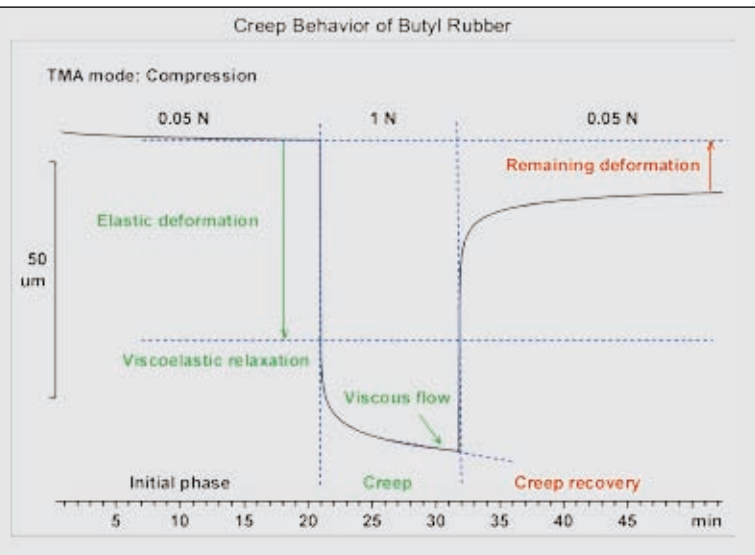
DMA通过测得的刚度 $S(N/m)$ 和几何因子 g 计算模量。刚度 S 是实际测定的数值。

$$M' = |M^*| \cos \delta \quad M'' = |M^*| \sin \delta \quad \tan \delta = M'' / M'$$

$$|M^*| = S * g = F_0 / L_0 * g; \quad \text{刚度 } S = F_0 / L_0$$



频率 f 为1Hz时的力和位移。使用公式 $\delta = 2\pi f \Delta$ ，可以从时间滞后 Δ 中计算出相位差 δ 。



热机械测试

DMA 1可以进行TMA测试(使用静态力)。样品支架和样品夹具的安装方式与进行DMA测试时完全相同。一些典型的TMA测试包括：

• 蠕变/恢复测试

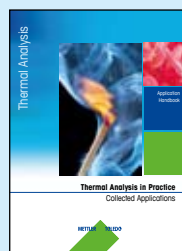
在样品上突然施加一个大的静态力。经过一定时间后，移除这个力，并且测试样品的恢复情况与时间的关系。

• 应力-应变图

测量拉伸应力(在样品单位面积上施加的力)和由此产生的应变，并且绘制成图。通常，曲线的起始部分是线性的，因为形变的程度较低。而大形变情况下的行为就更为复杂并且不再是线性的，直到样品最终断裂。

• 形变-松弛图

这种等温测试显示了样品在静态力作用下达到平衡状态之前形变发生的快慢。可以从图中计算出松弛时间。



技术支持的重要性

梅特勒-托利多不仅能够提供卓越的测试仪器而且可以提供您工作中所需要的技术支持服务。我们经过严格培训的技术应用工程师和服务工程师时刻准备着为您提供任何可能的帮助：

- 维修与维护
- 校准与调节
- 培训与应用建议
- 仪器认证

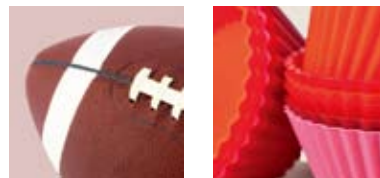
梅特勒-托利多还为您提供综合性的热分析文献及应用。

DMA在许多应用领域 提供您所需的答案

DMA 1是进行动态力学分析以及材料表征的理想仪器，甚至可以在液体中测试样品或者在特定的相对湿度下进行测试。它能帮助您完成许多应用实验并且为质量控制以及工业/科学研究提供宝贵的信息。

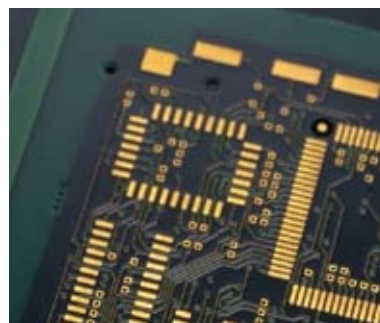
在实际使用过程中，材料会经受许多不同大小的力。这其中最重要的因素为应力强度的时间依赖性、温度以及施加应力的环境。

材料、药物以及食品等。样品可以是固体也可以是高粘度材料。



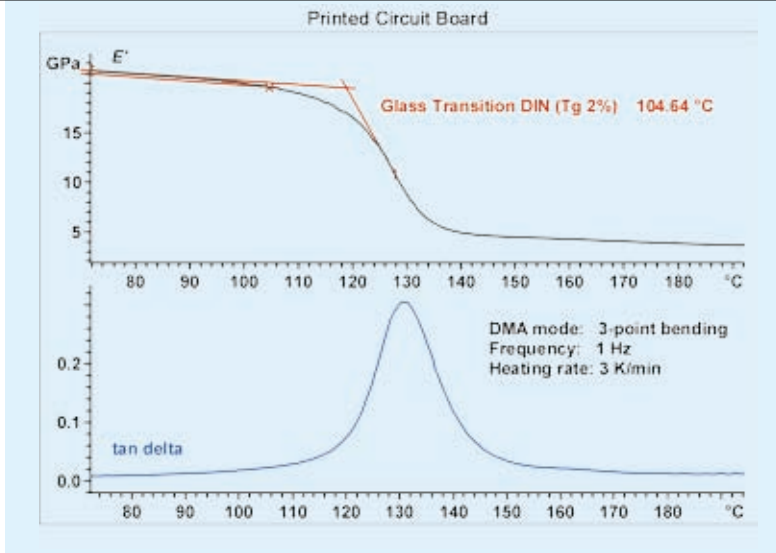
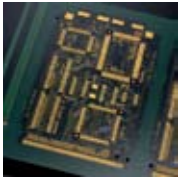
动态热机械分析可用于解答稳定性、实际应用范围、生产过程、质量控制以及材料失效和缺陷等方面的问题。

DMA最常分析的材料有热塑性聚合物、热固性树脂、弹性体和粘合剂等，还有金属、复合材料、涂料、油漆、薄膜、纤维、建筑



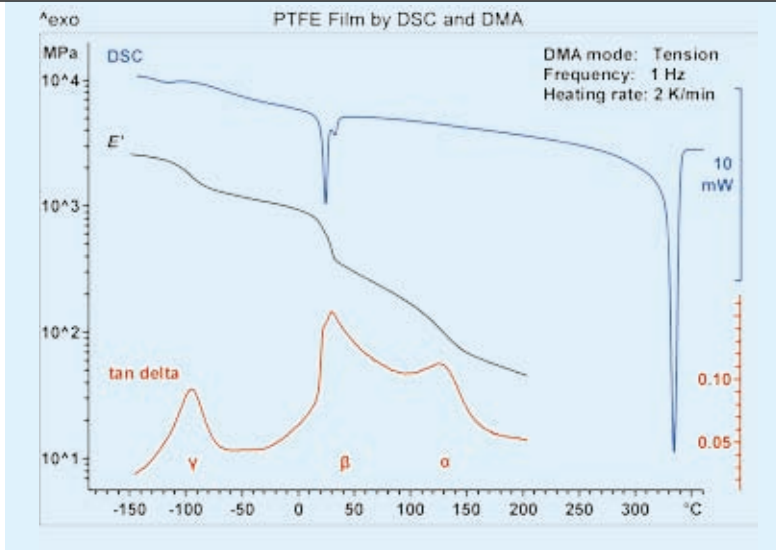
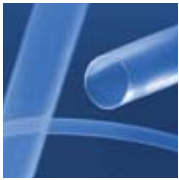
使用DMA 1可以表征的热效应和性能:

- 粘弹性行为
- 松弛行为
- 玻璃化转变
- 机械模量
- 阻尼行为
- 软化
- 粘流行为
- 结晶和熔融
- 凝胶化
- 相转变
- 共混物组分
- 固化和聚合反应
- 材料缺陷
- 填料效应



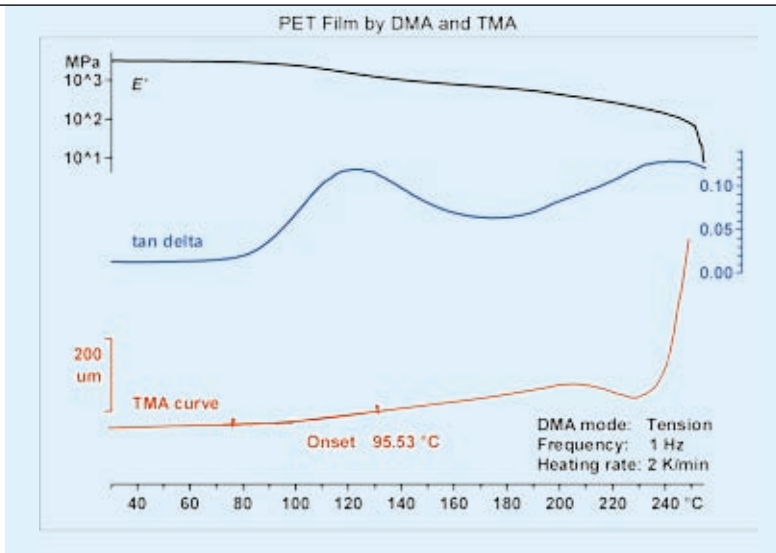
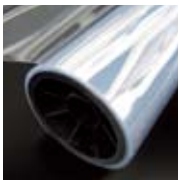
复合材料

复合材料是由聚合物基底材料以及增强填料结合而成，在其使用温度范围内具有极高的储能模量。通常使用三点弯曲模式测试复合材料的模量。上面的黑色曲线显示了印刷电路板的储能模量。在温度为70°C和频率为1Hz的条件下测得的储能模量值为21.1GPa。这条曲线还显示了样品在经历玻璃化转变时的软化过程，储能模量降至5GPa以下。储能模量的台阶对应于损耗因子($\tan \delta$)的峰。



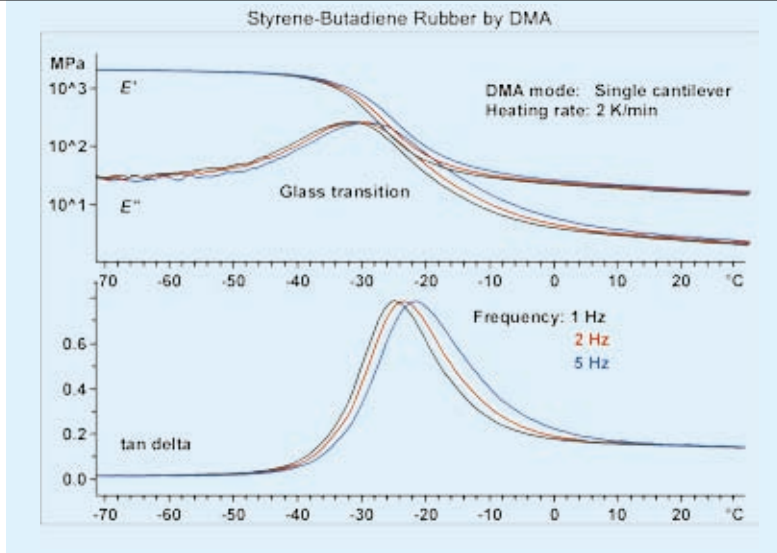
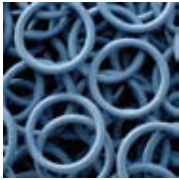
PTFE的相转变

PTFE的DSC曲线显示了在大约-100°C和30°C的相转变以及327°C的熔融峰。使用DMA的拉伸模式也可以测试PTFE的相转变。除此之外，在DMA曲线上还可以观察到130°C处的玻璃化转变。使用这两种热分析技术测得的相转变温度非常吻合。



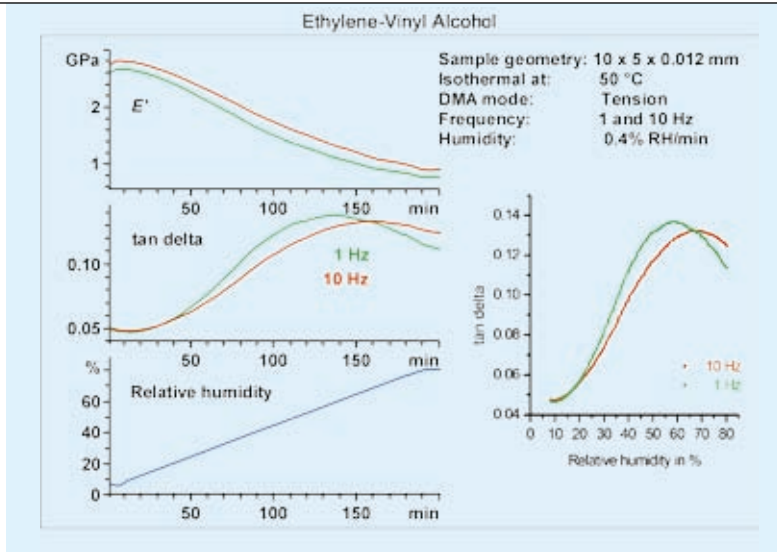
PET薄膜

这张图显示了使用拉伸模式在1Hz频率下测得的PET薄膜的DMA曲线。这种曲线常用于进行产品质量控制。由于结晶，从80°C到150°C的玻璃化转变范围内，PET薄膜的储能模量只降低了大约1个数量级。当PET薄膜在230°C开始熔融时，模量进一步降低。在 $\tan \delta$ 曲线上显示出一个玻璃化转变松弛峰。下方的曲线是用TMA模式测试的，显示了薄膜的长度变化。曲线的斜率在玻璃化转变起始温度处(95°C)发生变化。PET薄膜在210°C到230°C之间发生收缩。



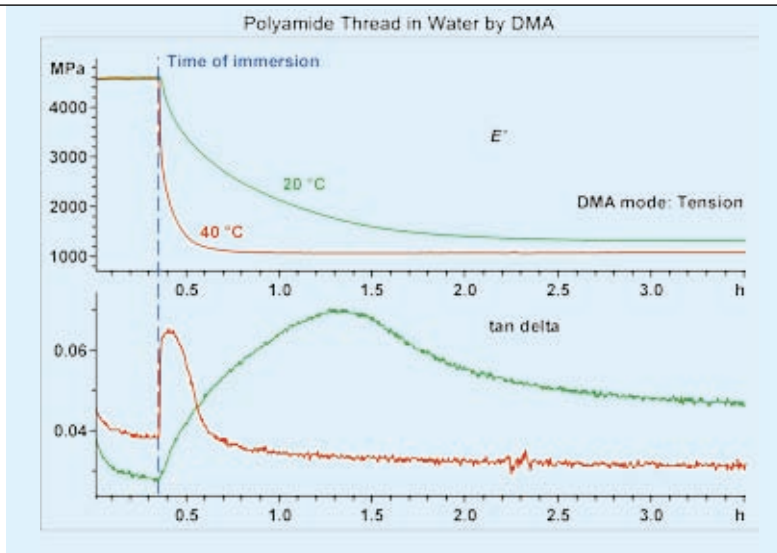
丁苯橡胶

丁苯橡胶(SBR)常用于制造汽车轮胎和垫圈。使用单悬臂模式在1Hz, 2Hz和5Hz的频率下对丁苯橡胶样品进行测试。可以看出玻璃化转变发生在大约-20°C并且可以确定该材料的最低使用温度。Tan δ 曲线也清楚的显示了玻璃化转变的频率依赖性。随着频率的提高, 玻璃化转变也向高温偏移。在玻璃化转变期间, 储能模量降低了大约两个数量级。



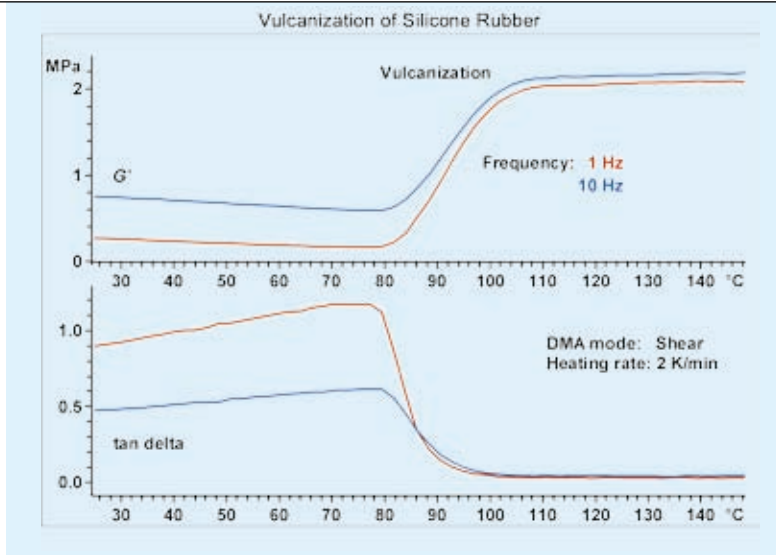
相对湿度的影响

由于乙烯-乙烯醇(EVOH)共聚物对氧气和水蒸气具有优良的阻隔性能, 因此常被用于食品的包装薄膜。由于EVOH是吸湿性的, 吸收的水分会起到增塑剂的作用, 因此薄膜的阻隔性能会受到含水量的影响。在50°C进行的等温DMA测试显示, 由于相对湿度增加导致储能模量降低。Tan δ 曲线上的峰是由于相对湿度的增加导致玻璃化转变温度降低。由于玻璃化转变温度是具有频率依赖性的, 在较低频率下测得的峰出现在较低的相对湿度下。



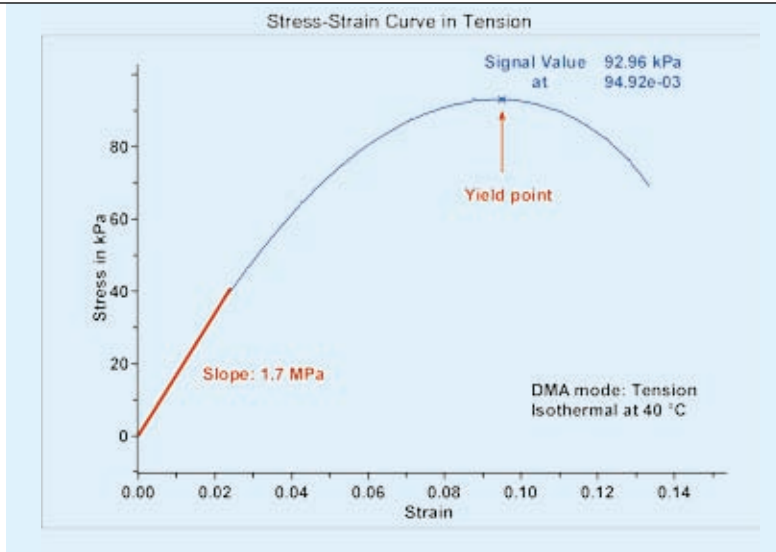
水中的尼龙绳

当和液体接触时, 许多材料的力学性能都会发生显著的变化。在一些液体中聚合物会变硬变脆, 而另一些液体又会扮演增塑剂的角色。DMA 1可以测试当样品完全浸没在液体中时的机械行为。这张图显示了尼龙绳在水中, 温度分别为20°C和40°C时的行为。由于吸水导致玻璃化转变温度降低。模量曲线显示尼龙绳在40°C的软化过程发生的比在20°C更快。



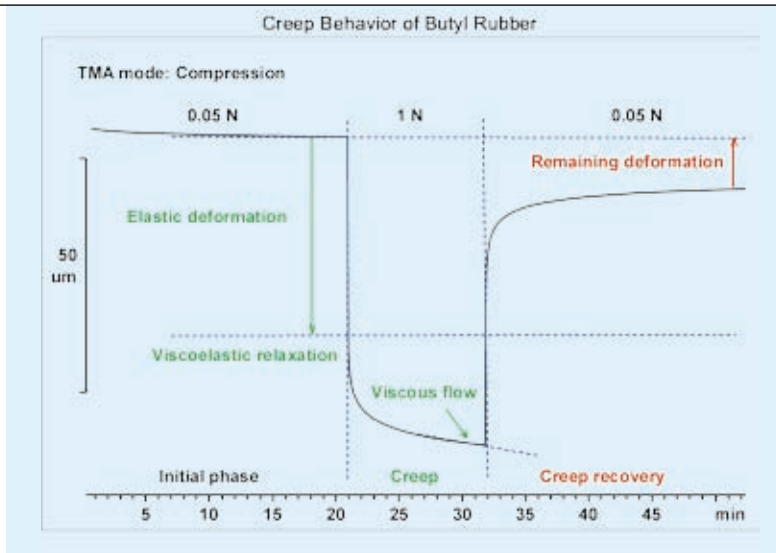
硅橡胶

硫化过程将粘流态的液体转变为具有较低模量的橡胶态弹性体。在DMA曲线上能够清楚地体现出这种材料性能的改变。这张图显示了使用剪切模式在1Hz和10Hz的频率下测得的硅橡胶的储能模量曲线和 $\tan \delta$ 曲线。硫化过程发生在80°C到90°C之间。曲线显示了在硫化过程中储能模量提高，而 $\tan \delta$ 出现明显的降低。硫化之后材料的弹性比硫化之前更强。



应力-应变曲线

材料在大形变范围内的准稳态机械性能通常是使用拉伸模式进行应力-应变测试得到的。这张图显示了在40°C进行老化的丁苯橡胶(SBR)的测试曲线。在较低形变时，应力和应变呈线性关系。线性范围内，当形变达到2%时的曲线斜率就是样品的弹性模量，1.7MPa。在非线性范围内，曲线趋于平坦并且模量降低。应力的最大值就是熟知的屈服点。



蠕变性为

一个弹性体的恢复性能对其是否适合作密封材料是至关重要的。这个测试的样品是丁基橡胶(IIR)。最初，在样品上施加0.05N的力。然后突然增加至1N。由此导致的形变包含三个部分：瞬时弹性形变，与时间有关的粘弹性松弛，以及粘性流动。将施加的力移除之后仍残留的形变就是由于粘性流动导致的永久形变。像这种弹性体就只能在有限的情况下当做密封圈和垫圈使用。

DMA 1技术指标

温度	
温度范围	-190°C到600°C
温度分辨率	0.1K
温度准确度	0.75K
升温速率	0.1K/min到20K/min
降温速率	0.1K/min到30K/min

力值	
力值范围	±0.001N到±10N
力值分辨率	0.25mN
力值灵敏度	1mN

位移	
位移范围	±1mm
位移分辨率	2nm
位移灵敏度	30nm

刚度	
刚度范围	50N/m到10 ⁵ N/m
刚度精度	0.50%

Tan δ	
Tan δ 范围	0.0001到50
Tan δ 分辨率	0.00001
Tan δ 灵敏度	0.0001

频率	
频率范围	0.001Hz到300Hz
频率分辨率	0.0001Hz
频率准确度	0.001Hz
频率模式	<ul style="list-style-type: none"> • 对数和线性扫描 • 多频率(序列)

最大样品长度	
样品长度	55mm

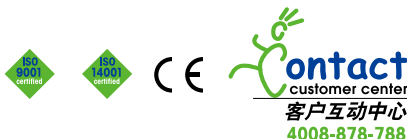
液体池附件	
温度范围	-20°C到80°C

湿度附件	
温度范围	5°C到80°C
湿度范围	5%RH到80%RH (在80°C)

符合

IEC/EN61010-1:2001, IEC/EN61010-2-010:2003
 CAN/CSA-C22.2 No.61010-1-04&-2-010
 UL Std. No.61010-1 (2nd Edition)
 IEC61326-1:2005/EN61326-1:2006 (class B)
 IEC61326-1:2005/EN61326-1:2006 (Industrial Environment)
 FCC, part 15, class A
 AS/NZS CISPR 22, AS/NZS 61000.4.3
 Conformity Mark: CE

访问网站, 获得更多信息



梅特勒-托利多 实验室/过程检测/产品检测设备

地址: 上海市桂平路589号
 邮编: 200233
 电话: 021-64850435
 传真: 021-64853351
 E-mail: ad@mt.com

工业/商用衡器及系统

地址: 江苏省常州市新北区
 太湖西路111号
 邮编: 213125
 电话: 0519-86642040
 传真: 0519-86641991
 E-mail: ad@mt.com

西安分公司
 电话: 029-87203500
 传真: 029-87203501

广州分公司
 电话: 020-32068786
 传真: 020-32069978

长春分公司
 电话: 0431-84664598
 传真: 0431-84649901

济南分公司
 电话: 0531-86027658
 传真: 0531-86027656

天津分公司
 电话: 022-23268844
 传真: 022-23268484

北京分公司
 电话: 010-58523688
 传真: 010-58523699

成都分公司
 电话: 028-85975916
 传真: 028-85975125

武汉分公司
 电话: 027-85712292
 传真: 027-83800051

重庆分公司
 电话: 023-62955091
 传真: 023-62955087

南京分公司
 电话: 025-86898266
 传真: 025-86898267

梅特勒-托利多始终致力于其产品功能的改进工作。基于该原因, 产品的技术规格亦会受到更改。如遇上述情况, 恕不另行通知。
 12320542 Printed in P.R. China 2012/10