



中华人民共和国国家标准

GB/T 1041—2008/ISO 604:2002
代替 GB/T 1041—1992, GB/T 14694—1993

塑料 压缩性能的测定

Plastics—Determination of compressive properties

(ISO 604:2002, IDT)

2008-09-04 发布

2009-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 原理	3
5 设备	4
6 试样	5
7 试样的数目	6
8 试样的状态调节	6
9 试验步骤	6
10 结果的计算和表示	8
11 精密度	9
12 试验报告	9
附录 A (规范性附录) 小试样	10
附录 B (资料性附录) 压缩翘曲极限	11
附录 C (规范性附录) 变形量的修正	12
参考文献	13

前 言

本标准等同采用国际标准 ISO 604:2002《塑料——压缩性能的测定》(英文版)。本标准在技术内容和编写方法上与 ISO 604:2002 完全一致,根据我国国情作了一些编辑性修改:

- a) 删除了国际标准的前言;
- b) 用“本标准”代替“本国际标准”;
- c) 对于 ISO 604:2002 引用的其他国际标准中有被等同采用为我国标准的,本标准用引用我国的这些国家标准代替对应的国际标准,其余未有等同采用为我国标准的国际标准,在本标准中均被直接引用。

本标准代替 GB/T 1041—1992《塑料压缩性能试验方法》(idt ISO 604:1973)和 GB/T 14694—1993《塑料压缩弹性模量的测定》,与 GB/T 1041—1992 和 GB/T 14694—1993 相比,主要技术差异如下:

- 更改了标准名称,增加了目次、前言;
- 扩大了适用范围;
- 增加了规范性引用文件;
- 增加了术语和定义并给出相应的符号;
- 修订后标准试样尺寸与修订前标准试样尺寸不同;
- 确定了模量测定的应变取值范围;
- 对注描述的单位均编放入正文;
- 增加了试验报告的内容。

本标准的附录 A 和附录 C 为规范性附录,附录 B 为资料性附录。

本标准由中国石油和化学工业协会提出。

本标准由全国塑料标准化技术委员会(SAC/TC 15)归口。

本标准负责起草单位:国家合成树脂质量监督检验中心、广州合成材料研究院有限公司。

本标准参加起草单位:北京燕山石化树脂所、中石化北化院国家化学建筑材料测试中心(材料测试部)、广州金发科技股份有限公司。

本标准主要起草人:黄正安、施雅芳、王浩江、陈宏愿、李建军、邢进。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 1041—1970,GB/T 1041—1979,GB/T 1041—1992;
- GB/T 14694—1993。

塑料 压缩性能的测定

1 范围

本标准规定了在标准条件下测定塑料压缩性能的方法。规定了标准试样,但其长度可以调整,以防止其压缩翘曲而影响试验结果,以及试验速度的范围。

本标准用于研究试样的压缩行为并用来测定在标准条件下压缩应力-应变与压缩强度、压缩模量及其他特性的关系。

本标准适用于下述材料:

- 硬质和半硬质热塑性模塑和挤塑材料,包括用短纤维、小条、小片或颗粒填充的增强复合材料以及未填充的复合材料或半硬质的热塑性片材;
- 硬质或半硬质的热固性模塑材料,包括填充或增强的复合材料,硬质或半硬质的热固性片材;
- 热致液晶聚合物。

按照 ISO 10350-1:1998 与 GB/T 19467.2—2004,本标准适用于加工前纤维长度 ≤ 7.5 mm 的纤维增强复合材料。

本标准一般不适用于纺织纤维增强的复合塑料和层压材料、硬质泡沫材料和含有泡沫材料或泡沫橡胶的夹层结构的材料。

本标准采用的试样可以是选定尺寸的模塑试样,也可以是用标准多用途试样中部机加工而成的试样(GB/T 11997—2008)或由如模塑、挤塑或铸塑成板材的成品或半成品上机加工而成。

本标准规定了优选的试样尺寸。用不同的试样或用不同条件下制备的试样所进行的试验,其结果是不可比较的。其他因素,如试验速度和状态调节情况,也能影响试验结果。因此,当需要对试验数据进行比较时,应严格地控制这些因素并把它们记录下来。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB/T 2918—1998 塑料试样状态调节和试验的标准环境(idt ISO 291:1997)
- GB/T 5471—2008 塑料 热固性塑料试样的压塑(ISO 295:2004, IDT)
- GB/T 9352—2008 塑料 热塑性塑料材料试样的压塑(ISO 293:2004, IDT)
- GB/T 11997—2008 塑料 多用途试样(ISO 3167:2002, IDT)
- GB/T 17037.1—1997 热塑性塑料材料注塑试样的制备 第1部分:一般原理及多用途试样和长条试样的制备(idt ISO 294-1:1996)
- GB/T 17200—1997 橡胶塑料拉力、压力、弯曲试验机技术要求(idt ISO 5893:1993)
- GB/T 19467.2—2004 塑料 可比单点数据的获得和表示 第2部分:长纤维增强材料(ISO 10350-2:2001, IDT)
- ISO 2602:1980 试验结果的统计分析——平均值的估算——置信区间
- ISO 2818:1994 塑料——用机械加工方法制备试样
- ISO 10350-1:1998 塑料——可比单点数据的采集和表示——第1部分:模塑材料
- ISO 10724-1:1998 塑料——热固性粉状模塑料(PMCs)试样的注塑——第1部分:一般原理和多用途试样的模塑

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

标距 gauge length

L_0

试样中间部分两个标线之间的初始距离,单位为毫米(mm)。

3.2

试验速度 test speed

v

在试验过程中,试验机的两压板相互接近的速率,单位为毫米每分钟(mm/min)。

3.3

压缩应力 compressive stress

σ

试样单位原始横截面积所承受的压缩负荷,单位为兆帕(MPa)。

注:压缩试验中,应力 σ 和应变 ϵ 是负值。但是通常把负号忽略。若产生混乱,例如比较拉伸和压缩性能,后者可加负号。对标称应变是不必要的。

3.3.1

屈服压缩应力 compressive stress at yield

σ_y

在应变(见 3.4)增加而第一次出现应力不增加时的应力(见图 1、曲线 *a* 和 3.3 的注),单位为兆帕(MPa)。

注:它可能低于能达到的最大应力。

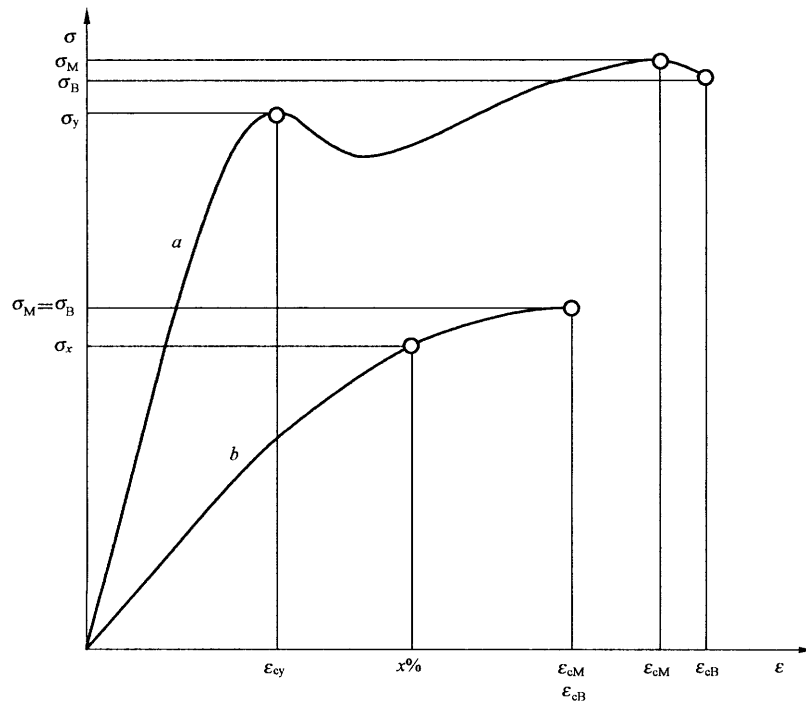


图 1 典型的应力-应变曲线

3.3.2

压缩强度 compressive strength

σ_M

在压缩试验中,试样所承受的最大应力(见图 1 和 3.3 的注),单位为兆帕(MPa)。

3.3.3

破坏时的压缩应力 compressive stress at break (rupture)

σ_B

在试样破裂时的压缩应力(见图 1 和 3.3 的注),单位为兆帕(MPa)。

3.3.4

$x\%$ 应变时的压缩应力 compressive stress at $x\%$ strain

σ_x

应变达到规定值 $x\%$ 时的应力(见 3.5),单位为兆帕(MPa)。

注:例如如果应力-应变曲线无屈服点(见图 1、曲线 b 和 3.3 的注),那么就测量在 $x\%$ 应变时的压缩应力。在这种情况下, x 必须低于压缩强度时的应变值。

3.4

压缩应变 compressive strain

ϵ

每单位原始标距 L_0 的长度的减少量[见 10.2,式(6)和 3.3 的注],为比值或百分数(%)。

3.5

标称压缩应变 nominal compressive strain

ϵ_c

试样每单位原始长度 L 的减少量[见 10.2,式(8)],为比值或百分数(%)。

3.5.1

标称压缩屈服应变 nominal compressive yield strain

ϵ_{cy}

屈服时压缩应力 σ_y (见 3.3.1)所对应的应变,为比值或百分数(%)。

3.5.2

压缩强度时的标称压缩应变 nominal compressive strain at compressive strength

ϵ_{cM}

对应压缩强度 σ_M (见 3.3.2)时的应变,为比值或百分数(%)。

3.5.3

破坏时的标称压缩应变 nominal compressive strain at break

ϵ_{cB}

试样破坏时的应变,为比值或百分数(%)。

3.6

压缩模量 compressive modulus

E_c

应力差($\sigma_2 - \sigma_1$)与对应的应变差($\epsilon_2 - \epsilon_1 = 0.0025 - 0.0005$)之比[见 10.3,式(9)],单位为兆帕(MPa)。

注 1: 压缩模量仅以压缩应变 ϵ (见 3.4)为基础进行计算。

注 2: 借助计算机用两个不同的应力-应变点测定模量 E_c ,即把这两点间曲线经线性回归处理后来表示。

4 原理

沿着试样主轴方向,以恒定的速度压缩试样,直至试样发生破坏或达到某一负荷或试样长度的减少值达到预定值。测定试样在此过程的负荷。

5 设备

5.1 试验机

5.1.1 概述

试验机应符合 GB/T 17200—1997 的规定同时还应满足 5.1.2~5.1.5 的规定。

5.1.2 试验速度

试验机应能保持表 1 规定的试验速度。若采用其他速度,在速度低于 20 mm/min 时,试验机的速度公差应在±20%之内;而速度大于 20 mm/min 时,公差应在±10%之内。

表 1 推荐的试验速度

试验速度 v /(mm/min)	公差/%
1	±20
2	±20
5	±20
10	±20
20	±10 ^a

^a 该公差是小于 GB/T 17200—1997 指示的值。

加速、设备和试验机的变形量都可能影响应力-应变曲线的起始区域,按 9.4 和 9.6 的说明可避免这种情况。

5.1.3 压缩器具

对试样施加变形负荷的两块硬化钢制压缩板应对试样轴向加荷,与轴向偏差在 1:1 000 之内,同时通过抛光的压板表面传递负荷,这些板面的平整度在 0.025 mm 以内,两板彼此平行且垂直于加荷轴。

注:需要时可使用自对中设备。

5.1.4 负荷指示器

负荷指示器应配有一种能指示试样承受总压缩力的装置,该装置在规定的试验速度下基本上无惯性滞后,所指示的总值精度应为示值的至少±1%以内。

注:使用商业化的圆形应变规系统可对由于不对中而可能产生的横向力进行补偿(见 9.3)。

5.1.5 应变仪

应变仪用于测定试样相应部分长度的变化。如果测定压缩应变 ϵ (优先研究),那么这个长度为标距;另外,对于标称压缩应变 ϵ_c ,此长度即为压缩器具两个接触表面间的距离。最好能自动地记录此距离。

仪器在规定的试验速度下应该基本上无惯性滞后。为了测量模量要使用 A 型试样,其精度应为所用应变间距的至少±1%。作为压缩模量的测量,相当于 50 mm 标距的±1 μ m 及 0.2%的应变间距。

当应变仪加配到试样上,避免给试样带来任何微小的变形或损伤,确保应变仪与试样之间也没有任何滑动。

试样也可配有纵向应变规,其精度应为所用应变间隔的至少 1%。对于模量的测量这相当于应变的精度为 2.0×10^{-5} 。应选择所用的应变仪、试样制备方法及黏合剂不影响试验结果。

注:稍不对中及试样原有的翘曲可能会使试样相对面间产生的应变不同,其结果是在低应变下产生误差。在这种情况下,可测量试样两相对面的平均应变。但在试样每一面使用应变仪单独收集的数据时,会发现试样的翘曲和弯曲远快于两相对表面的平均应变。

5.2 测量试样尺寸的装置

5.2.1 硬质材料

用测微计或等效的仪器测量试样厚度、宽度和长度,精确至 0.01 mm。

试样测量台的尺寸和形状应适宜,同时所受力不能改变试样的尺寸。

5.2.2 半硬质材料

用带有能对试样施加(20±3)kPa 压力的平面圆形压脚测微计或等效的仪器测量试样厚度,精确至 0.01 mm。

6 试样

6.1 形状和尺寸

6.1.1 概述

试样应为棱柱、圆柱或管状。试样的尺寸应满足下面的不等式(1)(也可见附录 B):

$$\epsilon_c^* \leq 0.4 \frac{x^2}{l^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ϵ_c^* ——试验时发生的最大压缩标称应变,以比值表示;

x ——取决于试样的形状,圆柱的直径、管的外径或棱柱的厚度(横截面积的最小侧);

l ——平行于压缩力轴测量试样厚度。

注 1: 为了测量 3.6 中定义的压缩模量 E_c ,推荐的比值 $x/l > 0.08$ 。

注 2: 通常进行压缩试验时,推荐的比值 $x/l > 0.4$ 。这相应于约 6% 的最大压缩应变。

式(1)是基于被试材料的应力-应变行为是线性的而得出。随着材料韧性和压缩应变的增加应选择 ϵ_c^* 值高于最大应变的 2~3 倍。

6.1.2 优选试样

表 2 给出优选试样的尺寸。

试样优选由多用途试样(见 GB/T 11997—2008)切取。

不够或受试产品几何形状的制约而不能使用优选试样时,可利用附录 A 中介绍的两种小试样。

表 2 优选类型和试样尺寸

单位为毫米

类型	测量	长度 l	宽度 b	厚度 h
A	模量	50±2	10±0.2	4±0.2
B	强度	10±0.2		

6.2 制备

6.2.1 模塑和挤塑料

应该按照相关材料标准制备试样。有关各方另有协定外,试样应按 GB/T 9352—2008、GB/T 17037.1—1997、GB/T 5471—2008 或 ISO 10724-1:1998 材料直接模塑或直接注塑。

6.2.2 片材

试样应按 ISO 2818:1994 规定的方法由片材机加工而成。

6.2.3 机加工

所有的机加工操作应仔细地进行,以产生光滑的表面。特别要注意机加工使试样的端面平整光滑、边缘锐利清晰,端面垂直于试样的纵轴,其垂直度在 0.025 mm 以内。

试样的最终表面推荐使用车床或铣床加工。

6.2.4 标线

如果使用光学应变仪,则在试样上加上规定长度的两条标线。这些标线距试样中央的距离应近似相等,并且应该使用准确度至少为 1% 的仪器测量两标线之间的距离。

不能在试样上刻划、冲切或压印标线而导致试样损坏。应保证标线的媒质不对被试材料带来有害的影响,并保证两条平行的标线应尽可能窄细。

6.3 试样

试样应无翘曲,表面和边缘无划伤、麻点、缩痕、飞边或其他会影响结果的可见缺陷。朝向压板的两个表面应平行并与纵轴成直角。

借助直尺、规尺和平板,用目视检查试样是否符合这些要求,并用螺旋测微计进行测量。

试验前,应剔除测量或观察到一个或多个不符合上述要求的试样,或将其加工到合适的尺寸和形状。

注:注塑试样通常有 1° 和 2° 间的斜切角以便容易脱模,所以模塑试样的侧边一般不平行。

6.4 各向异性材料

6.4.1 对各向异性材料进行试验时,压缩力应施加到这些产品(模制品、板材、管材等等)使用时的(若知道的话)相同或类似的方向上。

6.4.2 优选试样可以确定试样尺寸和产品尺寸之间的关系,如果不使用优选试样,根据产品尺寸确定试样尺寸,不同于6.1选择的试样尺寸。试样的取向和尺寸有时对试验结果有着非常大的影响,所以应注明取向。

6.4.3 当材料在两个主要方向上显示的压缩性能有重大差别时,则应在这两个方向上进行试验。如果该材料在预定用途中不在任一主方向上而在某个特定的方向上承受压缩力,那么,在该方向上进行试验。应记录试样相对主方向的取向。

7 试样的数目

7.1 对于各向同性的材料,每一样品至少试验5个试样。

7.2 对于各向异性的材料,每一样品至少试验10个试样。其中5个与各向异性的主轴垂直,另外5个与之平行。

7.3 如果试样在某个明显的缺陷处破坏,则应废弃,并更换试样进行试验。

8 试样的状态调节

试样应按照该材料的国家标准的要求进行状态调节。当没有这种要求时,除非有关各方另有商定,应按照GB/T 2918—1998规定的最适合的条件进行。

优选条件为23/50。如果已知材料的压缩性能对湿度不敏感,可不控制湿度。

9 试验步骤

9.1 试验环境

应选择GB/T 2918—1998规定的标准环境之一进行试验,最好与状态调节使用的环境相同。

9.2 试样尺寸的测量

沿着试样的长度测量其宽度、厚度和直径三点,并计算横截面积的平均值。测量每个试样的长度应准确至1%。

9.3 装样

把试样放在两压板之间,使试样中心线与两压板中心连线一致,应保证试样的两个端面与压板平行。调整试验机使试样端面刚好与压板接触。

在压缩过程中,试样端面可能沿着压板滑动,其滑动的变化程度取决于试样与压板的表面结构。这将导致不同程度的桶形变形,影响所测的结果。材料的硬度越小,这种影响越明显。

更精确的测量,建议在试样各端面用适当的润滑剂以促进滑动;或者在试样和压板之间垫上细砂纸,以阻止滑动。无论采用何种方法,都应在试验报告中注明。

9.4 预负荷

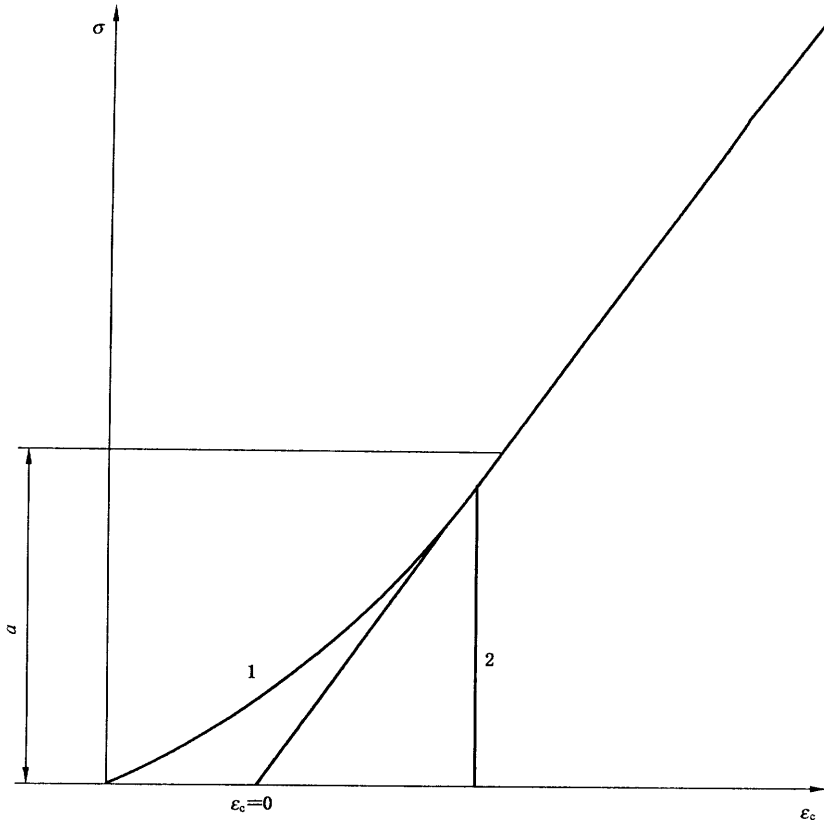
试验前试样基本上不应加负荷,但是为避免应力-应变曲线起始部分出现弯曲区域,这样的负荷是必须的。测量模量时,开始试验的压缩应力 σ_0 (见图 2)应在下述范围内:

$$0 \leq \sigma_0 \leq 5 \times 10^{-4} E_c \quad \dots\dots\dots (2)$$

相应的预应变 $\epsilon_{c0} \leq 0.05\%$ 。而当测量诸如 σ_M 的特性时,其应处在下式的范围内:

$$0 \leq \sigma_0 \leq 10^2 \sigma_M \quad \dots\dots\dots (3)$$

注:高度黏弹、韧性材料,如聚乙烯、聚丙烯或吸潮的聚酰胺的压缩模量明显地受预应力的影响。



1——应力-应变曲线起始部分示出的弯曲区域。

2——由于只能在高于启动范围才能进行力的测量,应力-应变图起始部分示出的阶跃值。

$$a \leq 5 \times 10^{-4} E_c \text{ 或 } \leq 10^{-2} \sigma_M.$$

图 2 具有初始弯曲区域和一个阶跃的应力-应变曲线和确定零应变点的示例

9.5 试验速度

按照材料规范调整试验速度 v (见 3.2),以毫米每分钟(mm/min)表示。当没有材料规范时,调整到由表 1 给出的最接近以下关系式的值:

$v=0.02l$,用于模量测定;

$v=0.1l$,用于在屈服前破坏的材料强度测定;

$v=0.5l$,用于有屈服的材料强度的测定。

对于优选试样(见 6.1.2),试验速度为:

1 mm/min($l=50$ mm),用于模量的测量;

1 mm/min($l=10$ mm),用于屈服前就破坏的材料强度测量;

5 mm/min($l=10$ mm),用于具有屈服的材料强度测量。

9.6 数据的记录

在试验过程中,测定试样的力(应力)和相应的压缩量(应变),最好使用自动记录系统获得一条完整的应力-应变曲线系统。

由试验时记录的应力-应变数据,按第3章的定义测定相关的应力和应变。如果在应力-应变图的起始部分发现弯曲区,检查是否超出9.4给出的预应力范围。如果不能对试样直接测量压缩量,那么就应按附录C修正试验机的变形量。

10 结果的计算和表示

10.1 应力

用式(4)计算3.3定义的应力参数:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- σ ——应力参数,单位为兆帕(MPa);
- F ——测出的力,单位为牛顿(N);
- A ——试样的原始面积,单位为平方毫米(mm²)。

10.2 应变

10.2.1 应变(用伸长仪测量)

用式(5)、式(6)计算3.4定义的压缩应变参数:

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \dots\dots\dots(5)$$

或

$$\epsilon(\%) = 100 \times \frac{\Delta L_0}{L_0} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- ϵ ——应变参数,为比值(式5)或百分数(%);
- ΔL_0 ——试样标距间长度的减量,单位为毫米(mm);
- L_0 ——试样的标距,单位为毫米(mm)。

10.2.2 标称应变(由十字头的移动测量)

用式(7)、式(8)按3.5的定义计算的标称应变:

$$\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(7)$$

或

$$\epsilon_c(\%) = 100 \times \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- ϵ_c ——标称压缩应变,为比值(式7)或百分数(%);
- ΔL ——压缩板间距离的减量,单位为毫米(mm);
- L ——压缩板间的初始距离,单位为毫米(mm)。

如果不能用适当的位移传感器直接测量压板间的 ΔL ,但是可利用,例如试验机十字头的位移,应对测定的 ΔL (见附录C)施加试验机变形量的修正。

如果在应力-应变图的起始部分发现弯曲区,由稍高于9.4所述的起始应力处(见图2)外推至零应变。

10.3 压缩模量

按照 10.2.1 所确定的两个规定的应变值,按式(9)计算 3.6 定义的压缩模量:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \dots\dots\dots(9)$$

式中:

E_c ——压缩模量,单位为兆帕(MPa);

σ_1 ——应变值 $\epsilon_1 = 0.0005$ 时测量的应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_2 ——应变值 $\epsilon_2 = 0.0025$ 时测量的应力值,单位为兆帕(MPa)。

借助计算机用两个不同的应力-应变点测定模量 E_c ,即把这两点间曲线经线性回归处理后来表示。

10.4 统计学参数

计算 5 个试验结果的算术平均值。如果需要,按照 ISO 2602:1980 规定的步骤计算标准偏差和 95%置信区间的平均值。

10.5 有效数字

应力和压缩模量精确到三位有效数字,压缩应变计算到两位有效数字。

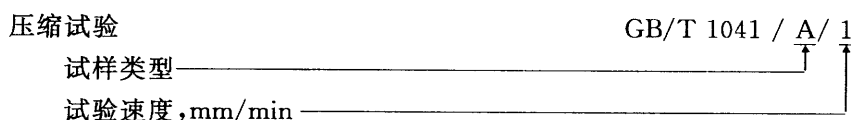
11 精密度

本试验方法的精密度由于实验室间数据尚未得到,故还不知晓。在收到实验室间数据后,等下次修订时,将加进有关精密度的说明。

12 试验报告

试验报告应包括下列内容:

a) 注明采用本标准,按照下图模式加上试样类型和试验速度:



b) 标识被试已知材料完整的鉴别说明,包括类型、来源、制造厂;

c) 被试材料的性质和形状的叙述,即是成品还是半成品,是试板还是试样。这里应该包括主要尺寸、形状、制造方法、层数、预处理情况等等;

d) 如果适用,给试样的宽度、厚度和长度的平均值、最小值和最大值;

e) 制备试样所用方法的细节;

f) 如果材料是成品或半成品,则注明从这些成品或半成品上切取的方位;

g) 受试试样的数量;

h) 状态调节和试验所用的环境,如果需要,加上材料或产品所用的标准实行的特殊的状态调节条件;

i) 试验机的精度等级(见 GB/T 17200—1997);

j) 所用的应变仪的型号;

k) 所用压缩装置的类型;

l) 是否在端面上使用了润滑剂或砂纸;

m) 所测的第 3 章所定义的压缩性能的各个试验数据;

n) 用作受试材料的指示值的所测每种性能的平均值;

o) (可选择的)标准偏差和(或)变异系数和(或)平均值的置信区间;

p) 是否有试样剔除或被代替,若有说明其理由是什么;

q) 试验日期。

附 录 A
(规范性附录)
小试样

A.1 由于材料可得到的数量或由于成品的尺寸的制约,制备第 6 章所规定的试样可能做不到。在这种情况下,可以使用本附录所述的小试样进行试验。

A.2 应指明,用小试样得到的结果与用标准尺寸试样得到的结果将是不同的。

A.3 小试样的使用应由有关各方商定,并在试验报告中注明。

A.4 除下面注明的以外,应按照本标准中标准试样进行试验。

这种小试样的标准尺寸,应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 小试样的标称尺寸

单位为毫米

尺 寸	1 型	2 型
厚度	3	3
宽度	5	5
长度	6	35

2 型试样仅应用于作压缩模量的测定,在这种情况下,推荐使用 15 mm 的标距以便于测量。

附录 B
(资料性附录)
压缩翘曲极限

按照尤勒(Euler)的理论,对于两端固定的试样,受试材料的应力—应变行为是线性时,开始发生弯曲时计算的临界轴向压缩应力 F^* 按式(B.1)计算:

$$F^* = \frac{\pi^2 E_c I}{l^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- F^* —— 临界弯曲负荷,单位为牛顿(N);
- I —— 横截面的二次矩,单位为毫米的四次方(mm^4);
- E_c —— 压缩模量,单位为牛顿每平方米(N/mm^2);
- l —— 试样长度,单位为毫米(mm)。

在纵向弯曲时,临界力能被对应的标称应变取代,可按式(B.2)计算:

$$F^* = E_c \times A \times \epsilon_b \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- A —— 横截面积,单位为平方毫米(mm^2);
- ϵ_b —— 发生纵向弯曲时的标称应变(无量纲)。

这里给出的是临界弯曲应变,它仅仅取决于试样尺寸,并按照式(B.3)计算:

$$\epsilon_b = \frac{\pi^2}{12} \times \frac{I}{Al^2} \dots\dots\dots (B.3)$$

对于不同类型的试样形状,式(B.3)可表示为式(B.4)、式(B.5)的形式:

a) 对于直棱柱:

$$\epsilon_b = \frac{\pi^2}{12} \times \left(\frac{h}{l}\right)^2 \dots\dots\dots (B.4)$$

b) 对于圆柱和管子:

$$\epsilon_b = \frac{\pi^2}{4} \times \left(\frac{r}{l}\right)^2 \times \left[l + \left(\frac{r_i}{r}\right)^2\right] \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

- l —— 直棱柱、圆柱或管子的长度,也就是与压缩力方向平行的尺寸,单位为毫米(mm);
- h —— 直棱柱的厚度,也就是横截面的最小侧的厚度,单位为毫米(mm);
- r —— 圆柱的半径或管子的外半径,单位为毫米(mm);
- r_i —— 管子的内半径(对于圆柱体, $r_i = 0$)。

和圆柱体相比,管子的附加稳定性不能应用式(B.5),因为薄壁管根据附加的纵向弯曲模式的破坏在此没有讨论。在式(B.4)和(B.5)中所用的数值因子分别等于 0.8 和 0.6。因为这些公式仅仅给出纵向弯曲应变的粗略估计,它们近似于 6.1.1 中通用不等式,在不等式(1)中选取的数值因子,已经减小到可以避免弯曲。

附录 C
(规范性附录)
变形量的修正

如果压板间的距离的减小量 ΔL 不能直接测量,而应用精密地记录试验机两十字头之间的位移 s 来代替,那么,这个位移差值应对试验机的变形量 C_M (见注 1) 进行修正。 C_M 是利用已知压缩模量 (见注 2) 的高硬度参比材料 (如钢板) 制造的侧面平行的试条或直棱柱进行测量。位移 s 用式 (C. 1)、式 (C. 2) 计算:

$$\Delta L = s - C_M F \quad \dots\dots\dots (C. 1)$$

及

$$C_M = \frac{s_R}{F} - \frac{L_R}{(b_R d_R) E_{CR}} \quad \dots\dots\dots (C. 2)$$

式中:

- ΔL ——压缩板间距离的减小量,单位为毫米(mm);
- s ——试验机上两个选择点间的变化,单位为毫米(mm);
- C_M ——选择点间试验机的变形量,单位为毫米每牛顿(mm/N);
- s_R ——当利用参比试样时,选择点间的距离变化,单位为毫米(mm);
- F ——力,单位为牛顿(N);
- E_{CR} ——参比材料的压缩模量,单位为兆帕(MPa);
- L_R ——压缩板间起始距离,单位为毫米(mm);
- b_R ——参比试样宽度,单位为毫米(mm);
- d_R ——参比试样厚度,单位为毫米(mm)。

应保证在相关力的范围内变形量 C_M 是个常数。在此假定下试验机的变形是个简单的线性关系 ($s = C_M \times F$), 由于设备的影响发生在一个或多个元件上,试验机的这种假定可能是不正确的。

注 1: 试验机的三个部件对其变形量 C_M 有着影响,通常影响最大的是夹具,次之是力传感器而最小的是试验机机架。

注 2: 在试验机变形量测量中所遇到的应力,假定参比材料的压缩模量与拉伸模量相同。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2035 塑料 术语及其定义(GB/T 2035—2008,ISO 427:1999,IDT)
 - [2] GB/T 20672—2006 硬质泡沫塑料 在规定负荷和温度条件下压缩蠕变的测定(ISO 7616:1986,IDT)
 - [3] ISO 3597-3:2003 纺织玻璃纤维增强塑料——有粗纱增强树脂制造的棒材机械性能的测定——第3部分:压缩强度的测定
 - [4] ISO 7743:2008 硫化橡胶或热塑性塑料压缩应力应变性能的测定
 - [5] ISO 14126:1999 纤维增强塑料复合材料——平面压缩性能的测定
-