



中华人民共和国国家标准

GB/T 33820—2017/ISO 17340:2014

金属材料 延性试验 多孔状和蜂窝状金属高速压缩试验方法

Metallic materials—Ductility testing—
High speed compression test for porous and cellular metals

(ISO 17340:2014, IDT)

2017-05-31 发布

2017-12-01 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

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 17340:2014《金属材料 延性试验 多孔状和蜂窝状金属高速压缩试验方法》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 16825.1—2008 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准(ISO 7500-1:2004, IDT)；
- GB/T 31930—2015 金属材料延性试验 多孔状和蜂窝状金属压缩试验方法(ISO 13314:2011, IDT)。

本标准做了下列编辑性修改：

- 在 6.2 中增加了“注：孔隙率明显不均匀时可适当提高倍数”[见 6.2 b)]。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：湖北出入境检验检疫局、武汉钢铁股份有限公司、中国飞机强度研究所、东南大学、江汉大学文理学院。

本标准主要起草人：张春亚、李荣峰、关淑萍、何思渊、李智、张国辉、刘小川、李继高、戴戈、丁志尧。

引 言

多孔状和蜂窝状金属因其独特的胞状孔结构,具有优异的特性。当多孔状和蜂窝状金属用作汽车的冲击吸收能量部件时,其高速压缩特性对于工业设计来说是必要的。多孔状和蜂窝状金属材料的高速压缩变形与其静态压缩特性明显不同。因此,静态压缩变形的试验方法不适用于高速压缩试验,建立多孔状和蜂窝状金属材料的高速压缩标准化试验方法势在必行。

金属材料 延性试验

多孔状和蜂窝状金属高速压缩试验方法

1 范围

本标准规定了室温条件下多孔状和蜂窝状金属高速压缩试验方法。

本标准适用于具有 50% 或更高孔隙率的多孔状和蜂窝状金属。本试验方法应用的速度范围为 0.1 m/s~100 m/s(当试样高度为 100 mm 时,初始应变速率则为 $1\text{ s}^{-1}\sim 10^3\text{ s}^{-1}$)。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 376 金属材料 单轴试验机检验用标准测力仪的校准(Metallic materials—Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines)

ISO 7500-1 金属材料 静力单轴试验机的检验 第 1 部分:拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准(Metallic materials—Verification of static uniaxial testing machines—Part 1: Tension/compression testing machines—Verification and calibration of the force-measuring system)

ISO 13314 金属材料 延性试验 多孔状和蜂窝状金属的压缩试验(Metallic materials—Ductility testing—Compression test for porous and cellular metals)

ISO 80000-1 量和单位 第 1 部分:总则(Quantities and units—Part 1:General)

3 术语和定义

ISO 13314 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

试验速度 test speed

给试样施加压力时,压板接触试样的速度。

3.2

初始应变速率 initial strain rate

试验速度除以试样的初始高度所得的值。

3.3

采样频率 sampling frequency

单位时间内测量数据采样的次数。

3.4

跌落高度 drop height

落锤冲击试验设备中压头施加压力的平面与试样上表面的初始距离。

3.5

行程 approach length

伺服式高速压缩试验设备中压板施加压力的平面与试样上表面的初始距离。

4 原理

本试验以 0.1 m/s~100 m/s 的速度向多孔状和蜂窝状金属材料施加冲击力,测量压缩力和位移,以此来评估试样的高速压缩变形特性,如平台应力以及吸收能量等。多孔状和蜂窝状金属施加高速压缩力的试验方法包括落锤冲击试验和伺服式高速压缩试验。

落锤冲击试验通过使落锤从指定高度落下来施加压缩力,试验速度由跌落高度控制。需要注意的是,在压缩变形过程中落锤会减速。当指定试验速度所需要的跌落高度无法实现时,可以给落锤施加一个初始速度。

伺服式高速压缩试验通过液压式或电动式高速伺服设备施加压缩力并控制试验机速度,驱动装置应能够跟踪试验速度。

5 试验设备

5.1 试验设备类型

多孔状和蜂窝状金属高速压缩试验设备包括落锤冲击试验机和伺服式高速压缩试验机。

5.2 落锤式冲击试验机

5.2.1 一般要求

落锤式冲击试验机的基本结构如图 1 所示。

落锤式冲击试验机由锤头、导向架、压板、力传感器、位移传感器以及减震器组成。

5.2.2 锤头

锤头应能沿着导向架垂直跌落,给试样施加压缩力。

锤头在撞击时不能发生冲击变形,应可以根据要求改变重量。

5.2.3 压板

压板位于试样的顶部和底部,用于给试样施加压缩力。压板的结构不会因为压缩力而变形,能够准确地传递轴向压缩力,防止在试样上产生除压缩力之外的其他力的效应,比如弯曲应力等。

压板的表面积应足够大,确保在试样的整个端面均匀地施加压缩力,直到彻底完成压缩形变。

压板的施压面应做抛光处理,压板的上下表面应平行,上下压板平面的中心线应与试验机的加载线重合。

5.2.4 力传感器

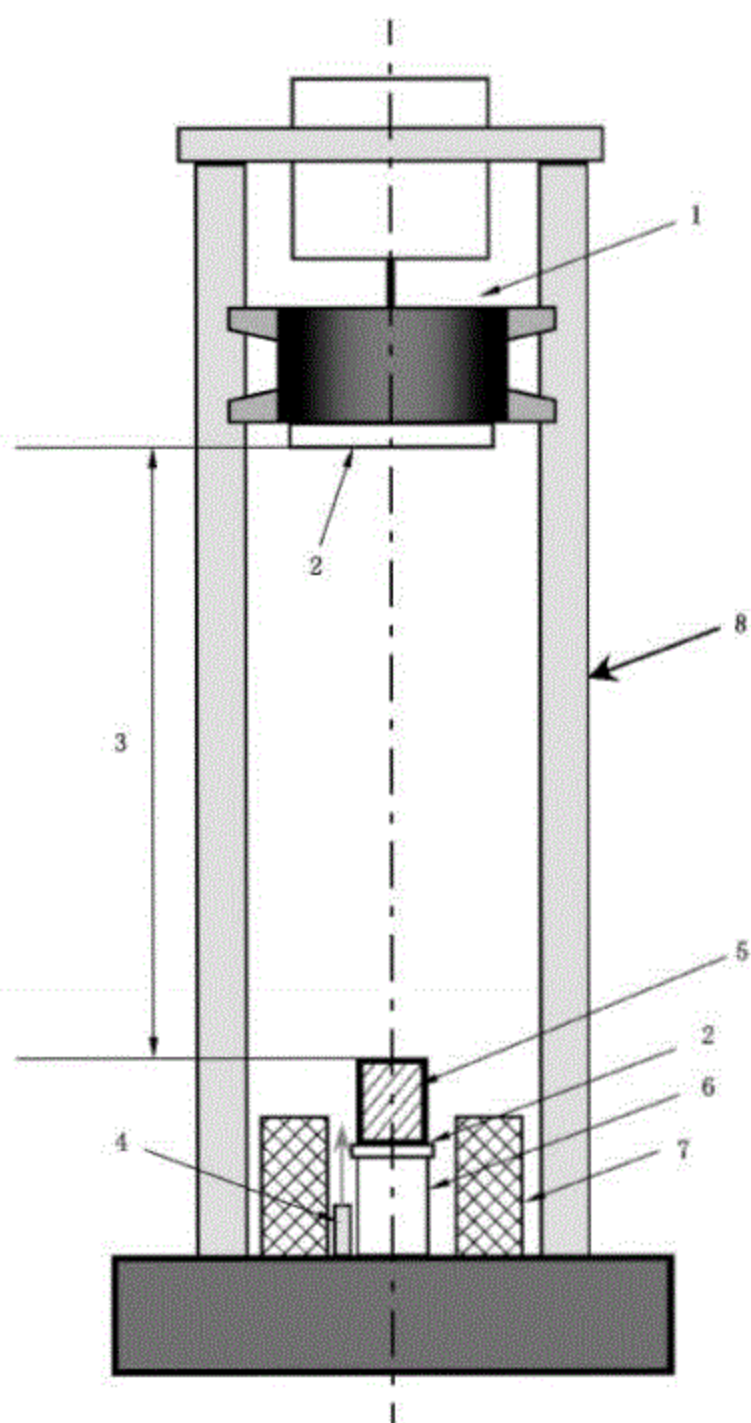
力传感器可以测量作用于试样上的压缩力,应依据 ISO 376 对力传感器进行校准。

力传感器的谐振频率和硬度应足够高,压力的测量准确度级别应不低于 1 级。

5.2.5 位移传感器

位移传感器用于测量试验过程中锤头的移动距离。为了避免惯性影响,位移传感器应是非接触式的。

位移传感器的响应速度应高于试验速度,推荐使用激光位移传感器及光学位移传感器等高精度位移传感器。



说明:

- 1——锤头;
- 2——压板;
- 3——跌落高度;
- 4——位移传感器;
- 5——试样;
- 6——力传感器;
- 7——减震器;
- 8——导向架。

图 1 落锤冲击试验机示意图

5.2.6 减震器

当试样被锤头压缩到一定的高度时,减震器可以阻止锤头继续向下运动,以防损坏力传感器。

5.3 伺服式高速压缩试验机

5.3.1 一般要求

液压伺服式高速压缩试验机的基本结构如图 2 所示。

伺服式高速压缩试验机由压板、力传感器、位移传感器、安全销以及挡板组成。

5.3.2 压板

压板应符合 5.2.3 要求。

5.3.3 力传感器

力传感器应符合 5.2.4 要求。

5.3.4 位移传感器

位移传感器应符合 5.2.5 要求。

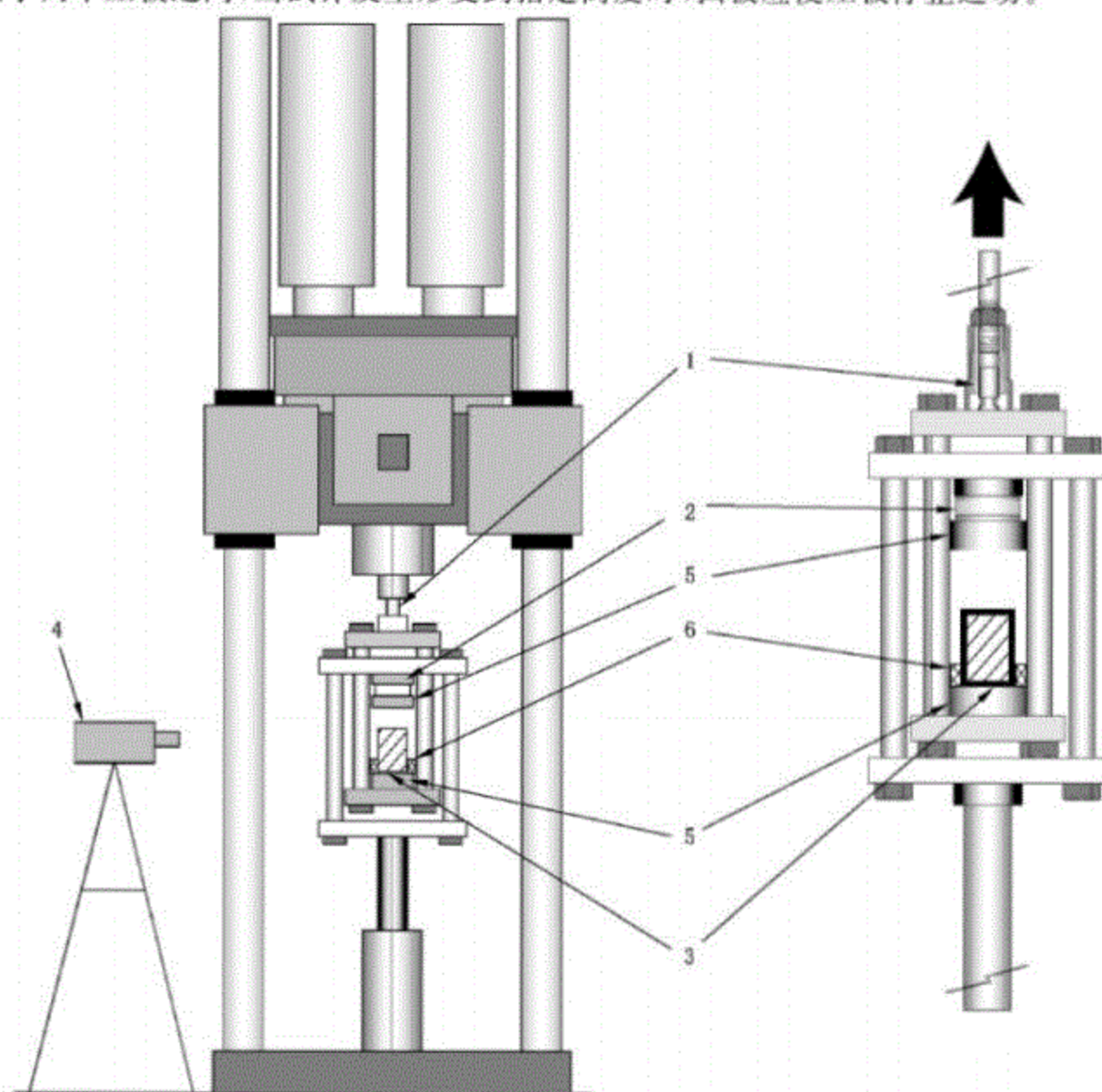
5.3.5 安全销

安全销是一个试验力传递部件,用于防止超大压缩力对力传感器和压板造成损坏。

安全销的材质和尺寸应足以承受所需的试验力,并且可以在力传感器和压板承载范围内破裂,而不发生大的塑性变形。

5.3.6 挡板

挡板位于两个压板之间,当试样发生形变到指定高度时,挡板应使压板停止运动。



说明:

- 1——安全销;
- 2——力传感器;
- 3——试样;

- 4——位移传感器;
- 5——压板;
- 6——挡板。

图 2 液压伺服式高速压缩试验机示意图

6 试样

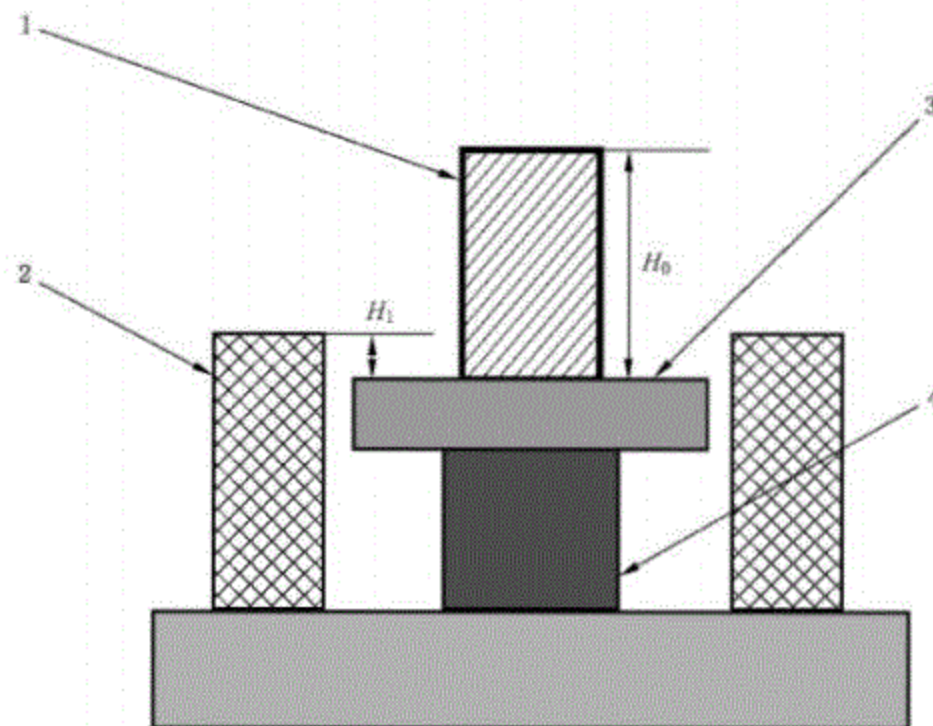
6.1 试样制备

试样应按照 ISO 13314 中规定的机加工、电火花加工等方法进行制备。
在切取样坯制样时,不应改变多孔状和蜂窝状金属的微孔结构和气孔形状。

6.2 试样的形状和尺寸

试样的形状和尺寸要求如下:

- a) 试样应为柱体,横截面应为正方形、矩形或圆形。
- b) 试样截面短边的长度或圆柱形试样直径应当不低于 10 倍的平均孔洞尺寸。
注:孔隙率明显不均匀时可适当提高倍数。
- c) 应在切割面测量平均孔洞尺寸。
- d) 试样的初始高度 H_0 与直径或短边长度的比值应在 1~2 之间。在落锤冲击试验中,试样的初始高度应大于 2 倍的 H_1 , H_1 为落锤刚刚接触到减震器时的试样高度(见图 3)。
- e) 落锤冲击试验中用于试验的试样形状及尺寸应满足 ISO 13314 的要求,可不考虑上述 a)~d)。



说明:

- 1——试样;
- 2——减震器;
- 3——压板;
- 4——力传感器。

图 3 落锤冲击试验中试样高度与减震器高度之间的关系

7 落锤冲击试验

7.1 试验准备

落锤冲击试验应按照如下方法进行准备:

- a) 预试验

对相同材质的试样应按照 ISO 13314 进行压缩试验,以便在正式试验之前确定落锤的重量。应进行一次或多次预试验以获取压缩应变达到 50% 的吸收能量值。

b) 设置跌落高度

根据预定的试验速度,用式(1)来确定跌落高度:

$$h = \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- h —— 跌落高度,单位为米(m);
- V_0 —— 试验速度,单位为米每秒(m/s);
- g —— 重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

初始应变速率用式(2)进行计算:

$$a = 1\,000 \times \frac{V_0}{H_0} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- a —— 初始应变速率,单位为每秒(s^{-1});
- H_0 —— 试样的初始高度,单位为毫米(mm)。

c) 落锤重量

落锤重量应满足式(3)的要求:

$$m \geq \frac{4W_{sta}AH_0 \times 10^{-3}}{3gh} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- m —— 落锤重量,单位为千克(kg);
- W_{sta} —— 7.1a)中所述的 50% 压缩应变时的吸收能量,单位为兆焦每立方米(MJ/m^3);
- A —— 试样的初始横截面积,单位为平方毫米(mm^2)。

落锤的重量应足够大,以确保可以有效计算指定试验速度下的压缩特性。

d) 运行检查

应依据 ISO 7500-1 对试验机中测量压缩力和位移数据的装置进行检查,确保其准确性。

e) 安全措施

根据多孔状金属的类型,试样在压缩形变过程中可能会断裂,碎片可能会向外散射。建议在试验机周围设置适当的防护装置,以阻挡任意散射的碎片。

7.2 试验

落锤冲击试验按照如下步骤进行:

- a) 应用合适的仪器测量试样的尺寸,测量数据应按照 ISO 80000-1 修约至 0.1 mm。
- b) 安装试样时,使试样中轴线与上下压板的中轴线对齐。上压板下表面宜涂润滑剂。为了防止压缩试验过程中试样发生移位,宜在试样的下表面涂一层黏合剂,使其固定在压板上。应使用固体胶带或者液膜作为黏合剂。应避免黏合剂渗透进试样的开孔,以免限制了试样底面泡状结构的变形。
- c) 应在指定位置安装减震器。
- d) 释放锤头,开始试验。记录压缩力和位移,数据采集频率应不低于 10 kHz。

注:压缩力和位移同步采集。

8 伺服式高速压缩试验

8.1 试验准备

伺服式高速压缩试验准备如下：

a) 挡板

挡板的高度要与压缩过程中试样的最大位移相对应。

b) 行程

根据试验速度设置行程,使伺服式高速压缩试验可以在指定试验速度下进行。

在不安装试样的情况下使压板运动,得到压板运动的位移-时间曲线。基于该曲线,可以确定达到指定试验速度需要的行程。

c) 运行检查

设备检查见 7.1d)。

d) 安全措施

安全措施见 7.1e)。

8.2 试验

伺服式高速压缩试验过程如下：

a) 试样的尺寸见 7.2a)；

b) 试样的安装要求见 7.2b)；

c) 安全销安装于试验机内；

d) 挡板应安装于压板上面,其安装位置应保证试样在压缩变形情况下不能与挡板接触；

e) 设定指定试验速度所需要的行程；

f) 对试样以指定的试验速度施加压缩力,并记录压缩力和位移,数据采集频率应不低于 10 kHz。

9 计算

9.1 压缩应变

压缩应变应按式(4)进行计算：

$$e = \frac{\Delta L}{H_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

e ——压缩应变, %；

ΔL ——试样原始标距段受力后的压缩形变量,单位为毫米(mm)。

9.2 压缩应力

压缩应力应按式(5)进行计算：

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

σ ——压缩应力,单位为牛每平方米(N/mm²)；

F ——压缩力,单位为牛(N)。

9.3 压缩应力-应变曲线

压缩应力-应变曲线应按如下方法绘制：

- a) 根据 9.1 与 9.2 中得到的压缩应变和压缩应力,绘制压缩应力-应变曲线(见图 4)；
- b) 当压缩应力包含周期性噪声时[见图 4a)],应通过滤波去除不必要的噪声后再绘制压缩应力-应变曲线[见图 4b)],滤波方法参见附录 A。

9.4 平台应力(σ_{pl})

平台应力为在 0.1%应变处对应的压缩应力值或 20%~30%的压缩应变区间的压缩应力平均值或 20%~40%的压缩应变区间的压缩应力平均值[见图 5a)],其定义见 ISO 13314。

9.5 平台结束点

平台结束点为应力-应变曲线中 1.3 倍平台应力对应的点[见图 5a)],其定义见 ISO 13314。

9.6 平台结束点应变(e_{pk})

平台结束点应变为平台结束点处的压缩应变[见图 5a)],其定义见 ISO 13314。

9.7 吸收能量

单位体积吸收能量的定义见 ISO 13314,可按式(6)进行计算：

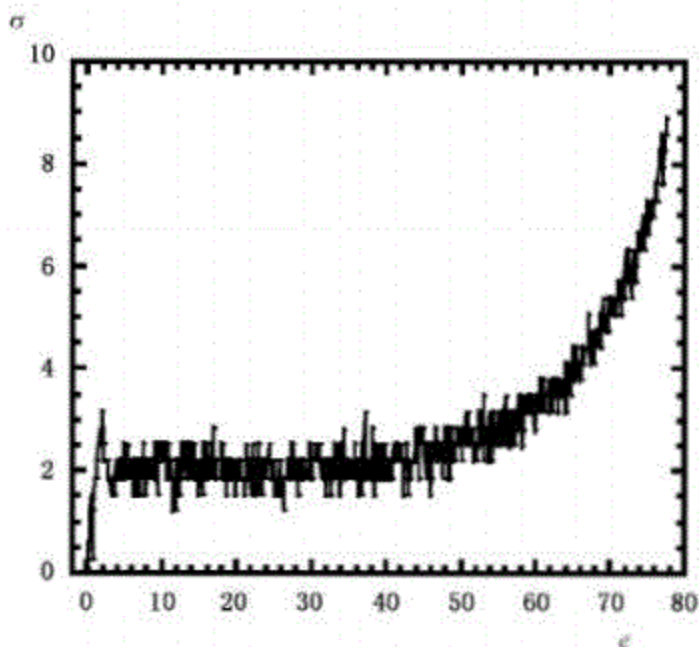
$$W = \frac{1}{100} \int_0^{e_{max}} \sigma de \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

W ——单位体积吸收能量,单位为兆焦每立方米(MJ/m³)；

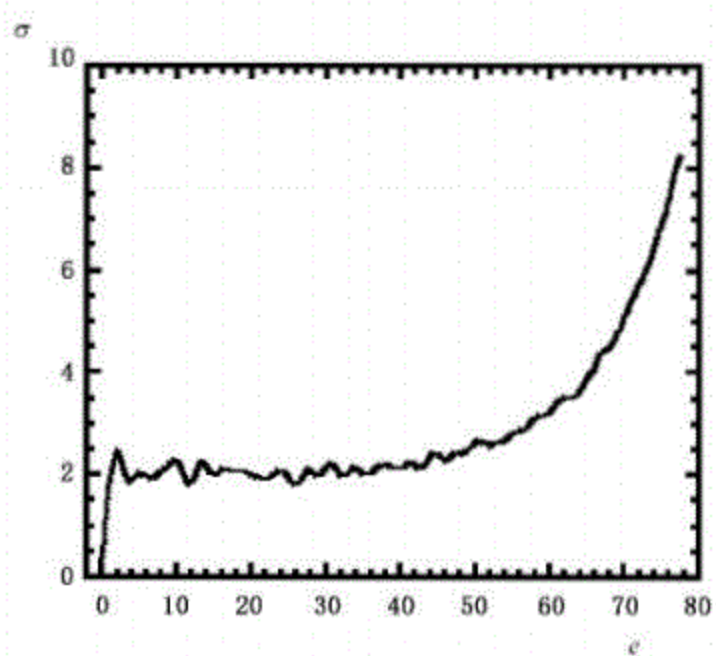
e_{max} ——压缩应变的上限值, %。

压缩应变上限值为 50%的压缩应变值或者为平台结束点应变值。根据需要也可采用其他的压缩应变上限值[见图 5b)]。



a) 含有噪声的压缩应力-应变曲线

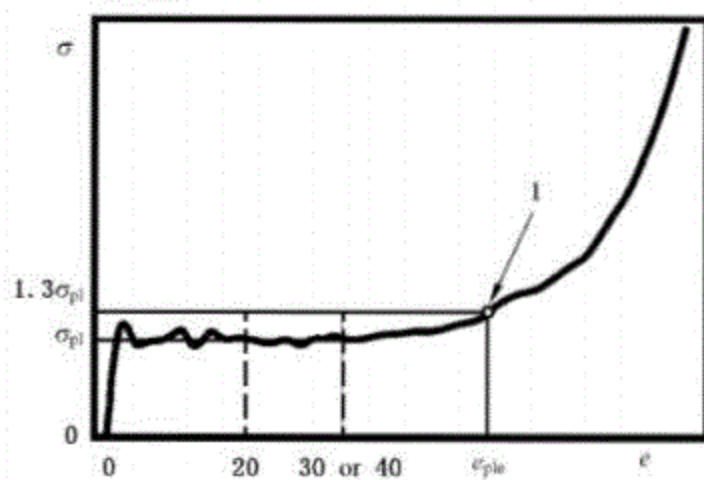
图 4 多孔状铝的压缩应力-应变曲线



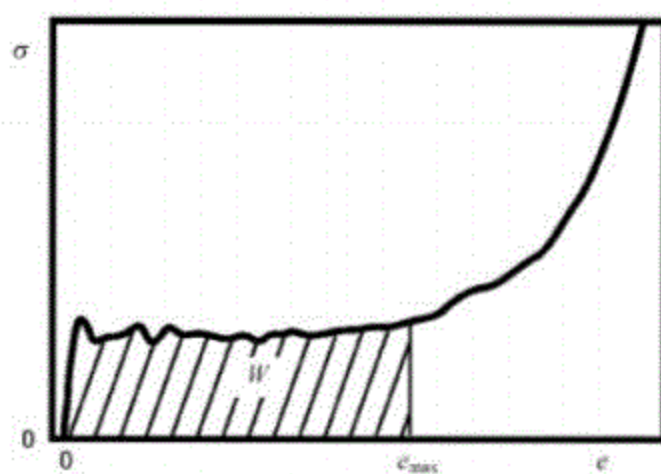
b) 滤除噪声后的压缩应力-应变曲线

注：试验速度：4 m/s。

图 4 (续)



a) 平台应力, 平台结束点, 平台结束点应变



b) 吸收能量

说明：

1——平台结束点。

图 5 多孔状和蜂窝状金属的压缩应力-应变曲线

10 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a) 试样：

- 1) 产品类型与名称；
- 2) 材料、密度、孔隙率、孔隙类型(开孔或闭孔)和平均孔洞尺寸；
- 3) 试样的尺寸以及是否含有表皮层；
- 4) 试样的数量。

b) 试验方法：

- 1) 环境温度；
- 2) 使用的试验设备；
例如：落锤冲击试验机或者伺服式高速压缩试验机。
- 3) 试验速度和初始应变速率；
- 4) 是否使用润滑剂，是否使用黏合剂；
- 5) 记录压缩力和位移的采样频率。

c) 试验结果：

- 1) 平台应力；
注：如果应力应变曲线没有明显的平台，报告中应说明无平台。
- 2) 吸收能量(标明上限应变，比如：50%)。

试验报告中还可包括以下内容：

a) 压缩力-位移曲线；

注：在落锤冲击试验中，应清晰地标明减震器起作用时的位移。

b) 压缩应力-应变曲线；

注：如果进行了滤波，应清晰地说明所用滤波器的信息。

c) 平台结束点和平台结束点应变；

d) 测试数据统计。

附 录 A
(资料性附录)
测量数据的滤波

A.1 概述

本附录提供了滤波的补充描述,滤波用于消除多孔状和蜂窝状金属压缩应力-应变曲线的噪声信号。

A.2 滤波

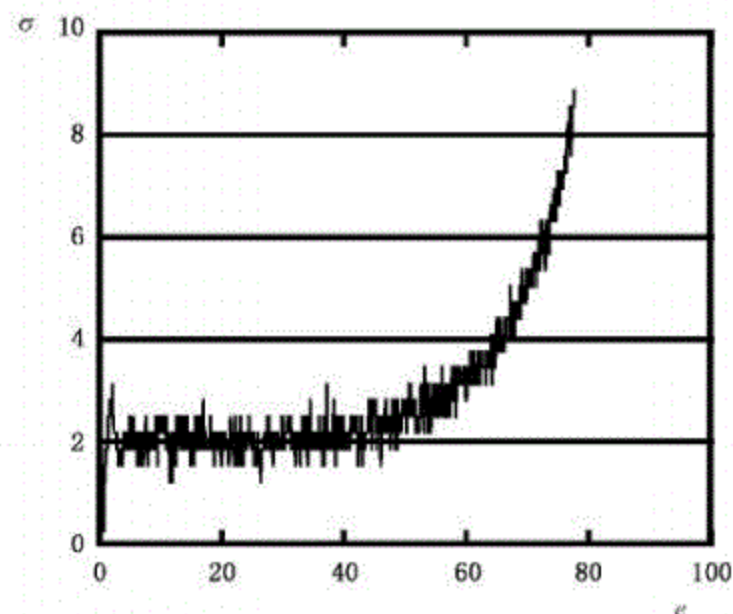
压缩力和位移的测量数据可能会包含周期性噪声,这可能是由高速压缩试验机中力传感器以及位移传感器的响应特性造成的,或者是由试验机的硬度以及谐振频率引起的。图 A.1 为从落锤冲击试验机得到的压缩应力-应变曲线,该试验机装有应变式力传感器。在这种情况下,压缩应变(压缩力)就包含有周期性噪声。

当测量数据含有这种噪声时,可以使用滤波器去除。然而,使用的滤波器不能影响试样的原始高速压缩形变特性。

A.3 滤波器的频率特性

ISO 6487^[1]和 SAE J-211-1^[2]将测量通道的频率等级(CFC)分为四类:CFC60、CFC180、CFC600 以及 CFC1000。每个频率等级的编号都表示一个频率值(单位为 Hz),频率特性中高于该频率的部分会开始下降(被滤除)。也就是说,通道频率等级的编号越小,被滤除的频率就越低。

对于多孔状和蜂窝状金属的高速压缩试验中的滤波,建议参考上述描述。图 A.2 为对图 A.1 中的原始波形进行不同 CFC 等级的数值滤波后得到的压缩应力-应变曲线,CFC 等级的数值越小,得到的曲线就越平滑,但可能会改变材料原始的压缩应力-应变特性。在该例子中,建议使用等效于 CFC600 等级的滤波器。



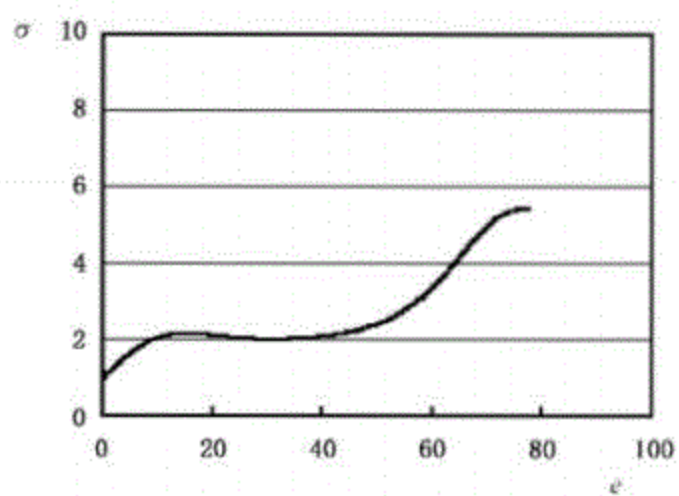
说明:

ϵ ——压缩应变(%);

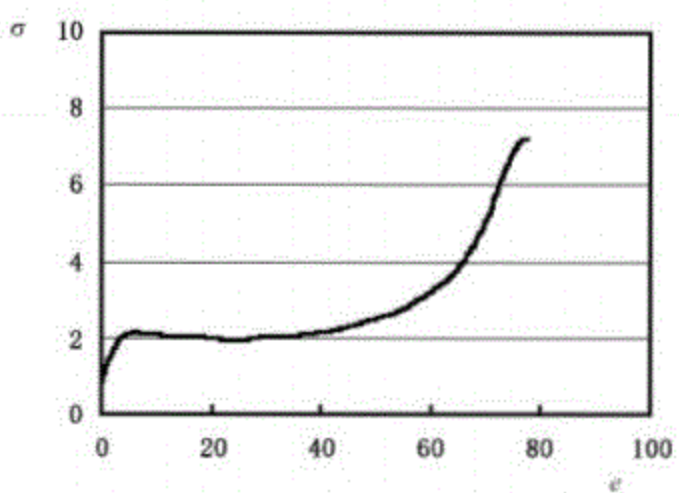
σ ——压缩应力,单位为牛每平方米(N/mm^2);

注:孔隙率:91.4%;试验速度:4 m/s。

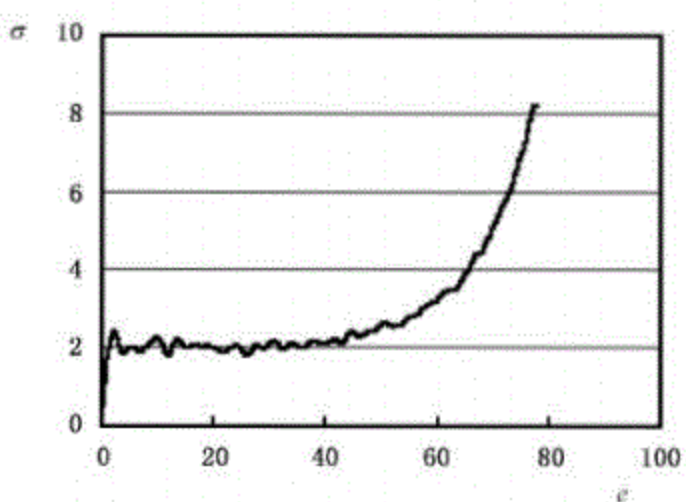
图 A.1 多孔状铝高速压缩试验得到的压缩应力-应变曲线



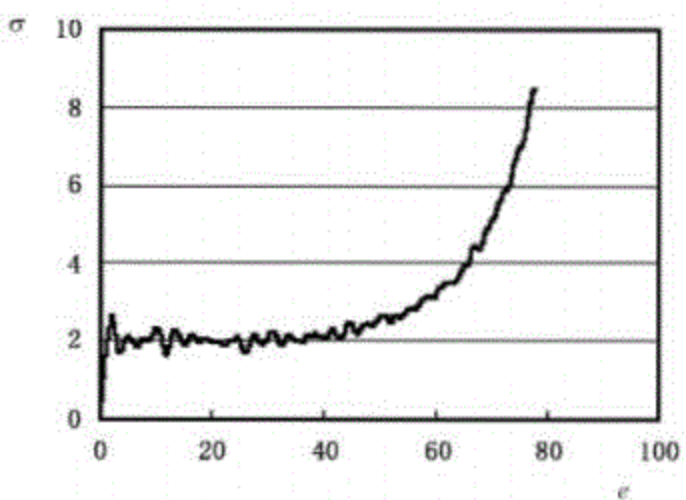
a) CFC60



b) CFC180



c) CFC600



d) CFC1000

图 A.2 图 A.1 所示原始波形经滤波后的多孔状铝压缩应力-应变曲线

参 考 文 献

- [1] ISO 6487 道路车辆冲击试验中的测量技术测试仪器
 - [2] SAE J-211-1 冲击试验用仪器 第1部分:电子仪器
-