



中华人民共和国国家标准

GB/T 30069.2—2016

金属材料 高应变速率拉伸试验 第2部分：液压伺服型与其他 类型试验系统

Metallic materials—Tensile testing at high strain rates—
Part 2: Servo-hydraulic and other test systems

(ISO 26203-2:2011, MOD)

2016-02-24 发布

2016-11-01 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 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 1

5 原理 3

6 设备 3

7 试样 3

8 试验程序 4

9 试验评价 6

10 试验报告..... 8

附录 A（资料性附录） 试验设备 9

附录 B（资料性附录） 试样尺寸示例 11

附录 C（资料性附录） 工程应力-应变曲线示例 13

参考文献 14

前 言

GB/T 30069《金属材料 高应变速率拉伸试验》分为 2 个部分：

——第 1 部分：弹性杆型系统；

——第 2 部分：液压伺服型与其他类型试验系统。

本部分为 GB/T 30069 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 26203-2:2011《金属材料 高应变速率拉伸试验 第 2 部分：液压伺服型与其他类型试验系统》。

本部分与 ISO 26203-2:2011 的技术性差异及其原因如下：

——在第 2 章“规范性引用文件”中用 GB/T 228.1 代替 ISO 6892-1，以适应我国的技术条件（见第 4 章、第 5 章、第 7 章和第 9 章）；

本部分还做了以下编辑性修改：

——在第 6 章中增加“注：采用摆锤系统时，可参考 GB/T 30069.1—2013 中附录 D”；

——删除了表 1 中未出现的符号 S_D 及说明；

——将第 1 章“范围”进行修改；

——对参考文献进行重新排序。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本部分起草单位：宝山钢铁股份有限公司、冶金工业信息标准研究院、深圳万测试验设备有限公司。

本部分主要起草人：方健、周冶东、董莉、安建平、侯捷。

引 言

许多工程材料在变形直至塑性失效的过程中表现出与应变速率正相关的特征,即随着加载应变速率的提高,材料的屈服强度与失效(断裂)应变也提高。由于通过数值模拟的方法可有效降低对汽车碰撞这一高成本长时间试验的需求,因此获得材料性能随应变速率的相关信息对汽车结构的碰撞可靠性评价而言非常重要。有关碰撞类型加载的数值模拟需获得材料在较高应变速率条件下的应力-应变曲线。根据 GB/T 228.1 仅可获得材料的准静态拉伸结果,即应变速率低于或等于 0.008 s^{-1} ,这一应变速率不适用于零部件材料高于准静态应变速率的实际变形行为。

金属材料 高应变速率拉伸试验
第2部分：液压伺服型与其他
类型试验系统

1 范围

GB/T 30069 的本部分规定了采用液压伺服型与其他类型试验系统对金属材料开展高应变速率拉伸的试验方法。本部分仅提供了平板类试样例子,同样可采用其他几何尺寸的试样。

本部分适用于应变速率为 $10^{-2} \text{ s}^{-1} \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$, 试验温度为 $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 除非另有规定,采用液压伺服型试验系统进行的拉伸试验。

注：当应变速率低于 10^{-2} s^{-1} 时,可采用专门适用于准静态试验类型的试验机。

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。

GB/T 228.1—2010 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法 (ISO 6892-1: 2009, MOD)

3 术语和定义

GB/T 228.1—2010 界定的术语和定义适用于本文件。

4 符号

GB/T 228.1—2010 以及表1给出的符号、单位和说明适用于本文件。

表1 符号及说明

符号	单位	说明
试样		
a_0	mm	板状试样的原始厚度
b_0	mm	板状试样平行长度的原始宽度
b_k	mm	试样夹持部分的宽度
L_0	mm	原始标距长度
L_c	mm	平行长度
L_e	mm	引伸计标距长度
r	mm	过渡弧半径
S_0	mm^2	平行长度原始横截面积
时间		
t	s	时间

表 1 (续)

符号	单位	说明
t_t	s	从试验开始至断裂所经历的时间
伸长		
A	%	断后伸长率 注：对于非比例试样，可对符号 A 加下标注明原始标距的长度(单位：mm)，例如 $A_{20\text{mm}}$ 表示原始标距长度 $L_0 = 20\text{ mm}$ 试样的断后伸长率
延伸		
A_g	%	最大力(F_m)塑性延伸率，即最大力(F_m)塑性应变
A_{gt}	%	最大力(F_m)总延伸率，即最大力(F_m)总应变
应变		
$e(t)$	%	实时工程应变
e_{pl}	%	塑性工程应变
e_t	%	总工程应变
ε_{pl}	—	塑性真应变
ε_t	—	总真应变
速率		
v_0	mm s^{-1}	初始位移速率
$\dot{e}_{nom}$	s^{-1}	名义工程应变速率 $= v_0/L_0$ [式(1)]
$\dot{e}_{mean}$	s^{-1}	平均工程应变速率 $= A/t_t$ [式(4)]
$\dot{e}(t)$	s^{-1}	即时工程应变速率 $= de(t)/dt$
$\dot{e}_{pl}$	s^{-1}	从屈服或 1% 应变开始至最大力应变范围内即时工程应变速率 $[de(t)/dt]$ 的平均值 [式(5)]
f_u	Hz	力或延伸相关测量系统采样频率上限
力		
F_m	N	最大力
应力		
R	MPa^a	工程应力
σ	MPa	真应力
强度		
R_{eL}	MPa	下屈服强度
R_p	MPa	规定塑性延伸强度

表 1 (续)

符号	单位	说明
R_m	MPa	抗拉强度
模量		
E	MPa	弹性模量
m_E	MPa	应力-应变曲线弹性段斜率 ^b
^a 1 MPa=1 N/mm ² 。		
^b 如果使用最佳条件(高分辨力,双侧平均引伸计,良好的试样对中),应力-应变曲线弹性段斜率接近弹性模量值。		

5 原理

测定金属材料在规定塑性应变速率下的应力-应变特征参数。在高于 GB/T 228.1—2010 规定的应变速率下进行拉伸试验得到可靠的应力-应变曲线,力和原始标距 L_0 。伸长的测量应满足额外的要求。本部分规定了当应变速率最高达到 10^3 s^{-1} ,并在材料发生塑性变形且力达到平衡状态时测定及评价应力与应变的试验方法。

6 设备

6.1 符合本部分要求的试验机(参见附录 A)的工作原理是,试验所需的动能施加于试样的冲击(或加载)端,试样的另一端固定或限制于夹具内并配有力传感器(如图 A.1)。高应变速率下的载荷类似于冲击载荷,因此试验机和试样通常不应固定在一起。在整个试验过程中能够提供恒定应变速率的试验机(在一定范围内,见 9.3)均能满足本标准的试验要求。

6.2 实施本标准的高速试验机通常采用液压伺服驱动并安装有缓冲器(见参考文献[1])。其他的试验系统,包括飞轮撞击和落锤系统,只要符合本方法的要求均可使用。

注:采用摆锤系统时,可参考 GB/T 30069.1—2013 中附录 D。

6.3 为尽可能消除附加的弯矩效应,应检查加载链上试样的对中性,加载链的对中性检查可参照文献[4]。加载链的结构需紧凑且易安装,以缩短加载链的加速时间,同时也能使夹持部分和传感器系统保持尽可能高的固有频率。

7 试样

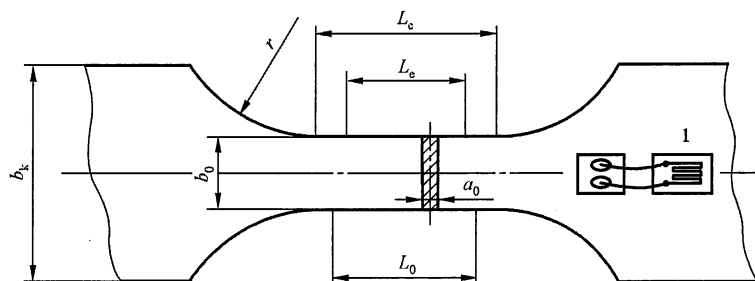
7.1 试样尺寸

7.1.1 薄板材料使用板状拉伸试样进行动态试验。试样标距部分的应变速率取决于位移速率和试样平行部分的长度。平行部分较短的试样具有较高的应变速率。然而, L_c 必须保证一定的长度以确保原始标距长度 L_0 。在试验中处于单轴受力的状态(如图 1)。因此,试样平行部分长度 L_c 、宽度 b_0 、厚度 a_0 ,以及过渡弧半径 r 的尺寸推荐如下:

- $L_0/b_0 \geq 2$;
- $L_c \geq L_0 + b_0/2$;
- $b_0/a_0 \geq 2$;

—— $b_0/b_k \leq 0.5$;

—— $r \geq 10 \text{ mm}$ 。



说明:

1 ——应变片;

a_0 ——原始厚度;

b_0 ——平行部分原始宽度;

b_k ——夹持部分宽度;

L_0 ——原始标距长度;

L_e ——平行长度;

L_e ——引伸计标距;

r ——过渡弧半径。

图 1 典型的试样尺寸

7.1.2 附录 B 给出了基于 GB/T 228.1—2010 在动态试验中经常采用的试样尺寸。如相关方同意,也可以使用其他类型的试样(见参考文献[2]和[3])。

注:为了在高应变速率试验的起始阶段达到力平衡,选择合适的试样长度非常重要。

7.1.3 试样端部应与试验机夹具匹配,并确保在试验过程中在此部位仅发生弹性变形。

7.1.4 使用粘贴应变片的测力方式(如图 1)时,需在试样上预先设计一个测力区(见参考文献[2]与[5])。测力区固定或者限制在试样端部,且在此区域内不允许发生塑性变形。

7.1.5 在进行高应变速率试验前需预先对设计的试样进行有效性确认。试样的确认工作通常是在 GB/T 228.1—2010 规定的应变速率范围内对设计的高速拉伸试样进行准静态试验。上述试验获得的材料性能结果需与按照 GB/T 228.1—2010 所规定的试样、试验方法与试验机得到的结果一致。

7.2 试样制备

应按照 GB/T 228.1—2010 中附录 B 的方法与要求制备板状拉伸试样。此外,特别注意防止切边产生的加工硬化。推荐使用电火花切割、水射流切割、高速加工或者其他能够降低加工硬化、减小表面粗糙度和试样扭曲的加工方法。薄板试样的表面需保持原始状态,切边的表面粗糙度应尽可能小。

8 试验程序

8.1 速率选择

8.1.1 在实施高应变速率试验前预先选取合适的作动器工作速率,以确保试样的平行长度部分在试验过程中达到预期的应变速率。初始位移速率 v_0 可用来估算试验能够达到的名义工程应变速率,见式(1):

$$\dot{\epsilon}_{\text{nom}} = v_0 / L_e \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\dot{\epsilon}_{\text{nom}}$ ——名义工程应变速率,单位为每秒(s^{-1});

v_0 ——初始位移速率,单位为毫米每秒(mm s^{-1});

L_0 。——试样平行部分的长度,单位为毫米(mm)。

8.1.2 由于加载链的刚度因素,试验过程中所记录的应变速率(见 9.3)与估算值存在偏差。

注:对于落锤试验机,可根据落锤高度计算试验速度。

8.1.3 试验过程中,试样平行部分的应变速率决定了材料的力学行为。因此,应保证试样的平行长度部分在试验过程中维持恒定的应变速率(见 9.3),而无需确保作动器具备恒定的加载速率。

8.2 力值测量

8.2.1 在低应变速率条件下,压电式力传感器的固有频率足够高,从而可以准确地测量力值。对于应变速率约大于 50 s^{-1} 的情况而言,推荐在试样仅发生弹性变形的区域(测力区,见图 1)粘贴应变片或使用局域动态测力计的方式测量力值,如在夹具上安置应变片。

8.2.2 在高应变速率下,载荷向试样自发传递的过程会引起试样与试验机某些部位随着位移速度的增加而加剧振荡。这些振荡既可能是沿试样纵向传播,也可能是弯曲类型。这种振荡会和力值信号叠加并被记录于力-位移曲线中。此时,内在的材料变形行为类似于一种“力振荡”现象(吕德斯带传播导致的不连续屈服、动态应变时效、形变孪晶等)。

8.2.3 阻止或者减少力信号中的振荡是选择动态测力方式的关键。通常而言,测力位置距离标距长度越远,作动器的速度越高,振荡现象越强烈。

8.2.4 在试样两面各粘贴一片应变片有助于测定力振荡信号中的弯矩分量,为此应单独分析来自每一片应变片的信号。在加载机构中使用阻尼元件降低振荡效应时需格外慎重,因为阻尼元件会降低试验初始时刻的应变速率,进而影响测量材料屈服强度的准确性。

8.2.5 动态测力计的标定需以合适的方式进行,试样粘贴应变片后可在准静态条件下进行标定。为获得力标定系数,通常对试样施加的载荷不应高于材料屈服强度或规定塑性延伸强度的 $2/3$,也可以采用其他文献介绍的力标定方法(见参考文献[3]、[9]和[10])。

8.2.6 对于应变速率小于 10 s^{-1} 的试验,上限频率 f_u (-3 dB) 至少需要 10 kHz 。对于高应变速率应根据式(2)计算上限频率:

$$f_u \geq 1\,000 \times \dot{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

f_u ——力或延伸相关测量系统采样频率上限,单位为赫兹(Hz);

$\dot{\epsilon}$ ——应变速率,单位为每秒(s^{-1})。

8.3 延伸测量

8.3.1 可采用不同的测量系统可靠地测定原始标距长度的延伸。通常在应变速率不超过 1 s^{-1} 时采用机械夹持式引伸计;而当应变速率高于 1 s^{-1} 时,应选用无惯性效应的测量系统代替机械夹持式引伸计,如应变片、光电引伸计、激光测量系统或高速图像仪等。

注:在有效考虑试验机以及加载机构的刚度之前,不建议通过测量作动器位移测算应变,如采用线性差动变压器(LVDT)或其他位于原始标距长度以外的测量方式。

8.3.2 建议试验全程采用同一种测量技术,若无法实现或需要更高的测量精度时,可组合采用多种测量技术。若材料均匀变形足够充分,在试样均匀应变范围内测试所选用的引伸计标距 L_0 可短于试样原始标距长度 L_0 。真应变也可通过其他合适的测量仪器直接记录。

8.3.3 需采用适当的方式对行程/应变测量装置进行检验或校准。

8.3.4 当试验的应变速率低于 10 s^{-1} 时,上限频率, f_u (-3 dB),至少应达到 1 kHz 。更高应速率时,需满足式(3)的要求:

$$f_u \geq 100 \times \dot{\epsilon} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

f_u ——力或延伸相关测量系统采样频率上限,单位为赫兹(Hz);

$\dot{\epsilon}$ ——应变速率,单位为每秒(s^{-1})。

8.3.5 根据 GB/T 228.1—2010,建议试验前预先在试样上作好标记并以此测量断后伸长率,标记试样时应避免对试样变形造成影响。

8.4 数据采集

记录力与行程/应变数据的采样频率应至少为上限频率的 4 倍。这些直接获取的原始数据可被作为试验结果的一部分。后续分析计算可能会略去一些原始数据对。

9 试验评价

9.1 应力-应变曲线

9.1.1 采用与 GB/T 228.1—2010 准静态试验类似的方法测定力、延伸、应变与应力-应变曲线。

9.1.2 应力-应变曲线由原始测量信号计算得到,在试验过程中获得单调递增的应变信号将有利于后续分析,若由于测量技术原因无法满足(如信号干扰),则需通过相应算法来获得单调信号,例如采用移动平均算法、多项式拟合、多项式样条函数逼近与滤波算法等。然而,当其他与试验相关的因素形成干扰,例如仅在局部范围内发生速度陡降,则此类因素对应变速率的影响需核查(见 9.3)。通常,由试验结果使用方负责解释应力-应变曲线上力值振荡现象。

9.1.3 为进一步分析试验结果,例如基于应力-应变曲线获取一些关键指标或提供有限元计算的输入参数,需预先对应力-应变曲线进行光滑处理。通常可采用的方法包括,移动平均算法、多项式拟合、多项式样条函数逼近与滤波算法等。根据具体情况选用合适的方法,例如曲线的形态,振幅,测试指标的项目与分布情况等。需指出的是,采用光滑算法通常会丢失原始数据的部分信息并引入试验者的主观影响。在试验报告中应注明是否采用以及采用何种数值滤波与曲线预处理方法。

9.1.4 参考文献[11]与[12]给出了利用光滑程序对载荷传感器信号振荡进行滤波处理的示例。

注:在滤波或光滑等处理前,需预先优化调整试验机参数,如夹具、缓冲适配器联接等以获取高质量的原始测量数据。

9.2 测定关键结果

9.2.1 针对高速拉伸试验,可根据 GB/T 228.1—2010 从应力-应变曲线上确定关键力学性能结果,包括下屈服强度 R_{eL} 、规定塑性延伸强度 R_p 、抗拉强度 R_m 、最大力塑性延伸率 A_g 、断后伸长率 A 。

9.2.2 规定塑性延伸强度 R_p 可用 $R_{p0.2}$ 表示,即 0.2% 塑性应变时的强度(与 GB/T 228.1—2010 一致),此外也可以分别计算更高塑性应变时的强度,如 1%、2% 或 3% 等。除 $R_{p0.2}$ 外, R_{p3} 的可比性更佳。如应力-应变曲线存在较大的振幅(超过 R_m 数值的 $\pm 5\%$),此时测定 $R_{p0.2}$ 存在较大的不确定性,可采用更高应变水平所对应的规定塑性延伸强度替代 $R_{p0.2}$ 。规定塑性延伸强度的测量不确定度随着应变水平的提高同时因曲线振荡幅度的减小而降低。

9.2.3 相对于上屈服强度而言,下屈服强度 R_{eL} 被认为是材料动态试验的关键结果。与 GB/T 228.1—2010 不同的是, R_{eL} 被定义为加工硬化开始前塑性屈服阶段的平均应力值。若由于振荡效应而无法根据其定义从力值信号中可靠测定 R_{eL} 时,应测量更高塑性应变所对应的屈服强度。

9.2.4 根据 9.1,抗拉强度 R_m 定义为屈服后应力-应变曲线上的最大应力值。最大力总延伸率 A_{gt} 与准静态拉伸试验的定义类似,为抗拉强度所对应的应变值。

9.2.5 针对断后伸长率 A ,同 GB/T 228.1—2010 的定义一致,通常建议试验前预先在试样上作好标记

并以此测量结果。

9.2.6 当采用“应变跟踪至断裂”的方法完整测得标距长度 L 。延伸时,从应力-应变曲线上断裂点的位置能大致获得断后伸长率。然而,此时仍然需要通过预先标记试样的方式测量断后伸长率。仅当断后伸长率小于 5% 时,方可采用应力-应变曲线的结果。

9.3 应变速率

9.3.1 除根据式(1)获得名义工程应变速率外,试验的平均工程应变速率也可以通过断后伸长率 A 与断裂时间 t_f 的比值确定,见式(4):

$$\dot{\epsilon}_{\text{mean}} = A/t_f \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\dot{\epsilon}_{\text{mean}}$ ——平均工程应变速率,单位为每秒(s^{-1});

A ——断后伸长率,%;

t_f ——从试验开始至断裂所经历的时间,单位为秒(s)。

9.3.2 受试验机夹持装置刚度或试样变形的影响,上述结果可能会与名义工程应变速率存在偏差。同时,这一结果也无法提供有关试样缩颈处局域应变速率的任何信息。

9.3.3 通过将应变信号对时间进行微分即可获得实时工程应变速率信号 $\dot{\epsilon}(t)$,这一参量可提供整个试验过程中有关应变速率变化的详细信息。通过建立实时(或应变相关)应变速率曲线可判断在屈服点处是否达到试验设定的目标应变速率(见图 C.1)。

9.3.4 在应变硬化阶段工程应变速率的均值 $\dot{\epsilon}_{\text{pl}}$,这一参数可通过对从屈服强度或 1% 塑性应变(即硬化起始)至最大力时刻,即 $t(F_m)$ (见图 C.1)范围内的应变速率计算其平均值获得,见式(5)。

$$\dot{\epsilon}_{\text{pl}} = M\{\dot{\epsilon}(t_{\text{soh}}) \cdots \dot{\epsilon}(t_{F_m})\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

M ——对函数 $\dot{\epsilon}(t)$ 求算术平均值;

$\dot{\epsilon}(t)$ ——特定时刻工程应变对时间求导,实时工程应变速率,单位为每秒(s^{-1});

t_{soh} ——应变硬化起始时刻,单位为秒(s);

t_{F_m} ——最大力时刻,单位为秒(s)。

9.3.5 在报告中使用的应变速率系指“特征应变速率”,若名义工程应变速率与平均工程应变速率的偏差在 10% 以内,则可采用平均工程应变速率作为特征应变速率值。若偏差超过 10%,则应同时测定实时工程应变速率曲线 $\dot{\epsilon}(t)$ 并加以讨论。

9.3.6 若认证试验需获得足够恒定的应变速率,则在应变硬化初始时刻直至最大力整个过程中的实时工程应变速率与特征应变速率两者间的偏差均须控制在 $\pm 30\%$ 以内(见图 C.1)。

注:尽管在高应变速率拉伸试验中作动器的位移速率可近似恒定,但实际上应变速率往往会随着工程应变发生变化(见图 C.1)。这是因为在弹性阶段应变速率从零位开始增加,故平均弹性应变速率小于名义工程应变速率。受试验系统刚度以及缓冲适配器动作对作动器速率的潜在改变,当塑性变形开始时名义工程应变速率会随之发生变化。此外,还与材料性能密切相关,如材料具有显著的上下屈服现象、应变硬化特性以及良好的塑性与绝热性等。均匀应变结束后,颈缩局域变形会导致试样局部应变速率增加,这也会造成名义工程应变速率的显著改变。

9.3.7 若最大力所对应的应变值非常小,对屈服或 1% 应变开始至最大力应变范围内的平均应变速率值进行修正将无实际意义。此时,可采用重新确定一个可供计算平均应变速率的应变区间(如 3%~10% 应变范围)的变通方法。

9.4 获取流变曲线

9.4.1 式(6),式(7)与式(8)仅对各向同性材料有效。

9.4.2 根据体积不变原理,流变曲线可基于塑性应变,见式(6)与式(7),或总应变(包括弹性与塑性)获得,见式(8)(某些 FEM 程序需要输入流变曲线的总应变作为初始量):

$$\epsilon_{pl} = \ln(1 + e_t - R/E) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma = R(1 + e_t) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\epsilon_t = \ln(1 + e_t) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

e_t ——总工程应变;

R ——工程应力;

E ——弹性模量。

9.4.3 是否考虑实测应变的弹性部分将影响最终的流变曲线结果。

9.4.4 若仅考虑塑性应变结果,可通过式(6)与式(7)获得均匀变形过程中的真应力与真应变以及相应的流变曲线。

10 试验报告

10.1 与试验程序及结果相关的所有信息均应在报告中注明。试验报告须包含以下信息:

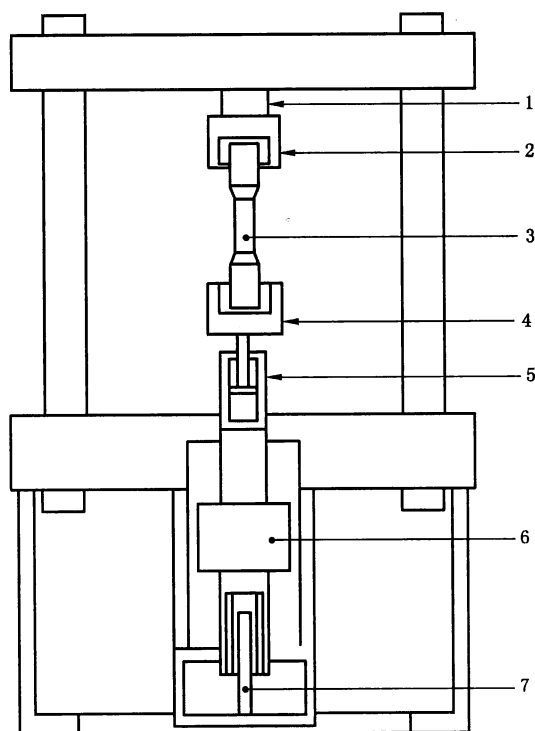
- a) 本部分标准编号;
- b) 如已知,注明材料牌号、规格以及制样条件等信息;
- c) 试样形状与尺寸;
- d) 试样名称;
- e) 如已知,注明取样部位与方向;
- f) 试验机信息;
- g) 测量力的方法;
- h) 测量试样标距长度延伸的方法(即应变测量方法);
- i) 试验条件(温度,名义、平均与特征应变速率);
- j) 原始数据的处理方法(光滑与拟合算法等);
- k) 试验结果(强度与塑性的关键参数、应力-应变曲线)。

10.2 根据有关各方的约定,关键性能参数、应力-应变曲线与流变曲线结果可按照指定的格式提供并录入数据库。

注:图 C.1 给出了一例由高速拉伸试验机所测目标应变速率为 250 s^{-1} 时的工程应力-应变曲线,见参考文献[13]。曲线的应力信号通过粘贴在试样上动态测力计区域的应变片获得,同时通过光学手段获得标距应变。图 C.1 中显示出力值信号叠加了小幅振荡(小于信号均值的 $\pm 5\%$)。因此,通过对屈服后的原始曲线进行多项式拟合(本例采用 2 次多项式拟合)可获得足够精度的流变曲线。此外,在图中还给出了由实测应变对时间微分所获得的实时工程应变速率曲线及其平均值。从屈服起始处直至整个均匀变形阶段,实测应变速率满足目标值 $250 \text{ s}^{-1} \pm 30\%$ 的波动允许范围。

10.3 推荐采用图 C.1 的形式作为高应变速率拉伸试验结果报告的附图。

附 录 A
(资料性附录)
试验设备

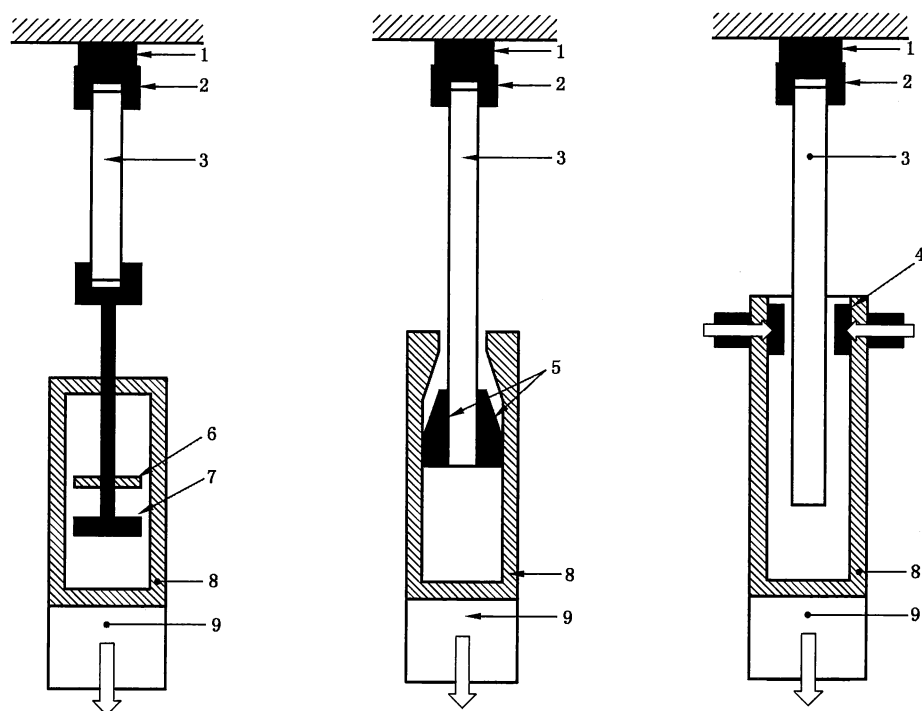


说明：

- 1——力传感器；
- 2——固定端夹具；
- 3——试样；
- 4——活动端夹具；
- 5——缓冲器；
- 6——作动器；
- 7——位移传感器。

注：见参考文献[14]。

图 A.1 高应变速率拉伸试验机结构示意图



说明：

- 1——力传感器；
- 2——固定端夹具；
- 3——试样；
- 4——预加载单元；
- 5——楔形齿块，与试样螺纹连接；
- 6——阻尼垫圈；
- 7——缓冲杆；
- 8——缓冲器；
- 9——作动器。

注：见参考文献[14]。

图 A.2 高应变速率拉伸试验机夹持系统及各类作动器加速机构与缓冲器装配示意图

附录 B
(资料性附录)
试样尺寸示例

以下几种尺寸的试样常用于比对试验。

单位为毫米

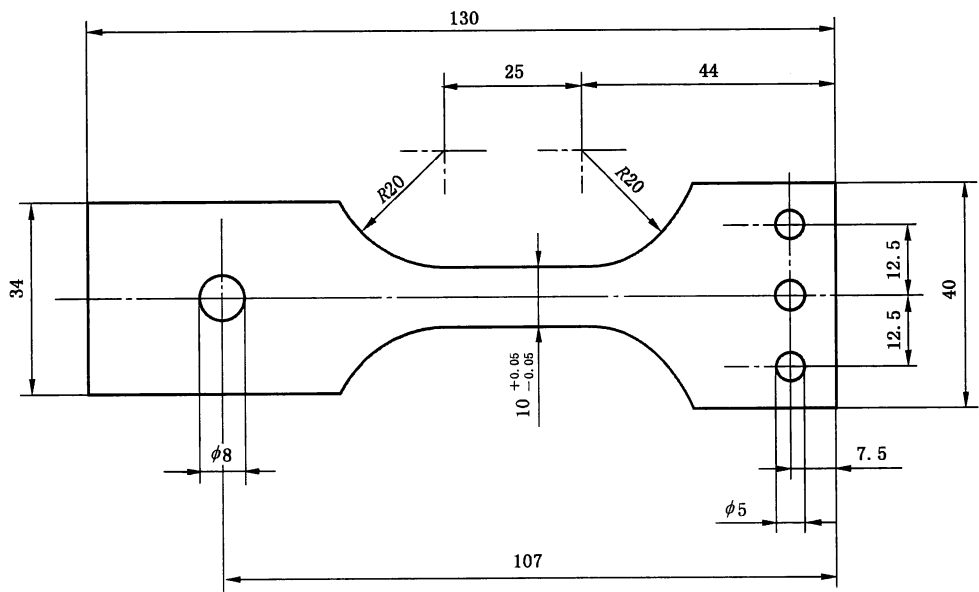


图 B.1 试样几何尺寸示例 1

单位为毫米

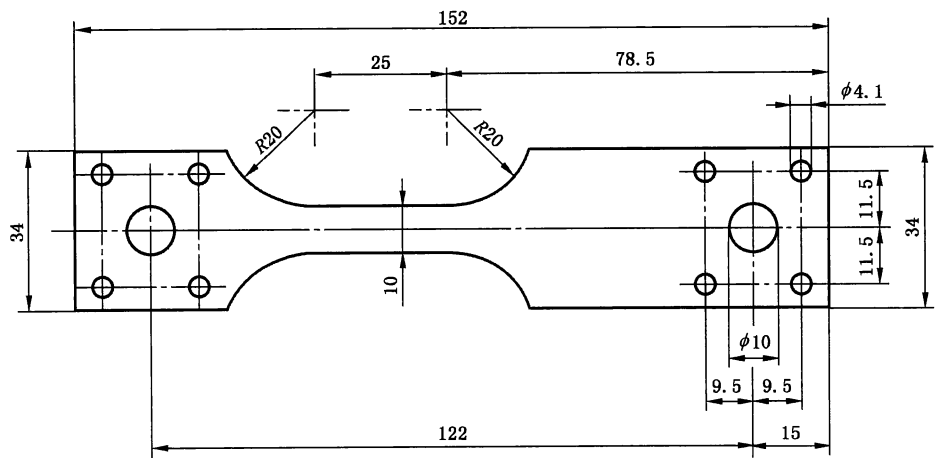


图 B.2 试样几何尺寸示例 2

单位为毫米

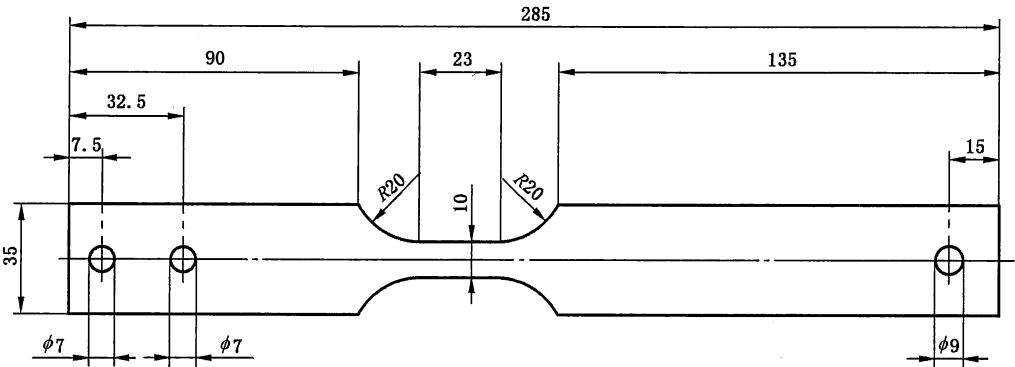


图 B.3 试样几何尺寸示例 3

单位为毫米

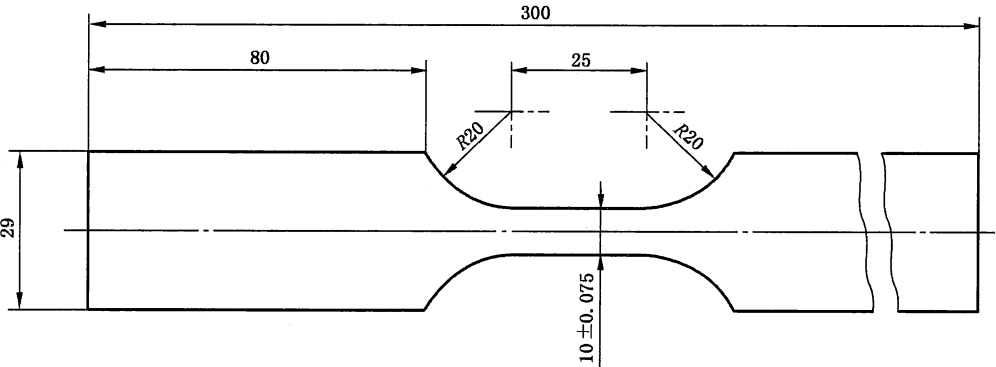
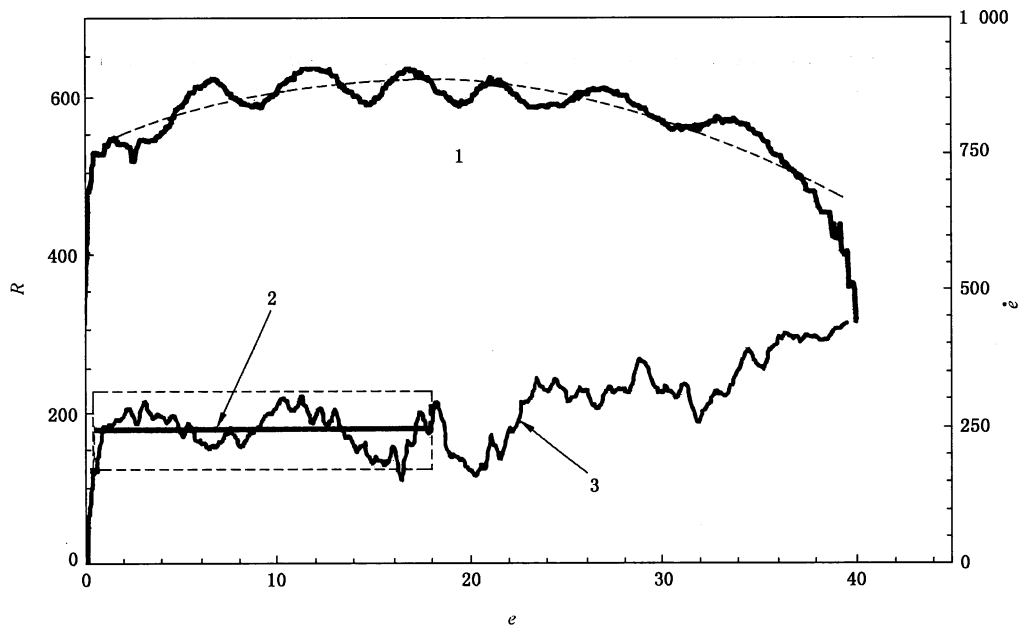


图 B.4 试样几何尺寸示例 4

附录 C
(资料性附录)
工程应力-应变曲线示例



说明：
 e ——工程应变，%；
 R ——工程应力，单位为兆帕(MPa)；
 $\dot{e}$ ——工程应变速率，单位为每秒(s^{-1})；
1——工程应力-应变曲线(虚线为多项式拟合)；
2——特征应变速率 $=250\ s^{-1} \pm 30\%$ ($R_{p0.2}$ 或 R_{el} 与 R_m 范围内的平均值)；
3——实时工程应变速率 $\dot{e}$ 。
注：见参考文献[13]。

图 C.1 由高速拉伸试验设定目标应变速率 $250\ s^{-1}$ 条件下获得的
工程应力-应变与相应的应变速率曲线示例

参 考 文 献

- [1] Borsutzki, M.; Hochgeschwindigkeitszugversuche an Stahl; eine Übersicht von der Technik bis zur Normung, Tagungsband Werkstoffprüfung 2008, Hrsg. Frenz H. and Grellmann W., DVM Bericht 642, Berlin, 2008, pp.153-161.
- [2] ESIS P7-00, Procedure for dynamic tensile tests, European Structural Integrity Society, August 2000.
- [3] Böhme, W.; FAT-Richtlinie, Dynamische Werkstoffkennwerte für die Crashsimulation, MP Materials Testing, Carl Hanser Verlag, München, 50(4), 2008, pp.199-205.
- [4] ASTM E1012, Standard Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment under Tensile and Compressive Axial Force Application.
- [5] Böhme, W., Sun, D.Z., Schmitt, W. and Hönig, A.; Application of Micromechanical Material Models to the Evaluation of Charpy Tests, ASME Symposium, Phoenix, Arizona, April 28 to May 1, 1992, Eds.: Giovanola J.H. and Rosakis A.J., AMD, 137, Book No. H00741, 1992, pp.203-216.
- [6] Baer, W. and Häcker, R.; Werkstoffcharakterisierung von Gusseisenwerkstoffen mit Kugelgraphit—Dynamische Zugversuche unter dem Aspekt der Bauteilsicherheitsbewertung, MP Materials Testing, 47(12), 2005, pp.34-44.
- [7] Roos, E. and Mayer, U.; Ermittlung von Fließkurven an Blechen bei hohen Dehnungsgeschwindigkeiten, MP Materials Testing, 44, 2002, pp.176-178.
- [8] Roos, E. and Mayer, U.; Progress in testing sheet material at high strain rates, J. Phys. IV France, 110, EDP Sciences, 2003, pp.495-500.
- [9] Wood, P.K.C. and Schley, C.A.; Strain Rate Testing of Metallic Materials and their Modeling for Use in CAE Based Automotive Crash Simulation Tools (Recommendations and Procedures), Smithers Rapra, 2009.
- [10] Wood, P. K. C., Schley, C. A., Williams, M. A., Beaumont, R., Rusinek, A., Mayer, U., Pearce, A.; A method to calibrate a specimen with strain gauges to measure force over the full range of loading in high rate testing, Dymat 2009, September 7-11, 2009, Brussels.
- [11] Roebuck, B., Loveday, M. S., Chastel, Y., Fiorucci, C. and Dal Negro, T.; Measurement of Flow Stress at High Temperature in Solid Torsion Tests (NPL Good Practice Guide No. 58, May 2003), Materials at High Temperatures, 23(2), 2006, pp.119-144.
- [12] Loveday, M.S. and Roebuck, B.; Measurement of High Temperature Flow Stress at Medium to High Strain Rates, a General Introduction, Metallic Materials; Materials at High Temperatures, 23(2), 2006, pp.55-58.
- [13] Böhme, W., Borsutzki, M., Düpmeier, T., Häcker, R., Larour, P., Mayer, U., Geisler, S.; Ergebnisse eines VDEh-Ringversuchs zum Stahl-Eisen-Prüfblatt SEP 1230 "Hochgeschwindigkeitsversuche" Tagungsband Werkstoffprüfung 2005, DVM, Berlin, 2005, pp.181-188.
- [14] SEP 1230, The Determination of the Mechanical Properties of Sheet Metal at High Strain Rates in High-Speed Tensile Tests, Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) des Stahlinstituts VDEh, Düsseldorf, August 2006.
- [15] GB/T 30069.1—2013 金属材料 高应变速率拉伸试验 第1部分: 弹性杆型系统 (ISO 26203-1:2010, MOD)

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
金属材料 高应变速率拉伸试验
第 2 部分:液压伺服型与其他
类型试验系统

GB/T 30069.2—2016

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

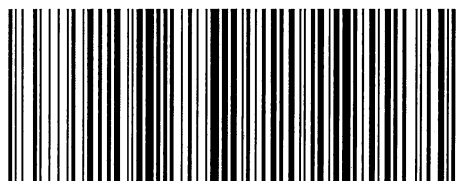
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 32 千字
2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-54428 定价 21.00 元



GB/T 30069.2-2016

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107