

# 超长时高温持久蠕变机试验能力与方法开发

王慧, 许佳焱, 崔喆珉, 陈琦峰, 万春阳, 宣祎恂, 朱勤为

(浙江国检检测技术股份有限公司, 浙江省嘉兴市 314300)

**摘要:** 超长时高温持久蠕变机通常进行拉向蠕变性能测试, 能够模拟材料在长时间恒定应力或应变下的变形行为; 拉向持久强度测试, 评估材料在高温环境下的持久强度, 即材料抵抗长时间蠕变断裂的能力。压缩蠕变是指材料在受到持续垂直于其表面的压力时, 随时间增长而发生的缓慢且连续的塑性变形现象。压缩蠕变试验中常用的试件形状主要是圆柱形和板状, 测量系统主要连接在工装夹具上, 该形式加载方向为压向, 且未直接测量试样上的蠕变伸长量, 无法准确的描述试样在规定温度和应力下的性能。针对加载方向问题, 通过反向工装将设备产生的拉伸载荷转换成作用在试样上的压缩载荷; 针对测量问题, 采用带凸台的压缩蠕变试样, 并使用双侧引伸计, 结合计算机软件实现应变的实时反馈与控制。以此方案开发的超长时高温持久蠕变机试验实现功能开发, 并在实际项目中得到验证与应用。

**关键词:** 超长时高温持久蠕变机; 压缩蠕变; 反向工装; 功能开发

## Development of test capability and method of ultra-long high-temperature lasting creep Machine

XXX XXX XXX XXX XXX

(Zhejiang Guojian Testing Technology Co., Ltd., Jiaxing 314300, China)

**Abstract:** Ultra-long high temperature persistent creep machine usually performs the creep performance test, which can simulate the deformation behavior of material under long time constant stress or strain; pull persistent strength test to evaluate the lasting strength of material in high temperature environment, that is, the ability of the material to resist long time creep fracture. Compression creep refers to the slow and continuous plastic deformation of a material with time growth when subjected to a pressure continuously perpendicular to its surface. The commonly used specimen shape in compression creep test is mainly cylindrical and plate, and the measurement system is mainly connected to the fixture. The loading direction of this form is pressure, and the creep elongation on the sample is not directly measured, which cannot accurately describe the performance of the sample under the specified temperature and stress. For the loading

direction, the tensile load generated by the equipment is converted by reverse tooling into the compression load applied on the test sample. For the measuring problem, adopt the compression creep sample with convex table, and realize real-time feedback and control with computer software. The ultra-long-time high temperature lasting creep machine developed by this scheme realizes the functional development, and is verified and applied in the actual project.

Key words: ultra-long high temperature lasting creep machine; compression creep; reverse tooling; function development

**Keywords:** Ultra-long high temperature lasting creep; compression creep; reverse tooling; function development

## 0 引言

压缩蠕变是指材料在受到持续垂直于其表面的压力时,随时间增长而发生的缓慢且连续的塑性变形现象。这种现象通常发生在材料处于高温、高压或长时间应力作用的条件下。压缩蠕变在材料科学和工程学领域具有广泛的应用价值。例如,在航空航天、核能工程、高温炉窑等领域中,材料的蠕变性能直接关系到设备的安全性和使用寿命。因此,在设计和选材过程中,必须充分考虑材料的蠕变性能。

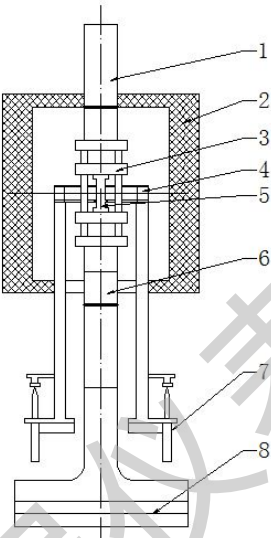
压缩蠕变试验是评估材料蠕变性能的主要方法。试验过程中,将试件置于超长时持久蠕变机中,施加恒定的载荷,并观察记录试件随时间的变形情况。通过测量蠕变过程中的应变量、蠕变速率以及失效时间等参数,可以评估材料的蠕变性能。目前,国内外在材料拉伸蠕变性能测试上已有成熟的试验方法并已制定了很多标准,如 ASTM E139、ISO 204 及 GB/T 2039 等。市场上的蠕变试验机也主要用于拉伸蠕变试验。因此,在材料研究和应用中多采用拉伸蠕变来描述材料的蠕变性能,关于材料压缩蠕变性能的报道较少。因此,需要在检测方法和检测设备上进行优化和改进,基于现有设备(中机持久蠕变机)进行试验能力与方法开发。

## 1 测试系统改进

测试系统主要包括加热系统、加载系统、测量系统和控制系统。通过对加载和测量系统的改进实现压缩蠕变功能。

加热系统能够提供稳定的高温环境,压缩试样处于高温炉均温带,温度范围可根据不同需求进行调整;加载工装根据目前普遍采用的拉伸蠕变试验机的应变测量工装,结合相关文

献报道的反向加载思路进行设计,通过加载工装实现试验机产生的拉伸力转变为作用与试样上的压缩力,同时可实现蠕变变形的长时间持续测量和采集;测量系统包括应变测量系统和温度测量系统,应变测量系统用于监测试样在高温压缩过程中的变形情况,温度测量确保加热系统提供的温度准确稳定;控制系统控制整个试验装置的运行,高度控制,加载控制盒数据采集等功能,可设置试验参数,如温度、载荷、试验时间等,并实时监测的记录试验数据等。



1.上连杆, 2.高温炉, 3.反力架拉伸工装, 4.引伸杆  
5.试样, 6.下拉杆, 7.变形传感器, 8.载荷传感器

图 1 高温压缩蠕变试验装置图

## 2 试样设计

试样外形及尺寸参考了 GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法中的台阶试样,考虑到压缩蠕变与拉伸蠕变的不同之处,压缩过程中试样易发生屈曲,因此,试样类型只保留了圆形截面试样,没有采用方形和矩形截面试样,并对试样的长径比和垂直度做了明确规定。图 2 和表 1 是设计的压缩蠕变试样。

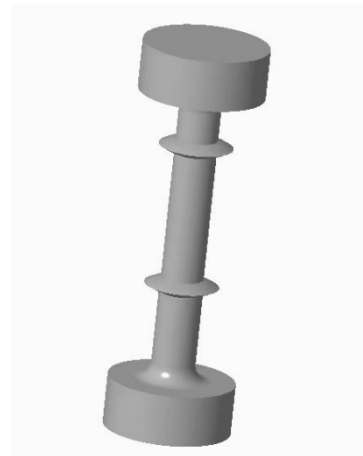
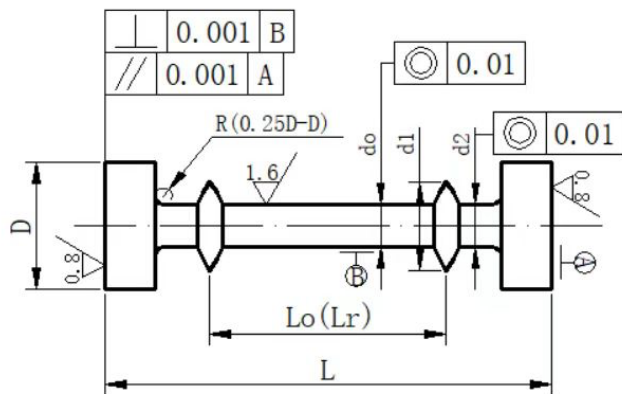


图 2 压缩蠕变试样

表 1 推荐试样尺寸 (mm)

|    | 试样 1    | 试样 2    |
|----|---------|---------|
| d0 | 5±0.02  | 8±0.02  |
| L0 | 17±0.1  | 20±0.1  |
| D  | ≥15     | ≥24     |
| d1 | 5.3—5.5 | 8.3—8.8 |
| d2 | 8.8     | 12.2    |
| L  | 47±0.5  | 68±0.5  |

### 3 工作原理

将压缩蠕变试样放置于试验装置中，通过加热系统将温度升至规定值并保温 1 小时，达到保温时间开始加载，加载系统对试样施加恒定的压缩载荷。在高温和载荷的作用下，试样会发生蠕变变形，并实时将数据反馈给控制系统。控制系统根据设定的试验参数和采集到的数据进行分析处理，得出材料的压缩蠕变性能参数，如蠕变速率，蠕变曲线等。



图 3 压缩蠕变试验图

## 4 经济及社会效益分析

- 1) 提供金属材料压缩蠕变性能数据，为工程材料选择及零部件设计提供依据；
- 2) 提供标准可靠的试验方法进行材料或零部件压缩蠕变性能评估及失效分析；
- 3) 为压缩蠕变设备的开发及应用提供参考；
- 4) 提供可靠的试验方法进行新材料性能及机理研究。

### 参考文献：

- [1] 袁竭. Mg-Gd-Y-Zr 铸造耐热镁合金组织、性能及其蠕变行为的研究 [J]. 上海交通大学.
- [2] 李鑫. 铝合金在拉伸/压缩应力下的蠕变行为研究[J]. 哈尔滨工业大学.
- [3] 肖红星, 龙冲生, 陈乐, 等. 反应堆控制棒材料 Ag-In-Cd 合金的压缩蠕变行为[J]. 金属学报, 2013, 49(08): 1012-1016.
- [4] 房永强, 郑晓斐, 张浩, 等. 高温压缩蠕变系统改造[J]. 有色设备, 2016, (04): 42-43.
- [5] 张扬, 封爱成, 李小平, 等. 挤压铸造 AZ91-Mg 镁合金的压缩蠕变行为[J]. 金属热处理, 2017, 42(11): 61-66.
- [6] 李国兴, 党朋, 张永甲等. 电缆用 Al-Fe 系铝合金导体材料的恒应力高温压缩蠕变行为[J]. 机械工程材料, 2024, 48(02): 30-34.