

铝合金时效蠕变与时效力松驰关系研究*

Research on Relationship Between Aging Creep and Stress Relaxation of Al-Alloy

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 黄晓婧 王俊彪 张贤杰

[摘要] 分析了材料蠕变与应力松驰的关系,提出了一种由材料蠕变曲线获取应力松驰曲线的转换方法。以铝合金 7075T6 为试验材料在 177℃ 时效温度下实施了蠕变与应力松驰试验,通过比较试验应力松驰曲线与此转换方法得到的应力松驰曲线,验证了转换方法的准确性。

关键词: 时效 蠕变 应力松驰 铝合金

[ABSTRACT] A theoretical method for obtaining stress relaxation curve from creep curve is proposed in this paper. This method is based on the analysis of relationship between creep and stress relaxation. In order to verify the theoretical model, creep and stress relaxation experiments at 177 °C on 7075T6 aluminum alloy are performed, and results are compared with those predicted by the model for stress relaxation. Good agreements between the model predictions and the experiment results are found.

Keywords: Aging Creep Stress relaxation Alu-minum alloy

蠕变与应力松驰是金属材料在不同条件下表现出来的两种性质。所谓蠕变是指当试件受恒定的外力作用时,试件的变形随着时间的增长而缓慢增大的现象。应力松驰是指当试件的变形在恒温下保持不变时,试件的应力随着时间增加而减少的现象。

对于铝合金材料,两种性质可与人工时效处理结合起来应用于大型薄壁结构件的成形,分别称为时效蠕变成形和时效力松驰成形。时效蠕变成形^[1-3]主要是将材料的人工时效与蠕变成形结合,即利用时效处理得到铝合金所需性能,同时利用材料在弹性应力作用下发生的蠕变变形,得到具有一定形状的结构件。时效力松驰成形^[4-5]是利用材料应力松驰特性,使待成形零件的弹性预应变在一定的温度下经过一定时间部分地转化为塑性应变,从而实现零件成形并同时完成时效处理的一种工艺方法。

穆霞英^[6]认为应力松驰产生的原因是由于弹性变形转化为蠕变变形,引起应力相应减少,松驰过程中随时间增加的蠕变变形与蠕变成形中的蠕变现象都可以用位错理论来解释,松驰是蠕变现象的另一种表现。A.R.Hunter 等^[7]认为,材料在长期扭力作用下,会发生应力松驰现象,其本质是存在蠕变行为。这表明蠕变与应力松驰在机理上是统一的,二者之间应存在转化关系。

1 蠕变与应力松驰的关系

应力松驰与蠕变两种现象的不同之处在于蠕变过程一般保持恒定的应力,而应力松驰是在总变形量不变的情况下,随着时间的延长弹性变形不断转化为塑性变形。表 1 列出了蠕变和应力松驰过程中应力和应变随时间变化的对比关系。

表1 蠕变和应力松驰的应力、应变随时间延长时的变化情况

应力、应变	蠕变	应力松驰
弹性应变 ε_e	不变	减小
塑性应变 ε_p	增加	增加
总应变 ε	增加	不变
应力 σ	不变	减小

实际上在应力松驰变形过程的某一时刻 t ,如果试件所受的应力为 σ ,在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内产生的塑性变形量为 ε_c ,如图 1 (a) 所示,其中 Δt 为微小的时间增量。则在该微小时间段内,试件应力可视为恒定值,发

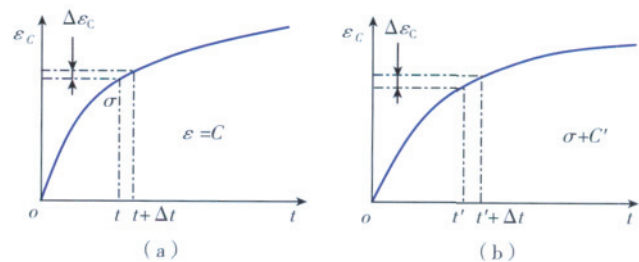


图1 蠕变与应力松驰关系分析示意图

Fig.1 Analysis between creep aging and stress relaxation

* 陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项(2007ZDKG-65)资助项目。

生的变形可视为应力为 σ 的蠕变过程,如图 1(b)所示。因此,应力松弛过程可等效为多个微小时间段蠕变的累积。

应力松弛过程中的应力应变满足如下关系:

$$\varepsilon = \varepsilon_c + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_p \quad (1)$$

两边对时间取导数后,得:

$$\frac{d\varepsilon_p}{dt} = -\frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} \quad (2)$$

若取 v (或 ε_1) $\approx \frac{d\varepsilon_p}{dt}$,

则应力松弛速度和蠕变速度的关系为

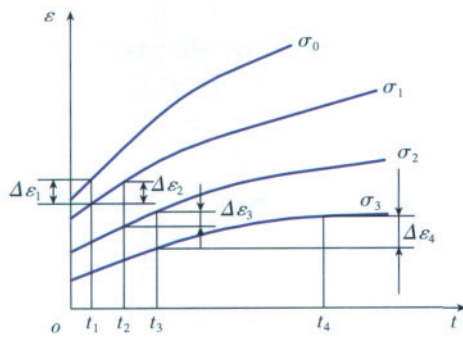
$$v_r = -Ev, \quad (3)$$

式中, v_r 为应力松弛速度 ($= \frac{d\sigma}{dt}$); v 为蠕变速度; E 为材料的弹性模量。

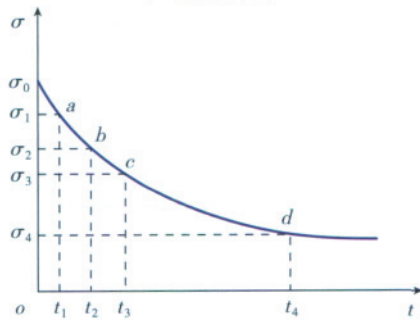
根据上式可以进行蠕变曲线和应力松弛曲线之间的转换,其方法如下。

(1) 由蠕变曲线绘制应力松弛曲线。

首先在应力为 σ_0 的蠕变曲线上 (见图 2(a), 得到经时间 t_1 后的塑性应变 $\Delta\varepsilon_1$, 根据式 (2) 求得相应于应力松弛现象在 σ_0 下经同样时间 t_1 后的剩余应力 σ_1 , 其



(a) 蠕变曲线



(b) 应力松弛曲线

图2 根据蠕变曲线绘制应力松弛曲线

Fig.2 Stress relaxation curve drawn according to creep aging curve

值为

$$\sigma_1 = \sigma_0 - E\Delta\varepsilon_1 \quad (4)$$

在应力松弛曲线上可以得到一个相应的点 a 。再在应力为 σ_1 的蠕变曲线上, 得到由时间 t_1 到 t_2 的塑性应变值 $\Delta\varepsilon_2$, 又可求出应力松弛曲线中在 t_2 时刻的剩余应力 σ_2 , 其值为:

$$\sigma_2 = \sigma_1 - E\Delta\varepsilon_2 \quad (5)$$

并可得到相应的 b 点。依此类推, 可以获得图 2(b) 所示的应力松弛曲线。因此, 当时间间隔取得愈小时, 即应力值变化愈小时, 得到的应力松弛曲线将愈接近实际结果。

因此, 由材料的蠕变特性可推知其应力松弛特性。

2 蠕变曲线与应力松弛曲线转换试验

为了验证上述蠕变与应力松弛曲线转换方法, 本课题以常用的 7075T6 铝合金为研究对象, 参考材料热处理规范^[8] 对其 177℃ 下的蠕变与应力松弛特性进行试验研究, 时效时间为 8~10h。

根据标准《金属拉伸蠕变及持久试验方法》^[9], 设计试验件形状如图 3 所示。

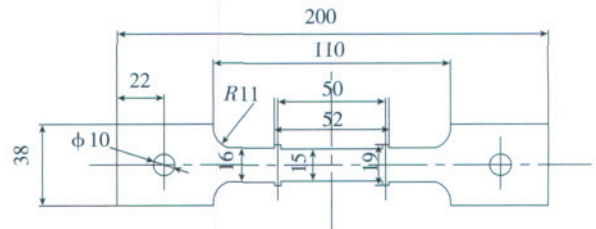


图3 试件二维图

Fig.3 Two dimensional graph of specimen

其中, 标距截面积为 $15 \times 2.44(\text{mm}^2)$, 标距长度为 50mm。

分别做应力为 150MPa、200MPa、250MPa、300MPa 的蠕变试验, 据试验数据绘制蠕变曲线, 如图 4 所示。

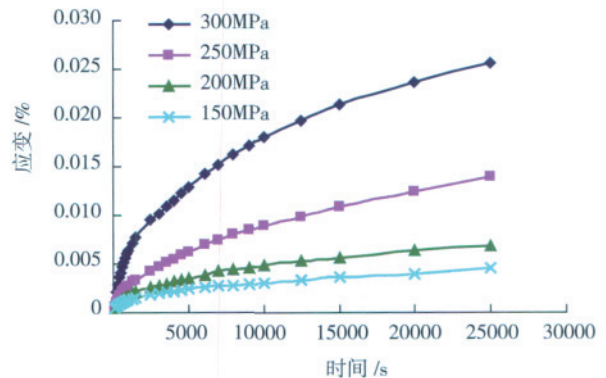


图4 各应力条件下的蠕变曲线

Fig.4 Creep aging curves under various stress conditions

分别取 $t_0=1000s, t_1=1500s, t_2=4000s, t_3=8000s, t_4=25000s$, 根据公式(2)求出相应时间段下的剩余应力并与试验值对比,如表2所示。

表2 不同时间计算值与试验值对比

时间 /s	计算应力值 /MPa	试验应力值 /MPa
$t_0=1000$	292.85	292.85
$t_1=1500$	244.04064	244.5237
$t_2=4000$	195.184	210.5463
$t_3=8000$	169.5333	182.3508
$t_4=25000$	134.795	147.611

二者曲线对比如图5所示。

由试验与转换后的应力松弛曲线对比可知:二者最大误差为8.68%。由此说明应力松弛曲线可由蠕变曲线转换得出。

3 结论

(1)蠕变与应力松弛在成形工艺上存在内在联系,二者的物理机理都可以用蠕变位错来解释。应力松弛过程可看作微小时间内蠕变的叠加,是蠕变的一种特殊

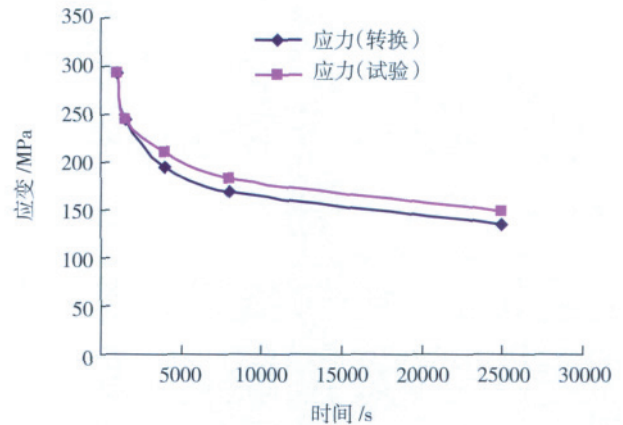


图5 试验与转换后的应力松弛曲线对比
Fig.5 Comparison of test stress relaxation curve with transformed stress relaxation curve

形式。

(2)铝合金的时效应力松弛曲线可通过相同温度下的多条时效蠕变曲线转换获得。

本文共有参考文献4篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 小颖)

FAIERR® 芬尔把手点缀精美机械

手柄类

水平调整件

合金拉手

手轮

把手

铰链

唯有更专业

● 压紧把手 ●

才有高品质

● 拉紧把手 ●

● 顶紧把手 ●

扬州芬尔机械配件有限公司
YANGZHOU FAIERR MECHANICAL FITTING CO., LTD.

地址: 江苏省扬州市沙头镇施沙路8号 邮编: 225105
电话: 0514-87533188 87533288 传真: 0514-87533288 87533088
http://www.faierr.com E-mail: sale@faierr.com.cn

广告索引号 11-086