

巴氏合金 SnSb11Cu6 蠕变力学性能研究

王建梅, 薛亚文, 张艳娟, 王少伟

(太原科技大学 重型机械教育部工程研究中心, 山西 太原 030024)

摘要: 针对油膜轴承巴氏合金 SnSb11Cu6 工作过程中发生的蠕变, 设计了 SnSb11Cu6 蠕变试验方法并对其进行了蠕变试验, 分析了应力、温度、时间、应变和应变率之间的关系, 获得了 SnSb11Cu6 的蠕变力学性能, 同时基于试验数据对 4 种蠕变模型进行了对比分析, 建立了基于 McVetty 公式和 Dorn 公式的 SnSb11Cu6 蠕变模型, 其相对误差仅为 0.97%, 应用 ANSYS 对蠕变试件进行了数值模拟, 在稳态蠕变阶段模拟值与理论计算值的相对误差仅为 0.77%。确定了所建立的蠕变模型用于描述 SnSb11Cu6 蠕变特征具有较高的精度, 可为油膜轴承巴氏合金 SnSb11Cu6 蠕变寿命的预测提供理论与试验支持。

关键词: 巴氏合金; SnSb11Cu6; 油膜轴承; 蠕变试验; 蠕变模型

中图分类号: TG146

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2015)06-1432-07

油膜轴承广泛应用于各类板带材轧机和发电机组等大型设备, 其中衬套是油膜轴承最薄弱的零件^[1]。衬套损坏往往是由于巴氏合金失效造成, 巴氏合金具有承受高负荷和耐磨的良好性能, 属于低熔点合金, 在工作过程中会发生微观的蠕变现象, 对油膜的润滑性能、承载能力和轴承寿命会产生不可忽略的负面影响^[2]。

国内外学者对金属的蠕变现象作了大量研究, 其中, 闫焉服^[3]分析了稳态蠕变速率与应力和温度的相关性; 柳晖^[4]根据熵守恒定律和能量守恒定律, 推导了一种新的蠕变寿命能量模型; J. Cadek^[5]研究了材料蠕变率的控制机制, 推导了金属蠕变应力、温度、蠕变率的关系; Robert^[6]分析了选择蠕变模型的方法, 论证了外推数据的可行性和准确性; B. Wilshire^[7]研究了金属蠕变的试验方法; V. Gaffard^[8]对不锈钢的蠕变机制进行了研究, 获得了不锈钢的蠕变特性; Jad Jelwan^[9]建立了基于材料内部应变能耗散的金属蠕变模型。上述文献均未涉及到巴氏合金的蠕变力学性能研究, 但可为研究巴氏合金的蠕变提供思路和参考。

目前, 国外油膜轴承生产商已开始对巴氏合金的蠕变进行研究^[10]。SMS 公司开发了新型 ULC 巴氏合金(超低蠕变衬套); 摩根 KLX 型油膜轴承采用的高强度巴氏合金(HSB)具有优良的抗蠕变性能, 但是国外对上述相关技术封锁严密, 我国在这方面的研究仍为空白^[11,12]。因此, 本工作对巴氏合金蠕变试验方法、蠕变力学性能及其蠕变模型开展了深入研究。

1 SnSb11Cu6 蠕变试验

1.1 试验设备和试样

对于 100 °C 以下的低温蠕变试验, 现有蠕变试验机的加热控制精度达不到蠕变试验标准要求。因此, 本工作基于电子式万能试验机设计了一套针对巴氏合金的蠕变试验设备, 设备精度满足蠕变试验标准的各项要求。蠕变试验设备主要包括: WDW-E100D 型微机控制电子式万能试验机、YYU 系列电阻应变式引伸计、镍铬合金电阻式加热带、TI200 红外测温仪、加热罩、耐热布等; 其中, 电子式万能试验机包括机械式加载装置、PC 控制器及终端计算机。蠕变试样如图 1 所示。

本试验依照 GB/T2039-1997 金属拉伸蠕变及试验方法^[13], 将试样加热至规定温度, 沿试样轴线方向施加拉伸力并保持恒定, 测定其蠕变变形值。试验步骤如下:

1) 试验室温度保持在 18~25 °C, 并远离或隔离震源; 调试试验机, 安装试件、引伸计及加热设备等。



图 1 蠕变试样

Fig.1 Specimen for creep test

收稿日期: 2014-06-20

基金项目: 国家青年科学基金项目(51205269); 山西省基础研究计划项目(自然)(2012011018-2); 山西省回国留学人员科研资助项目(2013-093)

作者简介: 王建梅, 女, 1972 年生, 博士后, 教授, 太原科技大学, 山西 太原 030024, 电话: 0351-6998313, E-mail: wjmhdb@163.com

2) 施加初始应力，避免给试样施加偏心载荷，为此施加不超过试验载荷 10% 的初载荷。

3) 试件缓慢升温，升温时间至少不低于 1 h，要避免过热(以 10 °C 为间隔缓慢加热)。

4) 试件保温，均热时间以 16~24 h 为宜。

5) 试件缓慢施加载荷。

6) 到达规定载荷后，记录变形值。

7) 到达规定时间，试验结束。

1.2 蠕变试验方法

对高温长时间工作的材料,要求蠕变试验的周期越短越好,寻求简单、迅速、可靠的试验方法至关重要^[10]。本工作通过如表 1 所示的 2 组蠕变试验方案,表明在方案 A 的基础上,方案 B 通过增加加热时间、保温时间和加载速度,减小初始力,缩短了到达稳态蠕变阶段的时间,试验周期缩短了 73%, 并且试验结果可靠。本工作利用方案 B 对巴氏合金进行了 4 组蠕变试验,相比方案 A 节约了 3460 h。图 2 为 13 MPa-80 °C 工况下 2 种试验方案的蠕变曲线

1.3 蠕变试验误差分析

1.3.1 温度的影响

试验温度对材料蠕变性能的影响取决于材料强度随温度变化规律。蠕变方程为:

$$\dot{\epsilon} = \phi(t, \sigma, T) \tag{1}$$

表 1 13 MPa-80 °C 工况下 SnSb11Cu6 的 2 种蠕变试验方案

Table 1 Two test schemes of SnSb11Cu6 creep at 13 MPa-80 °C

Parameter	Scheme A	Scheme B
Number of specimen	2#	3#
Heating time /h	3	5
Holding time /h	2	5
Initial force /N	150	35
Loading rate / N s ⁻¹	1	2
Time for reaching the steady state/h	150	40
Steady creep rate/×10 ⁻¹⁰ s ⁻¹	1.089	1.077

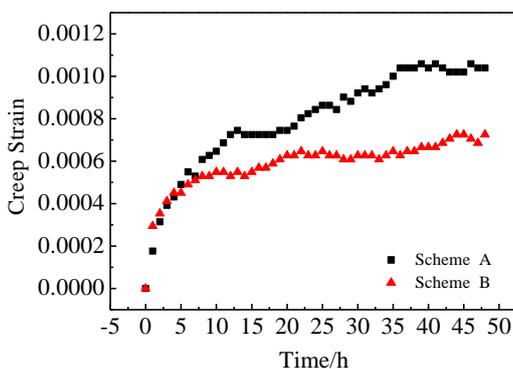


图 2 13 MPa-80 °C 工况下 2 种试验方案的蠕变曲线

Fig.2 Creep curves of two test schemes at 13 MPa-80 °C

式中, $\phi = Pe^{-\frac{Q}{RT}}$, 当温度变化 ΔT 时:

$$\Delta \dot{\epsilon} = Pe^{-\frac{Q}{RT}} \frac{Q}{RT} \Delta T \tag{2}$$

$$\frac{\Delta \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = \frac{Q}{RT^2} \Delta T \tag{3}$$

式中, $\dot{\epsilon}$ 为蠕变速率, t 为时间, σ 为应力, ϕ 为蠕变律; P 为常数, Q 为蠕变激活能, R 为气体常数, T 为绝对温度。

上式表明,蠕变速率的相对变化率与温度的变化成正比,而与温度的平方成反比。因此,应选择在温度较高的工况下进行试验,并保证加热罩内温度的恒定^[14]。

经过试验数据处理,计算得到:

$$\frac{\Delta \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = \frac{666.5}{T^2} \Delta T \tag{4}$$

$$\frac{\Delta \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = 0.035 \tag{5}$$

由式(5)可知,试验中温度变化对试验结果造成误差很小,满足精度要求。

1.3.2 载荷的影响

载荷变化会导致试样应力发生变化,从而影响蠕变速率。蠕变方程为:

$$\dot{\epsilon} = \phi(t, \sigma, T) \tag{6}$$

式中, $\phi = B\sigma^m$, 当应力有微小变化时:

$$\frac{\Delta \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = \frac{Bm}{\sigma} \Delta \sigma \tag{7}$$

式中, B 、 m 为常数。

由式(7)表明,蠕变变形的相对变形率与应力的变化成正比,而与应力大小成反比。因此,在试验过程中要尽可能使载荷恒定,并减少振动^[14]。

经过试验数据处理,计算得到:

$$\frac{\Delta \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = \frac{7.457 \times 10^{-14}}{\sigma} \Delta \sigma \tag{8}$$

$$\frac{\Delta \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = 4.589 \times 10^{-15} \tag{9}$$

由式(9)可知,试验中载荷变化对试验结果造成误差较小,满足精度要求。

2 结果及分析

图 3 为 SnSb11Cu6 蠕变曲线。由图 3 可知,巴氏合金 SnSb11Cu6 在轴承的工作条件下会发生明显的蠕变现象。比如,在 13 MPa-60 °C 工况下 160 h 内,合金蠕变应变达到 0.001 02,合金蠕变会降低油膜的稳定性和承载能力,缩短轴承使用寿命。巴氏合金 SnSb11Cu6 蠕变曲线可分为 2 个阶段,第 1 阶段为减速蠕变阶段,蠕变速率随着时间的增加逐渐降低,最后进入蠕变第 2 阶段稳态蠕变阶段。

图 4 为 SnSb11Cu6 应变速度与应变关系。由图

4 可知, 随着应变的增加, 应变率不断减小, SnSb11Cu6 塑性不断降低, 这种应变硬化是巴氏合金发生蠕变的重要原因。不同应力和温度下的合金应变速度与应变关系曲线具有相似的形状, 说明可以通过高温高应力短时间试验, 近似估算出低温低应力长时间的试验结果。

时间、温度和应力是影响 SnSb11Cu6 蠕变的主要因素。在相同时间恒温下, 试验应力越大, 合金蠕变应变越大; 如图 3 所示, 当应力由 13 MPa 变为 18 MPa 时 (增加了 38.4%), 合金蠕变应变由 0.00105 变为 0.0025 (增加了 138%)。在相同时间恒应力下, 试验温度越高, 合金蠕变应变越大; 如图 3 所示, 当温度由 60 °C 变为 80 °C 时 (增加了 33.3%), 合金蠕变应变由 0.001 05 变为 0.001 54 (增加了 47.7%)。综上所述, 相比温度和时间, 应力对合金蠕变影响更大; 降低合金工作应力, 可有效减小合金蠕变, 延长轴承寿命。

在相同时间恒应力下, 试验温度越高, SnSb11Cu6 蠕变第 1 阶段持续时间越长; 如表 2 所示, 当温度由 60 °C 变为 80 °C (增加了 33.3%), 第 1 阶段时间由 30 h 变为 150 h (增加了 400%)。在相同时间恒温下, 试验应力越大, 蠕变第 1 阶段持续时间越长; 如表 2 所示, 当应力由 13 MPa 变为 18 MPa (增加了 38.4%), 蠕变第 1 阶段持续时间由 30 h 增加到 60 h (增加了 100%)。综上所述, 相比应力, 温度对 SnSb11Cu6 蠕变第 1 阶段持续时间影响较大, 控制合金的工作温度, 可以有效控制 SnSb11Cu6 蠕变第 1 阶段持续时间。

在相同时间恒温下, 应力越大, SnSb11Cu6 稳态蠕变速率越大; 如表 2 所示, 当应力由 13 MPa 变为 18 MPa (增加了 38%), 稳态蠕变速率增加了 210%; 在相同时间恒应力下, 温度越高, 合金稳态蠕变速率越大; 如表 2 所示, 温度由 60 °C 变为 80 °C (增加了 33.3%), 稳态蠕变速率增加了 10%。综上所述, 相比温度, 应力对稳态蠕变速率影响较大。因此, 降低 SnSb11Cu6 工作应力, 可以有效降低稳态蠕变速率, 延长油膜轴承巴氏合金的使用寿命。

3 蠕变模型研究

3.1 SnSb11Cu6 蠕变模型

试验表明, 在一定温度和应力范围内, 在固定材料因子条件下, 蠕变模型可以分离为时间、温度和应力函数之积, 如式 (10) 所示。本研究基于 McVetty 公式和 Dorn 公式, 建立了描述蠕变第 1、2 阶段的 SnSb11Cu6 蠕变模型, 如式 (11) 所示。

$$\varepsilon=f_1(t)f_2(T)f_3(\sigma) \tag{10}$$

式中, ε 为蠕变应变; $f_1(t)$ 为蠕变模型的时间分离函数; $f_2(T)$ 为蠕变模型的温度分离函数; $f_3(\sigma)$ 为蠕变模型的

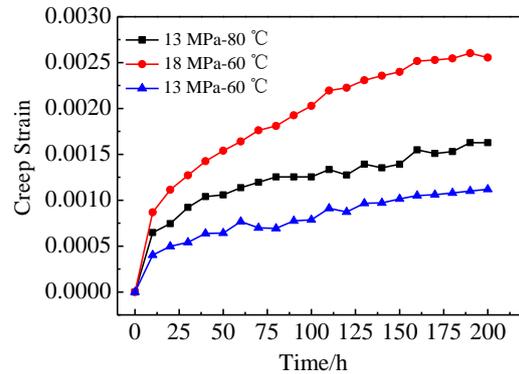


图 3 SnSb11Cu6 蠕变曲线

Fig.3 Creep curves of SnSb11Cu6

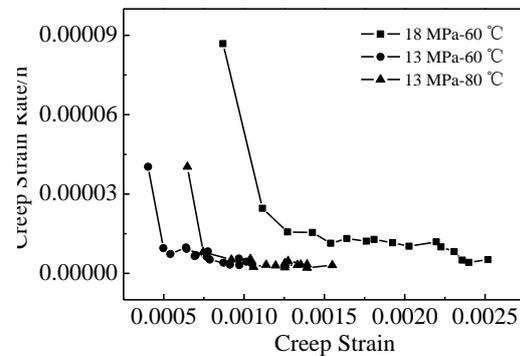


图 4 SnSb11Cu6 应变速度与应变关系

Fig.4 Relationship between strain rate and strain of SnSb11Cu6

表 2 SnSb11Cu6 蠕变试验结果

Table 2 Test result of SnSb11Cu6 creep

Number of specimen	Stress /MPa	Temperature /°C	Time for reaching the steady state/h	Steady creep rate/ $\times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$
1#	13	60	30	0.972
2#	13	80	150	1.089
3#	13	80	40	1.077
4#	18	60	60	2.813
5#	20	60	100	4.444

应力分离函数。

$$\varepsilon=\left[x_1(1-e^{-x_2t})+x_3t\right]x_4e^{x_5\sigma}e^{-x_6/T} \tag{11}$$

式中, 蠕变系数 x_i ($i=1\sim 6$) 由蠕变试验确定, 见表 3。根据蠕变试验数据, 建立 SnSb11Cu6 蠕变模型, 如式 (12) 所示, 该式可以外推任意温度、应力和时间的

SnSb11Cu6 蠕变应变。试验蠕变曲线与基于 SnSb11Cu6 蠕变模型的蠕变曲线的对比如图 5 所示。

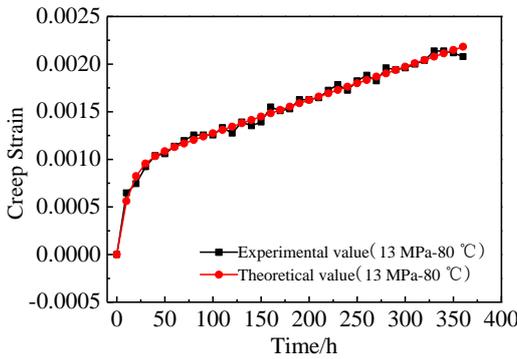


图 5 试验蠕变曲线与基于 SnSb11Cu6 蠕变模型的蠕变曲线
Fig.5 Test creep curve and creep curve based on SnSb11Cu6 creep model

$$\varepsilon = [0.0843 \times (1 - e^{-0.0179t}) + 4.7416t] \times (-0.4088) e^{113.4189\sigma - 0.0546/T} \quad (12)$$

3.2 陈化理论模型

陈化理论认为，蠕变过程中的时效、扩散、恢复等因素影响着蠕变的进行，主要的影响因素是金属在高温负荷下所保持的时间^[15]，蠕变模型表示为：

$$\varepsilon = f_1(\sigma) f_2(t) \quad (13)$$

在工程上常用的形式为：

$$f_1(\sigma) = \sigma^n \quad (14)$$

$$f_2(t) = At^m \quad (15)$$

由式(12)得到陈化理论公式

$$\varepsilon = A\sigma^n t^m \quad (16)$$

式中，蠕变系数 A 、 m 、 n 由蠕变试验确定，见表 3。试验蠕变曲线与基于陈化理论的蠕变曲线的对比如图 6 所示。

3.3 应变硬化理论模型

应变硬化理论^[16]认为，蠕变过程中起强化作用的主要因素是蠕变变形，与时间无关。常用的蠕变模型为：

$$\dot{\varepsilon}_c \varepsilon^\alpha = \beta \sigma^\gamma \quad (17)$$

$$\dot{\varepsilon}_c \varepsilon^\alpha = a e^{\sigma b} \quad (18)$$

式中， α 、 β 、 a 、 b 、 d 、 γ 都是由蠕变试验确定的常数。

蠕变情况下， σ 为常数，且 $t=0$ 时， $\varepsilon_c=0$ ，积分得到蠕变方程：

$$\varepsilon_c = [\beta(1+\alpha)]^{1/(1+\alpha)} \sigma^{\gamma/(1+\alpha)} t^{1/(1+\alpha)} \quad (19)$$

其中，蠕变系数 α 、 β 、 γ 由蠕变试验确定，见表 3。试验蠕变曲线与基于应变硬化理论的蠕变曲线的对比如

图 7 所示。

3.4 θ 函数法模型

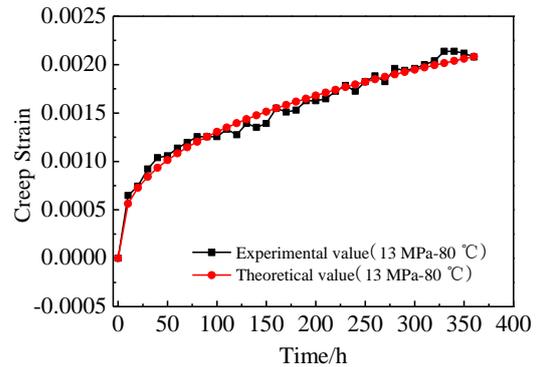


图 6 试验蠕变曲线与基于陈化理论的蠕变曲线
Fig.6 Test creep curve and creep curve based on aging theory model

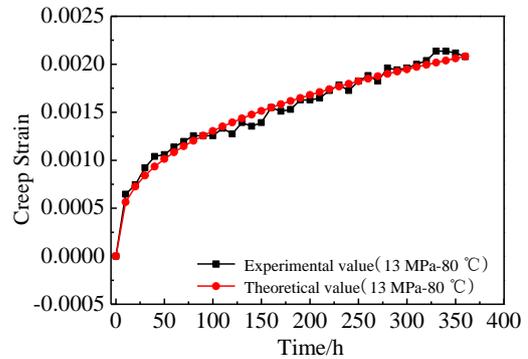


图 7 试验蠕变曲线与基于应变硬化理论的蠕变曲线
Fig.7 Test creep curve and creep curve based on strain hardening theory model

θ 函数法认为材料蠕变是一个应变硬化和碳化物析出、聚集、长大及形成空洞引起材料弱化的物理模型^[14]。

$$\varepsilon = \theta_1 (1 - e^{-\theta_2 t}) + \theta_3 (e^{\theta_4 t} - 1) \quad (20)$$

式中，蠕变系数 θ_i ($i=1\sim 4$) 由蠕变试验确定，见表 3。试验蠕变曲线与基于 θ 函数法的蠕变曲线的对比如图 8 所示。

3.5 4 种模型的对比分析

4 种模型的相对误差如图 9 和表 4 所示，在蠕变第 1 阶段，4 种模型的相对误差平均值分别为：本研究蠕变模型 (2.40%)、 θ 函数法 (4.01%)、陈化理论 (5.56%)、应变硬化理论 (6.01%)；在蠕变第 2 阶段，4 个模型相对误差平均值分别为：本研究蠕变模型 (0.97%)、 θ 函数法模型 (1.71%)、应变硬化理论模型 (2.26%)、陈化理论模型 (2.23%)。

如图 9 所示, 在蠕变第 1、2 阶段, 本研究蠕变模型的相对误差最小。这可以说明, SnSb11Cu6 的蠕变

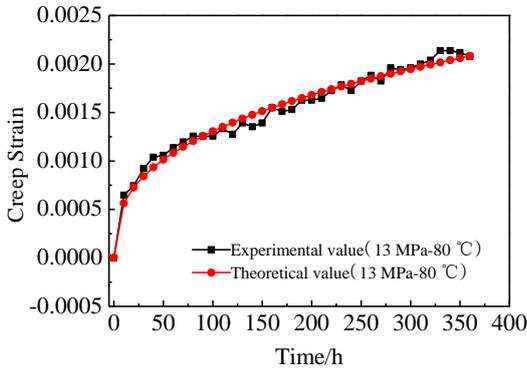


图 8 试验蠕变曲线与基于 θ 函数法的蠕变曲线

Fig.8 Test creep curve and creep curve based on θ function method

表 3 不同蠕变模型的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of different creep models

Creep method	Creep coefficient	Coefficient value
Aging theory	A	5.5773
	m	-3.9137
	n	0.3644
Strain hardening theory	α	1.7440
	β	0.3935
	γ	-8.9305
θ function method	θ_1	0.00087852
	θ_2	0.09463381
	θ_3	-0.00546281
	θ_4	-0.00074478
SnSb11Cu6 creep method of this study	x_1	0.0843
	x_2	0.0179
	x_3	4.7416
	x_4	-0.4088
	x_5	113.4189
	x_6	0.0546

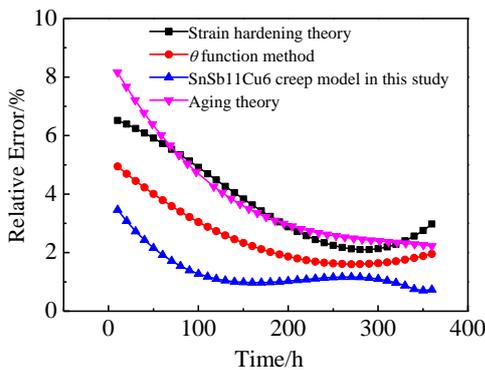


图 9 13 MPa-80 °C 工况下 4 种模型的相对误差

Fig.9 Relative error of all kinds of model at 13 MPa-80 °C

表 4 13 MPa-80 °C 工况下 4 种模型的相对误差值

Table 4 Relative error value of all models at 13 MPa-80 °C

Creep method	Relative error/%		
	0~100 h	100~200 h	200~360 h
Strain hardening theory	6.010	4.381	2.264
θ function method	4.010	2.695	1.705
Aging theory	5.555	4.683	2.234
SnSb11Cu6 creep method	2.401	1.232	0.972

温度较低, 属于非完全回复区的温度范围, 这时应力的作用主要是影响蠕变热激活运动, 应力与应变的关系呈指数关系。而且, SnSb11Cu6 蠕变过程只包括减速蠕变阶段和稳态蠕变阶段, 时间与应变的关系是指数关系和线性关系的组合。因此, 基于 McVetty 公式和 Dorn 公式建立的 SnSb11Cu6 蠕变模型最适用于描述巴氏合金的蠕变规律。

θ 函数法认为合金蠕变过程由蠕变第 1、3 阶段组成, 而 SnSb11Cu6 蠕变只包含蠕变第 1、2 阶段, 所以 θ 函数法不适于描述巴氏合金蠕变过程。应变硬化理论模型和陈化理论模型, 只考虑时间或变形单一因素对蠕变过程的影响, 没考虑各因素间的相互影响, 而巴氏合金蠕变过程中, 不是某个因素一直起主导作用, 因此这 2 个模型误差较大。但是, 在 SnSb11Cu6 蠕变第 1 阶段, 相比应变硬化理论, 陈化理论误差较小。说明在 SnSb11Cu6 减速蠕变阶段, 相比变形, 时间对蠕变过程影响较大。在巴氏合金蠕变第 1 阶段, 相比陈化理论, 应变硬化理论误差较小。说明在 SnSb11Cu6 稳态蠕变阶段, 相比时间, 变形对 SnSb11Cu6 蠕变过程影响较大。

4 有限元数值模拟

ANSYS 能对材料蠕变过程中的蠕变减速阶段和稳态蠕变阶段进行模拟。ANSYS 蠕变分析的数学模型分显式和隐式两类, 其中隐式模型的计算精度较高。试件的几何形状、载荷条件、边界条件均满足轴对称, 因此选取试件实际测量部分截面的 1/4 区域建立几何模型, 基于 ANSYS 隐式蠕变模型对蠕变试件进行有限元数值模拟。由图 10 可知, 在 13 MPa-80 °C 工况下, 理论计算值与模拟值相对误差以 150 h 左右为间隔波动, 并逐渐减小。两者在 0~100, 100~150 和 150~360 h 的相对误差平均值分别为 1.80%, 1.31% 和 0.77%。由此可知, 理论计算值与模拟值基本吻合,

证明本研究建立的 SnSb11Cu6 蠕变模型描述巴氏合金蠕变规律有较高的准确性。

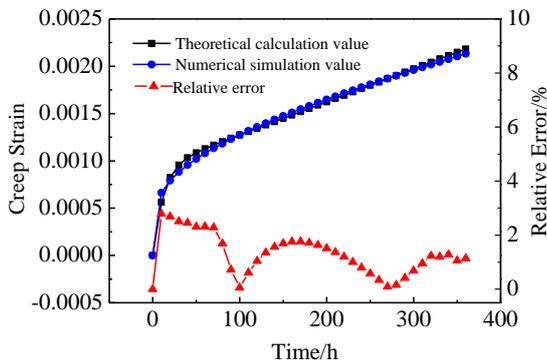


图 10 有限元模拟值与 SnSb11Cu6 蠕变模型计算值对比

Fig.10 Comparison on simulation results and calculated value of SnSb11Cu6 creep model

5 结论

1) 通过对蠕变试验方法的研究,证实了通过增加加热和保温时间,减小加载速度和初始力,可以缩短到达稳态蠕变阶段的时间,使试验周期缩短了 73%,并且试验结果可靠。

2) 由蠕变试验可知,在油膜轴承的工作条件下 SnSb11Cu6 会发生明显的蠕变现象;应力对合金蠕变变形和稳态蠕变速率影响最大,温度对合金减速蠕变阶段持续时间影响最大。本研究获得了 SnSb11Cu6 的蠕变力学性能,可为轴承巴氏合金蠕变寿命的研究提供理论与试验支持。

3) 基于蠕变试验数据,对比分析了 4 种蠕变模型的准确性,确定了基于 McVetty 公式和 Dorn 公式的 SnSb11Cu6 蠕变模型用于计算 SnSb11Cu6 蠕变的精度最高,相对误差为 0.97%。

4) 应用 ANSYS 对巴氏合金蠕变试件进行了有限元数值模拟,模拟值与 SnSb11Cu6 蠕变模型计算值在稳态蠕变阶段的相对误差为 0.77%,证明本研究建立的 SnSb11Cu6 蠕变模型描述巴氏合金蠕变规律有较高的准确性。

参考文献

References

- [1] Wang Jianmei(王建梅), Huang Qingxue(黄庆学), Yang Shichun(杨世春) *et al. Lubricant action Engineering*(润滑与密封)[J], 2006(2): 177
- [2] Thomas E, Simmons, Andrea Contarini *et al. Iron and Steel* (钢铁)[J], 2009, 44(3): 93
- [3] Yan Yanfu(闫焉服), Liu Jianping(刘建萍). *Transactions of the China Welding*(焊接学报)[J], 2005, 26(4): 29
- [4] Liu Hui(柳晖), Xuan Fuzhen(轩福贞). *Journal of Mechanical*(机械强度)[J], 2011, 33(3): 428
- [5] Cadek J, Sustek V, Pahutowi M. *Materials Science and Engineering* [J], 1997, A225: 22
- [6] Robert M, Koerner, Te Yang Soong *et al. Geotextiles and Geomembranes*[J], 2001, 19: 413
- [7] Wilshire B, Evans R W. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*[J], 1994, 29: 159
- [8] Gaffard V, Besson J, Gourgues A F. *International Journal of Fracture*[J], 2005, 133: 139
- [9] Jad Jelwan, Mahiuddin Chowdhury, Garth Pearce. *Engineering Failure Analysis*[J], 2013, 27, 350
- [10] Bai Jing(白晶), Sun Yangshan(孙扬善), Xue Feng(薛烽) *et al. Journal of University of Science and Technology Beijing*(北京科技大学学报)[J], 2007, 29(2): 198
- [11] Zhan Lihua(湛利华), Li Jie(李杰), Huang Minghui(黄明辉) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2013, 23(2): 320
- [12] Zhang Huafeng(张华锋), Zheng Jianping(郑剑平), Yang Qifa(杨启法) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2013, 42(4): 751
- [13] GB/T 2039—1997[S]. Beijing: China Standard Press, 1997
- [14] Tian Sugui(田素贵), Xie Jun(谢君), Zhou Xiaoming(周晓明) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2011, 40(5): 808
- [15] Zhang Yaocheng(张尧成), Zeng Ming(曾明), Guo Ping(郭萍) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2009, 19(7): 1169
- [16] Zhang Shichang(张诗昌), Zong Qin(宗钦), Hu Yansheng(胡衍生). *Journal of Mechanical Engineering*(机械工程学报)[J], 2009, 45(3): 291

Creep Mechanical Properties of Babbitt SnSb11Cu6

Wang Jianmei, Xue Yawen, Zhang Yanjuan, Wang Shaowei

(Heavy Machinery Engineering Research Center of Education Ministry,

University of Science and Technology Taiyuan, Taiyuan 030024, China)

Abstract: According to the creep deformation of Babbitt SnSb11Cu6 of oil-film bearing in operation, a creep test method of SnSb11Cu6 was designed and the creep test of SnSb11Cu6 was carried out. The relationships of stress temperature, time, strain and strain rate were analyzed, and then the creep mechanical properties of SnSb11Cu6 were obtained. Meanwhile, four kinds of creep models were compared based on the experimental data. A creep model of SnSb11Cu6 was established based on McVetty formula and Dorn formula, whose relative error is only 0.97%. The creep specimen was simulated by ANSYS, and the relative error between the simulation value and the calculated value of SnSb11Cu6 creep model in the steady state creep stage is only 0.77%. It is concluded that the creep model of SnSb11Cu6 has high accuracy on describing its creep characteristics and can provide theoretical and experimental supports for life prediction of Babbitt SnSb11Cu6 of oil-film bearing bushing.

Key words: Babbitt; SnSb11Cu6; oil-film bearing; creep test; creep model

Corresponding author: Wang Jianmei, Post Doctor, Professor, Heavy Machinery Engineering Research Center of Education Ministry, University of Science and Technology Taiyuan, Taiyuan 030024, P. R. China, Tel: 0086-351-6998313, E-mail: wjmhdb@163.com