

氧化物添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料抗蠕变性能的影响

杨天阳^{1,2}, 马园园^{1,2}, 张小龙^{1,2}, 冯文杰^{1,2}, 李桂景^{1,2}, 房学谦^{1,2}

(1. 石家庄铁道大学, 河北 石家庄 050043)

(2. 河北省智能材料力学协同创新中心 河北省智能材料结构力学重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要: 为研究氧化物添加剂对 Ag 基电接触材料抗蠕变性能的影响, 用粉末冶金法制备了分别含有 CuO、WO₃ 和 In₂O₃ 的 Ag-SnO₂ 材料。室温下对拉伸试样进行蠕变实验, 获得蠕变特征曲线及相关参数, 构建了 Ag-SnO₂ 材料的蠕变本构方程。借助扫描电子显微镜 (SEM) 对拉伸断口形貌进行分析, 用 ABAQUS 有限元软件进一步对蠕变行为进行模拟。结果表明: 由于 SnO₂ 与 Ag 基体间的界面强度得到提高, 氧化物添加剂可显著增强 Ag-SnO₂ 电接触材料的抗蠕变性能, 尤其是 CuO 添加剂的效果最佳。模拟结果与通过实验获得的蠕变数据基本吻合, 误差小于 3%。研究结果对预测 Ag 基电接触材料的蠕变行为及改善力学性能均具有一定参考价值。

关键词: Ag-SnO₂ 电接触材料; 氧化物添加剂; 抗蠕变性能; 有限元模拟

中图分类号: TG146.3⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2021)04-1441-07

银基电接触材料具有优良的导电、导热以及抗熔焊、抗电弧侵蚀等优点, 常用作继电器, 保护器和空气开关等中、低压电器的核心部件。其中, Ag-CdO 电接触材料以其优异的耐腐蚀性、抗熔焊性、接触电阻低以及独特的“灭弧”性能, 在中低压电器中得到了大量应用。随着环保意识的增强, 人们逐渐发现材料中的 Cd 元素对人体非常有害, 在加工和使用过程中都会对环境造成一定污染^[1-5]。因此, 新型 Ag-SnO₂ 电接触材料在近几年得到广泛关注。

尽管 Ag-SnO₂ 电接触材料具有较好的抗熔焊、抗电弧烧蚀等优点, 但 Ag 与 SnO₂ 两相间界面润湿性较差, 在使用过程接触电阻逐渐增大, 温升高^[6,7]; 另一方面, 坚硬的 SnO₂ 增强相会导致 Ag-SnO₂ 电接触材料的塑性和延展性变差, 加工成形过程非常困难。这些问题都限制了 Ag-SnO₂ 电接触材料的广泛应用^[8-12]。因此, 近几年的研究重点主要集中在如何改善 Ag-SnO₂ 电接触材料的电气性能及加工性能^[13,14]。

许多研究表明, 使用氧化物添加剂或元素掺杂可以有效提高 Ag 与 SnO₂ 两相间的润湿性, 从而增强 Ag-SnO₂ 电接触材料的抗电弧侵蚀能力^[15-19]。Wang 等人^[20]选择 TiO₂、LaO₃、BiO₃ 3 种氧化物作为 Ag-SnO₂ 电接触材料的添加剂, 结果表明材料的界面润湿性和

物理性能均有不同程度的提高。王家真等人^[21]证明 CuO 添加剂可显著提高 SnO₂ 与 Ag 的界面润湿性, 7%CuO 的加入可使 Ag 与 SnO₂ 的润湿角从 90°减小到 29°。最近, Jun Wang 等人^[22]在 Ag-SnO₂ 电接触材料中用 CuO 添加剂有效抑制了 SnO₂ 的聚集, 避免出现富 SnO₂ 层。尽管许多研究工作在改善界面润湿性方面取得了很大进展, 但随着电器的小型化和精密化, 对电触头材料的稳定性和加工性能提出更高要求, Ag-SnO₂ 电接触材料的力学性能有待进一步改善。

迄今为止, 有关添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料力学性能的影响研究报道并不是很多。Wang 和 Li 等人^[23]发现, CuO 添加剂使 Ag-SnO₂ 电接触材料的硬度有所下降, 加工性能在一定程度得到改善。最近, 作者研究了 In₂O₃、WO₃、CuO 等氧化物添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料力学性能的影响规律, 发现适量的 CuO 和 Cu₂O 添加剂能够明显改善 Ag-SnO₂ 材料的力学性能^[24,25]。然而, 有关 Ag-SnO₂ 电接触材料的抗蠕变性能还未见报道。

蠕变, 是指固体材料在恒应力 (低于屈服点) 作用下, 随着时间的增加发生缓慢、持续变形的现象。蠕变变形对金属基复合材料的校形工艺, 尤其是 Ag 基触点材料在力-热作用下的尺寸稳定性具有重要影

收稿日期: 2020-04-05

基金项目: 河北省教育厅重点项目 (ZD2018075)

作者简介: 杨天阳, 男, 1995 年生, 硕士生, 石家庄铁道大学, 河北 石家庄 050043, 电话: 0311-87936456, E-mail: 835777945@qq.com

响。本实验旨在研究不同的金属氧化物添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料抗蠕变性能的影响。通过试验得到蠕变曲线,并建立有限元模型模拟材料的蠕变行为,最终得到金属氧化物添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料抗蠕变性能的影响规律及其影响机理。

1 实 验

采用粉末冶金法制备了含有不同氧化物添加剂的 Ag-SnO₂ 材料。实验用原材料为纯 Ag (99.9%, 小于 74 μm)、SnO₂ (99.9%) 和氧化物 (CuO, WO₃, In₂O₃ (99.9%) 粉末。制备的试样中 SnO₂ 和各氧化物添加剂的质量分数分别为 8% 和 0.5%。首先,将粉末按比例称量后,在 XQM-0.4A 行星球磨机上 (长沙天创粉末技术有限公司) 以 400 r/min 的速度混合 2 h。然后将混合后的粉末放入组装模具中,在 200 MPa 压强下保压 2 min 压制成拉伸试样形状。试样的几何形状如图 1a 所示,总长 41 mm,标距为 21 mm,矩形横截面尺寸为 5 mm×3 mm。将压制好的试样放入 MXG1200-40S 炉中,在 N₂ 气氛保护下烧结 4 h,烧结温度为 1023 K。烧结完成后,将冷却好的试样放入模具进行复压,600 MPa 保压 5 min。最后,复压试样在 823 K 进行二次烧结,保温时间为 1 h。

试样抛光后,用游标卡尺测量实际尺寸,在专用拉伸台上 (德国, Kammrath & Weiss GmbH) 进行室

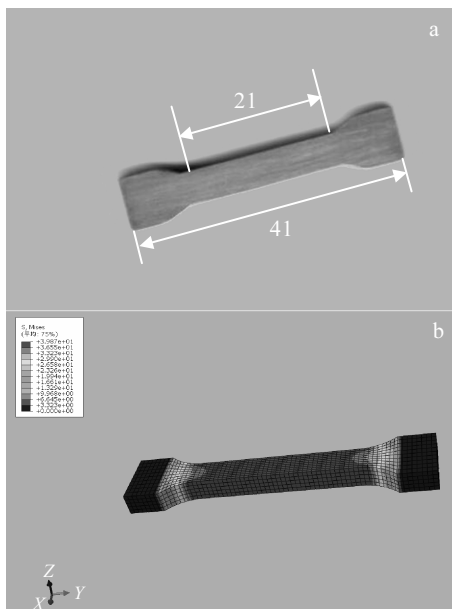


图 1 拉伸试样实物照片和三维有限元模型的应力云图
Fig.1 Photo of the actual tensile sample (a) and stress nephogram of the three dimensional finite element model (b)

温蠕变实验。加载速度为 5 N/s, 试样分别在 30 和 50 MPa 应力下保持 10 h。电脑控制软件每隔 0.01 s 取一次实验数据,最终得到蠕变曲线、蠕变伸长量等数据。试样在恒应力下持续 10 h 后,进一步增加拉应力直至断裂,加载速度为 5 N/s。采用扫描电子显微镜 (SEM, ZEISS) 对断口形貌进行分析。

根据 Ag-SnO₂ 材料试样的几何形状与尺寸,在 ABAQUS 软件中建立如图 1b 所示的有限元模型,模型左端施加约束,为固定端,在右端施加固定荷载,分析步为两步: step 1 为加载阶段,选择静力通用,时间步设为 1; step 2 为蠕变阶段,选择粘性,时间步设为 30 000。

2 结果与分析

2.1 蠕变实验结果

图 2 为含不同添加剂的 Ag-SnO₂ 电接触材料在不同恒应力作用下的蠕变曲线。从图 2 中可以看出,材料的蠕变量随持续时间的延长而增加。根据蠕变量增加的速率特点可将曲线分为两阶段,分别为初始蠕变和稳态蠕变阶段。其中,初始蠕变量是材料校形工艺中十分重要的指标^[26]。由于初始蠕变和稳态蠕变阶段之间没有明显界限,只能大致确定其具体数值。由图

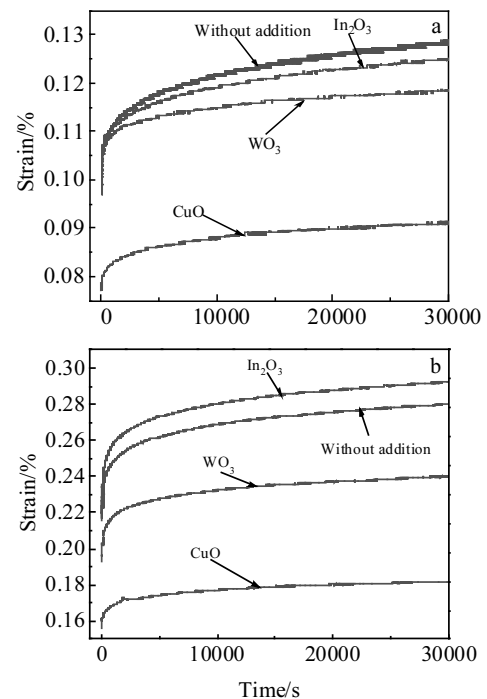


图 2 含不同添加剂的 Ag-SnO₂ 电接触材料在 30 和 50 MPa 恒应力作用下的蠕变曲线
Fig.2 Creep curves of the Ag-SnO₂ materials with different oxide additives under constant stress of 30 MPa (a) and 50 MPa (b)

2 所示的蠕变曲线可看出，在 30 MPa 拉应力作用下，氧化物添加剂的使用可明显减小 Ag-SnO₂ 电接触材料的初始蠕变量。其中，减小最多的是 CuO 添加剂，约为无添加的 45%。当应力增加到 50 MPa 时，含 CuO 和 WO₃ 试样的初始蠕变量均有减小，其中加入 CuO 的材料减少最多，约为 61%。然而，In₂O₃ 为添加剂时，试样的初始蠕变量反而出现增加现象，约为 6%。

图 3 给出了恒应力持续的 10 h 后，含不同添加剂 Ag-SnO₂ 材料的整体蠕变量。从图 3 中可明显看出，加入 CuO 的试样在不同应力下的蠕变量都是最小值，而且为无添加剂材料的 1/3 左右。在应力为 50 MPa 时，加入 In₂O₃ 添加剂的材料出现了蠕变量高于无添加剂材料的情况。

蠕变速率是表征材料蠕变行为的重要参数。图 4 为含有不同氧化物添加剂的 Ag-SnO₂ 材料在拉应力作用下蠕变速率随时间的变化曲线。由图 4 可知，初始蠕变阶段，加入 In₂O₃ 添加剂的材料蠕变速率最快，而含 CuO 添加剂的材料蠕变速率最小。随着持续时间的增加，试样的蠕变速率都快速减小直至进入稳态阶段。在稳态蠕变阶段，加入 CuO 添加剂试样在不同应力时均表现出最小的蠕变速率，在 30 MPa 时大约为无添加剂材料的 60%，在 50 MPa 时大约为无添加剂材料的 45%。而加入 In₂O₃ 添加剂对材料的稳态蠕变速率基本无影响，并且在 50 MPa 时反而增加了 1% 左右。

2.2 断口微观形貌

图 5、图 6 和图 7 分别为含不同添加剂 Ag-SnO₂ 拉伸试样的断口形貌。从图 5a 中可以看出，无添加剂的试样断口表面上出现许多长晶间裂纹，如白色虚线所示，而且在裂纹周围发现如图 5b 箭头所示的颗粒聚集体。这表明在长时间的恒应力作用下部分 SnO₂ 颗粒

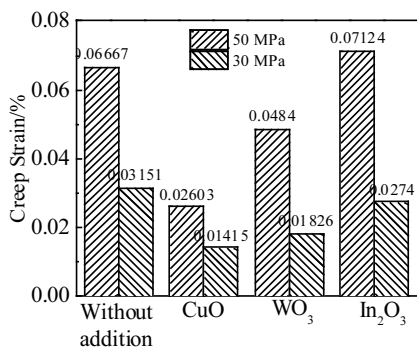


图 3 含不同氧化物添加剂的 Ag-SnO₂ 材料在拉应力作用下的蠕变量

Fig.3 Creep values of the Ag-SnO₂ materials with different oxide additives under tensile stress of 30 and 50 MPa

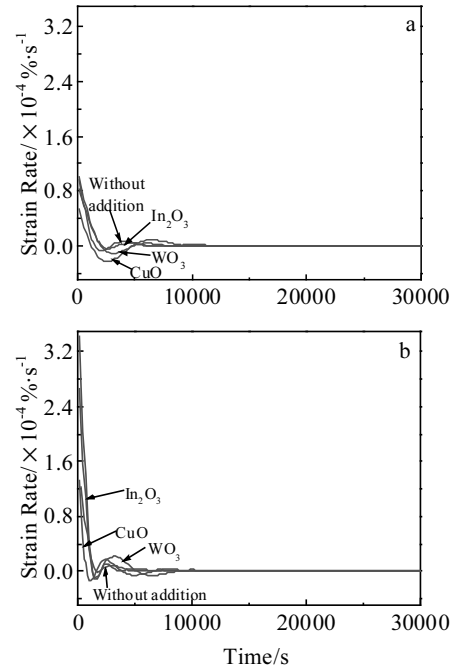


图 4 含不同添加剂的 Ag-SnO₂ 材料分别在 30 和 50 MPa 拉应力作用下的蠕变速率曲线

Fig.4 Creep rate curves of the Ag-SnO₂ materials with different oxide additives under constant tensile stress of 30 MPa (a) and 50 MPa (b)

从 Ag 基体中脱落。通过对比发现，含有 In₂O₃ 添加剂的试样断口表面，裂纹数量明显减少，第二相颗粒的分布也相对均匀，见图 5c。从图 5d 所示的高倍照片中可以看出，尽管试样断口表面也出现了晶间裂纹，但尺寸相对较小。随着添加剂的改变，从图 6a 和 6b 可以看出，含有 CuO 试样的断口表面，出现大尺寸的韧窝，同时晶间裂纹基本消失。由图 6c 可知，在单个 SnO₂ 颗粒周围也出现了小的韧窝，而且一定范围内还有明显的变形带，这表明界面强度明显提高。加入 WO₃ 添加剂的试样断口表面如图 7a 和 7b 所示，大尺寸的晶间裂纹尽管也明显减少，但在 SnO₂ 颗粒周围没有明显出现图 6c 所示的韧窝。上述结果表明，氧化物添加剂，尤其是 CuO，增强了 Ag 和 SnO₂ 间的界面强度，有效抑制 Ag-SnO₂ 材料在蠕变过程中裂纹的萌生与扩展，从而提高抗蠕变性能。

通过对比实验结果与断口形貌可知，氧化物添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料的抗蠕变性能具有明显影响。WO₃ 和 CuO 添加剂均能提高 Ag-SnO₂ 电接触材料的抗蠕变性能，其中 CuO 添加剂效果最为明显，而 In₂O₃ 对 Ag-SnO₂ 材料抗蠕变性能的影响较小。根据王海涛等人^[27,28]的研究结果分析，造成这种差异的主要原因是

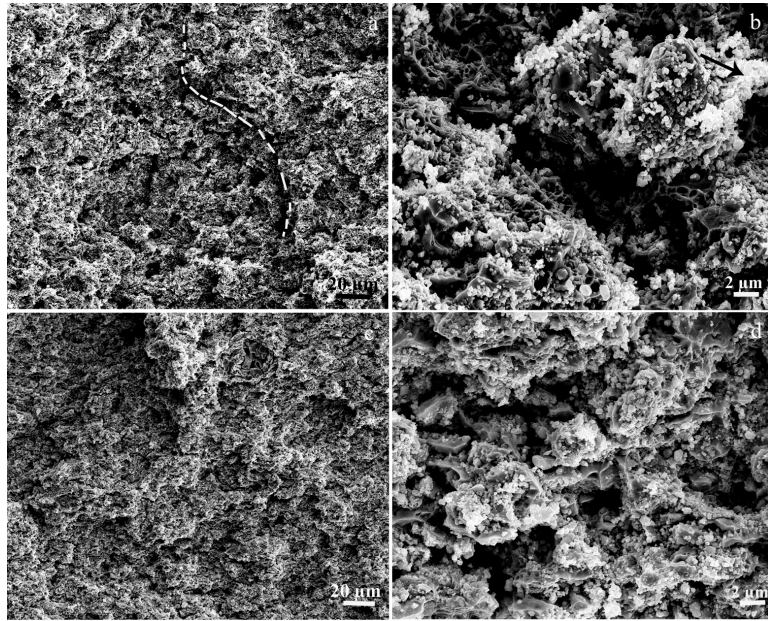


图 5 无添加和加入 In_2O_3 的 Ag-SnO_2 试样断口形貌

Fig.5 Fracture morphologies of the Ag-SnO_2 samples without addition (a, b) and with In_2O_3 (c, d)

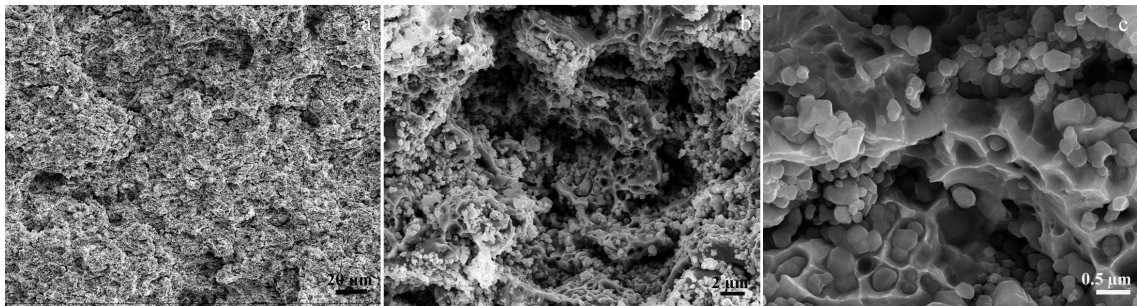


图 6 加入 CuO 添加剂的 Ag-SnO_2 试样断口形貌

Fig.6 Fracture morphologies of the Ag-SnO_2 sample with CuO additive

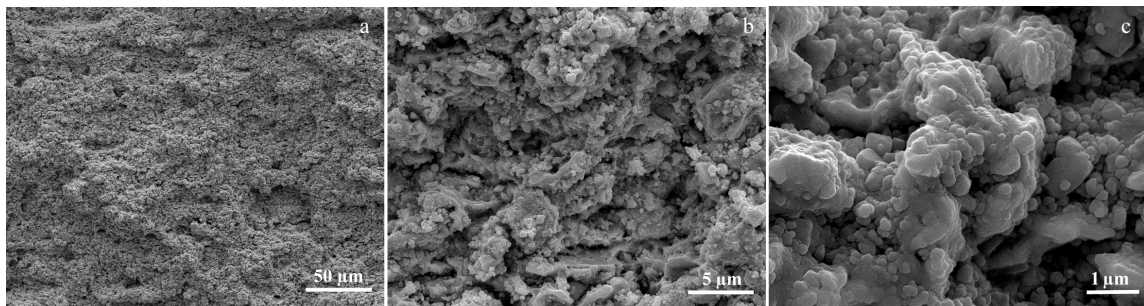


图 7 加入 WO_3 添加剂的 Ag-SnO_2 试样断口形貌

Fig.7 Fracture morphologies of the Ag-SnO_2 sample with WO_3 additive

Ag 与 SnO_2 之间的界面润湿性不同。 CuO 添加剂可以有效地改善 Ag 基体和 SnO_2 两相之间的润湿性，增强

了界面的结合能力。 WO_3 添加剂在烧结过程中会生成 $\text{SnO}_2\text{-WO}_3$ ，该反应物质稳定性低于 CuO 和 SnO_2 。因

此, WO₃ 添加剂对于界面润湿性的改善效果不如 CuO。由于 In₂O₃ 添加剂对改善界面润湿效果有限, Ag-SnO₂ 材料的抗蠕变性能未能明显改善。

3 有限元模拟结果及分析

3.1 本构方程及参数

采用时效硬化模型 (age hardening model) 构建 Ag-SnO₂ 材料蠕变行为的本构方程, 如公式 (1) 所示:

$$\bar{\epsilon}^{cr} = A\sigma^n t^m \quad (1)$$

式中: $\bar{\epsilon}^{cr}$ 为等效稳态蠕变速率, A 为材料常数, σ 为等效应力, n 为应力指数, t 为蠕变时间, m 为时间指数。

对式 (1) 方程两边取对数, 则变换为公式 (2):

$$\ln \bar{\epsilon}^{cr} = \ln A + n \ln \sigma + m \ln t \quad (2)$$

由式 (2) 可知, 蠕变应力的对数和稳态蠕变速率的对数呈线性关系, 而参数 n 的值就是直线 $\ln \bar{\epsilon}^{cr} - \ln \sigma$ 的斜率。同时蠕变速率的对数与蠕变时间的对数呈线性关系, 直线斜率为 m , 截距为 b , 可通过式 (3) 求得系数 A 。

$$A = \exp(b - n \ln \sigma) \quad (3)$$

根据实验数据, 得到不同条件下蠕变实验的稳态速率, 如图 8 所示。最终得到含不同添加 Ag-SnO₂ 材料的模型参数, 见表 1。

3.2 有限元结果与分析

借助 ABAQUS 有限元模拟软件建立拉伸蠕变有

限元模型, 模拟真实的蠕变过程, 从而得到蠕变曲线。图 9 为含不同添加剂的 Ag-SnO₂ 材料有限元模拟的蠕

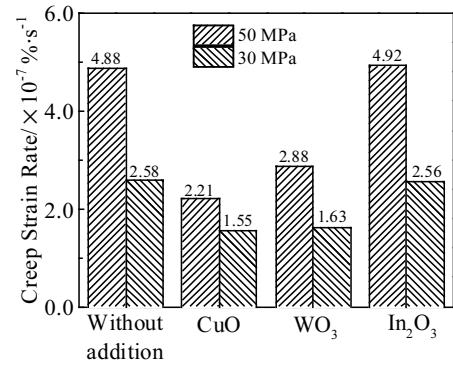


图 8 含不同添加剂 Ag-SnO₂ 材料的稳态蠕变速率
Fig.8 Steady creep rate of the Ag-SnO₂ materials with different oxide additives under different tensile stress

表 1 含不同添加剂 Ag-SnO₂ 材料的时间硬化模型参数
Table 1 Parameters of time hardening model for the Ag-SnO₂ materials with different oxide additives

| Additive | n | $A/\times 10^{-8}$ | m |
|--------------------------------|--------|--------------------|---------|
| None | 1.2721 | 2.31 | -0.6018 |
| CuO | 0.708 | 2.45 | -0.464 |
| WO ₃ | 1.136 | 3.25 | -0.5764 |
| In ₂ O ₃ | 1.304 | 2.5 | -0.6324 |

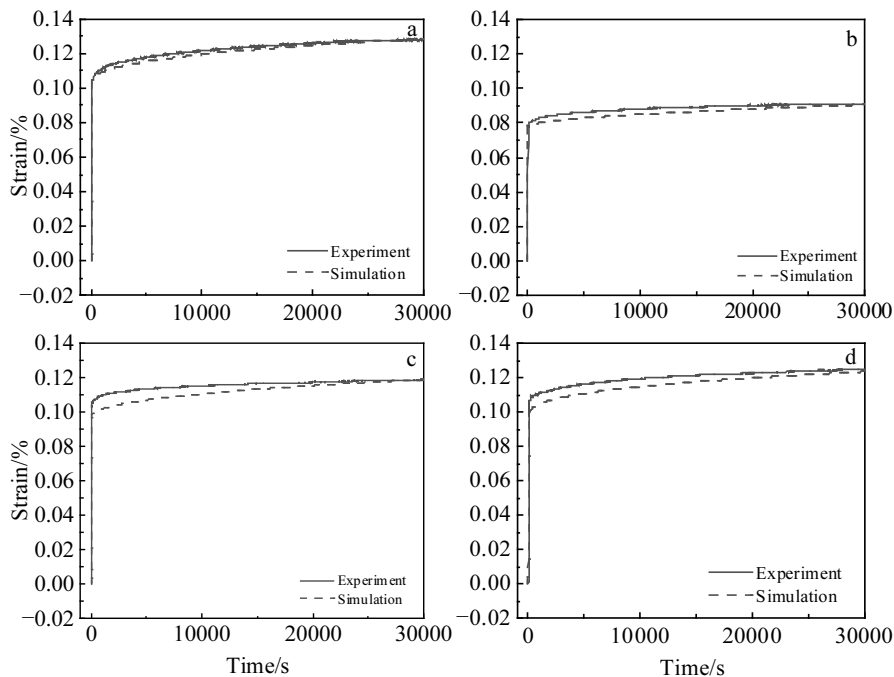


图 9 无添加和添加 CuO、WO₃、In₂O₃ 的 Ag-SnO₂ 材料在 30 MPa 应力下的蠕变实验数据和模拟数据的对比

Fig.9 Comparison of creep experimental data and simulation data of Ag-SnO₂ material without addition (a) and with addition of CuO (b), WO₃ (c), and In₂O₃ (d) under stress of 30 MPa

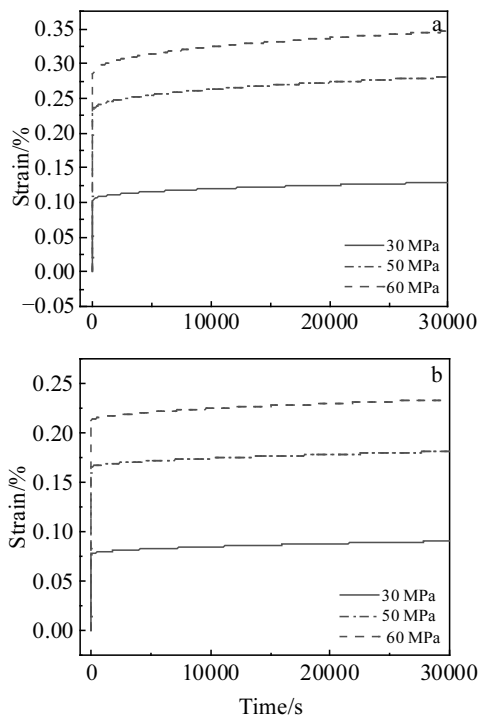


图 10 不同应力下无添加剂和加入 CuO 添加剂 Ag-SnO₂ 材料的蠕变曲线

Fig.10 Creep curves of the Ag-SnO₂ materials without addition (a) and with CuO additive (b) under different tensile stress

变曲线与蠕变试验数据的对比。蠕变模拟的数据是取模型标距右端结点沿荷载方向的位移作为伸长量，应变为伸长量与标距的比值，这和实验拉伸设备的数据处理方法一致。由图可见，时效硬化模型的模拟与实验应力的蠕变过程吻合良好。模拟结果的变形量与实验结果相对误差最大不超过 3%，能够满足工程实践中的需求。这说明本研究拟合得到的时效硬化模型，可以很好地描述含有不同氧化物添加剂 Ag-SnO₂ 材料的蠕变行为。

采用构建的时效硬化模型，模拟了无添加剂和含有 CuO 添加剂的 Ag-SnO₂ 材料在不同应力下的蠕变行为，结果如图 10 所示。可以看出，随着应力的增大，材料的蠕变量和蠕变速率明显的增加。在不同应力作用下，含有 CuO 添加剂试样的蠕变应变量均为无添加的 2/3 左右。同时当蠕变应力从 30 MPa 增加到 60 MPa 后，相比无添加的试样，其蠕变稳态速率的减少量从 40% 增加到了约 57%。

4 结 论

1) WO₃ 和 CuO 添加剂均能提高 Ag-SnO₂ 电接触材料的抗蠕变性能，其中 CuO 可使试样在应力 50 MPa

时，整体蠕变量和稳态蠕变速率分别减少 55% 和 40%。

2) In₂O₃ 添加剂对 Ag-SnO₂ 材料抗蠕变性能的影响较小，特别是在高应力状态下，蠕变量和稳态蠕变速率却表现出增大趋势。

3) CuO 添加剂提高了 Ag-SnO₂ 材料的界面强度，可有效抑制裂纹的萌生和扩展，增强抗蠕变性能。

4) 用时效硬化模型建立 Ag-SnO₂ 材料的本构方程，模拟蠕变行为，结果与实验数据基本吻合，误差均不超过 3%。

5) 模拟结果表明，随着拉应力的提高，CuO 添加剂对 Ag-SnO₂ 电接触材料抗蠕变性能的改善效果比较稳定，且能明显减小蠕变稳态速率。

参考文献 References

[1] Guan Weiming(管伟明), Zhang Kunhua(张昆华), Lu Feng(卢峰) et al. *Precious Metals(贵金属)*[J], 2002, 23(1): 26

[2] Xu Xiaoyan(徐晓燕), Li Bo(李波), Liu Xinyu(刘心宇) et al. *Rare Metals and Cemented Carbides(稀有金属和硬质合金)*[J], 2018, 46(5): 59

[3] Zheng Ji(郑冀), Li Songlin(李松林), Li Qunying(李群英). *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2005, 34(3): 483

[4] Wang Song(王松), Chen Yongtai(陈永泰), Yang Youcai(杨有才) et al. *Precious Metals(贵金属)*[J], 2013, 34(S1): 102

[5] Wu Chunping, Zhao Qian, Li Nana et al. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2018, 766: 161

[6] Wang Haitao(王海涛), Wang Jingqin(王景芹), Zhao Jingying(赵靖英) et al. *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2005, 34(10): 1666

[7] Zhu Yancai(朱艳彩), Wang Jingqin(王景芹), Wang Haitao(王海涛). *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2013, 42(1): 149

[8] Zhang Guoqing(张国庆), Yin Zhimin(尹志民), Wu Haijun(武海军) et al. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报)*[J], 2008, 18(1): 67

[9] Liu Ning(刘宁), Wang Yanlong(王彦龙), Liu Fengqun(刘凤群) et al. *Journal of Xi'an Polytechnic University(西安工程大学学报)*[J], 2016, 30(3): 354

[10] Fu Chong, Jiang Fengyang, Wang Junbo et al. *Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy*[J], 2010, 15(4): 362

[11] Wang Haitao(王海涛), Huo Jiangtao(霍江涛), Liu Yahong(刘亚红) et al. *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2018, 47(2): 672

[12] Jiang Fengyang(姜凤阳), Wang Junbo(王俊勃), Fu Chong(付

- 翀) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2012, 41(8): 1443
- [13] Zhou Xiaolong(周晓龙), Chen Jingchao(陈敬超), Sun Jialin(孙加林) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2006, 16(5): 829
- [14] Ren Weijia(任维佳), Wang Xianhui(王献辉), Zhang Miao(张苗) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2016, 45(8): 2075
- [15] Zhu Yancai(朱艳彩), Wang Jingqin(王景芹), An Liqiang(安立强) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2014, 43(7): 1566
- [16] Wang Haitao(王海涛), Wang Lianzheng(王连峥), Wang Zixiang(王子相). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2019, 48(2): 458
- [17] Wang Junbo(王俊勃), Zhang Yan(张燕), Yang Minge(杨敏鸽) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2006, 35(12): 1954
- [18] Li Guijing, Gui Huijie, Chen Jun *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2017, 696: 1228
- [19] Li Hangyu, Wang Xianhui, Liu Yanfeng *et al. Vacuum*[J], 2017, 135: 55
- [20] Wang Haitao, Wang, Zixiang, Wang Lianzheng *et al. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*[J], 2018, 25: 1275
- [21] Wang Jiazhen(王家真), Wang Yaping(王亚平), Yang Zhimao(杨志懋) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2005, 34(3): 405
- [22] Wang Jun, Zhao Haidong, Wang Junbo *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2019, 770: 920
- [23] Wang Yaping, Li Haiyan. *Metallurgical and Materials Transactions A*[J], 2017, 48: 606
- [24] Li Guijing, Yang Tianyang, Ma Yuanyuan *et al. Ceramics International*[J], 2019, 46(4): 4897
- [25] Li Guijing, Yang Tianyang, Ma Yuanyuan *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2019, 817: 152710
- [26] Hou Yibing(侯奕冰). *Thesis for Master Degree*(硕士论文)[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014
- [27] Wang Haitao(王海涛), Yang Qiang(杨强), Wang Jing(王静). *The Fifth International Conference on Reliability and Electrical Contact of Electrical Products*(第五届电工产品可靠性与电接触国际会议)[C]. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 2015: 292
- [28] Liu Hui(刘辉), Wang Yixu(王逸虚), Qin Xiangzhong(覃向忠) *et al. Electrical Engineering Materials*(电工材料)[J], 2013(1): 3

Effect of Oxide Additives on the Creep Resistance of Ag-SnO₂ Electrical Contact Materials

Yang Tianyang^{1,2}, Ma Yuanyuan^{1,2}, Zhang Xiaolong^{1,2}, Feng Wenjie^{1,2}, Li Guijing^{1,2}, Fang Xueqian^{1,2}

(1. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

(2. Provincial Collaborative Innovation Center of Mechanics of Intelligent Materials in Hebei, Hebei Key Laboratory of Mechanics of Intelligent Materials and Structures, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: To investigate the effect of oxide additives on the creep resistance of Ag based electrical contact materials, Ag-SnO₂ contact materials with CuO, WO₃ and In₂O₃ were prepared by powder metallurgy. The creep tests were performed on the tensile specimen at room temperature, and the creep characteristic curves and related parameters were obtained. The creep constitutive equation of the Ag-SnO₂ contact materials was constructed. The fracture morphology was analyzed by scanning electron microscope (SEM). The creep behavior was further simulated by ABAQUS finite element software. The results show that the oxide additives can significantly enhance the creep resistance of the Ag-SnO₂ electrical contact materials due to the improvement of interfacial strength between SnO₂ and Ag matrix, especially CuO additive has the best effect. It is shown that the simulation results are basically consistent with the experimental data and the error is less than 3%. The obtained results are of great reference value for predicting the creep behavior of Ag-based contact material and improving the mechanical properties.

Key words: Ag-SnO₂ electrical contact materials; oxide additive; creep resistance; finite element simulation