

铁铬铝线材抗塌陷性能测试研究

李洪立 王志强 孙智聪* 张文娟

北京首钢吉泰安新材料有限公司，北京 102206

Study on collapse resistance Test of Fe-Cr-Al wire

Li Hongli, Wang Zhiqiang, Sun Zhicong, Zhang Wenjuan

Beijing Shougang Gitane New Materials Co., Ltd, 102206, China

1. 前言

扩散炉是半导体生产线前工序的重要工艺设备之一，用于大规模集成电路、分立器件、电力电子、光电器件和光导纤维等行业的扩散、氧化、退火、合金及烧结等工艺^[1-2]。其炉体加热系统中的加热部件，通常采用铁铬铝大规格钢丝（ $\phi 6-8\text{mm}$ ）绕制成大圈径螺旋（ $\phi 350\text{mm}$ 以上）进行通电发热，使用温度一般在 $600-1200^\circ\text{C}$ 。在使用中，因螺旋圈径较大，高温工作的螺旋加热元件会产生一定程度的变形，如果设计、使用不合理，加热部件会形成严重塌陷变形，造成内衬石英管碎裂，或因加热丝变形导致加热螺旋匝间搭接打弧甚至烧毁，图 11，严重影响扩散炉的使用寿命，甚至因此造成被加热材料报废，产生较大的经济损失。为更好对比不同材料、不同丝径抗塌陷能力，模拟使用条件设计了抗塌陷性能的测试方法及测试装置，对典型材料的抗塌陷性能进行对比测试研究，为炉体设计选材提供参考依据。



烧毁炉体加热元件



形导致匝间打弧

图 11 塌陷损毁的加热元件

Fig.1 Collapsed and damaged heating element

2. 测试过程

2.1. 测试装置

塌陷测试装置图 12 包含操作平台图 13（左）、电源图 13（右）、测温仪三部分，操作平台自行设计并制作；电源采用北京时代科技股份有限公司定制生产 MZ-1000 电源^[3]，最大二次电流 1000A 、二次电压 44V ；测温仪采用县永泰传感科技有限公司 H-TS-2-G-F 非接触式温度传感器。



图 12 塌陷测试装置

Fig.2 Collapse test device

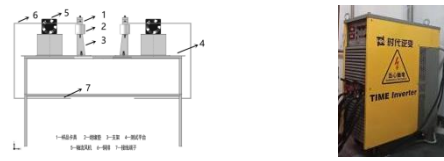


图 13 塌陷测试装置操作平台（左）、电源（右）

Fig. 3 Collapse test device operating platform and power supply

2.2. 测试方法

样品标距: 300mm, 测试温度: 1300℃, 下垂测量间隔: 4 小时, 下垂测量工具: 高度尺(精度 0.02mm), 测试时长: 150 小时。

铁铬铝线材矫直后, 测量并标记 300mm 标距, 安装固定在塌陷测试装置操作平台中的样品卡具上, 通电进行加热, 通过电流调整将样品温度调整至 1300℃, 测量样品距测试平台高度后开始计时, 每间隔 4 小时对温度进行校核调整、测量样品最低处下表面距平台高度并记录, 150 小时后结束测试。

3. 测试结果

分别测试北京首钢吉泰安新材料有限公司 0Cr21Al6Nb ϕ 8.0mm、HRE ϕ 8.0mm、HRE ϕ 6.0mm、新工艺 HRE ϕ 6.0mm、SGHYZ ϕ 6.0mm、国外某公司 ϕ 6.0mm 样品（以下简称国外样品），牌号不同、规格不同，塌陷程度存在较为明显的差异。

3.1. 表面状态

通过对测试后的样品进行肉眼观察如图 4、5, HRE、SGHYZ 各规格测试后的样品氧化膜完整, 分布均匀, 国外样品表面氧化膜不完整, 局部有大面积脱落现象。SGHYZ 氧化膜呈灰白色, 0Cr21Al6Nb 氧化膜呈灰白色, HRE 氧化膜呈偏红色, 国外样品氧化膜灰白色, 氧化膜脱落部位有明显的类似腐蚀迹象。

图 14 ϕ 6.0mm 国外样品（上 1）、HRE（上 2）、

SGHYZ（上 3）、新工艺 HRE（上 4）测试 150 小时后样品对比

Fig. 4 ϕ 6.0mm foreign samples (top 1), HRE (top 2), SGHYZ (top 3), new process HRE (top 4) test sample comparison after 150 hours图 15 ϕ 8.0mm0Cr21Al6Nb（上）、HRE（下）测试 150 小时后样品对比Fig.5 ϕ 8.0mm0Cr21Al6Nb (top) and HRE (bottom) tests samples comparison after 150 hours

3.2. 组织分析

测试过程中, 对各样品测试前、测试后进行金相组织观察图 16—图 21（光学显微镜型号: 蔡司 Zeiss Axio Vert A1），测试前 0Cr21Al6Nb、HRE 晶粒较为细小, 普遍分布于 20-40 μ m, 国外样品、SGHYZ 晶粒略粗大, 普遍分布于 30-60 μ m。测试后, 0Cr21Al6Nb 晶粒异常粗大, 最大晶粒尺寸约超过 6000 μ m; HRE 测试后最大晶粒尺寸约为 4000 μ m; 国外样品、新工艺 HRE、SGHYZ 测试后晶粒大小较为接近, 最大晶粒尺寸约为 2000 μ m^[4]。

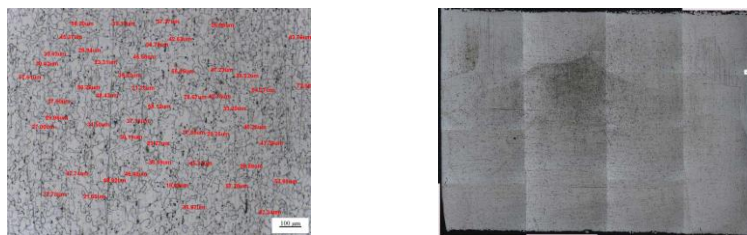


图 16 0Cr21Al6Nbφ8.0mm 样品测试前、后组织对比

Fig. 6 Comparison of metallographic structure of 0Cr21Al6Nbφ8.0 mm samples before and after testing

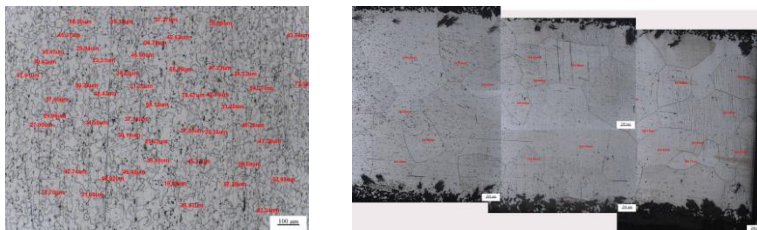


图 17 HREφ8.0mm 样品测试前、后组织对比

Fig. 7 Comparison of metallographic structure of HREφ8.0 mm samples before and after testing

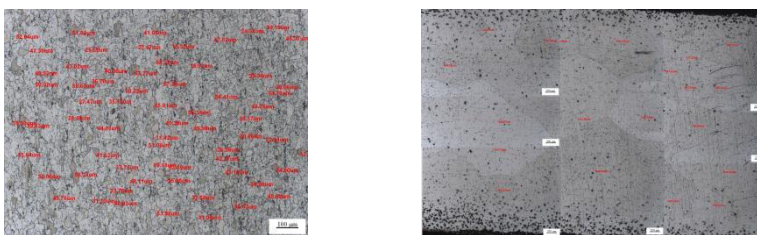


图 18 国外样品 φ6.0mm 测试前、后组织对比

Fig. 8 Comparison of metallographic structure of foreign sampleφ8.0 mm samples before and after testing

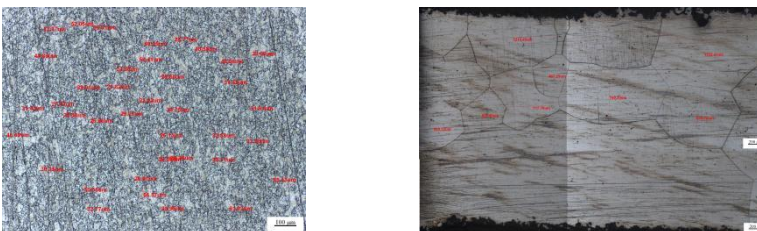


图 19 HREφ6.0mm 样品测试前后组织对比

Fig. 9 Comparison of metallographic structure of HREφ6.0 mm samples before and after testing

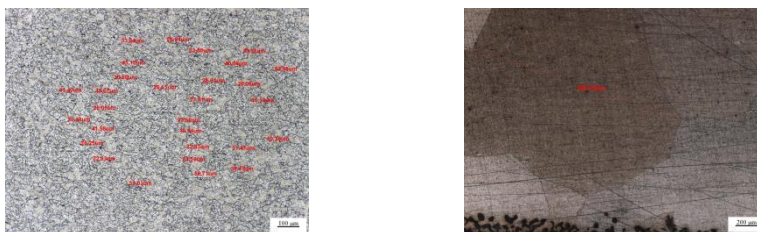


图 20 新工艺 HREφ6.0mm 样品测试前后组织对比

Fig. 10 Comparison of metallographic structure of new process HREφ6.0 mm samples before and after testing

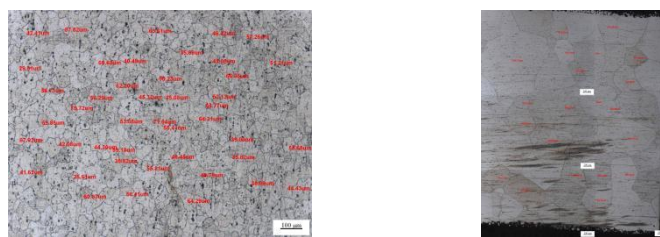


图 21 SGHYZφ6.0mm 样品测试前后组织对比

Fig. 11 Comparison of metallographic structure of SGHYZφ6.0 mm samples before and after testing

3.3. 抗塌陷性能曲线

根据塌陷测试过程中样品塌陷下垂数据绘制曲线如下图 12。

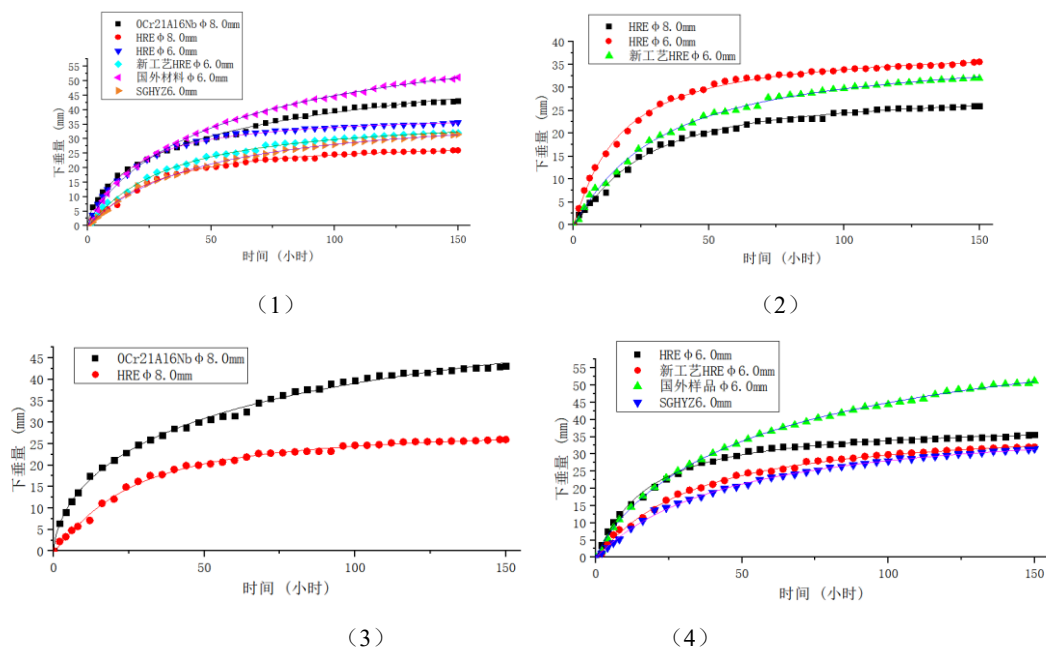


图 22 各牌号、规格抗塌陷性能曲线（1），HREφ8.0mm、φ6.0mm 对比图（2），
各牌号 φ8.0mm 对比图（3），各牌号 φ6.0mm 对比图（4）

Fig. 12 Collapse resistance curve（1），Comparison of HREφ8.0mm and HREφ6.0mm samples（2），
Comparison of φ8.0mm samples（3），Comparison of φ6.0mm samples（4）

4. 结论

- （1）相同牌号的产品，直径越大，抗塌陷性能越优。
- （2）相同直径产品，抗塌陷性能 SGHYZ 优于 HRE 优于 0Cr21Al6Nb。
- （3）HRE 新工艺生产的产品较原工艺生产的产品抗塌陷性能更好。
- （4）测试后样品比较，晶粒越粗大，抗塌陷性能越差，因此提高材料在高温下控制晶粒长大的能力，是提高材料抗塌陷性能的主要因素。

参考文献

- [1]程朝阳. 扩散炉开发现状[J]. 中国集成电路, 2002(3):3.
- [2]向小龙, 禹庆荣, 文庚云,等. 光伏行业扩散炉的技术现状及发展趋势[J]. 太阳能, 2007(11):2.
- [3]佚名. 时代集团公司 MZ-1000 自动埋弧焊机[J]. 现代焊接, 2001(6):1.
- [4]杜国维, 杜永良, 等. 铁铬铝合金晶粒长大及合金中稀土元素[J]. 北京钢铁学院学报, 1988(03):95-100.