

DOI:10.13228/j.boyuan.issn.1005-8192.2015023

Cr20Ni35 合金的晶粒尺寸对电阻率的影响

蔺伟康¹, 王晓军^{1,2}, 夏天东^{1,2}

(1. 兰州理工大学省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 通过拉伸变形和再结晶退火改变 Cr20Ni35 合金的晶粒尺寸, 研究晶粒尺寸对 Cr20Ni35 合金电阻率的影响。结果表明, Cr20Ni35 合金经过拉伸变形后, 随着伸长率的增加其电阻率出现递减的趋势, 此时晶粒尺寸呈现递增的趋势; 随后经过退火后, 其电阻率值又重新升高, 分析观察其金相组织, 晶粒尺寸越小, 电阻率越大。

关键词: Cr20Ni35 合金; 拉伸变形; 再结晶退火; 晶粒尺寸; 电阻率

文献标志码: A **文章编号:** 1005-8192(2015)03-0022-03

The influence of grain size on resistivity for Cr20Ni35 Alloy

LIN Wei-kang¹, WANG Xiao-jun^{1,2}, XIA Tian-dong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Nonferrous Metals, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China)

Abstract: With different grain size gained by different plastic deformation and recrystallization annealing process for Cr20Ni35 alloy, the influences of grain size on the resistivity of Cr20Ni35 alloy were studied, and the reasons were analyzed. Results show that the resistivity decreased gradually after different deformation, and the grain size does not have much effect on the resistivity, the reason is mainly due to the state of "K" is destroyed. But after annealing, the resistivity value rises again, and by observing its metallography, the result shows that the smaller the grain size is, the greater the resistivity will be.

Key words: Cr20Ni35; tensile deformation; recrystallization annealing; grain size; resistivity

电热合金是电能转化热能的功能性合金材料, Cr20Ni35 合金作为重要的镍铬铁系电热合金之一, 具有熔点高, 抗氧化性能强, 加工成型性能好等优点而被广泛应用^[1]。然而作为电热合金材料, 区别于其他普通材料的一点是需要具备一定的电阻率, 前期的实验研究表明, 对于电热合金而言, 晶粒尺寸是电阻率的重要影响因素^[2-3]。文献^[4-6]研究也表明

晶界与晶粒尺寸都会影响合金的导电行为。迄今为止, 国内大部分生产厂家在生产和加工电热合金的过程中, 很少将晶粒尺寸对电阻率的影响考虑在内。因此, 本文将研究不同的伸长率和退火处理对 Cr20Ni35 合金晶粒尺寸的影响, 并分析不同晶粒尺寸与电阻率的关系。为以后的生产实践及理论方面提供参考资料。

基金项目: 甘肃省战略性新兴产业专项项目(1201ZSB069)

作者简介: 蔺伟康(1989—), 女, 硕士生; E-mail: 263160485@qq.com; 收稿日期: 2015-03-04

通讯作者: 夏天东(1965—), 男, 博士, 教授; E-mail: 184789621@qq.com

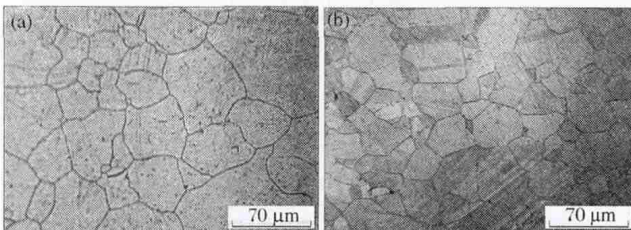
1 实验材料及方法

实验材料是选自某电热合金公司生产的直径 8 mm 的 Cr20Ni35 工业用棒材。实验共分 6 组,测量并记录每组棒材的初始电阻率;使用 AG-10AT 型万能实验拉伸机进行不同程度的拉伸,分别计算伸长率;根据伸长率的不同,由小到大,试样依次标号为 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、6 号。测量每组棒材变形后不同伸长率所对应的电阻率,同时取样,观察金相组织并测量晶粒尺寸。然后对各组试样进行退火温度为 1 000 ℃,保温时间为 90 min 的退火处理。测量每组棒材退火后所对应的电阻率,并取样,观察金相组织及测量晶粒尺寸。

2 实验结果

2.1 不同拉伸变形及退火后试样的金相组织

Cr20Ni35 合金在常温与高温下的金相组织均为单一的奥氏体固溶体,从室温到熔化温度都不会发生相变,稳定性好^[1]。图 1 为 Cr20Ni35 合金未拉伸 1 号与经拉伸变形后 6 号试样的金相组织;图 2 为随后对 1 号与 6 号进行相同退火处理后的金相组织。图 1、图 2 可以看出,塑性变形和热处理均未改

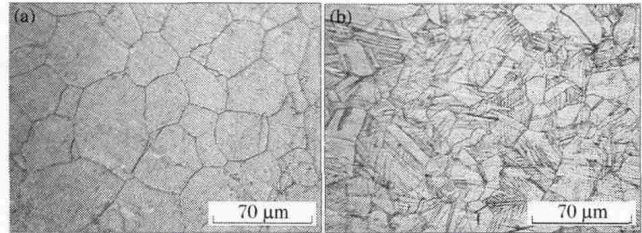


(a) 1 号试样;(b) 6 号试样。

图 1 Cr20Ni35 合金塑性变形后的金相组织

Fig 1 The microstructure of Cr20Ni35 alloys after plastic deformation

变合金的相组成,仍保持均匀单一的奥氏体,但是 1 号、6 号试样的晶粒尺寸在塑性变形后和热处理后都发生了一定程度的变化。每组试样的伸长率、晶粒尺寸的测量值见表 1。



(a) 1 号试样;(b) 6 号试样。

图 2 Cr20Ni35 合金退火后的金相组织

Fig 2 The microstructure of Cr20Ni35 alloys after annealing

表 1 Cr20Ni35 试样伸长率与晶粒平均尺寸对比

Table 1 The contrast of Cr20Ni35 specimen elongation and the average grain size

编号	1	2	3	4	5	6
伸长率/%	0	2.83	7.5	15	22.75	40.13
塑性变形后晶粒尺寸/ μm	59	53	48	43	40	38
热处理后晶粒尺寸/ μm	62	57	50	43	37	27

2.2 不同拉伸变形及退火后试样的电阻率分析

经过不同拉伸变形及退火后的 Cr20Ni35 合金的电阻率测试结果分别如表 2 所示。测量选取多点多次测量,计算电阻率的标准差,以表示电阻率的离散程度。根据表 1、表 2 数据,绘制试样的电阻率—晶粒尺寸关系图。如图 3 所示,根据实验所测得的数据点分布,可以看出,合金经过塑性变形后,随着伸长率的增大,电阻率呈现递减的趋势,晶粒尺寸也逐渐减小。图 4 为热处理后电阻率—晶粒尺寸关系图,如图 4 所示,试样经过再结晶退火处理后,电阻率出现回升。与塑性变形后的表现不同,试样的电阻率随着形变量的增加而增加,但晶粒尺寸依旧逐渐减小。

表 2 Cr20Ni35 电阻率的测试结果

Table 2 The test results of electrical resistivity examining

编号	1	2	3	4	5	6
塑性变形后电阻率	0.952 7±0.006 3	0.950 9±0.005 3	0.946 1±0.007 8	0.941 3±0.006 9	0.934 9±0.007 2	0.922 8±0.004 6
热处理后电阻率	0.951 2±0.006 8	0.956 4±0.007 9	0.960 9±0.005 1	0.965 9±0.006 0	0.969 4±0.004 1	0.972 6±0.007 3

3 讨论

固体能带理论认为,理想晶体中,晶体点阵是周期排列的,自由电子在晶体中无规则运动^[7]。当晶体受外力而变形时,晶体点阵发生畸变,产生位错、空位。从而对自由电子传导产生阻碍作用,即为电

阻。根据 Matthiessen 定则^[8],如下式:

$$\rho = \sum_i \rho_i = \rho(T) + \rho_r \tag{1}$$

式中: ρ 为电阻率, $\rho(T)$ 表示与温度相关的基本电阻,从微观上看包括电子散射和声子散射, ρ_r 表示由化学缺陷和物理缺陷引起而与温度无关的残

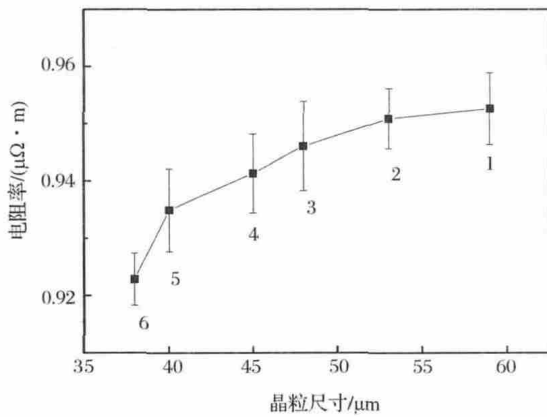


图 3 塑性变形后 Cr20Ni35 合金晶粒尺寸与电阻率关系图

Fig 3 The relationship between Cr20Ni35 grain size and resistivity

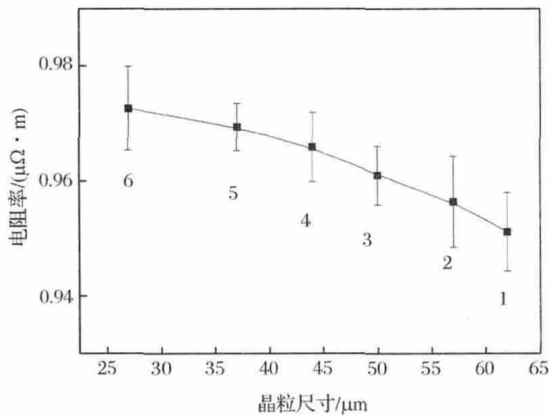


图 4 热处理后 Cr20Ni35 合金晶粒尺寸与电阻率关系图

Fig 4 The relationship between Cr20Ni35 grain size and resistivity

余电阻,从微观上看就是电子与杂质原子、与晶体点阵静态缺陷的相互作用。

实际上,金属的内部存在着很多缺陷和杂质^[9],一般的合金材料在经过塑性变形后,晶体内部会产生位错、空位以及孪晶等缺陷,使点阵的周期性遭到破坏,电子波在这些地方发生散射而产生附加电阻,降低导电性能。同时很多晶粒也会发生碎化,形成很多晶界,而晶界也是晶体缺陷的一种,引起电子的散射,导致电阻率的增加。

但是,Cr20Ni35 合金棒材在发生了不同的塑性变形后,随着伸长率的增加,电阻率却发生明显的下降,这种现象与绝大多数金属的表现相反。文献^[10]表明,这种现象经常发生在不均匀固溶体中,称为“K”状态,主要是因为合金固溶体中存在原子的

偏聚区域或存在着短程有序区域,这些原子富集区的尺寸约为几个纳米,它与电子波的波长相当,故能强烈地散射电子而使不均匀固溶体具有高的电阻值。但是固溶体经过塑性变形后,固溶体的不均匀性遭到破坏,即“K”状态不复存在,故合金经过塑性变形后电阻率会下降,同时,在经过退火处理后,材料的电阻率又会重新上升,这种现象与材料的“K”状态有关。

金属电子理论认为散射是金属产生电阻的根本原因^[7],因为晶界中存在着大量的溶质元素偏析,大量的位错、空位、杂质等缺陷,故金属的晶界也可以看成是一种面缺陷^[8-9],可以成为电子传输的散射中心,引入散射并增加电阻。因此,晶界可以看成是含有杂质、偏析元素以及大量晶体缺陷的隔离层,是电子传输的主要散射中心。晶粒越细小,晶界就越多,散射中心也就越多,这些散射中心对于电阻的阻碍作用相当于将一个个电阻串联起来,发生共同作用^[6],从而使电阻增大。

4 结论

(1) Cr20Ni35 合金经拉伸变形后,随着伸长率的增加其电阻率减小,同时晶粒尺寸减小;主要是由于合金的“K”状态被破坏。

(2) 经退火处理后的 Cr20Ni35 合金,电阻率重新升高,且观察其金相,晶粒尺寸越小,电阻率越大。

参考文献:

- [1] 王振东, 宫元生. 电热合金[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 夏天东, 杨建, 王晓军, 等. 晶粒尺寸对 Cr20Ni80 电热合金电阻率的影响[J]. 材料导报 B, 2014, 2(2): 4.
- [3] 胡春霞, 王晓军, 王传玉, 等. 国内 Cr20Ni80 电热合金组织及性能对比研究[J]. 金属功能材料, 2010, 17(3): 42.
- [4] 凌人蛟, 范永斌, 王珊. 变形及退火处理对铜合金线材性能的影响[J]. 研究探讨, 2007(9): 39.
- [5] 于梅花, 张喜燕, 朱玉涛, 等. 纳米结构铅晶粒尺寸对费米能及费米速度的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(7): 1290.
- [6] 陈建, 严文, 范新会, 等. 铜导线中晶界对导电性影响的研究[J]. 西安工业学院学报, 2002, 22(4): 349.
- [7] 田蔚. 金属物理性能[M]. 北京: 航空工业出版社, 1994.
- [8] Dugle J S. 金属与合金的电学性质[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [9] 范新会, 李建国, 傅恒志. 单晶连铸铝线材的导电性能[J]. 中国有色金属学报, 1999, 9(1): 87.
- [10] M. T. 莫罗佐夫, 宋嘉树, 袁祖奎. 金属强度及耐热性关于 K 状态的理论[J]. 东北人民大学自然科学学报, 1958, 4(1): 75.