

CuNi2SiCrZr铜合金的工艺性能及微观组织分析

李学浩, 朱仁萍

镇江四洋特种金属材料制造有限公司 江苏镇江 212003

摘要: 进行CuNi2SiCrZr合金不同冷变形量、时效温度的组合试验及微观分析。结果表明: 合金在910℃ × 1h固溶+20%冷变形+500℃ × 4h时效可以得到最佳的性能组合, 冷变形时效后的组织存在一定量的孪晶和位错, 增强相析出更加弥散, 并随变形量的增加, 时效后的晶粒尺寸不断减小, 这些组织特征是合金在0~25%变形范围内的硬度和强度峰值随变形量的增加而增大的原因。

关键词: CuNi2SiCrZr合金; 冷变形; 时效; 组织

1 序言

CuNi2Si系合金为沉淀强化型高强度导电合金, 与CuNi2Be、CuCo2Be相比, CuNi2Si系不含Co、Be元素, 具有绿色、经济性特点, 但综合性能还存在一定的差距。近年来, 对CuNi2Si系合金的研究主要集中在多元素合金化和热处理、加工工艺的组合方面, 多元素合金化方面^[1-6], 主要是在Ni、Si的基础上加入Cr、Co、Al、Be、Mg、P、Fe中的一种或几种组成新的合金, 在CuNiTi铜合金中加入Cr、Zr可以细化晶粒、降低固溶体硬度、改善冷加工性能、提高合金热强性^[7-8], 国内很少有在Ni、Si的基础上同时加入少量Cr、Zr的报道, 本文在CuNi2Si铜合金基体中, 加入Cr、Zr元素, 通过各元素之间的对基体的强化作用, 进一步提高CuNi2Si铜合金基体的性能, 尤其是热强性, 并通过不同冷变形、不同时效工艺的试验和不同条件下性能对比, 寻求CuNi2SiCrZr合金材料的最佳工艺条件。

2 合金材料及熔铸

CuNi2SiCrZr合金的化学成分见表1, 在合金中加入Cr可以与Si形成Cr₃Si稳定的增强相^[5, 9], Zr在铜固态的溶解度最高为0.15%, 在常温下溶解度急剧减少, $w_{Zr} \geq 0.15\%$ 的加入可以与Cr和Cu形成CrZr和CuZr化合物弥散分布于基体, 以细化晶粒、提高CuNi2SiCrZr合金的高温强度。因Cr、Zr元素极易氧化, 采用真空感应熔炼, 首先熔化纯铜和Ni, 待熔

化温度达到1400℃后, 再将Cr、Zr加入到铜液中, Cr、Zr全部熔化后保温, 铁模真空浇注成铸锭。

表1 合金材料的化学成分 (质量分数) (%)

Ni	Si	Cr	Zr	Cu
2.09	0.75	0.062	0.16	余量

3 工艺试验

3.1 固溶处理

CuNi2SiCrZr合金铸锭经过热锻后, 将试样分别在860~940℃内保温1h进行固溶处理, 测试的电导率的大小如图1所示, 随固溶温度增加电导率不断降

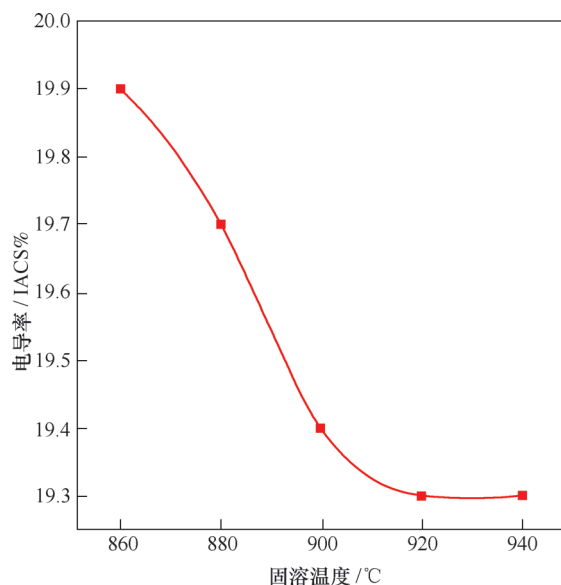


图1 固溶温度对电导率的影响

低,在920℃达到最低值,再增加固溶温度,电导率几乎没有变化,图2为CuNi2Si的伪二元相图,固溶温度达到900℃时除粗大的初生相不能完全溶解外,大部分Ni、Si元素都可以固溶到基体,随固溶温度的升高,在相同的保温时间下温度越高晶粒就越大,因此,固溶温度选择在900~920℃比较合理,本文选择910℃进行固溶处理。

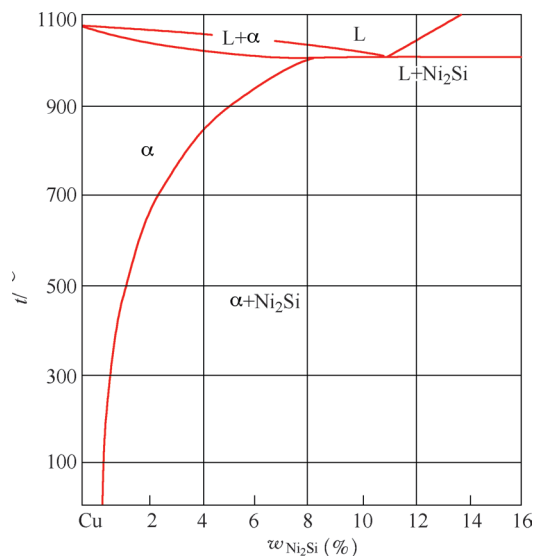


图2 Cu-Ni2Si伪二元合金相图

3.2 冷变形和时效处理

将910℃下固溶处理过的CuNi2SiCrZr合金试样分别进行不冷变形、15%冷变形、20%冷变形、25%冷变形的处理,将四组试样再分别通过460~520℃、保温4h的时效处理,得到的性能曲线如图3所示。

从图3可以看出,CuNi2SiCrZr合金的冷变形强化作用比较明显,同一冷变形下的试样硬度、抗拉强度和屈服强度随时效温度的增加先上升再下降,在时效温度为500℃时,达到硬度和强度的顶峰,不同的冷变形量下的时效温度-强度曲线的整体趋势是一致的,当时效温度超过500℃,出现过时效,硬度和强度均下降。

同一时效温度下,在0~25%变形量的范围内,强度和硬度值随变形量的增加而上升,强度和硬度值增加的幅度越来越小,说明初始变形量对强度和硬度的贡献较大,随变形量的增大,变形量的增加值对强度和硬度的提高作用越来越小。

四组不同变形量的电导率均随时效温度的增加而上升,在不超过500℃时效温度范围内,同一时效

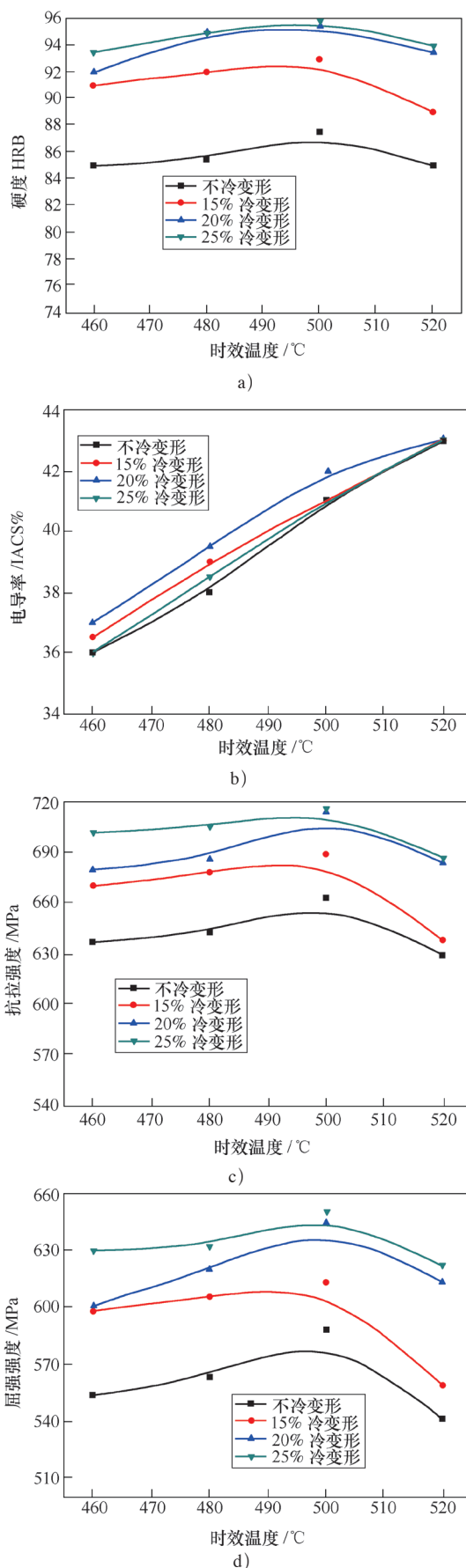


图3 不同变形量和时效温度对性能的影响

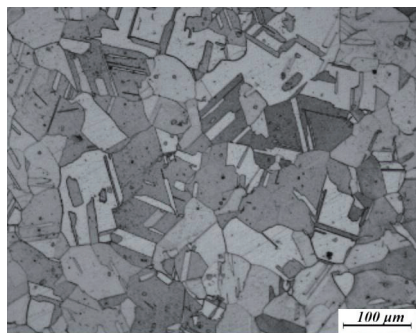
温度下随变形量的增大电导率增加,超过20%变形量后,电导率反而下降,说明在0~20%变形量范围内,变形量对沉淀强化析出给予导电的上升作用要大于变形硬化对导电的影响,变形量超过20%时,变形硬化作用对导电的影响逐渐加大,就造成在同一时效温度下变形量大的试样的电导率小于变形量小的试样。当达到过时效温度520℃时,固溶元素引起基体的畸变对电导率的影响在沉淀析出过程已基本得到缓解,冷变形加工硬化对电导率的影响也基本消失,同一时效温度下电导率的数值也基本趋于一致。

由以上分析得出,CuNi2SiCrZr合金通过25%的冷变形和500℃×4h时效可以得到最佳的性能组合,抗拉强度716MPa、屈服强度651MPa、硬度

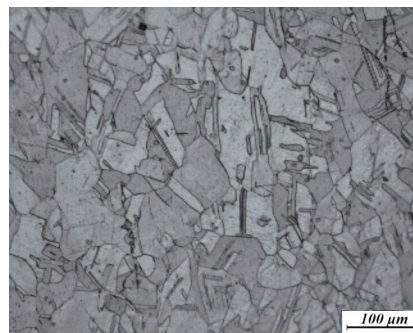
96HRB、电导率IACS40%。

4 金相组织

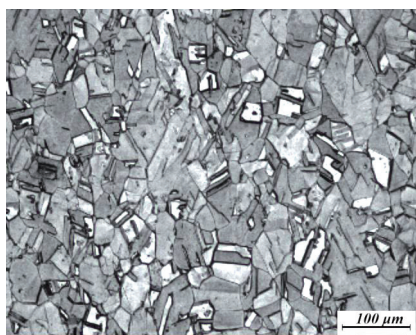
图4为CuNi2SiCrZr合金冷变形0~25%后在500℃时效后的金相照片,可以看出随变形量的增加,时效后的平均晶粒尺寸不断减小,在25%冷变形后的时效组织中还呈现有冷变形的特征。冷变形使合金内部存在大量的位错等晶体缺陷,在时效过程中可以增加第二相形核数量和加速第二相的弥散析出。冷变形使时效后的组织中有大量的细小孪晶形成和一定数量的冷变形位错保留。因此,第二相的更加弥散析出和组织中存在的孪晶、位错使合金在0~25%变形范围内的硬度和强度峰值随变形量的增加而增大。



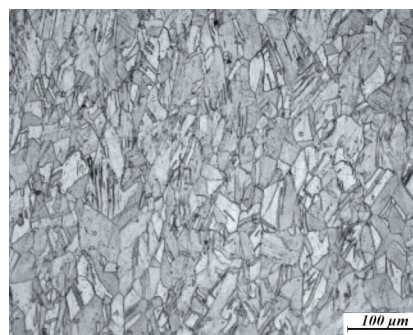
a) 未冷变形+时效



b) 15%冷变形+时效



c) 20%冷变形+时效



d) 25%冷变形+时效

图4 0~25%冷变形+500℃时效金相照片(200×)

5 结束语

综上所述,CuNi2SiCrZr合金通过910℃×1h+25%的冷变形+500℃×4h时效可以得到最佳的性能组合:抗拉强度716MPa、屈服强度651MPa、硬度96HRB、电导率IACS40%。

随变形量的增加,时效后的晶粒尺寸不断减

小,在25%冷变形后的时效组织中还呈现有冷变形的特征。冷变形使时效后的组织中有大量的细小孪晶形成和一定数量的冷变形位错保留。第二相的更加弥散析出和组织中存在的孪晶、位错使合金在0~25%变形范围内的硬度和强度峰值随变形量的增加而增大。

高性能高强度紧固件用网带炉淬火时 加热时间的选取研究

付平安

冷水江天宝实业股份有限公司 湖南娄底 417505

摘要: 在淬火加热时间的经验算法基础之上, 结合高性能高强度紧固件在网带炉上淬火时的特点, 通过测试试验及数据分析, 总结出了高强度紧固件淬火加热时间经验计算公式: $t = a k D F + 25$, 并经过了长期生产验证。

关键词: 10.9级紧固件; 12.9级紧固件; 网带炉; 淬火时间

网带炉生产线具有生产效率高、设备自动化程度高、质量稳定性高等优点, 在碳素钢与合金钢小件热处理中应用十分广泛, 特别是紧固件热处理时, 网带炉生产线更是首选炉型。

紧固件作为最常见的通用零部件, 包括螺栓、螺柱、螺钉、螺母、自攻螺钉、木螺钉、垫圈、挡圈、销、铆钉、组合件和连接副及其他(如焊钉、螺套)等十二类, 因为其在工业领域无处不在、无处不有, 而被称为“工业之米”。目前, 虽然我国紧固件产量很大, 但高强度、高性能紧固件仍需大量进口, 特别是8.8级以上螺栓、螺钉、螺柱的进口量几乎占了紧固件进口总量的50%, 8.8级以上螺

栓、螺钉、螺柱的进口单价更是我国同类产品出口单价的6倍。由此可见, 我国在高性能的高强度紧固件技术上与世界先进水平相比仍有一定差距。

1 问题的提出

热处理工序是高强度、高性能类紧固件的关键加工工序, 而淬火加热时间又是其中的关键参数。为合理设置好淬火加热时间, 避免由于加热时间不足而欠热或由于加热时间太长缺乏经济性甚至过热, 钢件加热时间通常按经验算法进行计算^[1]。加热时间计算公式为:

$$t = a k D \quad (1)$$

参考文献:

- [1] 赵传, 张毅, 田保红, 等. Cu-1.5Ni-1.0Co-0.6Si合金的时效行为[J].材料热处理学报, 2019 (1): 68-75.
- [2] 叶青, 冯兴宇, 赵鸿金. 固溶时间对Cu-Ni-Si-Mg合金组织性能的影响[J].有色金属科学与工程, 2017, 8 (3): 79-83.
- [3] Zhilei Zhao, Zhu Xiao, Zhou Li. Microstructure and properties of a Cu-Ni-Si-Co-Cr alloy with high strength and high conductivity[J].Materials Science & Engineering A, 2019, 759: 396-403.
- [4] 马吉苗, 刘峰, 刘龙明. Cu-Ni-Si-P合金冷加工硬化及再结晶温度的研究[J].有色金属科学与工程, 2017 (2): 43-46.
- [5] 林高用, 张胜华. Cu-Ni-Si-Cr-Fe合金时效强化特性的研究[J].金属热处理, 2001 (4): 28-30.
- [6] 李学浩, 卞金强. CuNi2SiCrAl耐热铜合金的工艺及性能研究[J].热加工工艺, 2015 (22): 212-214.
- [7] 田荣璋, 王祝堂. 铜合金及其加工手册[M].长沙: 冶金工业出版社, 2002.
- [8] 徐玉松, 王效莲, 李学浩. 高强度钛青铜热处理工艺及组织性能研究[J].江苏科技大学学报(自然科学版), 2008, 22 (1): 34-38.
- [9] 雷静果, 刘平, 赵冬梅. Cu-Ni-Si-Cr合金时效处理后的组织与性能[J].河南科技大学学报(自然科学版), 2003, 24 (3): 18-20.

MW 20200229