

抗菌热处理对 SUSXM7 含 Cu 不锈钢冷加工性能的影响

张艳梅, 程永奇, 黎文灿, 揭晓华

(广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006)

摘要:研究了抗菌热处理前后 SUSXM7 含 Cu 奥氏体不锈钢的力学性能,并与通用奥氏体不锈钢 SUS304 进行了对比。结果表明:SUSXM7 含铜不锈钢的加工硬化指数低于 SUS304 不锈钢,塑性应变比高于 SUS304 不锈钢,两种材料的杯突深度基本接近,SUSXM7 含铜不锈钢的冷加工成形性能优于 SUS304 不锈钢。抗菌热处理后,SUSXM7 含铜不锈钢的加工硬化指数、塑性应变比、杯突深度没有太大变化,抗菌热处理对 SUSXM7 含铜不锈钢的冷加工成形性能没有太大影响。SUSXM7 含铜不锈钢可以在抗菌热处理前进行冷加工成形,也可以在抗菌热处理后再进行冷加工成形。

关键词:SUSXM7; 抗菌热处理; ϵ -Cu; 冷加工性能

中图分类号:TG142.71

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2013)12-0181-03

Effects of Antibacterial Heat Treatment on Cold Workability of SUSXM7 Cu-bearing Stainless Steel

ZHANG Yanmei, CHENG Yongqi, LI Wencan, JIE Xiaohua

(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract:Mechanical properties of SUSXM7 Cu-bearing austenitic stainless steel before and after special antibacterial heat treatment were studied, and mechanical properties of the ordinary stainless steel SUS304 were studied for a contrast. The experimental results show that the work hardening value of SUSXM7 Cu-bearing stainless steel is lower than that of SUS304, plastic strain ratio value is larger than that of SUS304, and the cup-drawing deepness of the two materials is very similar. Cold workability of SUSXM7 is better than that of SUS304. Antibacterial heat treatment has no obviously effects on the work hardening value, plastic strain ratio, and cup drawing deepness of SUSXM7 Cu-bearing stainless steel. SUSXM7 Cu-bearing stainless steel can be cold worked after antibacterial heat treatment or before antibacterial heat treatment.

Key words:SUSXM7; antibacterial heat treatment; ϵ -Cu; cold workability

含铜不锈钢经特殊的热处理可以析出大量细小弥散的 ϵ -Cu 抗菌相, ϵ -Cu 相析出的 Cu 离子可以将细菌杀死^[1-2]。含铜抗菌不锈钢在食品加工机械、医用手术器械、医用植入材料、冰箱、洗衣机、空调、餐厨具等领域具有很好的应用前景^[3-4]。目前,国内外研究的含铜抗菌不锈钢主要在普通不锈钢的成分基础上添加适量的铜元素制备而成。其中,铁素体抗菌不锈钢的铜含量约为 1.5%,奥氏体抗菌不锈钢的铜含量约为 3.8%,马氏体抗菌不锈钢的铜含量约为 3.0%^[5-9]。SUSXM7 不锈钢是日本的一种含铜奥氏体不锈钢,其成分类似于我国的 0Cr18Ni9Cu3,通过在普通奥氏体不锈钢 SUS304(0Cr18Ni9)中添加了 3%

~4%的铜,提高了钢的冷加工性能,主要用于制造变形度较高的产品,如内六角、马车螺钉、自攻钉等冷锻零件^[10]。SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的铜含量与现今研究的含铜奥氏体抗菌不锈钢的铜含量非常接近,但尚未做为抗菌材料使用。本文对 SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢进行了抗菌热处理,研究了抗菌热处理后基体中 ϵ -Cu 相的形貌和分布;通过拉伸试验、杯突试验对抗菌热处理前后 SUSXM7 不锈钢的冷加工性能进行了研究,并与 SUS304 不锈钢进行对比,探讨了抗菌热处理对 SUSXM7 不锈钢冷加工性能的影响,为开发其在抗菌方面的应用提供理论依据。

1 实验材料与方法

实验材料选用日本新日铁生产的冷轧 SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢板,板厚 0.5 mm。用相同板厚的普通奥氏体不锈钢 SUS304 作为性能研究的对照材料。SUSXM7 和 SUS304 的化学成分见表 1。

收稿日期:2012-11-07

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2010B090400228)

作者简介:张艳梅(1972-),女,山西高平人,副教授,博士,主要研究方向为材料表面改性、新材料制备及材料性能研究;

电话:18022300850;E-mail:zhyanmei2006@126.com

表 1 SUSXM7 不锈钢及 SUS304 不锈钢化学成分
(质量分数, %)

Tab.1 Chemical composition of SUSXM7 and SUS304 stainless steel (wt%)

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
SUSXM7	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	17.00~19.00	8.50~10.50	3.00~4.00
SUS304	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	17.00~19.00	8.50~10.50	-

将试验钢板根据相关国标规定的尺寸制备成标准拉伸试样和杯突试样。其中一部分 SUSXM7 不锈钢试样放在高温真空炉内进行抗菌热处理: 1100 °C 固溶处理 15 min, 750 °C 时效处理 4 h, 用于分析抗菌热处理对其冷加工性能的影响。抗菌热处理后, 采用扫描电镜及附带的电子能谱仪对其显微组织和析出相进行观察和分析。

金属薄板拉伸试验在 WAW(双空间)电液伺服万能试验机上进行, 杯突实验在国产 BHB-80A 型钣料试验机上进行。加工硬化指数值、塑性应变比值和杯突深度的测定分别参照 GB/T 5028-2008、GB/T 5027-2007 和 GB/T 4156-2007。

2 实验结果与分析

2.1 SUSXM7 抗菌热处理后的组织形貌

图 1 为 SUSXM7 不锈钢抗菌热处理后的 SEM 形貌。可看出, 不锈钢基体中均匀弥散分布着大量白色析出相颗粒, 颗粒直径 100~200 nm。图 2 为析出相的 EDX 能谱分析结果。可看出, 白色析出相为 ϵ -Cu 相, 析出相中 Cu 元素的质量分数高达 44.08%, 远高于基体中 Cu 元素 3%~4% 的平均含量。说明固溶于不锈钢中的 Cu 元素在时效过程中从基体中大量脱溶, 以 ϵ -Cu 相析出。此外, EDX 测定结果表明析出相成分中还含有一定量的 Fe、Ni、Cr 以及少量的 Mn、Si、S 等基体成分, 主要是由于析出相太小, 电子探针的测定结果受到析出相周围基体成分的影响,

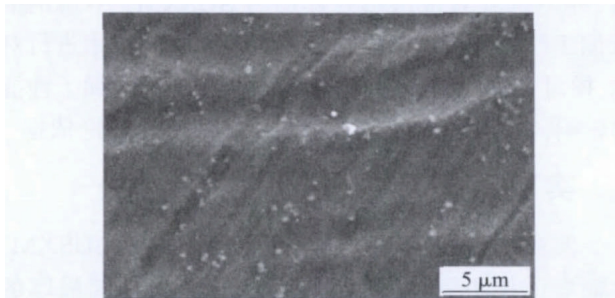


图 1 SUSXM7 不锈钢抗菌热处理后的 SEM 形貌
Fig.1 SEM morphologies of SUSXM7 stainless steel after antibacterial heat treatment

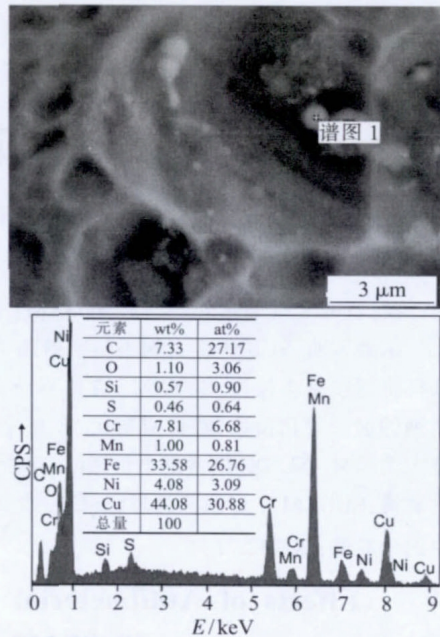


图 2 SUSXM7 不锈钢中析出相的 EDX 能谱图
Fig.2 EDX spectra of precipitates in SUSXM7 stainless steel

造成测定的 Cu 元素含量低于析出相中的实际 Cu 含量。据文献[7]报道, 析出相中的 Cu 元素含量将随时效时间的延长而逐渐增加, 最后接近纯 Cu 相。

2.2 SUSXM7 与 SUS304 的力学性能对比

表 2 为 SUS304 不锈钢抗菌热处理前及 SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢抗菌热处理前后的力学性能。可见, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的屈服强度值和抗拉强度值均低于 SUS304 不锈钢, 与之相应, SUSXM7 不锈钢的加工硬化指数 n 为 0.36, 低于 SUS304 不锈钢的 0.46。这是由于 SUSXM7 不锈钢中的 Cu 合金元素呈过饱和状态固溶于奥氏体的基体中, 提高了不锈钢基体的层错能, 有利于位错的交滑移, 使位错运动变得容易所致^[1]。加工硬化指数 n 是评价金属薄板拉伸性能的最重要参数, n 值越大, 材料均匀变形的能力越强, 越不容易发生局部变形, 拉伸性能越好。表 2 所示 SUSXM7 不锈钢的伸长率 δ 为 52%, 低于 SUS304 不锈钢的 60%, 这一结果与 n 值有很好的对应关系。SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的塑性应变比 r 值为 1.04, 大于 SUS304 不锈钢的 0.95。塑

表 2 SUSXM7 不锈钢与 SUS304 不锈钢的力学性能
Tab.2 Mechanical properties of SUSXM7 and SUS304 stainless steel

钢种	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ (%)	r	n	IE /mm
SUS304	287	645	60	0.95	0.46	13.0
SUSXM7	抗菌热处理前	276	550	52	1.04	0.36
	抗菌热处理后	302	603	50	1.02	0.37

性应变比 r 是评价金属薄板深冲性能的最重要参数。 r 值越大越有利于深冲性能。一般深冲钢板的 r 值都在 1.4 以上^[12]。普通冲压钢板的 r 值都要求大于 1.0, 否则冲压过程中材料厚度方向上容易变形减薄、致裂。SUSXM7 不锈钢和 SUS304 不锈钢的 r 值都接近 1.0, 且 SUSXM7 不锈钢的 r 值大于 SUS304 不锈钢, 表明 SUSXM7 不锈钢和 SUS304 不锈钢都有很好的冲压性能, SUSXM7 不锈钢的冲压性能更优。表 2 所示 SUSXM7 含铜不锈钢的杯突值 $IE=13.2$ mm, 高于 SUS304 不锈钢的杯突值(13.0 mm), 这一结果证实了上述观点。

n 和 r 是评价金属薄板冲压性能的最重要参数。上述实验结果表明, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢中的铜元素降低了材料的加工硬化指数, 使材料的均匀变形能力有所下降, 伸长率降低, 但 SUSXM7 含铜不锈钢的伸长率仍然高达 52%, 具有很好的塑性。与通用奥氏体不锈钢 SUS304 相比, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的塑性应变比增加, 具有良好的拉深变形、胀形性能。

2.3 抗菌热处理对 SUSXM7 力学性能的影响

由表 2 可见, 抗菌热处理后, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的屈服强度和抗拉强度较抗菌热处理前均有所提高, 这是由于抗菌热处理后, 不锈钢中弥散析出了大量 ϵ -Cu 相, 拉伸过程中, ϵ -Cu 相与位错交互作用, 对位错的滑移产生拖曳阻力, 使变形变得困难所致。对于含铜时效硬化不锈钢的研究表明, 当钢中的铜元素呈有序畴分布在基体内且与基体呈共格或半共格关系时, 强化效应最佳^[13]。但对抗菌不锈钢的抗菌性能研究表明, ϵ -Cu 相太小, 不锈钢表面的钝化膜会将不锈钢表面的 ϵ -Cu 相与细菌隔离, 起不到抗菌作用; 反之, ϵ -Cu 相太大, 不锈钢表面的 ϵ -Cu 相会破坏其表面的钝化膜, 降低不锈钢的抗点蚀性能。钢中的 ϵ -Cu 相为 20~80 nm 时, 既能保证其具有一定抗菌功能, 又不会显著降低不锈钢的抗点蚀性能^[5-6, 14]。由图 1 中 SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢抗菌热处理后的 SEM 形貌可以看出, 含铜抗菌不锈钢的抗菌热处理为过时效处理, 抗菌热处理后, 弥散分布的 ϵ -Cu 相可以对基体起到一定强化作用, 但强化效应不大。表 2 中数据表明, 抗菌热处理前后 SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的 n 、 r 、 IE 和 δ 没有太大变化, 这是由于 ϵ -Cu 相呈弥散均匀分布, 且 ϵ -Cu 相成分接近纯铜, 比较软, 在塑性变形过程中 ϵ -Cu 相容易变形所致。上述结果表明, 抗菌热处理对

SUSXM7 含铜不锈钢的冷加工成形性能没有太大影响, 抗菌热处理后材料的成形性能和抗菌前基本一致, SUSXM7 含铜不锈钢可以在抗菌热处理前进行冷加工成形, 也可以在抗菌热处理后再进行冷加工成形。但由于抗菌热处理后, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的屈服强度和抗拉强度较抗菌热处理前有所提高, 冷加工过程中需要的成形力会有所提高。

3 结论

(1) SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的加工硬化指数低于 SUS304 不锈钢, 塑性应变比 SUS304 不锈钢有所提高, 伸长率高达 52%, 两种材料的杯突值很接近。SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢和 SUS304 不锈钢一样, 具有良好的冷加工成形性能。

(2) 抗菌热处理后, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的屈服强度、抗拉强度有所提高, 但加工硬化指数、塑性应变比、杯突值均没有太大变化。抗菌热处理对 SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢的冷加工性能没有太大影响, SUSXM7 含铜奥氏体不锈钢可以在抗菌热处理前或抗菌热处理后再进行冷加工成形。

参考文献:

- [1] 南黎, 刘永前, 杨伟超, 等. 含铜抗菌不锈钢的抗菌特性研究[J]. 金属学报, 2007, 43(10): 1065-1068.
- [2] 陈四红, 吕曼祺, 张敬党, 等. 含 Cu 抗菌不锈钢的微观组织及其抗菌性能[J]. 金属学报, 2004, 40(3): 314-318.
- [3] 杨柯, 陈四红, 董加胜, 等. 抗菌不锈钢及其在医疗卫生领域的应用[J]. 中国公共卫生杂志, 2005, 21(增刊): 95-99.
- [4] 高海云, 刘宝钢, 王宏星. 抗菌不锈钢在饮食装备中的应用[J]. 车辆与动力技术, 2004, 3: 56-58.
- [5] 高令远, 王向东, 王成蓓. 近年日本抗菌材料的发展[J]. 特殊钢, 2002, 23(3): 32-34.
- [6] 瞿国鸿. 国内外抗菌金属材料的开发[J]. 重庆钢研, 2003, 28: 1-9.
- [7] 李恒武, 张体保, 张体勇. 含 Cu 奥氏体抗菌不锈钢中 ϵ -Cu 相的观察和分析[J]. 金属学报, 2008, 44(1): 39-42.
- [8] 张志霞, 林刚, 徐洲. 含铜铁素体抗菌不锈钢中抗菌相的析出行为[J]. 材料热处理学报, 2008, 29(5): 93-96.
- [9] 刘永前, 南黎, 陈德敏, 等. 含铜马氏体抗菌不锈钢的研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(8): 1380-1382.
- [10] 于民治, 张超. 钢材产品手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [11] 林高用, 韩飞, 余均武, 等. SUS304-2B 不锈钢薄板加工硬化及退火软化的试验研究[J]. 金属热处理, 2004, 29(3): 8-11.
- [12] 杨才福, 张永权, 刘天军. 汽车用含铜高强度薄钢板[J]. 钢铁研究学报, 1997, 9(3): 63-66.
- [13] 王海燕, 安治国, 任慧平, 等. 含铜高纯净钢时效过程中铜偏聚区的演变[J]. 材料热处理学报, 2007, 28(6): 67-70.
- [14] 杨柯, 董加胜, 陈四红. 含 Cu 抗菌不锈钢的工艺与耐蚀性能[J]. 材料研究学报, 2006, 20(5): 523-526.