

热处理对奥氏体不锈钢 00Cr18Ni10N 组织和性能的影响

李勇¹, 寇宏超¹, 柳木桐², 张铁邦¹, 钟平², 李金山¹

1. 西北工业大学凝固技术国家重点实验室, 710072
2. 北京航空材料研究所, 北京 100095

摘要 通过对新型奥氏体不锈钢 00Cr18Ni10N 的热处理工艺试验, 研究了不同固溶温度、冷却方式和保温时间对其组织性能的影响。结果表明, 随着固溶温度的升高, 00Cr18Ni10N 钢晶粒变大, 力学性能降低, 塑性提高。随着保温时间的延长, 拉伸强度、屈服强度和硬度都有所降低, 断后伸长率略有提高, 冲击韧性和断面收缩率变化并不显著。虽然冷却方式对其力学性能和晶粒大小的影响并不是很明显, 但在 1050℃ 淬火, 采用水冷可以到达更好的综合性能。因此, 00Cr18Ni10N 钢采用 1050℃ 固溶、保温 1h 后水冷热处理工艺具有良好的组织和强韧性配合。

关键词 不锈钢; 热处理; 组织性能

中图分类号 TG456.9

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.05.005

Influence of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Property of Austenitic Stainless Steel

LI Yong¹, KOU Hongchao¹, LIU Mutong², ZHANG Tiebang¹, ZHONG Ping², LI Jinshan¹

1. State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China
2. Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China

Abstract The effects of different solution temperature, cooling method, and holding time on the microstructure are introduced and performance of a new austenitic stainless steel 00Cr18Ni10N has been investigated through a series of heat treatment process tests. Increasing solution temperature can accelerate austenitic formation and uniformity process, also increase the solubility of carbides, nitrides, and carbonitrides in the matrix, and improve the stability of austenite. The results show that the grain size of the material becomes larger with the solution temperature increasing, meanwhile, the mechanical properties are decreased and plastic property is improved. With holding time increasing, the tensile strength, yield strength, and hardness decrease, the percentages elongation after fracture increase, and the impact toughness and section reduction rate do not change significantly. Although the influence of cooling methods on mechanical properties and grain size is not significant, but it could obtain better comprehensive performance using water-cooling after the 1050℃ solution treatment. Consequently, the stainless steel reaches a good combination of strength and toughness after a solution treatment at the temperature of 1050℃ and water quenching after holding an hour.

Keywords stainless steel; heat treatment; structure property

0 引言

奥氏体不锈钢是不锈钢的重要组成部分, 产量约占不锈钢总产量的 65%~70%。由于它具有优良的耐腐蚀性, 较好的

力学性能和加工性能, 广泛应用在各个领域。随着工业应用环境更加苛刻, 传统奥氏体不锈钢面临晶间腐蚀问题。不锈钢晶间腐蚀是由于在一定受热条件下沿晶界析出 Cr_3C_6 碳化

收稿日期: 2011-01-05; 修回日期: 2011-01-30

作者简介: 李勇, 硕士, 研究方向为不锈钢腐蚀与防护, 电子信箱: liyong1986627@163.com; 寇宏超(通信作者), 副教授, 研究方向为不锈钢腐蚀与防护, 电子信箱: khch@nwpu.edu.cn

物,进而引起晶界区域贫铬所致,因而将钢中的碳含量降至溶解度极限以下($C < 0.03\%$)是解决此问题的有效途径^[1-3]。随着冶金工业新技术的发展,发展的 00Cr18Ni10N 等超低碳奥氏体不锈钢,因为较低 C 含量避免了晶间腐蚀现象的发生,其耐晶间腐蚀性能好,在不同温度和浓度的各种强腐蚀介质中均有良好的耐蚀性,冷变形、深冲压、切削性、可焊性都很好,在航空领域的系统部件上得到了应用^[4-5]。

奥氏体不锈钢的成分、变形方式和热处理工艺等都会对微观组织比如亚结构、晶粒尺寸产生影响,进而影响其力学性能。关于传统奥氏体不锈钢如 304、316 不锈钢板、带材的微观组织和力学性能的研究比较多。研究表明,固溶温度与合金中第二相的溶解以及溶解时扩散的速度密切相关,合适的固溶温度不仅可以使第二相得到充分的溶解,而且可以加快难溶相的扩散速度。温度低、扩散速度小,达到相同的固溶效果需要的时间就越长。但温度过高,晶粒之间相互吞并,晶粒容易变得粗大,从而降低材料的力学性能^[6]。奥氏体不锈钢通过 1050~1150℃ 的固溶处理,可以让碳化物溶于奥氏体中,然

后采用水淬快冷,将奥氏体保持到室温下,从而提高不锈钢的抗晶间腐蚀性能。00Cr18Ni10N 超低碳奥氏体具有较低的 C 含量,采用传统奥氏体不锈钢的固溶处理工艺,由于间隙原子 C 的减少会弱化固溶强化效果^[7]。因此,研究超低碳不锈钢热处理工艺对其组织与力学性能影响的演化规律,并在此基础上通过合理的工艺处理使不锈钢具有高强度与塑性的良好配合具有重要意义。

本文采用超低碳奥氏体不锈钢 00Cr18Ni10N 作为实验材料,通过研究不同固溶温度、保温时间和冷却方式对该钢的力学性能和组织的影响规律,得到最优的热处理工艺方案使其获得最佳的综合力学性能。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为 00Cr18Ni10N 钢,其化学成分见表 1。试验件是从改锻后的 $\phi 30$ 的棒材毛坯上获得。力学性能测试所用拉伸和冲击试样见图 1、图 2。试样经粗加工后进行不同工艺

表 1 00Cr18Ni10N 钢的化学成分

Table 1 Chemical composition of 00Cr18Ni10N steel

组分	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	N	O	H
含量/wt%	0.017	1.58	0.78	0.001	0.020	17.97	10.06	0.17	0.0046	0.0002

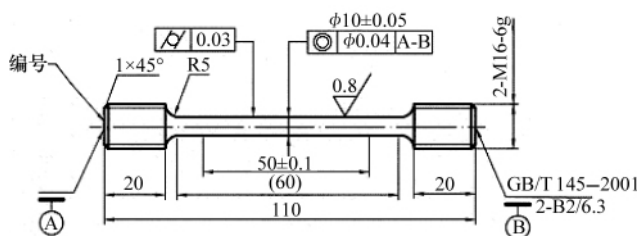


图 1 拉伸试样图(单位:mm)

Fig. 1 Scheme of tensile specimen

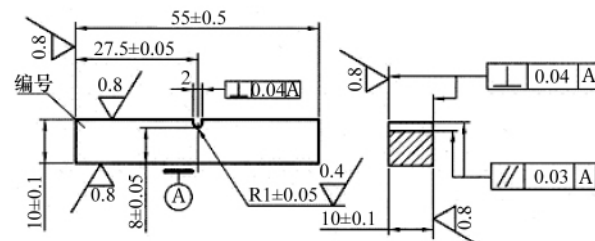


图 2 冲击试样图(单位:mm)

Fig. 2 Scheme of impact specimen

热处理,热处理后精加工,最后完成力学性能测试。

1.2 试验方法

力学试样分别选取 950、980、1000、1030、1050、1100、1200℃ 7 个温度,保温 1h,再分别在每个温度进行水冷和空冷两种冷却方式,来比较不同固溶温度和不同冷却方式对力学性能和组织的影响。然后在 1000 和 1050℃ 采用 5 个不同的保温时间进行水淬,分别为 10、30、60、120、240min,比较保温时间对其力学性能和组织的影响。

1.3 试验设备

固溶处理在台车式电阻加热炉(RF₂-110-12/FD)中进行,将试样在 Instron1196 试验机上进行拉伸试验,试样直径为 10mm,标距长度为 50mm;在 JB230B 冲击试验机上进行冲击试验,冲击为夏比 U 型缺口试样,载荷为 15N;采用 A-200 型

硬度测量仪测量试样的布氏硬度 HB,压头为硬质合金球,直径为 2.5mm,载荷砝码为 187.5kg。利用 Leica DM LM 型显微镜观察晶粒度。

2 试验结果与分析

2.1 固溶温度和冷却方式对钢力学性能和组织的影响

图 3 给出了不同温度淬火对钢的拉伸强度 σ_b 、屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 、冲击韧性 A_{ku} 和硬度 HB 的影响。结果表明, σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 和 HB 均随着固溶温度升高而降低, A_{ku} 先随着固溶温度升高而增加,980℃ 后随着温度的升高而降低。同时断面收缩率 δ 和断后伸长率 ψ 均稍有提高。图 4 给出了不同温度淬火后的晶粒大小,可以看出随着固溶温度升高,碳化物越来越多地溶解进入奥氏体,晶粒变得粗大,从而影响了其上述力学性能。根

据 Hall-Petch 公式:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_d d^{-1/2}$$

其中, σ_y 为屈服或者时弹性极限应力, σ_0 为真实流动应力, k 为 Hall-Petch 系数, d 为晶粒尺寸。晶粒越细, 晶界越多, 位错运动过程中受到的阻滞就越多, 因此强度越高^[9-10]。提高固溶温度能加速奥氏体的形成和均匀化过程, 但同时增大了碳化

物、氮化物和碳氮化物在基体中的溶解度, 提高了奥氏体的稳定性, 淬火后, 钢中的残余奥氏体数量就增多, 从而降低了抗拉强度、屈服强度、冲击韧性和硬度, 但提高了其塑性^[11]。在 1050°C 淬火使钢达到了最佳强韧性配合。从图 4 还可以看出, 水冷和空冷两种冷却方式对其力学性能和晶粒大小的影响并不是很明显。但在 1050°C 淬火, 采用水冷可以到达更好

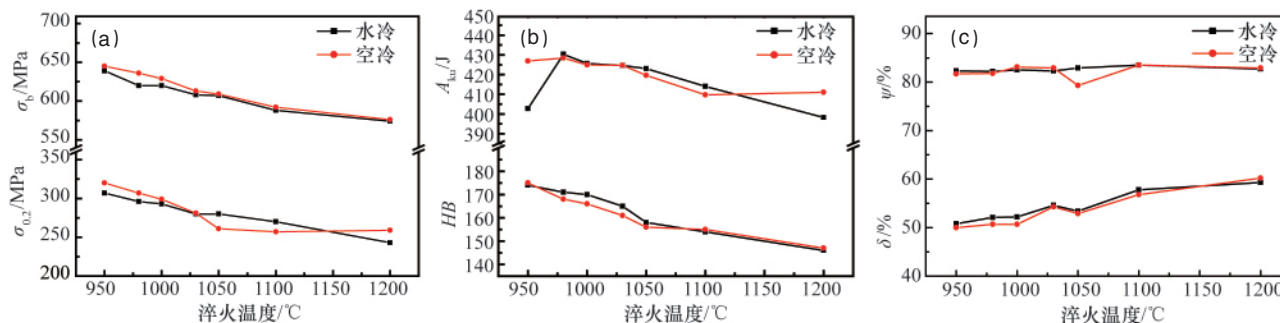


图 3 固溶温度对奥氏体不锈钢力学性能的影响

Fig. 3 Effects of quenching temperature on mechanical properties of austenitic stainless steel

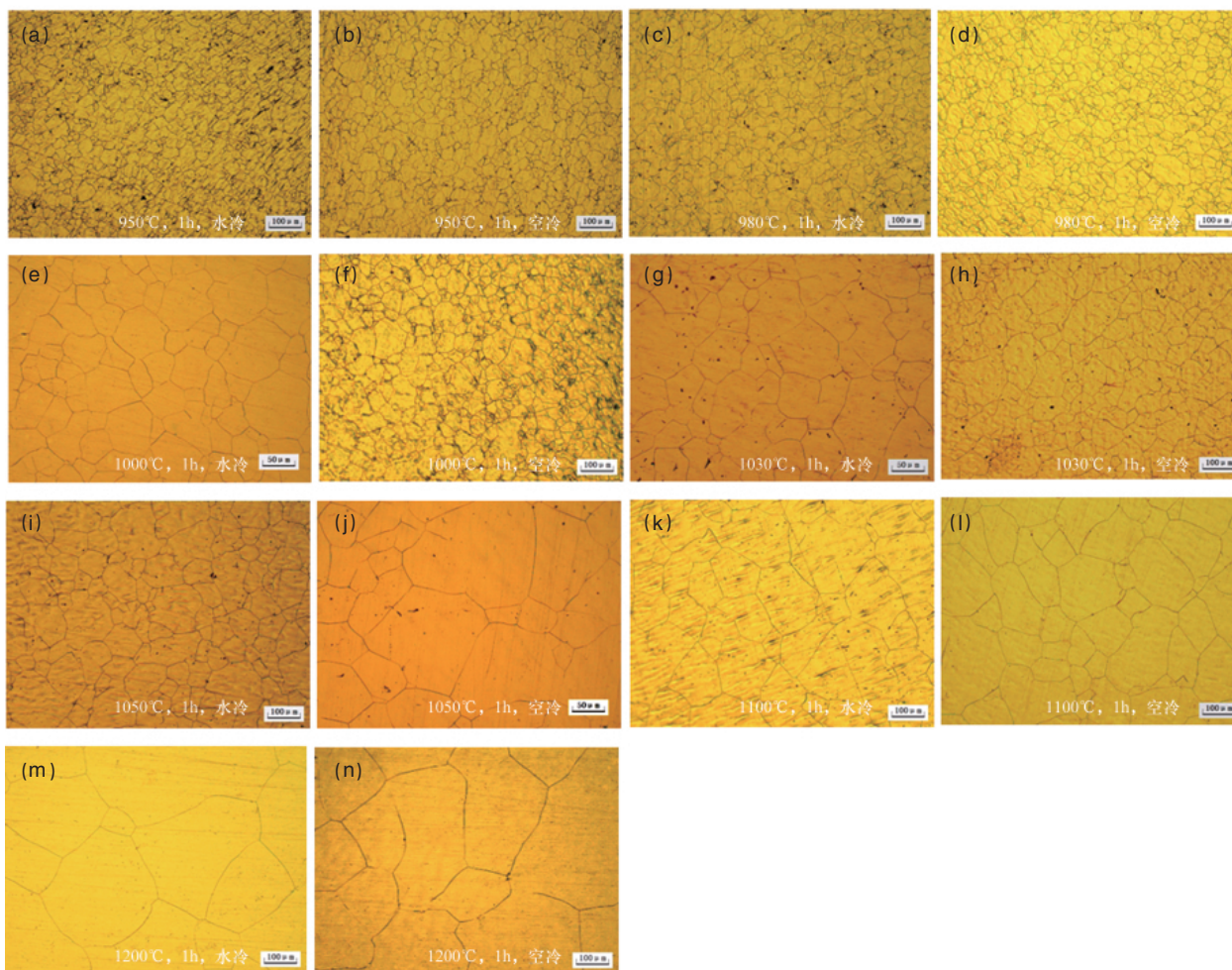


图 4 固溶温度对奥氏体不锈钢晶粒的影响

Fig. 4 Effects of quenching temperature on grain size of austenitic stainless steel

的综合性能。

2.2 保温时间对钢力学性能的影响

从上述固溶温度中,选取 1000℃和 1050℃作为实验温度,对试样分别进行 10、30、60、120、240min 保温,然后水淬。从图 5 可以看出,在 1000 和 1050℃固溶处理,随着保温时间的延长,拉伸强度、屈服强度和硬度都有所降低,断后伸长率略有提高,冲击韧性和断面收缩率变化较为平缓。固溶处理保温 1h,该钢的综合性能较好,具有好的强度和塑性配合而且 1050℃淬火与 1000℃淬火比较,力学性能指标相对较低,

塑性指标较好。这也验证了前面得出的随着固溶温度升高力学性能下降、塑性提高的变化规律。保温时间不够长时,碳化物溶解不充分和奥氏体均匀化程度降低,淬火后得不到均质的淬火组织,使钢热处理后的力学性能降低;保温时间过长,虽然得到碳化物的充分溶解和奥氏体的均匀化,但会导致脱碳和奥氏体的晶粒长大,且使淬火后钢中含有较多的残余奥氏体。由此可知,奥氏体形成时碳化物溶解的程度和奥氏体中成分的均匀程度,对奥氏体不锈钢热处理后组织与性能的影响非常大。

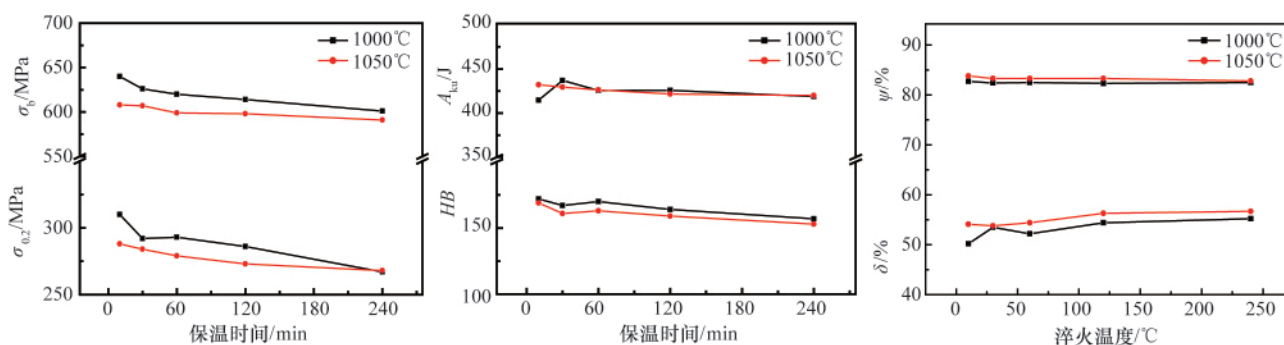


图 5 保温时间对奥氏体不锈钢力学性能的影响

Fig. 5 Effects of holding time on mechanical properties of austenitic stainless steel

3 结论

本文通过对新型奥氏体不锈钢 00Cr18Ni10N 不同热处理工艺的试验,研究了不同固溶温度、冷却方式和保温时间对其组织性能的影响,得到结论如下:

(1) 随着固溶温度的升高,00Cr18Ni10N 钢晶粒变大,力学性能降低,塑性提高。

(2) 在 1050℃保温 1h 后,水冷热处理工艺下 00Cr18Ni10N 钢具有良好的强韧性综合性能 ($\sigma_b=607\text{MPa}$, $\sigma_{0.2}=283\text{MPa}$, $A_{ku}=423\text{J}$, $HB=158$, $\delta=53.4\%$, $\psi=82.9\%$)。

(3) 固溶温度比保温时间和冷却方式对 00Cr18Ni10N 钢的力学性能和组织影响更加明显。

参考文献 (References)

- [1] 杜存臣. 奥氏体不锈钢在工业中的应用[J]. 化工设备与管道, 2003, 40(2): 54-58.
Du Cunchen. *Process Equipment & Piping*, 2003, 40(2): 54-58.
- [2] 康喜范. 我国低碳、超低碳奥氏体不锈钢的主要进展 [J]. 钢铁, 1994, 29(10): 77-82.
Kang Xiyuan. *Iron and Steel*, 1994, 29(10): 77-82.
- [3] 段汉桥, 魏伯康, 林汉同. 我国铸造不锈钢应用现状及发展趋势[J]. 铸造, 2002, 51(5): 268-272.
Duan Hanqiao, Wei Bokang, Lin Hantong. *Foundry*, 2002, 51(5): 268-272.
- [4] Gavriljuk V G, Shanina B D, Berns H. Ab initio development of a high-strength corrosion-resistant austenitic steel [J]. *Acta Materialia*, 2008, 56

(7): 5071-5082.

- [5] da Rocha M R, de Oliveira C A S. Evaluation of the martensitic transformations in austenitic stainless steels[J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2009, 517(1-2): 281-285.
- [6] 黄文克, 孔凡亚. 冷拔高强 00Cr18Ni10N 不锈钢丝显微组织与力学性能[J]. 金属学报, 2009, 45(3): 275-279.
Huang Wenke, Kong Fanya. *Acta Metallurgica Sinica*, 2009, 45(3): 275-279.
- [7] 黄文克, 孔凡亚. 热处理对高强 00Cr18Ni10N 不锈钢丝组织与性能的影响[J]. 热加工工艺, 2009, 38(18): 127-131.
Huang Wenke, Kong Fanya. *Hot Working Technology*, 2009, 38(18): 127-131.
- [8] 周琳, 余小鲁, 赵金凤, 等. 不锈钢锻后热处理组织与性能分析 [J]. 铸造技术, 2009, 30(5): 627-629.
Zhou Lin, Yu Xiaolu, Zhao Jinfeng, et al. *Foundry Technology*, 2009, 30(5): 627-629.
- [9] 严苏星. 奥氏体不锈钢显微组织状况对使用性能的影响 [J]. 研究与分析, 2007, 35(11): 23-26.
Yan Suxing. *Research and Analysis*, 2007, 35(11): 23-26.
- [10] 李长胜, 戴起勋, 陈康敏. 新型奥氏体不锈钢室温拉伸性能研究[J]. 热加工工艺, 2006, 35(20): 16-18.
Li Changsheng, Dai Qixun, Chen Kangmin. *Hot Working Technology*, 2006, 35(20): 16-18.
- [11] 赵晖, 徐玲. 热处理对双相不锈钢的组织与腐蚀性能的影响[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2009, 21(3): 288-290.
Zhao Hui, Xu Ling. *Corrosion Science and Protection Technology*, 2009, 21(3): 288-290.

(责任编辑 朱宇)