

调整处理对17-4PH钢组织和性能的影响

王全振¹, 那艳会², 张晖瑾², 马超², 陈鑫¹, 刘爽庆¹

1. 沈阳鼓风机集团股份有限公司 辽宁沈阳 110869

2. 通用技术集团大连机床有限责任公司 辽宁大连 116000

摘要: 采用光学金相显微镜等手段分析17-4PH钢经1050℃固溶处理后, 分别在760℃、800℃、850℃进行调整处理对金相组织和力学性能的影响。结果表明: 17-4PH钢固溶处理后经760℃调整处理马氏体板条细小, 碳化物析出明显。随着调整温度的提高, 强度随之上升, 塑性指标下降。由此得出, 17-4PH钢固溶处理1050℃+调整处理760℃+时效处理610℃可以获得最佳的强化效果。

关键词: 17-4PH钢; 调整处理; 显微组织; 力学性能

1 序言

17-4PH钢是典型的马氏体沉淀硬化不锈钢, 具有高强度、高韧性、抗腐蚀性、高耐压性等优点, 适用于多种条件和恶劣的工况条件服役, 因此被广泛用于压力容器、飞行器和汽轮机叶片等领域。本文对17-4PH钢进行了不同工艺的热处理, 包括固溶处理+时效和固溶处理+调整处理(温度不同)+时效处理。调整处理的目的是降低奥氏体中的合金元素含量, 以提高马氏体转变温度 M_s 点。由于调整处理时一部分碳以及铬、铌等合金元素只能部分溶于奥氏体中, 另一部分碳以及铬、铌等元素以碳化物形式从奥氏体中析出。改变调整处理温度, 可调整奥氏体合金元素的含量, 从而导致钢组织、性能发生变异^[1]。本文重点研究调整处理温度对17-4PH钢显微组织和力学性能的影响。

2 试验材料及试验方法

试验材料为17-4PH钢, 试棒尺寸为 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$, 其化学成分见表1。该材料是经电炉冶炼、锻造成形, 并经超声波检测合格。热处理工艺试验参数见表2。

表1 试验材料的化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	S	P
0.05	0.18	0.76	15.8	4.8	3.8	0.19	0.006	0.014

表2 热处理工艺参数

试验编号	热处理试验工艺
1	固溶处理1050℃油冷+时效处理610℃空冷
2	固溶处理1050℃油冷+调整处理760℃油冷+时效处理610℃空冷
3	固溶处理1050℃油冷+调整处理800℃油冷+时效处理610℃空冷
4	固溶处理1050℃油冷+调整处理850℃油冷+时效处理610℃空冷

3 试验结果及分析

3.1 调整处理温度对17-4PH钢力学性能的影响

马氏体沉淀硬化不锈钢的强化机制包含了相变强化、时效强化、第二相强化等。马氏体转变指高温奥氏体经快速冷却, 在较低温度下发生无扩散切变形成体心正方的马氏体; 金属材料固溶体中过饱和元素从基体中析出形成第二相粒子, 该第二相粒子诱发应变, 使得金属材料晶格发生畸变, 从而强化金属, 这是沉淀硬化的主要机理; 时效处理是沉淀硬化不锈钢热处理过程中的最后一步, 通过时效作用, 基体材料的析出相逐渐沉淀出来, 也因此获得良好的综合力学性能^[2]。

依据GB/T 228.1—2010《金属材料室温拉伸试验方法》, 在RSA250拉伸试验机上进行室温拉伸试验; 依据GB/T 229—2020《金属材料-夏比摆锤冲

击试验方法》，采用夏比V型试样，在JWB-300型冲击试验机上进行冲击试验（结果取3个试验的平均值）；使用Axiovert200MAT型光学显微镜观察金相组织。

表3为17-4PH钢经不同热处理工艺力学性能测试结果。从中可以看出，1[#]试样经固溶处理+时效处理的17-4PH钢强度和硬度指标最高，但塑性指标不理想，冲击吸收能量较低。此外，对比2[#]~4[#]试样力学性能分析，随着调整温度的升高，17-4PH钢强度和硬度值随之增加，但塑性指标则随之下降，以冲击吸收能量下降尤为明显。通过不同的调整处理温度，使马氏体转变点升高，随后的冷却形成的马氏体量增加；采用相同的时效温度，形成的回火马氏体也是增加的，因此随着调整温度的提高，强度随之上升，塑性指标下降。

表3 力学性能测试结果

试样编号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率(%)	断面收缩率(%)	冲击吸收能量/J	硬度HRC
1	1100	1010	16.5	65	132、136	36
2	996	927	22.0	70	202、207	34.5
3	1014	963	20.0	68	152、156	35
4	1008	1048	19.5	67	144、152	36

3.2 调整处理对17-4PH钢显微组织的影响

由于调整处理时，一部分碳以及铬、铌等合金元素只能部分溶于奥氏体中，另一部分碳以及铬、铌等合金元素以碳化物形式从奥氏体中析出。调整处理的目的是降低奥氏体中的合金元素含量，以提高马氏体转变温度 M_s 点。随着调整温度的升高，部分碳以及铬、铌等合金元素以碳化物形式从奥氏体中析出的越多，这样 M_s 点升高，固溶进基体的碳及合金元素的量减少，奥氏体稳定性下降，在随后的快冷过程中获得的马氏体含量增高，残留奥氏体含量下降。中间调整处理使材料的逆转变奥氏体的析出峰温度降低，导致材料的逆转变奥氏体含量升高^[3]。同样的时效温度马氏体含量高，抗拉强度随之上升，塑性指标下降。金相组织如图1所示。

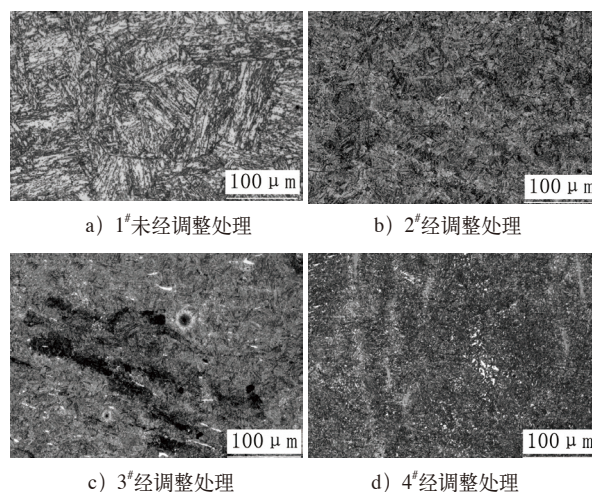


图1 17-4PH钢显微组织

4 结束语

1) 17-4PH钢经固溶处理+时效处理的显微组织为板条马氏体+少量奥氏体。

2) 17-4PH钢随着调整温度的升高，强度和硬度值增加，塑性指标略有下降。

3) 本试验条件下，如需获得最佳的强化效果，则推荐工艺为固溶处理1050℃油冷+调整处理760℃油冷+时效处理610℃空冷。添加调整处理可以提高材料的塑性及抗冲击性能。

参考文献：

- [1] 解文飞.马氏体沉淀硬化不锈钢强化机理研究[D].上海：上海工程技术大学，2020.
- [2] 王剑星，杨钢，刘天模，等.Ni含量对0Cr17Ni4Cu4Nb钢中逆转变奥氏体的影响[J].热加工工艺，2010(20)：9-11.
- [3] 杨钢，王剑星，杨沫鑫.Ni含量对0Cr17Ni4Cu4Nb不锈钢富铜相析出的影响[J].材料热处理学报，2012，33(S1)：51-56.

MW 20210718