

热处理工艺对 2Cr13 不锈钢组织与性能的影响

李毅^{1, 2}, 赵永庆³, 曾卫东¹, 贺 韡⁴

(1. 西北工业大学材料学院, 陕西西安 710072; 2. 中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西西安 710089;

3. 西北有色金属研究院, 陕西西安 710016; 4. 空军装备部驻西安地区第一军事代表室, 陕西西安 710089)

摘要: 通过对2Cr13不锈钢进行不同的热处理试验, 并对其组织及力学性能进行了分析。结果表明: 经淬火+回火的2Cr13不锈钢组织为回火索氏体, 其拉伸强度、硬度随回火温度的升高而降低, 伸长率及冲击韧性随回火温度的升高而提高。结合航空新零件的设计需求, 推荐2Cr13不锈钢新零件的热处理制度为1 040 °C/40 min淬火+580~600 °C/60 min回火。

关键词: 2Cr13不锈钢; 回火; 组织; 硬度

2Cr13不锈钢属于马氏体型不锈钢, 因具有高强度、高硬度、高韧性、高耐腐蚀性和抗氧化性等良好的综合力学性能而广泛地应用于汽轮发动机转子末级叶片、紧固螺栓、航空法兰等要求较高的构件上^[1-2]。

本文以某航空新零件为背景, 研究了热处理工艺对2Cr13不锈钢组织与性能的影响。由于新零件不仅要求符合HB 5024-1989《航空用钢锻件》的性能指标, 而且要求硬度满足HBW286~331。与一般普通标准要求的硬度HBW241~341相比, 该零件的硬度波动幅度从HBW100, 压缩收窄到新零件设计要求的HBW45。因此现有标准和文献推荐的热处理制度无法满足新零件的指标要求。这就要求探索新的热处理制度。前期虽然也有技术人员开展了热处理对2Cr13不锈钢组织和力学性能影响方面的研究^[3-4], 但在如何精确控制2Cr13不锈钢硬度范围方面的研究鲜见报道。

本文根据新零件的设计需求, 研究了2Cr13不锈钢在不同热处理工艺试验下, 材料组织及力学性能的变化规律, 并结合实际生产制定了满足航空零件高标准要求的新工艺, 对于2Cr13的实际生产和应用具有指导意义。

1 试验材料与方法

试验原材料采用符合航空用不锈钢相关要求的2Cr13不锈钢棒料, 其化学成分见表1。

试验棒料经过不同的淬火+回火热处理后分别进行室温拉伸、室温冲击、硬度及金相检测。试验棒料的具体热处理方案见表2。

2 试验结果及讨论

2.1 淬火温度对组织性能的影响

图1分别为不同淬火温度下, 经过相同回火处理的2Cr13不锈钢的金相组织。从

表1 2Cr13不锈钢棒料的化学成分

Table 1 The chemical composition of 2Cr13 stainless steel rod

w_B /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
0.21	0.46	0.52	0.020	0.015	12.8	余量

作者简介:

李毅(1974-), 男, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为金属材料及热加工工艺。E-mail: liyi82@sohu.com

中图分类号: TG156.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)

11-1364-04

收稿日期:

2022-04-14 收到初稿,

2022-06-13 收到修订稿。

表2 2Cr13不锈钢热处理工艺试验方案
Table 2 The heat treatment process test of 2Cr13 stainless steel

组别	试样编号	淬火温度/℃	淬火保温时间/min	冷却方式	回火温度/℃	回火保温时间/min	冷却方式
1	1-1, 1-2	980	40	油冷	650	60	油冷
2	2-1, 2-2	1 040	40	油冷	550	60	油冷
3	3-1, 3-2	1 040	40	油冷	580	60	油冷
4	4-1, 4-2	1 040	40	油冷	600	60	油冷
5	5-1, 5-2	1 040	40	油冷	630	60	油冷
6	6-1, 6-2	1 040	40	油冷	650	60	油冷
7	7-1, 7-2	1 040	40	油冷	670	60	油冷

图中可以看出,在980℃下淬火时,650℃回火后的金相组织为较细小的回火索氏体(片层状的 α 相+碳化物),晶界处存在少量未溶的残留碳化物,晶粒度为7级。当淬火温度的升高至1 040℃时,原子扩散能力增强,通过晶界的迁移原奥氏体晶粒长大,导致淬火后马氏体片层尺寸变大,在650℃回火后,马氏体分解获得的回火索氏体里面的 α 片层也相应变得粗大,同时碳化物逐步向奥氏体晶粒内部扩散,晶界变得干净,晶粒度在5~5.5级。

表3为不同淬火温度下,经过相同回火处理的2Cr13不锈钢的力学性能测试结果。从表中可以看出,随淬火温度的提高,试样的强度和硬度均有所提高,塑性略有降低,冲击韧性在980℃淬火时达到较高的水平。因为在1 040℃淬火时,回火后得到回火索氏体中的 α 片层较为粗大,因此冲击韧性有很大的下降,但仍然满足航空标准要求。由于本文的新零件的硬度波动范围要求更窄,综合考虑实践经验及相关标准要求,确定淬火温度为1 040℃。

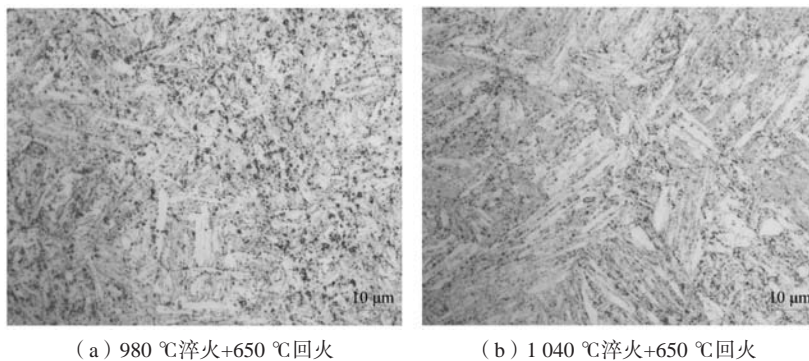


图1 不同淬火温度下2Cr13不锈钢的金相组织

Fig. 1 Metallographic microstructure of 2Cr13 stainless steel at different quenching temperatures

表3 2Cr13不锈钢不同淬火温度下的力学性能
Table 3 Mechanical properties of 2Cr13 stainless steel at different quenching temperatures

组别	淬火	回火	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A /%	收缩率 Z /%	冲击韧性 a_k /($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	硬度HBW
1	980℃/40 min,	650℃/60 min,	838	685	19.0	66	1 250	269
	油冷	油冷	839	692	20.0	66	1 100	269
2	1 040℃/40 min,	650℃/60 min,	864	710	19.0	61	665	272
	油冷	油冷	861	707	19.0	62	650	272

2.2 回火温度对组织性能的影响

马氏体不锈钢在淬火后组织中的马氏体和残余奥氏体是不稳定的,需要通过回火处理来消除残余应力和增强钢的韧性。回火处理后,马氏体组织发生转变,其组织和各项力学性能与回火温度有很大的关系。

2.2.1 回火温度对组织的影响

2Cr13不锈钢试样经过1 040℃淬火后,在不同温

度下的回火组织见图2。从图中可以看出,经过不同温度的回火处理,2Cr13不锈钢淬火后得到的马氏体发生了分解,变成了回火索氏体(片层状的 α 相+碳化物)。回火温度为580℃时,回火索氏体中的片层状 α 相和碳化物尺寸都相对较小。随回火温度的升高,从580℃提高到600℃、630℃和670℃后,由于C、Cr元素的扩散速度明显增加,碳化物聚集长大和片层状的 α 相因为回复和再结晶产生的粗化现象也都较为明显。

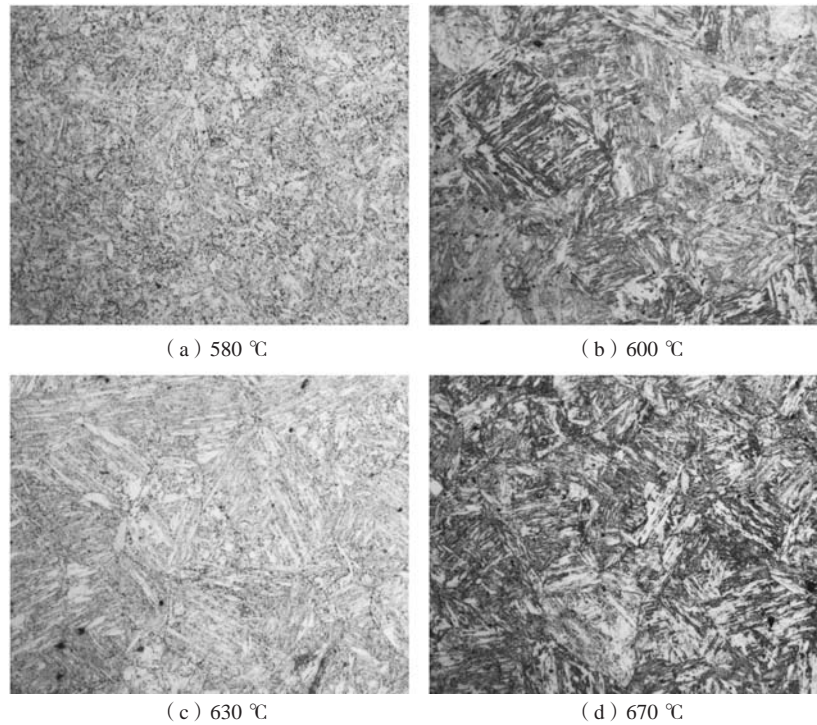


图2 不同回火温度下2Cr13不锈钢的金相组织

Fig. 2 Metallographic microstructure of 2Cr13 stainless steel at different tempering temperatures

2.2.2 回火温度对性能的影响

(1) 回火温度对拉伸性能的影响。图3、图4为不同回火温度下试样的拉伸强度和伸长率的变化。从图中可以看出，随回火温度的升高，试样的抗拉强度

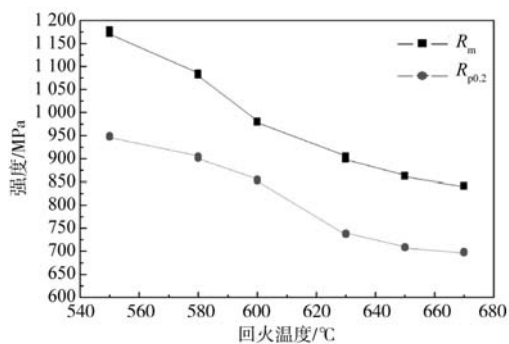


图3 拉伸强度随回火温度的变化

Fig. 3 Variation of tensile strength with tempering temperature

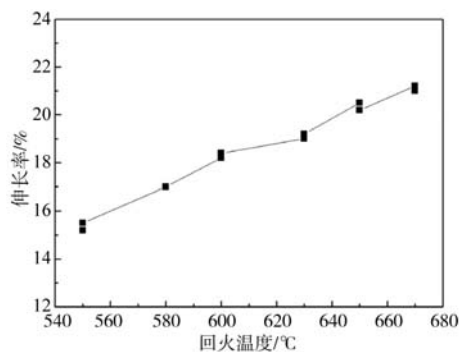


图4 伸长率随回火温度的变化

Fig. 4 Variation of elongation with tempering temperature

和屈服强度有所下降。550 °C回火时，抗拉强度可达1 180 MPa，屈服强度为925 MPa，当回火温度升高至670 °C时，抗拉强度下降至840 MPa，屈服强度为700 MPa，抗拉强度降低了28.8%，屈服强度降低了24.3%。但试样的伸长率随回火温度的升高而升高，在550 °C回火时，伸长率为18.0%，在670 °C回火时，伸长率为19.2%，升高了6.7%。

这是因为2Cr13马氏体不锈钢经调质工艺处理后，其组织为回火马氏体，由于在回火前马氏体板条内有大量位错，晶界有碳化物的析出，当回火温度升高时，材料发生软化，低温下弥散分布的碳化物颗粒会聚集长大，从而使材料的强度降低，塑性略有提高。

(2) 回火温度对冲击韧性的影响。图5为试样的冲击韧性随回火温度的变化。从图中可以看出，随着回火温度的升高，2Cr13不锈钢的冲击韧性有一定的升

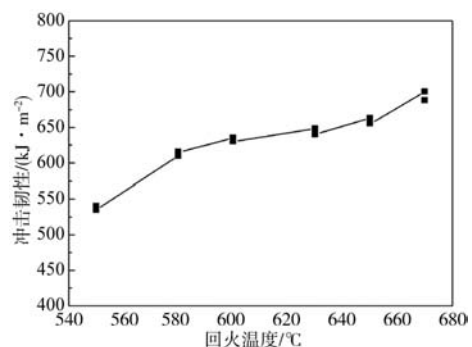


图5 冲击韧性随回火温度的变化

Fig. 5 Change of impact performance with tempering temperature

高, 在550 °C回火时, 试样的冲击韧性为535 kJ/m², 回火温度升高至670 °C时, 试样的冲击韧性为700 kJ/m², 提高了30%。这是因为在550~670 °C温度范围回火时, 由于回火后采用油冷, 避免了回火脆性的发生^[5], 2Cr13不锈钢回火处理时, 回火马氏体中层状 α 相之间的碳化物不断长大、均匀弥散分布, 同时也减少了应力集中, 使材料的韧性提高。

(3) 回火温度对硬度的影响。图6为试样的硬度随回火温度的变化。从图中可以看出, 2Cr13不锈钢的硬度随着回火温度的升高而降低。这是因为在回火热处理时, 随着温度升高, 回火索氏体中的片层状 α

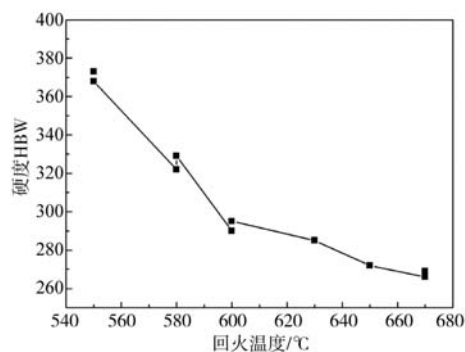


图6 硬度随回火温度的变化

Fig. 6 Change of hardness with tempering temperature

参考文献:

- [1] 陈林. 2Cr13钢热变形行为研究 [J]. 热处理, 2015, 30 (6): 17-20.
- [2] 易啸. 2Cr13钢热变形行为研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [3] 王浩伟, 张戎有, 田志平, 等. 热处理工艺对2Cr13不锈钢组织和强韧性的影响 [J]. 热加工工艺, 2020, 49 (20): 124-127.
- [4] 张兴民, 牛广义, 马明臻. 回火温度对2Cr13钢组织与力学性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2018, 39 (10): 46-51.
- [5] 张平, 周上祺. 热处理工艺对Cr13型不锈钢组织和性能的影响 [J]. 特钢技术, 2007 (3): 11-17, 24.

相发生回复再结晶, 导致片层粗化。同时回火索氏体内碳化物也发生聚集长大, 弥散强化效应降低, 从而使材料硬度降低。根据图6数据显示, 当试样在550 °C进行回火处理时, 材料硬度为HBW370, 高于新零件的硬度指标要求。当试样在670 °C进行回火处理时, 材料硬度为HBW270, 低于新零件的硬度指标要求。而当回火温度控制在580~600 °C回火时, 材料硬度为HBW288~325, 可以满足新零件硬度指标控制在HBW286~331的要求。因此推荐2Cr13不锈钢新零件的回火温度为580~600 °C。

3 结论

(1) 2Cr13不锈钢经淬火+回火后的组织为回火索氏体, 其强度、硬度随回火温度的升高而降低, 伸长率及冲击韧性随回火温度的升高而提高。

(2) 为满足航空新零件提高硬度指标稳定性和一致性的要求, 推荐2Cr13不锈钢航空零件的热处理制度为1 040 °C/40 min淬火+580~600 °C/60 min回火。通过该热处理工艺, 2Cr13不锈钢航空零件的硬度标准范围由原来的HBW241~341压缩至HBW286~331, 硬度波动幅度从HBW100降低到HBW45。

Effect of Heat Treatment Process on the Microstructure and Properties of 2Cr13 Stainless Steel

LI Yi^{1,2}, ZHAO Yong-qing³, ZENG Wei-dong¹, HE Wei⁴

(1. School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, Shaanxi, China; 2. AVIC Xi'an Aircraft Industry Group Co., Ltd., Xi'an 710089, Shaanxi, China; 3. Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, Shaanxi, China; 4. First Military Representative Office of the Air Force Equipment Department in Xi'an, Xi'an 710089, Shaanxi, China)

Abstract:

The microstructure and mechanical properties of 2Cr13 stainless steel were analyzed for different heat treatment tests. The results show that the microstructure of 2Cr13 stainless steel after being quenched and high temperature tempered is the tempered sorbite, and its strength and hardness decrease, while the elongation and impact performance increase with the increase of tempering temperature. In combination with the high standard requirements of aviation parts, the heat treatment system of 2Cr13 stainless steel is recommended to be quenched at 1 040 °C and tempered at 580 °C to 600 °C.

Key words:

2Cr13 stainless steel; tempering; microstructure; hardness