

大型核电发电机转子锻件热处理及质量评价分析

宣禹澄
(上海新闵(东台)重型锻造有限公司 江苏 盐城 224200)

摘要: 随着当前社会的快速发展,越来越多的大型项目的建设成为当前发展的重点,这也就对大型核电站的电力系统提出了更高的要求,而作为其中关键的发电机的转子,对其锻件的热处理及质量评价关系到整个核电发电机能否正常持续运行。本文是以110MW级的核电发电机为例,对核电发电机的转子锻件的热处理工艺进行研究,通过对成品的质量评价,以求验证各其指标是否符合预先的技术要求。

关键词: 核电发电机转子; 热处理; 质量评价

0 引言

随着人类生产力的发展,能源问题成为制约当今社会发展的关键因素,而核电能源作为一种安全、清洁、经济、高效的能源,是众多能源中最有潜力的一种,积极发展核电是解决我国能源问题的主要选择之一。近年来,我国已经对大型核电发电机转子锻件的专项技术和制造工艺流程开展研究,已经形成以55t钢锭及CAP1400等三代核电站发电机转子的锻造流程管理体系。本次研究是以110MW级的核电发电机转子锻件的热处理措施进行分析,对其中的热处理步骤进行详细介绍,并针对成品进行质量评价,判断其锻件的技术指标是否合乎标准。

表 1 力学性能要求

位置	试料区	R _m /MPa	R _{p0.2} /MPa	A/%	Z/%	°C KV ₂ /J	FATT ₅₀ /°C
I 区	A、B、C、D、	650 ~ 800	≥ 550	≥ 16	≥ 45	≥ 60	≤ 10
	E、F、G、K	≥ 600	≥ 500	-	-	≥ 36	≤ +25
II 区	J	750 ~ 900	≥ 650	≥ 16	≥ 45	≥ 60	≤ 10
	K	750 ~ 900	≥ 650	提供数据	提供数据	提供数据	≤ +20

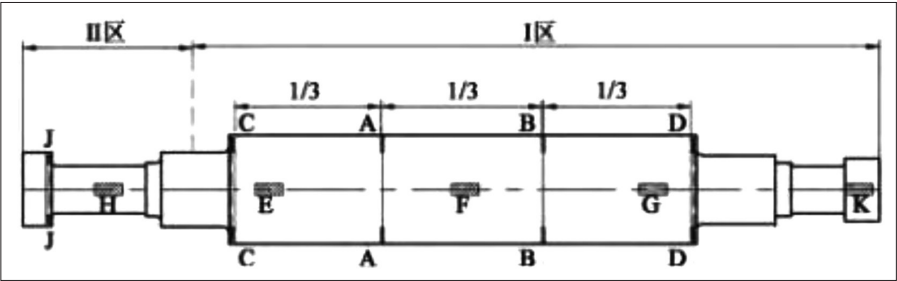


图 1 转子性能分区及取试图

1 项目概况

1.1 产品概述

作为大型核电机组的关键部件,发电机转子的质量决定了该核电机组的发电能力及运行工况,而且该锻件的尺寸较大,其总长接近10m,直径更是达到了1.2m,同时当前是对重量接近32t的锻件质量要求极高,并且锻造难度的级别也是极高的。这对于锻造技术的提高有着重要作用。

1.2 技术参数

对于转子的锻造需要考虑材料成分、力学性能,以及对残存应力的检测,其具体要求如下:

(1) 材料化学成分

要想锻造出更高质量的发电站转子锻件,其材料的选择及成分的要求是前提,该转子材料相当于25Cr2Ni4MoV钢。

(2) 力学性能

力学性能决定了该转子锻件所能承受的最大应力。对于该转子的力学性能取试位置与性能要求如表1和图1所示。

2 大型核电发动机转子锻件热处理

2.1 大型核电发动机转子锻件锻造流程

采用电弧炉粗炼钢水→钢包炉真空VCD精炼钢水→4包真空合浇。对于发电机转子锻件的锻造是将55t级的大型钢锭在16MN水压机上实施锻造,同时使用WHF+JTS的方法进行锻造。

2.2 热处理难点分析

主要难点分析:

(1) 由于锻件自身的体积较大,这就给锻造过程带来了不小的困难,需要对其增加更多的关注来实现锻件的平稳变形,以求能够锻造出更高质量的成品。而且较大的体积内部的晶粒大小也是不平衡的,这就会增添锻造过程中的应力控制难度,后期热处理时难以实现晶粒的均匀化和细化。

(2) 锻造成型后的锻件质量大概为32t,从55t到32t,巨大的质量变化使得该锻件的体积和各截面的差别较大。这在加热和冷却的过程中的相关应力较大,从而导致在锻件变化剧烈时出现开裂的现象。

(3) 由于转子本身的功能,这就对其本体性能的均匀性有着较高的要求,但是上述I、II两个区性能要求不同,两者之间的差距为20MPa。这就要求在对锻件进行回火操作时要对这两个区域进行分开操作,彼此要形成特定的温差,

但是由于锻件本身的体积较大,内部的温度传导较为困难,控制难度大。

2.3 热处理方法

转子锻件的晶粒细化方式:

(1) 利用结晶方法可以更好地改善实现奥氏体的晶粒结构。这就需要在锻造机械时在最后 1 ~ 2 火次时,不能使用较高的温度,其温度范围在 1150 ~ 1200℃。而且在完成变形处理后要控制锻压机心处的温度,不可过高,防止其出现在粗化的现象;

(2) 在对锻件锻造后要对其进行多次高温奥氏体化,并且采用多次过冷加高热回火方法,从而实现对大型转子锻件的进一步细化晶粒;

(3) 锻件成型后不能放置在过低的温度下,应对其所处温度进行控制,以防锻件开裂。

2.4 性能热处理控制

为降低热应力对锻件的影响,需要在锻件锻造的温度上升的过程中采用阶梯升温。当温度较低时使用较慢的速率升温,防止温度变化过快影响锻件质量;在温度较高时使用较高的升温速率,缩短锻造时间,提高锻造效率。

在对锻件进行淬火进入到快速制冷的过程中,锻造设备内不可或缺的会出现极大的温度梯度变化,这样会出现很大的热应力。基于上述要求,需要控制淬火速率使得过冷奥氏体平稳进入到过贝氏体中,这中间不会出现较大的改变。但是下实际的锻造过程中,要想得到上述理想的淬火速率和控温方式是极为困难的。因此从保证安全的方面考虑,在淬火时采用较小间隙的淬火方式更加平稳,这对整体锻造流程中淬火的温度应力的最大值有所降低。

(1) 材料性能热处理研究

在对材料性能的热处理方式是在转子表面从初始预热的温度转化到奥氏体温度后要保持温度均匀,然后通过快速的冷淬火将整个转动表面和中心部淬透,

而后在对锻件进行再次加热回火,以求整个材料从表面到中心的整体性能满足技术要求。在回火的过程中对轴承的转子的不同区进行分别的预热和保温,这样可以使该锻件的材料性能参数符合技术规范。

(2) 材料模拟热处理研究

为了实现对分区回火的工艺参数进一步分析,需要将同一材质中很小的一部分拿出来进行淬火试验,操作的工艺方法与上述的锻造件的要求是一样的。为了进一步判断所选试样的化学构成是否满足设计要求,需要控制回火温度在 615 ~ 690℃ 范围内的,而后在对试块进行回火操作后进行力学试验,结果如图 2 所示。

(3) 热处理装炉方式

转子在热处理时其重量约为 26t。因为在对转子热处理的过程中其加热的温度较高、时间长,并且转子体积较大,所以在对转子热处理进行装炉处理时将原来的吊挂式转换成坐底式。同时在后续热处理装置中分别加装隔热板和隔热环,方便对其进行不同回火流程,以实现装置的分区回火功

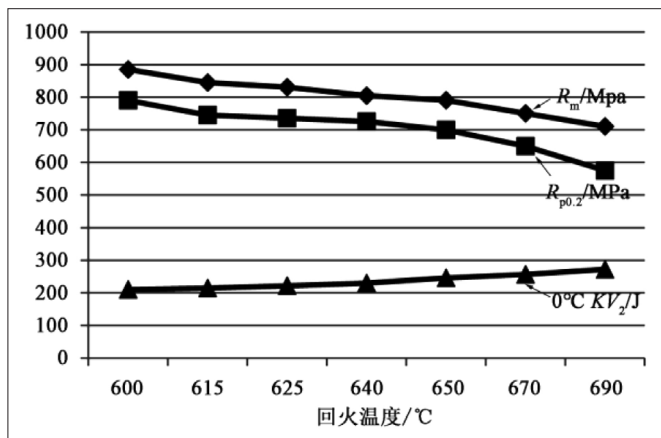


图 2 不同回火温度的力学性能

能。

3 质量评价

经过上述对发电机转子的锻造过程及热处理,还需要对转子锻件进行全面的质量评价才可以真正应用到实际中,其检验主要从以下几个方面进行。

3.1 力学性能试验

在对上述锻件中的 A、B、C、D、J 部位进行试验,可以看出,各部分的硬度均匀性检测全部合格。同时 E、F、G、H、K 的中心强度与上述部位基本一致。

3.2 残余应力试验

残余应力要求要小于 60MPa,检测结果发现该残余应力显著低于标准要求,符合设计要求。

3.3 超声检测

性能热处理前进行超声检测,结果显示转子轴身的杂波高度小于 3%;性能热处理后打中心孔前进行超声检测,转子轴身杂波高度小于 1%;钻孔后进行超声检测,转子轴身杂波高度小于 1%,三次超声检测均未发现不允许缺陷信号,超声检测结果全部合格。

4 结语

本次研究是对所研制出的 110MW 核电站发电机转子锻件的锻造热处理及质量评价,实现了零 NCR 交付用户,热处理工艺及产品制造流程合理。当前我国已经在大型核电发电机转子锻件上取得了一些成果,打破了外在垄断,解决了制约我国核电事业发展的零部件瓶颈问题,实现了真正的自主创新。

参考文献:

- [1] 王鹏飞,刘文广,韩丽学,等.大型核电发电机转子锻件热处理及质量评价[J].中国战略新兴产业(理论版),2019(024):1.
- [2] 蒋新亮,李波,崔晋斌,等.大型核电发电机转子锻件热处理及质量评价[J].大型铸锻件,2019,191(05):28-31.
- [3] 李传维.核电压力容器大型锻件组织与性能研究及热处理数值模拟[D].上海交通大学,2016.
- [4] 梁宝乙,白晶,赵长春,等.核电压力容器锻件用 16MND5 钢的热处理工艺[J].钢铁研究学报,2012(01):44-47.