

06Cr13Ni4Mo不锈钢转轮的研制

中信重工机械股份有限公司 (河南洛阳 471003) 薛秋云 韩利杰 宋新双 赵利锋

【摘要】 针对低碳马氏体不锈钢06Cr13Ni4Mo转轮的技术要求, 进行熔炼、锻造及热处理等工艺研究, 成功研制出不锈钢转轮锻件。

转轮是冲击式水轮机中的关键件, 工作条件恶劣, 不仅需要承受高强度、高频率的冲击载荷, 而且需承受汽蚀、冲蚀等多种腐蚀。因此, 对转轮提出了高的质量要求。

我公司通过对马氏体不锈钢转轮生产工艺进行研究, 成功开发出了满足产品要求的低碳马氏体不锈钢转轮锻件。

1. 主要技术要求

06Cr13Ni4Mo马氏体不锈钢转轮毛坯最大直径1980mm, 高度395mm, 锻件重11.13t。

(1) 化学成分 C、Cr、Ni是影响06Cr13Ni4Mo组织性能的三大主要元素, 通过加入适量的C、Cr、Ni以获得马氏体和逆变奥氏体双相组织来提高材料的塑性和韧性, 并通过加入适量的Mo提高材料的抗腐蚀性能。其具体化学成分要求见表1。

表1 06Cr13Ni4Mo化学成分要求 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	W
≤0.06	≤1.00	≤1.00	≤0.015	≤0.015	≤0.50
Cr	Ni	Cu	Mo	V	
11.5~13.5	3.5~5.0	≤0.50	0.40~1.00	≤0.03	

注: N≤60ppm, H≤2ppm, O≤15ppm (1ppm=0.0001%)。

(2) 力学性能 冲击式水轮机转轮要求具有良好的强度、韧性、抗蚀性, 以及抗泥沙磨损性能, 其力学性能要求见表2。

(3) 检测要求 超声波检测按JB4730—2005中压力容器锻件检测标准执行, 不应有白点、裂

表2 06Cr13Ni4Mo力学性能要求

σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ (%)	ψ (%)	A_{KV} /J	硬度 HBW
≥550	≥750	≥15	≥35	≥50	221~286

纹、缩孔等缺陷, 水斗区检测按标准 I 级, 轮盘区按标准 III 级执行。

2. 研制路线

工艺路线采用EBT初炼→LF精炼→VOD处理→浇注钢锭→热送钢锭→钢锭退火→钢锭加热→水压机锻造→锻后热处理→检验发货。

3. 转轮研制

(1) 熔炼 不锈钢转轮检测标准要求严格, 质量要求高, 制造技术难度大, 要求钢液纯净, 化学成分配比合理, 特别是要降低N、H、O的气体含量及S、P等杂质元素含量。

为了提高材料的工艺性能、制造性能及使用性能, 在钢液熔炼上采用LF电炉+VOD精炼浇注钢锭。

(2) 钢锭退火 钢锭采用热送退火工艺, 以进一步降低钢锭中的成分偏析, 改善组织结构, 减小钢锭内应力, 避免应力集中和锻拔时开裂。退火工艺如图1所示。

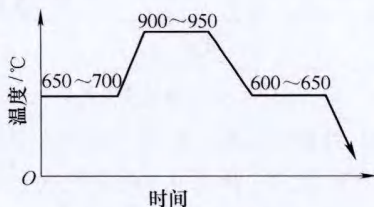


图1 钢锭退火工艺

(3) 钢锭加热 由于合金元素Cr、Ni的大量加入,使得不锈钢06Cr13Ni4Mo在700~800℃以下的热导率很低,因此要采取有效措施,降低加热速度,使钢锭内部与外层温差尽可能小,以避免产生巨大的热应力而导致钢锭内部开裂。为此,我厂在生产中采用分段阶梯加热工艺,以保证钢锭加热均匀,如图2所示。

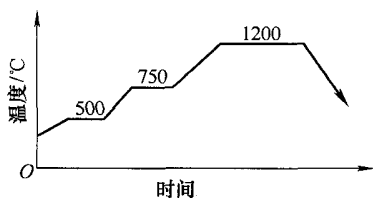


图2 钢锭加热工艺

(4) 锻造 06Cr13Ni4Mo碳含量较低, Cr、Ni加入量大,降低了金属流动性,增加了变形抗力,从而使其可锻性变差。另外,锻造温度范围窄,温度过高,α铁素体会随之增多,而铁素体较奥氏体塑性差,锻造时开裂倾向大;温度过低,会有金属间化合物δ相析出,这种析出物极硬且脆,它的出现将导致钢的塑性和韧性下降,变形抗力加大,锻造时易开裂。

在锻造转轮时,锻造温度控制在920~1200℃,变形量一般控制在8%~12%,锻造速率不能太快。接近终锻时轻锻修整,尽量一火锻成。

(5) 锻后热处理 06Cr13Ni4Mo对冷却速度特别敏感,锻后空冷很容易得到马氏体组织。该组织硬度高、塑性差且极易出现应力裂纹。

为了降低锻件内应力和硬度,提高锻件塑性和韧性,并为以后的性能热处理做好组织准备,锻后应缓冷并及时进行软化退火。

锻后热处理工艺如图3所示。

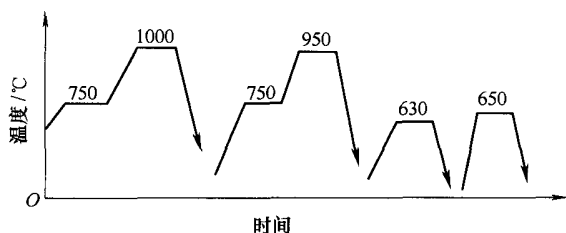


图3 锻后热处理工艺

(6) 性能热处理 低碳马氏体不锈钢性能热处理工艺通常为一次正火+两次回火。其正火组织以板条状马氏体为主。回火时,当回火温度超

过 A_{c1} 较高时将发生马氏体向奥氏体转变,一般来讲,这种奥氏体是不稳定的,在冷却过程中会重新变成马氏体,因此逆变奥氏体反而会减少,使塑性和韧性下降;而在 A_{c1} 以上较窄温度范围内回火形成的逆变奥氏体却是稳定的。

为了使沉淀相(晶界碳化物)完全溶于基体以及合金元素扩散较均匀并防止晶粒长大,正火温度一般在900~1050℃。第一次回火温度在620℃附近,得到稳定的马氏体和10%~15%的逆变奥氏体,以获得强度和塑性的最佳组合。第二次回火温度在580~600℃,以获得更多的逆变奥氏体并提高屈强比。性能热处理工艺如图4所示。

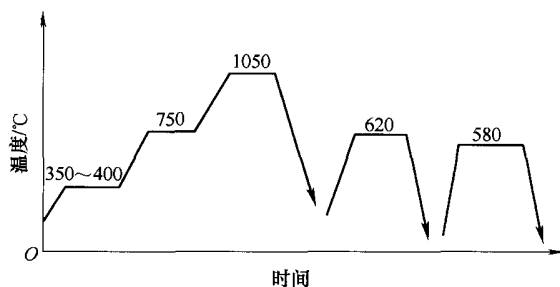


图4 性能热处理工艺

4. 产品检验

通过上述工艺生产的06Cr13Ni4Mo不锈钢转轮锻件,不论化学成分、形状尺寸还是力学性能都达到了转轮的设计要求,其力学性能检验结果和无损检测结果见表3、表4。

表3 力学性能结果

σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ (%)	ψ (%)	A_{KV} /J	硬度 HBW
830	935	17.5	62.5	125	262

表4 检测结果

白点	裂纹	缩孔	超标缺陷
无	无	无	无

5. 结语

(1) 采用LF电炉+VOD精炼工艺浇注钢锭以及合理的锻造及性能热处理工艺研制的06Cr13Ni4Mo不锈钢转轮锻件,可以满足产品技术要求。

(2) 通过该批不锈钢锻件的生产,积累了丰富的生产经验,为我公司开发不锈钢锻件市场打下了良好的基础。MW (20120418)