

Φ258 mm PQF 连轧管机组连轧辊的优化设计与应用

李晓忠¹, 白屹峰², 周晓锋¹, 尹锡泉¹

(1. 天津钢管集团股份有限公司, 天津 300301; 2. 常州宝菱重工机械有限公司, 江苏 常州 213019)

摘要: 针对 Φ258 mm PQF 连轧管机组在实际生产过程中经常出现的辊轴相对错位和断辊现象, 提出了辊轴一体设计和离心复合制作工艺的新设想, 同时采取了辊轴分离优化应用的措施。生产实践证明, Φ258 mm PQF 连轧管机组的连轧辊优化设计应用达到预期的效果, 同时, 辊轴一体和辊轴分离连轧辊的使用寿命对比分析结果, 体现了轧辊设计改进的意义和效果。

关键词: PQF 连轧管机组; 连轧辊; 侧向换辊; 辊轴一体; 辊轴分离; 离心铸造复合轧辊

中图分类号: TG333.8 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2012)01-0064-04

Optimized Design and Application of Rolls of Φ258 mm PQF Mandrel Mill

Li Xiaozhong¹, Bai Qifeng², Zhou Xiaofeng¹, Yin Xiquan¹

(1. Tianjin Pipe (Group) Corporation, Ltd., Tianjin 300301, China;

2. Changzhou Baoling Heavy Industrial Machinery Corporation, Ltd., Changzhou 213019, China)

Abstract: Addressing the chronic problem that the PQF roll is often relatively dislocated with the roll shaft, and gets broken as well, a new idea is proposed, involving the roll-shaft monolithic structure design, and the centrifugal casting process for manufacturing composite rolls, while action of optimization of the roll-shaft separation structure is taken. Relevant operation practice shows that the application result of the optimized design of the Φ258 mm PQF rolls is as satisfactory as expected. Moreover, the service spans of the roll-shaft monolithic structured-roll and the roll-shaft separation structured-roll are compared, which further shows the significance and effectiveness of the design modification of the rolls.

Key words: PQF mandrel mill; Mandrel mill roll; Lateral roll-change; Roll-shaft monolithic structure; Roll-shaft separation structure; Centrifugally-cast composite roll

2008 年, 天津钢管集团股份有限公司 (简称天津钢管) 的 Φ258 mm PQF 连轧管机组建成投产, 该机组提升了天津钢管 Φ127~245 mm 规格高钢级钢管品种的生产能力, 特别是在生产 13Cr 抗腐蚀套管和 P91 钢级高压锅炉管等高合金产品方面具有较大优势。Φ258 mm PQF 连轧管机组采用了侧向换辊技术, 侧向换辊在连轧辊设计上具有与轴向换辊轧辊不同的技术特点, 体现了在连轧辊设计上新的尝试和发展方向。

李晓忠 (1976-), 男, 工程师, 从事无缝钢管生产工模具新材料和新工艺技术研究工作。

1 PQF 连轧辊的设计特点及技术分析

Φ258 mm PQF 连轧管机组的连轧辊是由意大利 Innse 公司设计的, 主要有如下特点。

(1) 轧辊采用相同名义直径设计。相同孔型第 1~6 机架的连轧辊可以根据生产需要进行匹配使用, 以降低 PQF 连轧辊的库存, 同时生产组织更加灵活。

(2) 轧辊机架采用通用设计。在轧辊的加工和使用的灵活性上较轴向换辊具有明显的优势, 并且制作和备用成本都能得到有效的控制, 换辊时间较轴向换辊降低约 50%。

(3) 采用辊轴分离设计。辊环为单一成分材料

针状球墨铸铁,采用静态浇铸工艺生产;辊轴采用合金结构钢锻件,以保证工作强度;连轧辊使用到下线后,直接更换连轧辊辊环,辊轴可重复利用,

有效地降低了轧辊消耗。

Φ258 mm PQF 连轧管机组的连轧辊材质有两种化学成分设计方案,具体见表 1。

表 1 连轧辊材质化学成分(质量分数)设计方案

方案	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Mg
1	3.00~3.60	0.50~1.10	1.60~2.20	0.2 (Max)	1.60~3.00	0.30~0.80	0.04~0.06
2	3.20~3.60	0.40~0.80	1.30~1.80	0.2~0.5	2.50~3.50	0.70~1.00	≥0.04

Innse 公司的轧辊设计采用单一成分材料静态浇铸制作工艺。采用方案 1 时,轧辊工作面硬度为 270~330 HB,抗拉强度 800 MPa,辊颈的强度高,可最大限度地避免断轴事故的发生,但辊面的抗疲劳能力和耐磨性差,辊面“粘钢”严重,不仅影响了轧辊使用寿命,而且影响产品表面质量;采用方案 2 时,轧辊工作面硬度为 400~440 HB,抗拉强度 600 MPa,辊面的耐磨性和抗热疲劳性较好,但辊颈的强度偏低。另外,单一成分材料静态浇铸连轧辊的制作工艺成本较高,且辊身工作层硬度梯度落差大。

2 PQF 连轧辊在实际生产中的问题

Φ258 mm PQF 连轧管机组自 2008 年 4 月热试成功,并开始进入正常生产状况后,曾发生由于连轧辊辊环问题造成的生产事故,使生产不能正常进行。PQF 连轧辊辊环的失效形式如图 1 所示,主要存在如下问题。



图 1 PQF 连轧辊辊环的失效形式

(1) 连轧第 1~4 机架连轧辊辊环和辊轴经常发生相对错位和断裂;

(2) 连轧第 5~6 机架连轧辊辊环和辊轴经常发生相对错位。

连轧辊辊环和辊轴发生相对错位和断裂造成连轧辊异常消耗严重,PQF 连轧辊使用一次轧制钢管支数仅为 90~1 000 支,与目标轧制支数相差甚远,同时对设备造成很大冲击,使产品质量不稳定,生产停机时间长,作业率低。

3 PQF 连轧辊失效分析

通过对失效的 PQF 连轧辊进行检验分析,对发生原因进行了排除检查:①轧辊冷却严格按照标准控制冷却水量和冷却水速度,因此轧辊错位和断裂不是由于轧辊冷却造成的;②错位和断裂也不是轧辊材质和铸造的问题,辊环最先采用的是从国外进口的单一成分材料铸造而成的,然后试用了国产离心铸造复合轧辊(铸造工艺及材料与天津钢管 Φ460 mm PQF 连轧管机组的相同),都发生了轧辊断裂和错位,但在 Φ460 mm PQF 连轧管机组上的应用效果良好,未发生过断裂现象。

PQF 连轧辊是先产生辊轴相对错位,然后发生断辊,为此对轧制曲线进行了分析,同时对连轧辊的工作过程进行了理论分析。PQF 连轧辊的受力如图 2 所示。

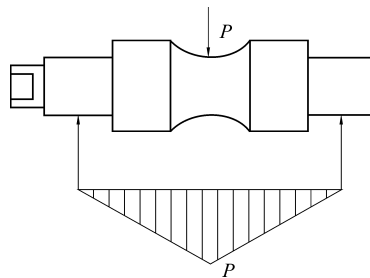


图 2 PQF 连轧辊受力示意

(1) 辊身仅受弯曲作用, 所受的弯曲应力 σ_b 为:

$$\sigma_b = \frac{M_D}{0.1D_g^3}$$

式中 M_D —— 辊身危险断面弯矩, $N \cdot m$;

D_g —— 危险断面轧辊实际工作直径, m 。

(2) 辊颈受弯曲和扭转的组合作用, 加之轧辊材质为球墨铸铁, 符合第二强度理论, 因此所受的复合应力 σ_2 按莫尔理论计算为:

$$\sigma_2 = 0.375\sigma_d + 0.625\sqrt{\sigma_d^2 + 4\tau_d^2}$$

式中 σ_d —— 辊颈所受的弯曲应力, MPa ;

τ_d —— 辊颈所受的扭转应力, MPa 。

(3) 轧辊的许用应力为:

$$[\sigma] = \sigma_b / n$$

$$[\tau] = [\sigma] / \sqrt{3}$$

式中 σ_b —— 轧辊材质对应的强度极限, MPa ;

n —— 轧辊的安全系数, 在此取 $n=5$ 。

(4) 轧辊各部位需要满足的强度条件为:

$$\text{辊身 } \sigma_b < [\sigma]$$

$$\text{辊颈 } \sigma_2 < [\sigma]$$

$\Phi 258$ mm PQF 连轧管机组的最大轧制压力为 3 500 kN, 最大扭矩为 170 $kN \cdot m$, 轧辊的抗拉强度为 600 MPa, 经核算 $\sigma_b = 25$ MPa $< [\sigma]$, $\sigma_2 = 130$ MPa $< [\sigma]$, 轧辊强度满足使用要求。

通过对连轧辊工作过程中的实际轧制力曲线和理论受力进行综合分析, 同时结合对失效 PQF 连轧辊的检测结果, 得出如下结论: 由于辊轴和辊环热膨胀系数不同, 以及辊环厚度设计过薄 ($\Phi 63$ 孔型连轧孔型槽底与内孔的最小厚度为 46.95 mm), 在轧制过程中辊环温升速度大于辊轴的温升速度, 导致辊环内孔增大, 辊环和辊轴间隙加大, 从而产生相对滑动, 进而辊环和辊轴摩擦生热, 辊环抗热疲劳能力下降导致辊环断裂。针对 PQF 连轧辊使用中出现的问題, 提出优化改进建议并进行实践。

4 PQF 连轧辊优化改进

4.1 辊轴一体 PQF 连轧辊的设计

PQF 连轧辊第 1~4 机架连轧辊从辊轴分离设计改进为辊轴一体式设计, 工作层 (外层) 单面厚度 ≥ 25 mm, 同时改进制作和浇铸工艺。主要目的是在改善辊轴强度和避免工作面发生断裂的同时, 降低 PQF 连轧辊的制作成本。

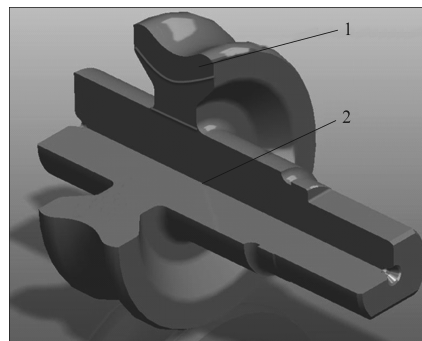
4.2 辊轴分离设计的改进

PQF 连轧辊第 5~6 机架仍然采用辊轴分离式

设计, 轧辊工作层硬度按照生产经验进行调整, 工作层单面厚度 ≥ 25 mm, 在满足使用强度的同时, 改善连轧辊的韧性; 同时调整 PQF 连轧辊辊环和辊轴配合过盈量, 将 PQF 连轧辊辊环内孔公差从原设计的 0~+0.063 mm 调整为 -0.05 mm~0, 增加辊环与辊轴的结合力, 避免辊环和辊轴发生相对错位, 也能提高辊轴的利用率, 降低连轧辊消耗。

4.3 离心铸造复合轧辊的制作

辊轴一体设计和辊轴分离设计, 计划均采用离心铸造复合工艺制作 (离心铸造复合轧辊如图 3 所示), 这不仅能保证一体式辊轴的强度, 还使其具有良好的抗拉强度和冲击韧性; 连轧辊工作层组织致密性良好, 具有优良的抗热疲劳强度和抗冲击能力, 并且耐磨性能和冲击性能好, 能够提高连轧辊的使用寿命, 保证工作质量。



1 — 工作层 (贝氏体基体 高硬度, 耐磨)
2 — 芯部 (珠光体基体 高强度, 抗事故)

图 3 离心铸造复合轧辊示意

离心铸造复合轧辊的制作要求如下。

1) 组织及化学成分

工作层采用耐磨性能和抗热疲劳性能良好的贝氏体组织, 含较高的 Ni、Mo 合金; 内层采用韧性良好的珠光体组织, 提高 Si 的含量, 降低 Ni 的含量, 得到合理的化学成分的匹配, 以增加抗拉强度和冲击性能, 保证轧辊的抗事故能力, 具体的组织及化学成分的控制见表 2。

2) 机械性能

在设计转化连轧辊的时候, 一般对于工作层和内层的机械性能分开考虑。工作层抗拉强度 $\sigma_b \geq 500$ MPa, 冲击功 $A_{ku} \geq 3$ J; 芯部抗拉强度 $\sigma_b \geq 600$ MPa, 冲击功 $A_{ku} \geq 6$ J。这样的设计不仅增强了轧辊工作层的耐磨性能, 而且能够保证其抗拉强度和冲击性能, 从而保证轧辊的抗事故能力。

表 2 离心铸造复合轧辊的组织及化学成分 (质量分数)

轧辊	组织	%							
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	S	P
外层	贝氏体	2.9~3.6	1.0~2.5	0.3~1.0	2.6~3.0	0.2~1.2	0.2~1.0	≤0.03	≤0.05
内层	珠光体	2.9~3.5	1.4~2.5	0.3~0.8	1.0~2.5	≤0.4	≤0.5	≤0.03	≤0.05

3) 硬 度

Innse 公司图纸对辊面硬度的要求是 400~440 HB, 根据天津钢管在连轧辊方面多年的实践经验, 要求辊轴一体连轧辊辊面的硬度为 400~440 HB, 辊轴分离连轧辊工作面的硬度为 370~410 HB, 同时要求硬度梯度 10 mm 下降≤1 HSD, 以保证轧辊的使用性能。

4) 去应力退火

用离心复合铸造技术生产的连轧辊, 由于辊身是由离心铸造的金属型激冷而凝固, 再静态复合浇注轧辊芯部得到整体复合辊, 因此轧辊不仅在工作层存在由组织和温度快速转变而形成的内应力, 而且在辊身和辊颈结合处因复合的温度差和冶金结合

而存在的应力集中, 即便是常法整体铸造辊, 由于连轧辊特殊的外形尺寸, 也会有较大的铸造应力。因此在生产制作中采用去应力退火的方法, 来消除连轧辊的内应力。根据连轧辊的材质和铸造条件, 确定去应力退火的加热速度、加热温度、保温时间和冷却速度等参数, 以达到消除内应力和稳定组织的目的。

5 生产实践

2008 年 10 月, 天津钢管将优化改进后的 PQF 连轧辊用于 Φ258 mm PQF 连轧管机组进行实际生产试验。优化前后 PQF 连轧辊的使用情况对比见表 3。

表 3 优化前后 PQF 连轧辊的使用情况对比

序号	孔型架次	一次平均轧管支数/支		优化后轧辊使用检测
		优化前	优化后	
1	191 孔型第 1~4 机架	120	3 500	辊轴一体, 无断裂
2	191 孔型第 5~6 机架	1 000	7 000	辊轴分离, 无滑动和断裂
3	263 孔型第 1~4 机架	90	3 000	辊轴一体, 无断裂
4	263 孔型第 5~6 机架	800	6 000	辊轴分离, 无滑动和断裂

由表 3 可知, 优化改进后的 PQF 连轧辊达到了较理想的使用状况, 一次使用寿命大幅提高, 同时彻底解决了辊轴相对错位和轧辊断裂的生产难题。对下线后连轧辊进行的检测表明, 轧辊工作面磨损正常, 辊轴强度满足正常生产要求, 达到了改进的预期目的。

6 结 语

伴随轧管工艺的不断发 展, 轧辊使用应注重观念创新, 拓展 “轧辊使用” 的概念, 对轧辊制造流程

设计、生产制造过程控制、轧辊使用的每个环节都要加强分析。Φ258 mm PQF 连轧管机组连轧辊在侧向换辊设计上具有明显的理论优点, 是 PQF 技术的创新和发展。通过理论分析和实践相结合, 提出 Φ258 mm PQF 连轧管机组连轧辊优化改进的思路并运用到实践当中, 解决了连轧辊辊轴分离设计给实际生产过程带来的问题, 为生产工具的优化改进积累了经验, 为改进产品质量、提高轧辊寿命和降低生产成本进行了有益的尝试。

(修订日期: 2011-11-02)



欢迎刊登广告 · 广 而 告 之 ——

为您把握先机 占领市场 创造未来 提供支持平台