

# QPQ 盐浴复合处理对 5CrMnMo 钢的组织与性能影响

熊光耀<sup>1</sup>, 何柏林<sup>1</sup>, 周泽杰<sup>1</sup>, 黄红丽<sup>1</sup>, 邹瑞<sup>2</sup>

(1. 华东交通大学机电工程学院, 江西南昌 330013; 2. 南昌豪特材料工程设备厂, 江西南昌 330002)

**摘要:**探讨了 5CrMnMo 钢的 QPQ 盐浴复合表面处理工艺, 利用扫描电镜观察处理后的表层显微组织、检测氮化层厚度、分析氮化层质量; 利用显微硬度计检测组织的显微硬度, 并对不同的渗氮试样作磨损、耐腐蚀对比试验。结果表明: 经 QPQ 处理的 5CrMnMo 钢具有组织均匀、结构致密的渗层, 且具有很高的显微硬度、耐磨性以及强抗腐蚀性。

**关键词:** 5CrMnMo 钢; QPQ 盐浴; 渗氮; 表面强化; 耐磨性; 抗蚀性

**中图分类号:** TG174.44

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-3814(2006)24-0043-03

## Influence of QPQ Complex Salt Bath Treatment on Microstructure and Property of 5CrMnMo Steel

XIONG Guang-yao<sup>1</sup>, HE Bo-lin<sup>1</sup>, ZHOU Ze-jie<sup>1</sup>, HUANG Hong-li<sup>1</sup>, ZOU Rui<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical & Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Nanchang Haote Equipment Plant of Material Engineering, Nanchang 330002, China)

**Abstract:** The QPQ complex salt-bath treatment process was studied for 5CrMnMo steel. The treated surface microstructure was analyzed by using SEM. In the meantime, the thickness of the nitriding-layer and the quality of the nitriding-layer were also analyzed. The micro-hardness was measured by microscopic hardness scale. The contrast experiment to wear-resistance and anti-corrosion of different nitrogenous specimen was tested. The results show that the nitriding-layer has uniform structure, high hardness, wear-resistance and good anti-corrosion of 5CrMnMo steel treated by QPQ salt bath process.

**Key words:** 5CrMnMo steel; QPQ salt-bath; nitriding; surface strengthening; wear-resistance; anti-corrosion

众所周知,“QPQ”低温盐浴渗氮工艺是一种新的金属盐浴表面强化改性技术,对金属材料的组织及性能影响极大,是提高工模具钢表面硬度、耐磨性的有效途径之一。其原理是基于金属在两种不同性质的低温熔融盐溶液中作复合处理,先使多种元素同时渗入金属表面形成由几种化合物组成的复合渗层,其实质是渗氮工序和氧化工序的复合;所得到的渗层组织是氮化物和氧化物的复合<sup>[1]</sup>,以使金属表面得到强化改性,同时做到全工艺过程无公害。

QPQ 低温盐浴渗氮技术主要用于要求高耐磨、抗高蚀、易疲劳、微变形的各种钢、铁及铁基粉

未冶金零件。它常常用来代替渗碳淬火、高频淬火、离子渗氮、软氮化等热处理和表面强化技术,以提高耐磨、耐疲劳性能,特别是用来解决硬化变形难题。同样,也可用来代替发蓝、镀铬、镀镍等表面防护,以便大幅度提高零件的抗蚀性,大大降低生产成本。国外此种技术已广泛应用于汽车、机床、工程机械、农业机械、海上石油开采、化学工程机械、纺织机械、仪表、机床、军械、工模具加工等行业。本文研究了 5CrMnMo 钢 QPQ 处理后渗层的组织与性能,结果表明渗层组织均匀、结构致密,可以同时大幅度地提高金属表面的耐磨性和抗蚀性,且工件变形小、环境污染小。

## 1 实验设备、材料及方法

### 1.1 实验材料

实验材料 5CrMnMo 的化学成分(质量分数,%)为:0.55C, 0.33Si, 1.32Mn, 0.64Cr, 0.16Mo,

收稿日期:2006-07-26

基金项目:江西省科技计划基金资助项目(20041B0108100)

作者简介:熊光耀(1962-),男,江西南昌人,副教授,主要从事表面强化及耐磨材料研究;电话:0791-3970758;

E-mail: xionggy@ecjtu.jx.cn

0.021P, 0.019S, 将其加工成 7 mm×7 mm×30 mm 的试样, 试样分六组, 每组 3 小块, 分别用于不同时间渗氮处理(1、2、3、4、5 和 6 h)。渗氮在外热式坩埚盐浴炉内进行, 氧化在井式盐浴炉内进行, 上下两点控温, 内设普通盐浴坩埚。

### 1.2 渗氮盐浴氰酸根(CNO<sup>-</sup>)含量的确定

氮化炉中 CNO<sup>-</sup> 的含量直接影响 QPQ 处理的质量, 随着其含量增加, 渗层深度增加, 化合物层疏松增加, 而硬度在 CNO<sup>-</sup> 含量为 34%~38% 时较为理想<sup>[9]</sup>。本试验渗氮盐浴中有效氰酸根(CNO<sup>-</sup>) 含量为 37.8%。

### 1.3 QPQ 处理工艺过程

5CrMnMo QPQ 处理的工艺过程为: 清洗→预热→盐浴渗氮→盐浴氧化→冷却(水冷)→抛光→二次氧化→冷却(水冷)。

清洗: 把待氮化的工件放入含 10% 的盐酸溶液浸泡 10 min 取出, 用清水冲洗, 然后吹干, 再用无水酒精擦干净工件。目的是除去表面油污和氧化皮等杂物。

预热温度约 370℃, 预热时间 15 min 左右, 其目的是去除水份, 防止盐浴飞溅; 防止冷工件直接进入氮化炉时盐浴温度下降过多; 预热工件形成的氧化膜有助于加快氮化速度, 但预热时间过长会降低氮化质量, 增加淤渣形成。

盐浴渗氮: 将预热好的工件放入预先升温至 570℃ 的盐浴中保温不同时间。目的是形成氮化层和扩散层。

盐浴氧化: 温度 400℃ 左右, 时间 15~20 min。目的是彻底分解工件从氮化炉中带来的氰根, 消除公害; 氮化盐的极高氧化性可以在工件表面形成黑色氧化膜, 这不仅大大地增加防锈、抗腐蚀能力, 对提高耐磨性也有一定的好处, 同时还可以美化工件外观。

冷却: 使渗层均匀致密并增加扩散层深度, 同时分解粘附在工件上的剩余 CN<sup>-</sup>。

抛光: 目的是去除表层较软的多孔性疏松层, 并使其表面光滑。

二次氧化: 在与第一阶段氧化完全相同的条件下进行再氧化处理, 使工件表层补充含氧量。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 金相组织

经氮化处理后的 5CrMnMo 试样, 用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀, 利用 JSM-6360 LA 扫描电镜作表面渗层横截面的金相观察, 图 1 所示分别为不同时间渗氮后的金相组织。可以看出试样的氮化层明显, 深度均匀, 整个渗氮层分为三层, 由外向内分别为氧化膜及疏松层、化合物层(明亮层)、扩散层。

表面的黑色氧化膜是在氧化盐中氧化形成的

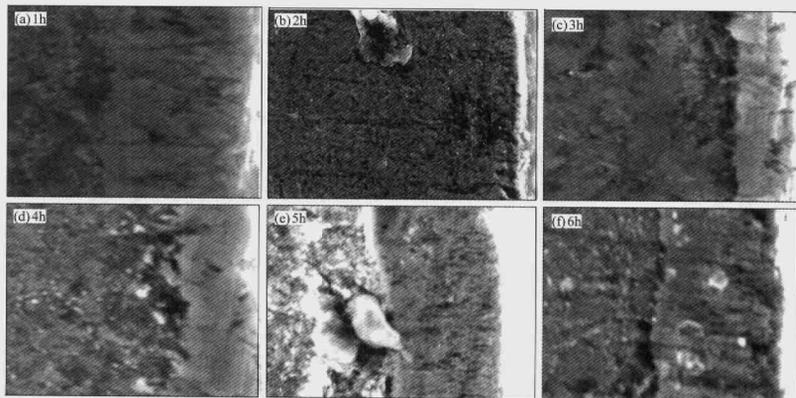


图 1 不同时间渗氮后的金相组织 ×1500

Fig.1 Microstructure of 5CrMnMo sample after nitrogen at different time ×1500

氧化物( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ),可以提高金属的抗蚀性,美化工件的外观<sup>[3]</sup>。它与化合物层一起构成了抗蚀性极高的综合抗蚀层。表面疏松层虽能改善 5CrMnMo 的初期磨损性能,但会使试样表面起皮,影响表面粗糙度,因此是一种有害组织。通过调整盐浴中氰酸根( $\text{CNO}^-$ )浓度,可将表面氧化膜及疏松层控制在较小的厚度,从而可在后续工序中将其去除<sup>[4]</sup>。

化合物层(白亮层)是高硬度、高耐磨的化合物组织  $\epsilon(\text{Fe}_{2.3}\text{N})$  相。它是整个氮化层中最重要的部分,直接决定了渗氮层的高耐磨性,该组织具有极高的硬度、耐磨性,通过金相观察到的化合物层为白色组织,由碳氮化物组成。

扩散层是白亮层与基体中心之间的过渡区域,金相观察为暗黑色组织。

采用金相法在电子扫描镜下测量渗层深度,从表面计算到针状氮化物终止处或与心部有明显差别处作为总渗层的深度,除去扩散层深度即为化合物层深度。渗氮 4 h 的试样,白亮层深 25.5  $\mu\text{m}$ ,扩散层深 169.5  $\mu\text{m}$ 。

## 2.2 力学性能

### 2.2.1 硬度

用 HX-1 型显微硬度计测量了表面渗层横截面的硬度,加载砝码 100 g。渗层的硬度由表至里逐渐降低。化合物层致密,未见疏松孔洞,白亮层硬度 835~1 032 HV0.1,化合物的深度取决于氮化工艺参数,它随氮化时间的增加而增加;但化合物硬度变化不大,随着时间加长,当保温时间超过 3~4 h 后,化合物层出现疏松和氮化物聚集长大,故表面硬度反而略有降低<sup>[4]</sup>。但时间太短,渗层过薄也会影响硬度和工件寿命,因此,最佳时间在 3 h 左右,表面硬度为 1 032 HV0.1,而心部硬度为 521 HV0.1。

### 2.2.2 渗氮层耐磨性

在 M-2000 型磨损试验机上进行滑动磨损试验。试验条件:配磨材料 GCr15,摩擦速度 200 r/min,压力 450 N,磨损时间 1 h。

耐磨性能采用称量法评定,即采用试样在磨损前后质量之差来表示耐磨性能,两试样之间的摩擦所引起的磨损量可以采用精度达万分之一的分析天平称量出,可以知道试样试验前后质量。试

样在磨损前后必须严格进行去油污、表面干燥,否则因残余的油污会影响试验数据的准确性。计算可按下式进行:

$$W=W_0-W_1$$

式中:W 为试样的磨损质量损失(g); $W_0$  为试样在磨损前质量(g); $W_1$  为试样在磨损后质量(g)。

其试验结果见表 1。结果表明 5CrMnMo 钢经渗氮后,耐磨性大幅度提高。这主要是由于 QPQ 处理后工件表层形成了高硬度的  $\epsilon$  相  $\text{Fe}_{2.3}\text{N}$  化合物组织,因此硬度提高幅度较大,从而大大提高了表面耐磨性与抗咬合性能。

表 1 5CrMnMo 钢磨损试验结果  
Table 1 Testing results of 5CrMoMn steel worn

	QPQ 处理 时间/h	硬度 (HV0.1)	试验前质 量/g	试验后质 量/g	磨损质量 损失/g	相对磨 损率
1	0	521	10.1867	10.1792	0.0075	1
2	1	835	10.2656	10.2631	0.0025	0.333
3	3	1032	10.3873	10.3857	0.0016	0.213
4	5	920	10.4085	10.4073	0.0012	0.160

### 2.2.3 抗腐蚀性

试验条件为 5%NaCl 水溶液喷雾,相对湿度 >95%,试验温度为室温 ( $30\pm 2^\circ\text{C}$ )。结果表明:5CrMnMo 钢经 QPQ 盐浴渗氮处理能大幅度提高金属表面的抗蚀性。这种高的抗蚀性主要依靠在金属表面的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  氧化膜,使得工件在大气、盐雾、弱酸、浓碱等条件下都具有很高的抗腐蚀性<sup>[1]</sup>。

## 3 结论

(1) 5CrMnMo 经  $570^\circ\text{C} \times (3\sim 4)$  h QPQ 处理,可获得 20~25  $\mu\text{m}$  的渗层。

(2) 渗层具有极高的硬度(920~1 032 HV0.1),渗层与基体有明显清晰的界面,该渗层具有较高的耐磨性和较好的耐蚀性。

### 参考文献:

- [1] 李惠友,罗德福,林训华,等. QPQ 盐浴复合处理技术[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 李瑾盛. QPQ 盐浴复合处理技术及其在缸套上的应用[J]. 机车车辆工艺,2001,(1):7-9.
- [3] 谢桂芬,邱洪涛. QPQ 盐浴复合处理技术在减速顶滑动油缸生产中的应用[J]. 减速顶与调速技术,2003,(1):19-21.
- [4] 柳吉华,修雁. 铸铁软氮化工艺与性能的探索[J]. 吉林化工学院学报,2002,(3):64-67. 