

# 热处理篇

## Heat-treatment

本期热处理篇安排了曲轴、轴承及刀具热处理方案。

涉及曲轴氮碳共渗后尺寸“肿胀”分析，机车曲轴中频感应淬火；轴承套圈脱碳、碎裂分析，轴承钢新材料与轴承钢降残留奥氏体；刀具专家赵步青支招高速钢刀具盐浴热处理乱象，特殊刀具选材及热处理等。

栏目主持：朱光明



# 曲轴气体氮碳共渗后尺寸“肿胀”分析和预防

张东, 张立平, 毛会成

曲轴工作中主要承受交变弯曲和扭转载荷, 这些载荷不仅数值大, 而且呈周期性变化, 易引起曲轴发生弯曲疲劳破坏和轴颈磨损, 对曲轴进行气体氮碳共渗处理可显著提高曲轴的弯曲疲劳强度和轴颈的耐磨性但在工艺过程中也会带来一些质量问题, 曲轴尺寸“肿胀”就是比较突出的问题之一。

## 1. 试验结果及统计分析

气体氮碳共渗, 即向钢铁工件表面同时渗入氮、碳元素, 但以渗氮为主的表面化学热处理工艺, 介质为氨气或氨气和乙醇。针对曲轴氮碳共渗后尺寸“肿胀”问题, 制订摸底方案: 在氮碳共渗工艺不变的条件下, 随机抽查两炉曲轴, 在氮碳共渗前测量全部主轴颈、连杆颈尺寸, 氮碳共渗并正常抛光后测量轴颈同一位置的尺寸, 统计氮碳共渗前后尺寸变化量; 根据变化量找出规律, 制订相应措施。

试验曲轴为某型号四缸曲轴, 如图1所示, 图样要求主轴颈尺寸为  $\phi 80^{+0.005}_{-0.010}$  mm, 总长为690mm。曲轴材质为QT800-3, 珠光体要求  $\geq 85\%$ , 渗碳体  $\leq 2\%$ 。氮碳共渗工艺: 580℃保

温6h, 介质为氨气和乙醇, 炉内压力保持在0.8~2kPa (80~200mm水柱)。要求: 氮碳共渗层  $\geq 0.10$ mm、化合物层0.006~0.020mm、维氏硬度  $\geq 500\text{HV}0.1$ 。设备为井式电阻炉SL-032, 炉膛工作尺寸为  $\phi 1500\text{mm} \times 2300\text{mm}$ , 每炉40支, 双层装, 以便充分利用炉内有效空间, 控制曲轴之间的间隙为20~40mm, 均匀有序放置。

跟踪两炉80支曲轴氮碳共渗前后的尺寸变化情况, 测量主轴颈氮碳共渗前后的变化量, 如表1所示。由表1的统计分析结果可得: 本炉产品氮碳共渗前平均尺寸  $\phi 80^{+0.005}_{-0.010}$ mm; 本炉产品氮碳共渗后平均涨0.004mm左右; 氮碳

共渗“肿胀”波动范围较大, 氮碳共渗层为0.15mm; 化合物层0.015mm。“肿胀”使轴颈尺寸超出设计公差的约50%; 通过返修使之符合图样要求, 增加制造成本, 且破坏了化合物层。

## 2. 曲轴“肿胀”分析

钢铁工件基体一般是由游离的  $\alpha$  铁素体和  $\text{Fe}_3\text{C}$  的机械混合物等组成的多项组织。  $\alpha$  铁素体是溶入碳和其他元素的晶体点阵为体心立方的铁的固溶体。渗氮就是氮元素溶入  $\alpha$  铁素体后与铁及合金元素形成含氮的固溶体及氮化物的过程 (氮碳共渗层中各组成相:  $\alpha \leq 0.11\%$ ,  $\gamma \leq 2.8\%$ ,  $\gamma'$  为5.7%~6.1%,  $\epsilon$  为4.55%~

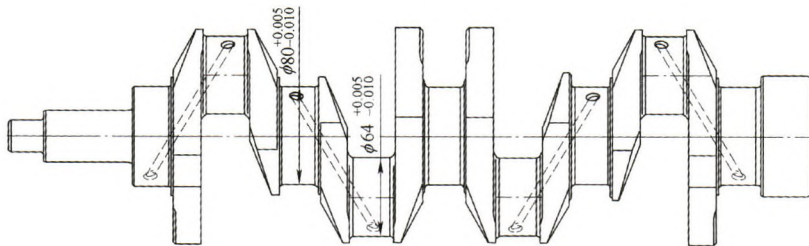


图1 某型号四缸球墨铸铁曲轴

表1 调整前氮碳共渗变形量 (mm)

| 项目<br>状态 | 主轴颈     |               | 备注          |
|----------|---------|---------------|-------------|
|          | 平均尺寸    | 尺寸公差范围        |             |
| 氮碳共渗前    | -0.0030 | -0.010~+0.005 | 本统计结果为尺寸公差值 |
| 氮碳共渗后    | +0.0012 | -0.001~+0.015 |             |
| 氮碳共渗尺寸增加 | +0.004  | +0.003~+0.008 |             |

11.0%， $\xi$  为11.1%~11.35%）。这一过程会引起晶格畸变，一方面起到固溶强化作用，另一方面会造成体积涨大。

氮碳共渗后曲轴的“肿胀”是由于轴颈表面吸收了大量的氮原子，形成含氮的固溶体及各种氮化物，引起工件表层原始组织的点阵常数增大所致，宏观上则表现为表层体积的略微增加。氮碳共渗后曲轴的“肿胀”是一种普遍现象，与氮碳共渗层深度有一定的比例关系，是氮碳共渗层深的3%~4%；肿胀量也与轴颈表层的吸氮量有关，主要是化合物层氮的浓度，氮碳共渗层组织如图2所示。

氮碳共渗层对曲轴表面来说，起耐磨作用的化合物层非常致密，硬度高，并且耐蚀性好。扩散层是过渡层可确保氮碳共渗层有良好的硬度梯度，故氮碳共渗过程中，两者缺一不可。

**3. 防止措施**

影响吸氮量的因素均是影响“肿胀”的因素，而氮碳共渗效果与工艺温度、时间、介质、炉内压力都有直接关系；既要获得合理的氮碳共渗层，又要控制好轴颈的变形量，使之符合要求，那么应从工件来料的组织要求、工件的尺寸要求、工艺参数等几个方面进行考虑，以制订合理的

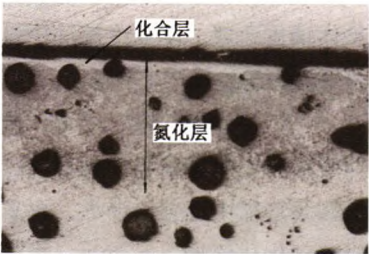


图2 轴颈表面氮碳共渗层

技术方案。

(1) 对工件组织要求 氮渗入基体组织的铁素体中形成含氮的铁素体或与铁元素形成含氮的固溶体，所以控制基体组织中的游离铁素体含量，也可控制渗入氮的浓度，从而控制变形量。离子氮碳共渗前基体组织中游离的 $\alpha$ 铁素体应不大于5%。

(2) 对工件尺寸要求 获得理想的氮碳共渗层，引起“肿胀”是必然的现象，那找出其规律，把氮碳共渗前的尺寸预留“肿胀”量抵消氮碳共渗后的“肿胀”量，使之满足图样要求。把主轴颈图样要求的 $\phi 80^{+0.005}_{-0.010}$  mm，氮碳共渗前控制在 $\phi 80^{+0.009}_{-0.007}$  mm。

(3) 工艺参数要求 温度提高，时间延长，氮碳共渗气氛增加，工件的氮碳共渗层深度就增加。根据气体氮碳共渗技术标准可知，当氮碳共渗温度一定时，保温氮碳共渗2.5~4h后，再延长长时间对氮碳共渗层深已不起作用，只增加化合物层的深度和浓度，故控制保温时间也很关键。

温度的提高和氮碳共渗层厚度成一定的正比，表现为随着温度的提高氮化物从表面移动到心部的速度加快，易获得好的扩散层。因此重新优化工艺方案：590℃保温氮碳共渗2.5h（为获

得合理的扩散层）→降至550℃氮碳共渗2h（为获得好的化合物层），炉内压力保持在0.8~2kPa。

(4) 控制装炉量 按氮碳共渗吊具设计的装轴位置放置曲轴，严格控制装炉量，保证适当的间隙，以利于炉气的气氛循环和温度的均匀度，不允许塞得过满。

(5) 控制工艺过程稳定 按工艺规定严格控制保温温度、时间、炉内压力，以及氨气和乙醇在升温、保温过程的流量，这是获得理想氮碳共渗层的关键。

氮碳共渗炉罐一般常用06Cr19Ni10不锈钢，Cr元素易与氮形成化合物，在长期的渗氮过程中吸附大量的氮，在之后氮碳共渗过程中又影响氮碳共渗炉内的氮势，使工艺过程不稳定，所以必须定时对炉罐、料筐、吊具进行退氮处理，以保证工艺过程氮势的稳定性。

通过采取以上措施，对随后生产的5炉产品进行了跟踪，测量曲轴氮碳共渗前后的尺寸，检验曲轴氮碳共渗层质量，检测结果见表2。氮碳共渗抛光后尺寸范围能满足曲轴设计公差范围；曲轴本体氮碳共渗层深度为0.13~0.15mm、化合物层0.006~0.015mm，满足图样对氮碳共渗层的要求。

表2 调整后碳氮共渗变形量 (mm)

| 项目<br>状态  | 主轴颈     |               | 备注              |
|-----------|---------|---------------|-----------------|
|           | 平均尺寸    | 尺寸公差范围        |                 |
| 氮碳共渗前     | -0.0062 | -0.009~+0.007 | 本统计结果为<br>尺寸公差值 |
| 氮碳共渗后     | -0.0023 | -0.005~+0.010 |                 |
| 氮碳共渗后尺寸增加 | +0.0036 | —             |                 |

作者简介：张东、张立平、毛会成，滨州海得曲轴有限责任公司，技术部。

MW 20140221