# 渗碳主轴表面“麻坑”缺陷的研究

那艳会
通用技术集团大连机床有限责任公司　辽宁大连　116000

**摘要**：针对20CrMnTi钢渗碳主轴在渗碳处理后出现“麻坑”缺陷问题，通过化学分析、宏观检测、微观组织检测及能谱分析等技术手段，探析该主轴“麻坑”缺陷问题的原因，分析得出影响“麻坑”缺陷的主要因素有两方面：一是渗碳碳势过低，造成工件表面局部脱碳，淬火后存在软点；二是盐炉盐内含有较多的硫酸盐杂质，使工件产生“麻坑”腐蚀和脱碳。通过改进热处理工艺和对NaCl盐增加一次脱氧，解决了主轴渗碳“麻坑”的缺陷问题。

**关键词**：20CrMnTi钢；渗碳主轴；盐浴淬火；麻坑

## 1　序言

某厂是高端机床主轴专业生产厂家，在实际生产中常出现主轴渗碳处理“麻坑”的问题，严重制约生产。所谓“麻坑”腐蚀是指主轴经渗碳后，表面形成许多大小不等的黑色凹坑，其直径为0.4~0.8mm，深0.1~0.3mm，经喷丸清理不能将“黑色”除掉[1]。“麻坑”的存在不仅影响主轴外观，降低主轴精度，使主轴表面质量下降，而且还改变主轴表面的压力分布，并使渗层局部表面产生拉应力，降低其疲劳寿命。本文从渗碳工艺措施及盐浴用盐等方面分析导致“麻坑”产生的原因。

## 2　试验材料及试验方法

### 2.1　试验材料

选用20CrMnTi渗碳钢进行渗碳+盐浴淬火试验研究，试验钢的化学成分见表1，20CrMnTi钢满足GB/T 3077—1999《合金结构钢》的规定，自由锻造成形。

**表1　试验材料20CrMnTi钢的化学成分**（质量分数）（%）

| C | Si | Mn | Cr | Ti | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.21 | 0.30 | 0.92 | 1.10 | 0.56 | 0.004 | 0.012 |

### 2.2　试验方法

按产生“麻坑”工序可分为：在渗碳处理过程中产生的“麻坑”、在盐浴淬火过程中产生的“麻坑”。因此，从两个方面分别进行试验分析。

（1）渗碳处理过程产生的“麻坑”　采用井式渗碳炉渗碳，渗剂采用煤油滴注式加入炉内，渗碳温度930℃，单独使用煤油虽然简单易行，但使用中存在许多缺点。煤油的主要分解产物是$H_2$和$CH_4$，虽然有较高的可用碳，但界面反应速度和气氛的碳传递系数都较小，渗碳速度较低；当煤油的含量过高时，过多的活性碳不能被工件吸收而形成炭黑沉积于炉内，阻碍渗碳。单一煤油渗碳气体成分波动大，碳势不易控制。由于表面炭黑的存在，阻碍渗碳，表面碳浓度低，随后的淬火由于部分区域炭黑的存在，降低了淬火油的冷却速度，造成组织转变形成非马氏体。或者煤油低温裂解不充分，造成炉内碳势偏低，工件氧化脱碳，随后的渗碳由于碳势较低，表面碳浓度低，因此在后面的抛丸处理时形成麻点。

（2）盐浴淬火过程中产生的“麻坑”　主要有3个方面需要注意。

1）NaCl质量：对盐成分进行化验分析，发现含硫酸盐比例高达2.3%。这些硫酸盐在高温熔融状态下与铁及碳发生氧化反应，使工件产生“麻坑”腐蚀和脱碳[2]。碳酸盐在高温下易分解出$CO_2$，从而使工件氧化脱碳。实践表明，当硫酸盐、碳酸盐含量在1%以上时，会产生较为严重的“麻坑”腐蚀，当硫酸盐、碳酸盐含量在0.5%以下时基本可以消除这种现象。

2）盐内水分的影响：空气湿度较大时或盐内含水分较多时，盐中的氧化物含量增加，使工件的氧化加大。这种情形发生在雨季和较多地补充新盐而不进行脱氧的情况下。

3）盐浴淬火后，应及时回火。避免在空气中放置工件表面附着的盐与空气接触，防止对工件表面产生腐蚀。

## 3 试验结果及数据分析

### 3.1 低倍检测

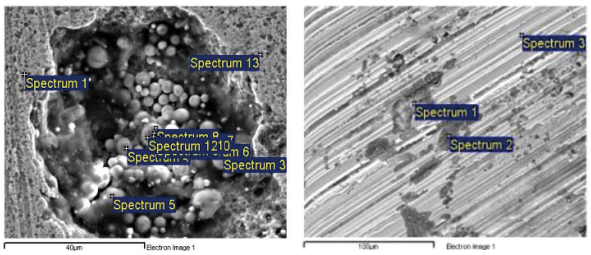
1#样品所制低倍试样腐蚀后形貌如图1所示。图1a所示为切割面，无任何麻坑、疏松等肉眼可见缺陷；图1b所示为原有麻坑缺陷分布的料面，酸蚀后表面麻坑仍较为明显。

a）1#试样低倍形貌（切割面）　b）1#试样低倍形貌（麻坑面）

图1 低倍试样腐蚀后形貌

### 3.2 扫描电镜检测

对部分产品试样存在“麻坑”部位进行电镜检测分析。从图2外观形貌看，2-1和3-1试样麻坑大小及形貌特征不同。对局部进行成分定性分析，2-1和3-1试样麻坑部位分析结果都以C、O、Fe为主，基体部分以C、Fe为主，而3-1试样S含量偏高。

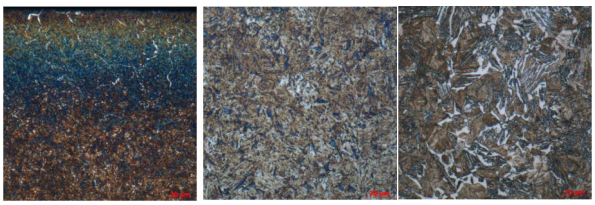



a）试样2-1电镜形貌　b）试样3-1电镜形貌

图2 扫描电镜“麻坑”形貌特征

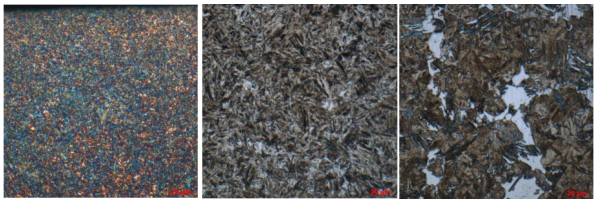
### 3.3 金相检测

对2-1和3-1试样分别进行金相观察，试样从表面到基体显微组织有明显变化，近表面显微组织为马氏体+碳化物，过渡区为马氏体，其余部位为铁素体+少量马氏体，如图3、图4所示。



a）试样2-1边部显微组织　b）试样2-1中间显微组织　c）试样2-1心部显微组织

图3 2-1试样金相显微组织



a）试样3-1边部显微组织　b）试样3-1中间显微组织　c）试样3-1心部显微组织

图4 3-1试样金相显微组织

### 3.4 分析与讨论

通过化学成分检测结果，对比GB/T 3077—2015中20CrMnTi钢的化学成分，该样块成分符合标准。新切割制取的样品料面经低倍腐蚀观察后，新切割面无任何“麻坑”、疏松等肉眼可见缺陷，而原有麻坑缺陷的样块表面，腐蚀后表面“麻坑”较为明显（见图1）。由此可见，该“麻坑”并非原材料缺陷，而是后续热处理后出现的。结合图1~图4“麻坑”形貌可知，若工件局部氧化皮严重，则经喷丸把氧化皮打掉后，即使发现“麻坑”氧化皮较轻，但由于该部位的Mn、Cr被氧化而使钢的淬透性降低，结果在表面形成黑色组织，表现为软点，这种工件易于疲劳失效；若炉内氧分压过高，使工件氧化严重，形成较厚氧化皮时，则会出现连续脱碳层[3]。轻微脱碳区形成后，若炉内气氛碳势再度恢复，如给足滴油量或者在二次加热中炉内呈完全还原性气氛时，则局部脱碳区能部分复碳，表现为淬火后脱碳区消失，低显微硬度区得到改善。

经过盐炉淬火后出现“麻坑”缺陷，扫描电镜检测时，发现O、S含量均高，由于盐内含有较多的硫酸盐杂质，NaCl中含有$Na_2SO_4$，这些硫酸盐在高温熔融状态下，与铁和碳发生氧化反应，使工件产生“麻坑”腐蚀。盐内水分的影响主要是盐内水分较多，盐中的氧化物含量增加，会使工件氧化加大[4]。

# 高压空气不锈钢管开裂原因分析

潘恒沛[1]，张聪毅[1]，徐魁龙[1]，李雪峰[1, 2]

1.洛阳船舶材料研究所　河南洛阳　471023

2.河南省船舶及海工装备结构材料技术与应用重点实验室　河南洛阳　471023

**摘要**：高压空气不锈钢管在检验过程中发现裂纹。通过无损检测、宏观观察、金相检测、扫描电镜断口观察及能谱分析等方法进行了研究分析。结果表明：高压空气不锈钢管发生了刀状腐蚀开裂失效，属于晶间腐蚀的一种，裂纹位于焊缝熔合线处，焊接工艺不当导致熔合线区域抗晶间腐蚀能力下降以及外来腐蚀介质是导致晶间腐蚀产生的原因。

**关键词**：裂纹；晶间腐蚀；焊接工艺

## 1　序言

高压空气系统不锈钢管路在例行检查过程中发现多处裂纹，该管路最大运行压力约40MPa，内部介质温度为－40~60℃，外部为舱室，管路材质为0Cr18Ni10Ti奥氏体不锈钢，型号规格为$\phi$42mm×6mm，管线服役过程中存在压力及温度变化，裂纹分布于焊缝附近，笔者对裂纹产生原因进行分析。

## 2　理化检验

### 2.1　无损检测

参照标准NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第5部分 渗透检测》对高压空气不锈钢管整体外表面除漆后进行渗透检测，结果在焊缝边缘发现1处裂纹，裂纹方向平行于焊缝，指示长度15mm，形貌如图1所示。

图1　高压空气不锈钢管渗透检测结果

### 2.2　宏观分析

结合无损检测结果，对高压空气不锈钢管进行宏观分析，钢管表面存在磕碰及表面划伤等现象，整体仍具有较为明显的金属色，肉眼观察内壁均较

## 4　结束语

1）严格控制渗碳工艺制度，防止渗剂供应不足，严格监视排气孔火焰高度和颜色，防止渗碳过程中发生氧化脱碳现象。对渗碳炉循环系统进行检测修复，确保炉温均匀性及碳势的合理可控性。

2）严防炉罐漏气而导致零部件出现内氧化现象。

3）严格控制盐的质量，严禁露天存放，增加脱氧次数，定期对盐进行化学成分检测，使盐内硫酸盐、碳酸盐含量≤0.5%。

**参考文献**：

[1] 黄丽荣，顾园，汤宏智.渗碳齿轮表面“麻点”的缺陷分析[J].热处理技术与装备，2009，30（1）：65-68.

[2] 叶茂.关于渗碳齿轮表面“麻点”缺陷的原因分析[J].黄石理工学院学报，2005，21（3）：46-47.

[3] 戚正风.固态金属中的扩散与相变[M].北京：机械工业出版社，1998：124-126.

[4] 雷廷权.金属热处理工艺方法500种[M].北京：机械工业出版社，1998：159-161.

MW 20210704