



双面铣主轴套筒渗碳 开裂原因分析

■ 贾啸天

我公司生产的XS2010主轴套筒如附图所示，在渗碳后空冷过程中产生多处开裂，裂纹位于渗碳表面，多数裂纹长且直，与零件的轴线平行。少数裂纹连接后呈不等边U形，经机械加工磨削至零件公称尺寸后无损检测，仍可见明显裂纹，致使零件报废。

一、初始工艺流程

材料：20CrMnTi，热处理：外圆、 $\phi 230$ J7孔及 $\phi 240$ J7孔 S0.9-C58，工艺流程：锻造→正火→机加工→时效→机加工（外圆留1.5mm，各配合孔均留1.8mm）→渗碳→机加工（粗磨外圆留0.9mm，各配合孔留1.5mm）→淬火→精加工完成。

由于主轴套筒最大有效壁厚46.5mm，套筒长度792mm，淬火时孔的冷却速度远小于外表面的冷却速度，而20CrMnTi的淬透性又较低，设计要求的硬度值高达C58，鉴于零件的有效厚度大，全损耗系统用油淬火达不到设计要求。因此，工艺选用盐水-油的双液淬火方法，以期达到设计要求。

二、渗碳开裂原因分析

鉴于双面铣主轴套筒是我厂

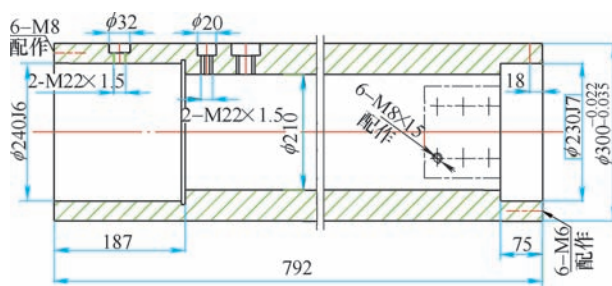
龙门铣同类件的典型结构，工艺也属于典型工艺，我们对渗碳裂纹进行了全面分析。这种裂纹产生的位置、分布、形态及深度大于0.8mm的特征，属于某些渗碳钢中如12CrNi3、20CrMnMo等的常见现象，经初步分析确定为材料选择有问题。对零件取样，进行化学成分分析（见附表），结果表明，虽然C、Mn、Cr、Ti的含量符合20CrMnTi成分范围，但 w_{Mo} 为0.25%、 w_{Ni} 为0.10%，超过国家标准。由此，确定主轴套筒开裂原因是材料问题。

由于Mo、Ni的同时存在致

使渗碳的冷却性能急剧变坏，在渗碳冷却过程中，表面首先转变成屈氏体+碳化物，次表面因过冷奥氏体稳定而未完成转变，在继续冷却的过程中转变成马氏体，从而导致该层的体积膨胀，使表面的拉应力急剧增加。当拉应力超过零件的强度极限时，表面渗碳层开裂。而裂纹的深度由马氏体层的位置决定，这类裂纹的特点是呈网状及沿零件的纵向分布。

三、改进后的工艺

首先对补料的主轴套筒的化



主轴套筒示意

化学成分分析（质量分数）（%）

元素	C	Si	Mn	Cr	Ti	Mo	Ni
试样	0.19	0.25	0.90	1.20	0.05	0.25	0.10
20CrMnTi (GB/T 3307—2015)	0.17~0.23	0.17~0.37	0.80~1.10	1.00~1.30	0.04~0.10	—	≤0.03
20CrMnMo (GB/T 3307—2015)	0.17~0.23	0.17~0.37	0.90~1.20	1.10~1.40	—	0.20~0.30	≤0.03

学成分进行分析（见附表），结果表明：主轴套筒的材料与第一批主轴套筒成分相似。因此，工艺决定参照20CrMnMo制订热处理工艺。确定采用渗碳后直接淬火+高温回火，以解决渗碳后空冷开裂问题。但因增加一次淬火，而且淬火变形远大于渗碳空冷的变形，我们在渗碳前各配合孔的加工余量增加至240J7、230J7的范围内。

1. 渗碳操作过程

（1）炉温升至渗碳温度后装入工件，装炉后立即滴入煤油排气。排气期间，试样孔始终打开，当炉温到达渗碳温度时开始计时，30min后排气阶段结束。

（2）放入试样，关闭试样孔，调整煤油滴量符合工艺要求后，开始强渗，90min后强渗完毕。

（3）降低煤油滴量至工艺要求，保温450min，取第一枚试样，检测层深至工艺层深2.0mm时（60min为扩散至工艺层深的时间调整范围）进一步调整降低煤油滴量至工艺要求并保温60min（工艺进行二次扩散的目的是为了获得合理的表面碳浓度及浓度梯度）。

2. 渗碳后冷却

对于渗碳后空冷易于开裂的钢种，通常采用以下三种方法：

（1）渗碳后随炉冷或在冷却罐中缓慢冷却，以保证整个渗层深度内获得均匀的珠光体组织。

（2）渗碳后快速冷却，使渗碳层得到马氏体+残留奥氏体组织，也能防止开裂。

（3）渗碳后较快地冷却至150~200℃或450~500℃，将工

件转移至650℃炉中进行高温回火，使之形成珠光体组织也可防止开裂。

我们实际采用第二种方法，即渗碳后快速冷却。

3. 结果

主轴套筒淬火、回火的加热设备根据其重量、轮廓尺寸与几何形状分别确定为渗碳炉、回火炉。由于Mo、Ni的同时存在，提高了钢的淬透性，所以，淬火冷却介质改为盐水-油的双液淬火方法效果明显。至此，主轴套筒渗碳全部工序完成后，我们对其裂纹、硬度及变形情况进行检测，结果如下：

（1）主轴套筒渗碳的工艺结论 主轴套筒是由外协厂家锻造完成，这是一种非标准渗碳钢，因含有0.25%Mo、0.10%Ni致使渗碳后冷却的工艺性能急剧变坏，采用渗碳后淬火+高温回火可保证零件的质量。

（2）主轴套筒淬火的工艺结论 外协厂家锻制的非标准渗碳钢，热处理的工艺关键是渗碳及渗碳后的冷却方法。而淬火工艺的顺利实现，则表示这类钢具有较好的淬火工艺性能。

（3）关于淬硬性 & 淬火变形的工艺结论 其一，淬硬性，外协厂家锻制的非标准渗碳钢具有较好的淬硬性，200℃回火后硬度可达55~60HRC，达到设计要求，满足套筒的工作条件，可以直接使用。

其二，淬火变形。淬火变形是在主轴套筒回火后的平衡状态下，使用内孔千分表及游标卡尺测量完成的。渗碳后直接淬火各

配合孔膨胀量约0.6mm，第二次淬火各配合孔膨胀量约0.4mm，外径膨胀0.3mm。

其三，机械加工外径、内孔所需的加工余量。主轴套筒机械加工至设计精度要求的加工余量，应由以下三部分组成，即二次淬火的变形、二次检测误差、二次磨削内孔及外径的精度。数值如下：

内孔 = 0.6mm + 0.4mm(淬火变形) + 2 × 0.1mm(测量误差) + 2 × 0.4mm(工艺磨量) = 2.0mm

外径 = 0.3mm + 0.3mm(淬火变形) + 2 × 0.1mm(测量误差) + 2 × 0.3mm(工艺磨量) = 1.4mm

由此确定套筒机械加工内孔的加工留量应为2.0mm，外径加工留量应为0.6mm，二次淬火膨胀量约为0.8mm，所以外径的真实磨量约为1.2mm以上，足以保证机械加工至设计要求的精度。

其四，合理的工艺渗碳层深度。主轴套筒设计要求层深为0.9mm，深度偏差为0.4mm，机械加工外径、内孔的加工余量是直径的留量，为渗层深度的一半，因此热处理后的渗碳层深为1.0mm + 0.9mm + 0.4mm = 1.9 + 0.4mm。

四、结语

以上的工艺改进成功完成了主轴套筒的热处理工序，保证了生产的顺利进行，同时也填补了我公司大型渗碳件热处理工艺的空白。

作者简介：贾啸天，齐齐哈尔二机床（集团）有限责任公司配套工艺。

MW 20170102