

小模数大型薄壁齿圈感应淬火裂纹原因分析

■ 吕蓝冰, 顾晓明

摘要: 分析小模数大型薄壁齿圈感应淬火裂纹性质及产生原因, 通过对调质质量以及感应淬火质量分析, 确定齿圈齿根裂纹为感应淬火裂纹。大型薄壁齿圈易变形特征、淬冷烈度大, 以及齿棱角应力集中, 在齿根的齿棱位置会产生感应淬火裂纹。

关键词: 小模数大型薄壁齿圈; 感应淬火; 裂纹; 40Cr

感应热处理工艺因具有加热速度快、生产效率高、节省能源, 以及热处理变形相对小的特点, 其在齿轮行业得到了广泛的应用。目前大型齿圈采用的热处理硬化手段有渗碳淬火、调质、渗氮、感应淬火等, 由于大型齿圈渗碳淬火变形控制难度较大, 调质的齿部硬度相对不高, 渗氮则成本高昂, 所以感应热处理在大型薄壁齿圈领域得到了较快发展。

1. 裂纹说明

某型齿圈齿顶直径2037mm, 齿宽82mm, 模数6, 材料为40Cr, 采用钢锭锻造方式, 制造路线: 锻造→锻后热处理→粗车→调质→精车→滚齿→感应淬火→无损检测→精车二→平面磨→磨齿→成品。感应淬火前进行整体调质热处理, 调质硬度要求250~290HBW, 后开齿, 再进行中频感应淬火, 硬度要求48~52HRC。感应淬火后在数个齿根的齿棱角部位发现沿齿根方向的

裂纹, 齿圈结构如图1所示, 裂纹形貌如图2所示。

2. 热处理质量

(1) 调质质量 对裂纹轮齿解剖, 采用线切割将整个齿宽方向的轮齿切下, 检测轮齿基体硬度260HBW, 轮齿表面硬度在280HBW, 调质硬度符合技术要求。轮齿抛光后采用4%硝酸酒精腐蚀, 基体金相组织以回火索氏体为主, 加上呈角块状分布的铁素体 (见图3), 基体晶粒度6.5级。调质组织较差, 基体存在较多铁素体组织, 对齿圈的弯曲疲劳性能有负面影响。

(2) 感应淬火质量 感应淬火后, 淬硬区与未淬硬区由于其组织不同, 磨面浸蚀后将呈现色差。对裂纹轮齿进行理化检测, 图4为裂纹轮齿端面浸蚀后感应淬火硬化层区域, 其节圆处硬化层深度布满整个齿厚, 齿根的硬化层深度为1.5mm, 感应淬火表面硬度52~53HRC。如图5所示, 将裂纹轮齿的齿宽中部横

截面切开, 浸蚀后节圆处硬化层深为4mm, 齿根处硬化层深为0, 齿部表面硬度51~52HRC。如图6所示, 将裂纹轮齿纵剖, 可以清晰呈现齿根的淬硬层分布, 切面浸蚀后, 其淬硬的区域很小, 最大深度为1.5mm, 最大长度为7mm。

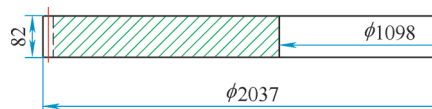


图1 齿圈结构

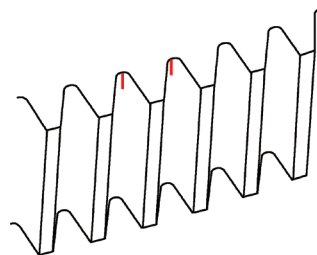


图2 感应淬火后裂纹示意



图3 轮齿基体调质组织

3. 裂纹分析

齿圈感应淬火后，数个齿根发现裂纹，对其中一条裂纹进行理化分析，此裂纹沿齿根长5mm，在齿根处深1.3mm，且裂纹完全处于图4、图6所示的齿棱角部位的齿根淬硬层内。图7为抛光下的裂纹深度照片，抛光态未见裂纹周围存在非金属夹杂物缺陷。

经金相检验发现裂纹有如下特征：

(1) 裂纹完全在感应淬火的齿根淬硬区中，裂纹源在齿根端面棱角处（见图4、图6）。

(2) 裂纹缝中以及裂纹两侧，无夹杂物和其他缺陷存在，裂纹两侧无氧化色及脱碳，说明裂纹产生不是起源于原材料缺陷，如图8所示。

(3) 裂纹微观曲折但宏观刚挺，裂纹顶端尖锐，裂纹属沿晶开裂，裂纹两侧组织与齿部淬硬层同为细针马氏体，按照JB/T9204—2007标准评级为5级马氏体，如图8所示。

上述裂纹特征，均为淬火裂纹的特征，裂纹为感应淬火冷却中产生的淬火裂纹。

此薄壁齿圈感应淬火过程为表面温度达到奥氏体化温度时转变成奥氏体，在喷射水溶性淬火冷却介质冷却过程中，奥氏体转变成马氏体，体积增大会产生组织应力，其结果是表层首先达到 M_s 点率先形成马氏体，表层马氏体膨胀不受限制，随后次表面达到 M_s 点时，新生马氏体膨胀受到表层马氏体限制，使表面产生张开内应力。若此内应力大于表层淬火马氏体强度时，就出现裂

纹。在齿根端面棱角处，加热温度会比其他区域高，冷却时的组织转变烈度大，奥氏体转变成马氏体会更快，其产生的组织应力会比其他地方高，再加上棱角的应力集中，因此在齿根的齿棱角产生裂纹。

数个齿根产生裂纹而非所有齿根产生，原因在于薄壁齿圈变形不确定性，感应淬火加热时，组织及热应力使薄壁齿圈产生翘曲等变形，导致感应器与轮齿的距离发生偏离，感应器偏离产生

的淬冷烈度差异在齿棱部位齿根处特别明显，将在应力最集中的齿棱角的齿根处产生裂纹。感应淬火设备电源的稳定性也是淬火质量均匀性、稳定性、防止局部出现淬火裂纹的重要环节。

改进措施：将淬火冷却介质由水溶性介质改为油介质，以降低淬冷烈度；降低感应加热温度以减小淬透性，从而减小淬火应力；采用精度高的感应淬火机床，减小易变形齿圈感应淬火开裂的可能性。

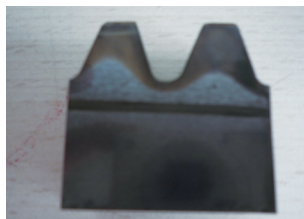


图4 裂纹轮齿端面淬硬层

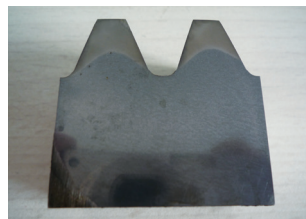


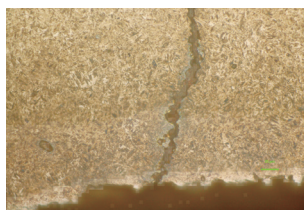
图5 裂纹轮齿的齿宽中部横截面淬硬层



图6 沿齿根纵向切面淬硬层



图7 轮齿端面裂纹深度形貌



(a) 裂纹起始端



(b) 裂纹顶端

图8 裂纹微观形貌

4. 结语

(1) 小模数大型薄壁齿圈裂纹为感应淬火裂纹。

(2) 大型薄壁齿圈易变形特征、淬冷烈度大，以及齿棱角应力集中，在齿根的齿棱位置易产生淬火裂纹。

作者简介：吕蓝冰、顾晓明，常州天山重工机械有限公司。

MW 20170920