



汽车万向节中频感应淬火裂纹的分析及防止措施

苏以人

汽车万向节中频感应淬火裂纹主要发生在圆角区域。其产生原因是中频感应加热速度快，从而在淬火区与非淬火区形成的拉应力集中所致。由于堵孔致使圆角加热不足，或不通孔过热也会产生裂纹，可降低中频感应淬火加热速度，清除堵孔，采用合适不通孔口倒角，以减少裂纹的发生。

1. 概况

万向节是汽车最重要的零件之一，在一些汽车制造厂生产的EQ140汽车转向节中，中频感应淬火裂纹是严重的质量问题。

万向节如图1所示。选用40Cr钢，锻造成形，毛坯要求硬度为241~285HBW，金相组织为回火索氏体1~4级。机加工后，轴颈、圆角及端面同时中频

感应淬火硬化，要求硬化区表面硬度为52~63HRC，硬化层深度为3~6mm，硬化层金相组织应为针状或细针状回火马氏体（3~7级）。

热处理工艺：调质处理是在井式炉中加热，860℃×70min，在聚乙烯醇的质量分数为0.2%的水溶液中淬火冷却，600℃×3h回火；采用圆柱形感应器连续中频感应加热表面淬火，中频感应加热电参数和淬火工艺参数见表1。

2. 试验结果及分析

经磁力探伤检查裂纹发生的位置：一是在圆角区域内，呈周向裂纹，如图2所示；二是在盲孔口，呈径向裂纹。前者裂纹件数占98.3%，周向裂纹长度一般在15~45mm范围，无折叠等痕

迹。

万向节表面粗糙度为 $R_a=3.2\sim6.3\mu m$ 。符合工艺的规定，周向裂纹在长度方向上与刀纹不重合。化学成分分析C、Si、Mn、Cr、S、P等元素含量均在标准规定范围内。

金相组织分析结果表明，裂

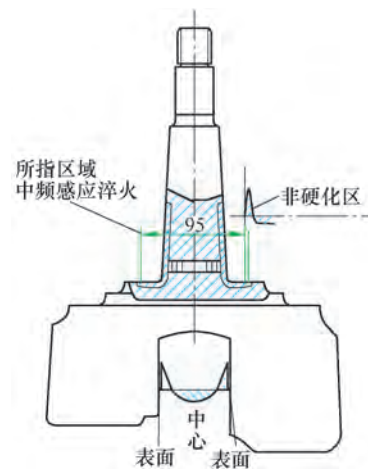


图1 万向节结构、中频感应淬火应力分布示意

表1 中频感应加热电参数和淬火工艺参数

淬火方法	中频感应加热电参数							淬火工艺参数					
	变压比	电容/ μF	频率/Hz	输出电压/V	输出电流/A	输出功率/kW	功率因数 $\cos\phi$	加热温度/℃	加热时间/s	风冷时间/s	淬火介质和冷却方式	喷冷时间/s	压力/MPa
连续	12/1	107	8000	450	110~85	47~38	0.8~0.95	880~920	22 (包括延时加热) 7	1.5~2	0.1%~0.2% 聚乙烯醇水溶液喷冷	18	0.12~0.16
同时		68		530	140~100	65~52	0.9~0.98	880~920	23	1		14	

纹无氧化脱碳现象，裂纹断口呈银灰色，周向裂纹深度在硬化层内，小于1.5mm，硬化层为隐晶马氏体，淬火区与非淬火区的过渡带在圆角区域内，心部组织为均匀回火索氏体（3~4级）。对不通孔口径向裂纹检查，不通孔无倒角，有轻微过热现象。

取5件无裂纹的万向节，进行台架试验，结果见表2。其中有2件循环次数不到 3×10^5 次，在圆角区域内就开始产生裂纹，3件硬化层深度都小于1.5mm。

综上所述，裂纹大多数都发生在圆角区域，属于中频感应淬火裂纹，与万向节在中频感应淬火前的状态基本无关。影响万向节中频感应淬火裂纹产生的主要原因如下。

（1）拉应力集中 中频感应淬火后，构成表面受压、中间受拉或受压的应力分布特点（见图1）。拉应力峰值位置是在靠近硬化层内侧处，或在硬化层结束的过渡区中。拉应力峰值位置和大小取决于以下几点：①加热速度越快，温度梯度越大，则淬火层中的过渡层越小，拉应力峰值越大，且切向应力越大于轴向应力，其峰值位置越接近表面硬化层。②在零件表面淬火区域内截

面积变化处，淬火时形成的拉应力集中，也可能使拉应力值接近或超过钢的破断抗力，从而产生淬火裂纹。③随硬化层深度的增加，拉应力峰值位置向中心移动，拉应力峰值逐渐减小；反之，随硬化层深度减少，拉应力峰值位置向表面移动，峰值逐渐增大。④零件在进行局部表面淬火时，表面存在着淬火区与非淬火区间的过渡带，在靠近硬化区处形成拉应力峰值，因此在过渡带不仅常产生淬火缺陷，甚至可能造成淬火裂纹。

（2）圆角加热不足 万向节连续感应加热表面淬火时，由于堵孔等因素致使圆角加热不足，造成圆角区域硬化层深度过小，或硬化区结束在圆角区域内，拉应力峰值集中在圆角区域，并接近表面。

（3）不通孔过热 不通孔内侧一半要求在硬化区内，为了保证圆角及端面在淬火加热时达到正常淬火温度，而不通孔口的温度却往往会偏高，甚至会过热，如不通孔口无倒角，或倒角太小时，过热的可能性更大。其结果：一是在淬火过程中形成应力过大；二是使该区内钢的破断抗力降低，容易导致淬火裂纹产生。

生。

3.结语

万向节连续中频感应加热表面淬火时，由于圆角加热不足，硬化层深度浅（<1.5mm），拉应力峰值大并趋近表面；淬火区与非淬火区间的过渡带在圆角区域内，或在邻近处，致使应力分布的最大拉应力峰值汇集在圆角区域内或邻近处，各种拉应力峰值彼此互相接近，或相互交叉，甚至可能重合。可降低中频感应淬火加热速度，清除堵孔，以及采用合适不通孔口倒角等措施，以减少裂纹的发生。

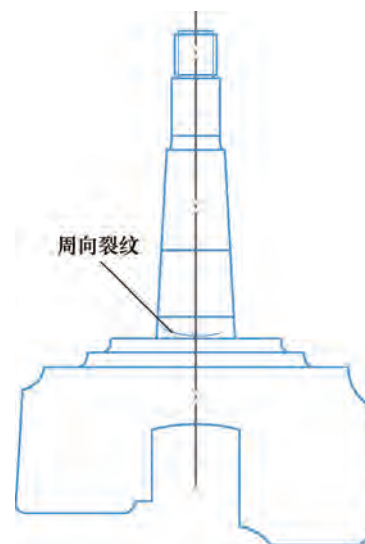


图2 裂纹发生位置

表2 万向节疲劳寿命试验结果

试验号	载荷/N·m		频率/Hz	疲劳寿命 / $\times 10^5$ 次	损坏部位和形式	硬化层深度 /mm
	$M_{\min}$	$M_{\max}$				
1	1078	10786	17.5	10.00	未坏	3.4
2	1078	10786	17.5	2.34	圆角产生裂纹	1.2
3	1078	10786	17.5	3.17	圆角，断裂	1.4
4	1078	10786	17.5	10.00	未坏	2.8
5	1078	10786	17.5	2.18	圆角，断裂	1.2

作者简介：苏以人，工程师，高级讲师，武汉职业技术学院机电学院。

MW 20141105