

双齿齿条中频感应淬火工艺研究

王琛孝, 靳之峰, 周显伟

建设工业集团(云南)股份有限公司 重庆 402260

摘要: 随着感应加热技术日趋成熟,越来越多的汽车零部件采用这种节能、高效的热处理方式提高金属件的力学性能。主要介绍了S45C材料双齿齿条中频感应淬火工艺研究,通过改进感应器设计、硬度检测、金相组织分析,确立了优化的工艺并用于生产。金相结果符合JB/T 9204—2008《钢件感应淬火金相检验》的规定,淬硬层深均匀、一致。结果表明:中频感应淬火可以用于汽车零部件双齿齿条的热处理生产。

关键词: 双齿齿条; 中频感应淬火; 节能; 高效

Study on scanning induction hardening process of double tooth rack

WANG Chenxiao, JIN Zhifeng, ZHOU Xianwei

Construction Industrial Group (Yunnan) Co., Ltd., Chongqing 402260, China

Abstract: With the increasing maturity of induction heating technology, more and more auto parts use this energy-saving and efficient heat treatment method to improve the mechanical performance of metal parts. This paper mainly introduces the study of middle frequency induction scanning hardening process of S45C. Through the hardness determination and metallographic organization analysis, the metallographic results conform to the standard of JB/T 9204—2008《Metallographic Examination of Induction hardened Steel Parts》, and the hardening layer depth is uniform and consistent. The results show that medium-frequency induction quenching can be used in the heat treatment production of double-gear racks for automobile parts.

Keywords: double tooth rack; medium frequency induction quenching; energy saving; high efficiency

1 序言

转向齿条是齿条齿轮式转向机构中的一个关键保安主件,汽车转向时,通过操纵方向盘来带动齿轮转动,齿轮与转向齿条紧密啮合,带动齿条向左或向右横移,再通过拉杆将转向力传递至转向轮并使其摆动,达到使汽车改变行驶方向的目的。在工作过程中齿条的每个齿表面与齿轮的齿表面产生接触摩擦力,因此转向齿条应具有一定的刚度、高耐磨性和疲劳强度。

我公司生产的双齿齿条结构及淬火技术要求如图1所示,材料牌号为S45C,执行JIS G4051—2005

《机械结构用碳素钢》标准规定。

该件要求:整体调质硬度为22~28HRC,齿面及齿背整体中频感应淬火,感应热处理后金相组织符合JB/T 9204—2008《钢件感应淬火金相检验》规定的4~6级;齿部表面硬度为55~62HRC,淬硬层深为0.3~1.0mm;齿背表面硬度为55~64HRC,淬硬层深为0.5~3.5mm。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

按产品图要求,使用S45C钢, $w_C \approx 0.45\%$, 淬



表1 S45C钢的化学成分 (质量分数) (%)

C	Mn	Si	Cr	S	P
0.42~0.48	0.60~0.90	0.15~0.35	≤0.20	≤0.035	≤0.030

图3 O形感应器

7) 移动位置、加热功率、时间、停留时间、喷水冷却等由PLC程序控制执行。

8) 工件装夹方式: 采用上下顶尖定位。

9) 加热方式：纵向磁场扫描加热。

2.3 工艺试验

两种感应器淬火工艺参数见表2、表3。

表2 O形感应器淬火工艺参数

方案	频率/kHz	电压/V	淬火部位移动速度 / (mm/s)	齿面与感应器间隙/mm
1	17	450	20	5.5
2	20	480	23	5.5
3	23	500	23	5

Technical drawing of a mechanical part, showing a side view and a cross-section. The drawing includes the following dimensions and tolerances:

- Overall length: $250^{+0.5}_{-0.5}$
- Distance from the left end to the first set of mounting holes: 16
- Distance between the two sets of mounting holes: 4.25
- Distance from the right end to the center of the circular feature: 20.25
- Radius of the circular feature: $R20^{+0.2}_0$
- Overall width of the part: 44.5

图2 马蹄形感应器

方案	频率/kHz	电压/V	淬火部位移动速度 / (mm/s)	齿面与感应器间隙/mm
1	18	500	23	4.5
2	20	490	20	4.5
3	22	480	10	4.5

注：功率设定值为输出电压值，电流恒定为130A。

3 试验结果

3.1 零件外观质量对比

齿条分别用两种感应器热处理后,检测齿条表面状态、硬度,剖切后检测金相组织、淬火层深

度,结果显示,零件表面无烧蚀,宏观淬硬层深均匀、一致,均符合技术要求,如图4所示。



a) 横截面淬硬层深



b) 中段淬硬层深



c) 起末段淬硬层深

图4 零件淬硬层深形态

3.2 零件表面硬度对比

零件表面硬度采用洛氏硬度计检测,O形感应器、马蹄形感应器硬度检测结果分别见表4、表5。综合表4、表5可看出,齿顶的硬度为58~61HRC,齿根的硬度为55~60HRC,齿背处的硬度为57~61HRC,均满足技术要求。

表4 O形感应器硬度检测结果 (HRC)

方案	齿位	齿顶硬度	齿根硬度	齿背硬度
1	A齿	58~61	55~59	58~61
	B齿	58~61	55~59	58~61
2	A齿	58~61	55~59	58~61
	B齿	58~61	55~59	58~61
3	A齿	58~60	56~60	58~61
	B齿	58~60	56~60	58~61
技术要求		55~62	55~62	55~64

表5 马蹄形感应器硬度检测结果 (HRC)

方案	齿位	齿顶硬度	齿根硬度	齿背硬度
1	A齿	58~61	55~59	58~61
	B齿	58~61	55~59	58~61
2	A齿	58~61	55~59	57~61
	B齿	58~61	55~59	57~61
3	A齿	58~60	57~59	58~60
	B齿	58~60	57~59	58~60
技术要求		55~62	55~62	55~64

3.3 零件淬硬层深及金相

(1) O形感应器

1) 淬硬层深:用硬度法检测至450HV处,齿根部位的淬硬层深度为0.18~0.87mm,齿背部位的淬

硬层深度为0.99~1.72mm,结果显示,齿根淬硬层深不满足技术要求。

2) 金相检测:用金相显微镜对齿条齿顶、齿根淬火金相组织进行检测,按JB/T 9204—2008《钢件感应淬火金相检验》规定进行评级,金相组织为3~8级(见图5、图6),不满足技术要求。

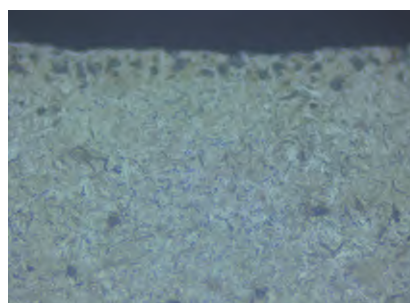


图5 齿根淬火+回火后金相组织(8级)

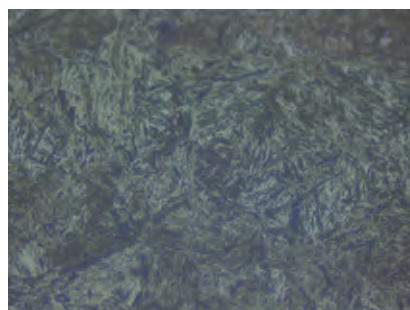


图6 齿顶淬火+回火后金相组织(3级)

(2) 马蹄形感应器

1) 淬硬层深:用硬度法检测至450HV处,齿根部位的淬硬层深为0.6~0.85mm,齿背部位的淬硬层深为1.45~1.65mm,结果满足技术要求。

2) 金相检测:用金相显微镜对齿条淬火起始位、结束位和中间段的齿顶、齿根及齿背金相组织进行检测,按JB/T 9204—2008《钢件感应淬火金相检验》规定进行评级,金相组织为4~6级(见图7~9),满足技术要求。



图7 齿顶淬火+回火后金相组织

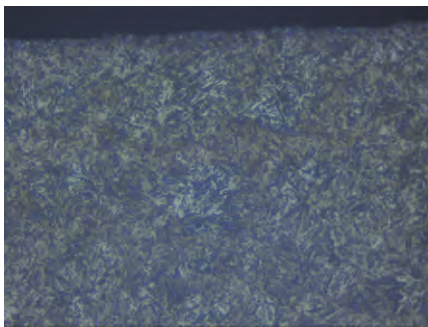


图8 齿根淬火+回火后金相组织

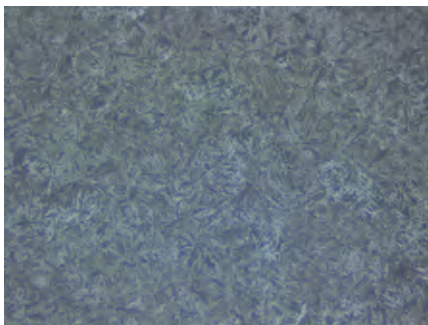


图9 齿背淬火+回火后金相组织

4 分析与讨论

1) 使用O形感应器进行加热时, 由于感应器形状导致齿面及齿根同一平面上零件与感应器距离不一致, 因此齿条在加热时, 齿根中线附近温度最低, 通过观察生产过程可发现, 最大温差可达200℃左右, 这就造成当齿顶金相组织合格时, 齿根部位出现未溶铁素体, 金相组织评定为8级; 使用马蹄形感应器加热时, 理论上感应电源频率越低, 一次加热深度就越深, 但在实际操作时, 齿顶部位容易因热量过高而使淬火组织达到3级, 故选择了相对较高的频率, 通过降低移动速度并适当降低功率的方法达到均匀淬火加热温度、增加加热层深的目的。

因此, 在感应淬火过程中, 感应器与零件的相对位置、连续淬火的移动速度、加热功率、冷却时间, 以及淬火液的流量、压力等参数的控制, 对保证零件的淬火质量十分重要^[2, 3]。

2) 通过将O形感应器更换为马蹄形感应器, 并与感应电源频率进行适配, 解决了齿部各位置温度不均匀的情况, 从而获得了较为均匀的淬火组织, 达到了产品要求。通过对中频感应淬火的转向齿条首次连续35件剖切检测, 各项指标均合格, 并且在100件、300件、500件小批量生产抽检时, 各项指

标均合格, 现该转向齿条使用中频感应淬火已实现批量生产。

3) 预备热处理的作用是得到细小、均匀的金相组织, 为后续感应淬火作准备。S45C钢的预备热处理主要有退火、正火和调质。退火后零件硬度过低, 不利于后续机械加工; 正火处理相对较为经济, 但在实际生产时, 发现正火处理后的零件经感应淬火, 淬火过渡区晶粒较为粗大; 生产实践表明, 调质作为预备热处理能有效保证S45C钢感应热处理后组织和淬硬层深的稳定性。

4) 在感应热处理过程中, 由于加热和冷却时间短, 因此零件心部未进行加热, 其强度足够支撑因表面热处理带来的变形, 可保证齿条的精度等级要求。

5 结束语

1) S45C材质双齿齿条经中频感应淬火后金相组织等级、淬硬层深、硬度等指标均满足产品要求。

2) 感应器形状、电源频率、功率、移动速度对热处理质量起决定性作用, 因此在制定工艺时应综合考虑。

参考文献:

- [1] 章守华, 吴承建. 钢铁材料学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
- [2] 陈金荣. 汽车转向器小齿轮热处理工艺改进[J]. 金属加工(热加工), 2013(9): 70-73.
- [3] 王琛孝. 厚壁管件局部中频感应透热淬火工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2023(11): 108-111.

MW 20241007