

# 齿轮齿根的淬硬层深度研究

王能为, 孙 艳

(攀枝花学院材料工程系, 攀枝花 617000)

**摘要** 研究了齿轮的整体高频淬火工艺, 通过不同的淬火时间 (12s、17s) 获得了不同的硬化层。采用显微硬度计测量了齿轮齿根不同厚度的硬度, 绘制了硬度变化规律曲线, 并根据经验公式分别测算得到了它们的淬硬层深度。采用扫描电镜 (SEM) 观察了齿根的淬硬层部分, 发现淬火时间不同时在硬化层处可获得不同的淬火组织。淬火时间为 12s 时组织为马氏体+铁素体+残余奥氏体; 淬火时间为 17s 时组织为马氏体+极少量针状铁素体+残余奥氏体, 后者组织更均匀、强度更高, 因此工艺更理想。

**关键词** 高频淬火 齿根 淬硬层深度 显微组织

**中图分类号:** TG 142.1

## Study on the Hardened Layer Depth of Tooth Root of Gear

WANG Nengwei, SUN Yan

(Department of Material Engineering, Panzhihua University, Panzhihua 617000)

**Abstract** The high-frequency quenching process of the whole gear is studied. Different hardened layer depths are obtained at different quenching time including 12s and 17s. Microhardness values that with the different depths of tooth root of gear are tested by microhardness tester and the curves of microhardness values are drawn, and then the hardened layer depths are estimated by empirical formula. On the other hand, microscopic structures of quench-hardened layers are observed by scanning electron microscope (SEM for short), different microscopic structure is found in hardened layers at different quenching time. For 12s, the structure is martensite, ferrite and residual austenite and for 17s it is martensite, an extremely small amount of acicular ferrite and residual austenite by contrast. The microscopic structure of the latter is more uniform, the intensity is much higher, so the process is desired.

**Key words** high-frequency quenching, tooth root of gear, hardened layer depth, microscopic structure

### 0 引言

齿轮是机械传动中最普遍、最常用的零件,起着传递动力、变速和改变运动方向等重要作用。为满足齿轮的各种技术要求<sup>[1-3]</sup>, 齿轮应具备高弯曲疲劳强度和齿面有高硬度及高耐磨性, 心部应具有足够的强度和韧性, 同时应具有良好的冷、热加工的工艺性等。为此, 齿轮在使用前往往要进行高频淬火处理。高频淬火又称为感应表面淬火, 当感应圈中通过一定频率交流电时, 在其内外将产生与电流变化频率相同的交变磁场, 图 1 为高频淬火装置示意图。高频淬火是利用电磁感应原理, 当导线中有交变电流流过时, 在导线内部将产生与电流方向相反的电动势, 导线中心较导线表面的磁链大, 在导线中心处产生的电动势就比在导线表面附近处产生的电动势大, 其作用的结果是, 电流在表面流动, 中心无电流, 从而在工件表面产生密度很高的感应电流, 并使之迅速加热至奥氏体状态。

齿轮高频淬火采用 2 种方式: 对于高负荷, 中小模数的圆柱齿轮、伞齿轮等采用整体高频淬火; 对于低负荷, 大中模数的斜齿轮、宽状齿轮等则往往采用单齿高频淬火。整体淬火的成本较低, 轮齿强度大, 淬火自由度也大, 并且有可

能使整个齿轮均匀硬化到齿根, 具有质量稳定、可靠的优点。

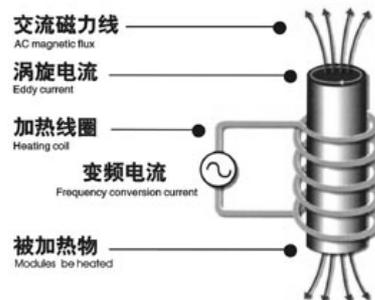


图 1 高频淬火装置示意图

Fig.1 Sketch map of the device for high-frequency quenching

由于齿轮本身耐磨性、抗冲击性的要求, 齿轮必须具有一定深度的淬硬层, 但是控制淬硬层的深度很难<sup>[4]</sup>。如果淬硬层太深容易引起崩齿, 且塑性和韧性不够, 如果淬硬层太浅, 齿轮的硬度和强度又不够。实际齿轮的淬硬层深度是指具体条件下测定的半马氏体区至工件表面的深度, 除了与钢的淬透性、齿轮尺寸及淬火介质的冷却能力等许多因素有关, 它还与齿轮表面各点的冷却速度有关。

### 1 试验

试验所采用的齿轮为小模数的圆柱齿轮，材质为 40Cr，其化学成分为 C 0.38，Si 0.25，Mn 0.65，Cr 92，S 0.016，P 0.020，其余合金元素微量。高频淬火在 GGC80-2 高频淬火炉中进行，整齿淬火，加热时间分别为 12s 和 17s，加热完毕，将齿轮快速置于水中充分冷却。然后用型号为 DK77 的线切割机分别从齿轮上切割下一齿（将齿根完整保留），采用金相砂纸将齿轮面打磨至光亮，然后在齿根处从边缘开始用铅笔配合直尺向中间划 3 条细线作为硬度标识线，硬度测试在 HV-1000 上进行，载荷为 100g，保载时间为 20s，硬度测试压痕情况见图 2 (a1=0.5mm, S=0.2mm)。为防止离边缘太近引起试样侧翻而影响硬度测试，选择离齿根靠外边缘 0.5mm 处为测试的第一个点，而后每隔 0.2mm 为一个点测试，直到硬度值基本稳定下来为止，共进行 3 次，取它们的平均值。硬度测试完毕，将试样直接用细砂纸打磨，抛光机抛光，用 4% 的硝酸酒精侵蚀出金相后观察试样，在 KQ2200DA 型数控超声波清洗仪中清洗，以除掉试样表面的油污、氧化物等杂质。最后放入扫描电镜（型号为 TESCAN VEGA II）内观察。

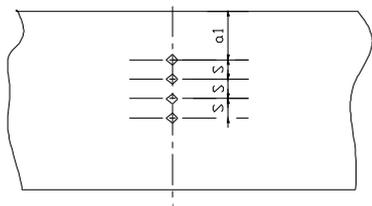


图 2 硬度压痕示意图

Fig.2 Sketch map of hardness depression

### 2 结果及分析

#### 2.1 淬硬层深度

将经过 12s 和 17s 高频淬火后的齿轮齿根的显微硬度及误差曲线绘制在一起，见图 3。从图 3 中可以看到，不同加热时间下显微硬度具有相似的变化规律：都是从硬度最大值缓慢下降，在某处急剧下降，而后趋向稳定。对应的 3 个区域分别为硬化层区，过渡区以及基体区。从硬度值的误差分析来看，除少数测量值误差偏大外，其它误差值均在正常范围。分别对它们的淬硬层厚度作一个测算，由文献[5]可知，40Cr 钢的半马氏体区硬度为 44HRC，换算成显微硬度是 HV423。由国标 GB/T9450-2005《钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核》可知，淬硬层深度用 CHD 表示，其表达式为：

$$CHD = d_1 + \frac{(d_2 - d_1)(\bar{H}_1 - H_s)}{\bar{H}_1 - \bar{H}_2} \quad (1)$$

式中： $d_1$  为小于硬化层深度； $d_2$  为大于硬化层深度； $H_s$  为规定的硬度值； $\bar{H}_1$  为  $d_1$  处的硬度测量值的算术平均值； $\bar{H}_2$  为  $d_2$  处的硬度测量值的算术平均值。淬火时间分别为 12s 和 17s 时的相关参数值见表 1。

表 1 不同淬火时间时的相关参数数值

Table 1 The relevant parameter values at different quenching time

时间 s	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$H_s$ /HV	$\bar{H}_1$ /HV	$\bar{H}_2$ /HV	CHD mm
12	1.9	2.1	660	423	329	2.0
17	2.3	2.5	519	423	255	2.4

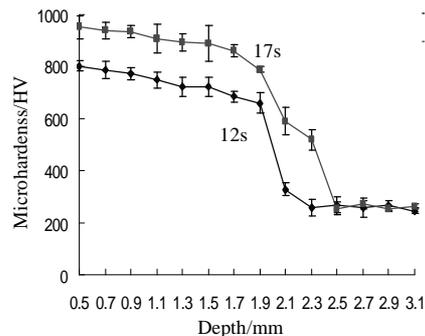


图 3 距边界 3.1mm 处的硬度曲线

Fig.3 Hardness curves away from boundary for 3.1mm

由此可见，经过 12s 或 17s 高频淬火其淬硬层厚度分别为 2.0mm 及 2.4mm。而厂方要求齿根的淬硬层深度控制在 1.5~2.8mm，从这一点看，经过 12s 或 17s 高频淬火均能达到所要求的淬硬层深度。

#### 2.2 显微组织分析

采用扫描电镜对淬硬层部分进行显微组织观察，结果见图 4。

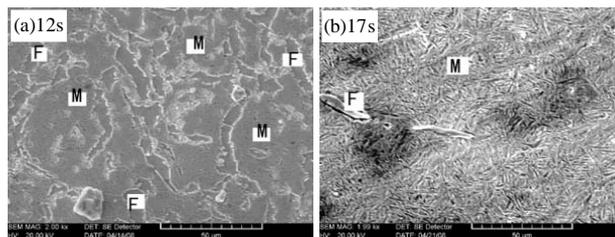


图 4 经过不同时间高频淬火后硬化层组织图的 SEM 图

Fig.4 SEM charts of hardened layer by high-frequency quenching at different time

由图 4 可知，经过 12s 高频淬火后显微组织主要由马氏体 (M) + 铁素体 (F) + 少量的呈薄片状残余奥氏体 (残 γ) 组成，其中硬化层中的铁素体显然不会是先共析铁素体的产物，因为齿轮在整体加热后水淬，冷却速度很快，铁素体的析出很快被抑制，唯一的可能是齿轮的这部分被快速加热到奥氏体 (γ) + 铁素体 (F) 的两相共存区，在以后的快速冷却中奥氏体 (γ) 很快转变成马氏体 (M) (当然还有少量的残余奥氏体)，而铁素体 (F) 却保留了下来，很显然是加热时间不够而得到了奥氏体 (γ) + 铁素体 (F) 混合组织。冷却到室温的组织中含有软韧相铁素体相，该相的存在会严重削弱齿轮面的抗摩擦磨损性能，因此不是理想的组织。而经过 17s 高频淬火后，硬化层组织主要由马氏体 (M) + 极少量的针状铁素体 (针 F) + 残余奥氏体 (残 γ) 组成，很

显然淬火前这部分组织已完全奥氏体化, 淬火后该混合组织已消除了软韧相铁素体相, 因此其硬度要比经过 12s 淬火后的硬度大, 这就解释了在硬度变化曲线上经过 17s 高频淬火后硬化层的硬度比经过 12s 高频淬火后硬化层的硬度高的原因。该组织经过低温回火后, 将得到抗摩擦磨损优良的回火马氏体。因此, 从组织均匀性及为保证齿根具有足够的强度及耐磨性方面考虑, 在频率相同的情况下淬火时间宜为 17s。

### 3 结论

(1) 对齿轮的整体高频淬火成本较低、轮齿强度高、淬火自由度也大, 并且整个齿轮都可以得到一定的硬化层深度。

(2) 分别对齿轮进行了 12s 和 17s 的高频淬火, 对齿根进行了显微硬度测试, 获得了较相似的硬度曲线, 其齿根

的淬硬层深度分别为 2.0mm 和 2.4mm。

(3) 经过 12s 高频淬火的齿根的淬硬层组织为马氏体 (M) + 铁素体 (F) + 少量的残余奥氏体 (残  $\gamma$ ), 而经过 17s 高频淬火的齿根的淬硬层则为马氏体 (M) + 极少量的针状铁素体 (针 F) + 残余奥氏体 (残  $\gamma$ )。经过 17s 高频淬火后组织均匀性好, 并能保证齿根具有足够的强度及耐磨性。

### 参考文献

- 1 傅代直. 钢的淬透性手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1973
- 2 周固棣. 齿轮的高频淬火处理[J]. 港口机械, 1996, 9:17
- 3 彭惠民, 译. 新的齿轮高频淬火方法[J]. 国外热处理, 1998, 11(2):30
- 4 王可勇. 金属热处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2005
- 5 热处理手册编委会. 热处理手册第 1 卷[M]. 第 2 版. 北京:机械工业出版社, 1991