

提高感应淬火齿轮的强度和裂纹控制

河北省衡水工业学校机电科 (衡水 053000) 郭向荣

感应淬火工艺成本低、效率高，为提高齿轮强度和表面的耐磨性，感应淬火成为常见的热处理方法之一。但如果感应淬火控制不当，反而会出现相反的效果，如齿轮淬火后出现裂纹，使用中出现打齿现象等。为解决这些问题，必须对感应淬火工艺过程进行有效控制。影响齿轮强度和裂纹的因素很多，如原材料、淬火液的选择与配比、工艺参数的选择等。为提高齿轮感应淬火工艺后的齿轮强度，减少齿轮淬火裂纹，我们对下面的齿轮进行试验。

齿轮参数为 $m=5$ 、 $\alpha=20^\circ$ 、 $Z=36$ ，材质为 40Cr。技术要求为：齿轮整体调质，齿部中频淬火表面硬度 50~55HRC，心部硬度为 33~46HRC，层深为 0.5~2.5cm。

齿轮形状如图 1 所示。

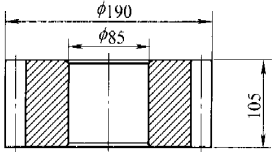


图 1

一、工艺试验

首先确定的工艺是：设备选用 300kW 的中频感应电源；采用某厂生产的水基淬火液；感应器能够连续加热喷淋淬火；预热 15s，工件向下行走，行走速度为 3mm/min，此时感应器内喷出的淬火液喷至工件上；感应器至工件上端面时，工件迅速下降 100mm，继续喷淋淬火液 3min，使工件充分冷却；加工完毕后进行回火，回火工艺曲线见图 2。最后经检测，结果如表 1 所示。

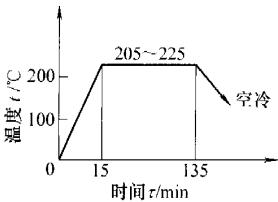


图 2

表 1

序号	表面硬度 HRC	心部硬度 HRC	有效硬化层深 (界限值为 40HRC) /mm
1	52~54	36	13
2	53~54	37	11
3	54~55	36	12
4	53~55	35	10
5	53~54	36	10
6	54~55	37	9
7	53~54	38	10
8	54~55	38	9
9	53~55	37	10
10	54~55	36	9

经回火后，工件表面硬度均达到技术要求的指标。此时我们对工件进行荧光磁粉探伤，发现 2 件有裂纹。

二、分析和检测

为查明裂纹产生的原因，我们对工件进行了多项的分析和检测。

1. 钢材化验 (见表 2)

表 2 化学成分 (质量分数) (%)

化学元素	C	Si	Mn	S	P	Cr
标准要求	0.37 ~0.45	0.17 ~0.37	0.50 ~0.80	≤0.035	≤0.035	0.80 ~1.1
实测结果	0.42	0.24	0.66	0.23	0.19	0.986

2. 金相分析

淬火裂纹附近呈较粗大的回火马氏体，相当于马氏体 2 级 (钢件感应淬火国家标准)，应为 3~7 级，马氏体级别不合格。

3. 金相观察

在金相显微镜下观察，裂纹从表面向里延伸，有较

多脆性夹杂物,同时裂纹两侧伴随着氧化夹杂物。

由此可得出以下结论:工件的原材料合格,但钢材内存在有不可避免的氧化夹杂物及其他杂质;工件在淬火时由于表面温度很高,淬火液迅速喷淋至齿的表面上,使工件的过冷度变的很大,而此时感应器仍在给上面的部分加热,工件的冷热非常不均,加热的部分金属在膨胀,淬火液喷到的部分金属在急剧收缩,造成晶格畸变,材料中的脆性夹杂物和氧化夹杂物首先发生断裂,并沿晶界向内延伸,从而造成裂纹。

后来,我们将工件喷淋淬火改为浸入式淬火,其工艺设备仍选用 300kW 中频感应电源,感应器整体加热,加热 20s,停止加热,工件整体迅速浸入淬火液中淬火。对 10 个工件再进行淬火试验,其检测结果如表 3 所示。

表 3

序号	表面硬度 HRC	心部硬度 HRC	有效硬化层深 (界限值为 40HRC) /mm
1	52 ~ 54	36	14
2	53 ~ 54	37	13
3	54 ~ 55	36	11
4	53 ~ 55	35	12
5	53 ~ 54	36	13
6	54 ~ 55	37	12
7	53 ~ 54	38	13
8	54 ~ 55	38	13
9	53 ~ 55	37	12
10	54 ~ 55	36	11

金相检验,呈回火马氏体 3 ~ 4 级,合格。

后经装机试验,在大负荷 齿根断裂位置

状态下,工件出现打齿现象,主要原因是强度不足。于是,我们首先查看因断裂而失效的齿轮情况(见图 3)。



图 3

从裂纹的位置和方向可清楚地看出,齿轮轮齿失效是因强度不足所造成,为此我们从以下两个方面来解决这个问题:

一是查看了齿部淬硬层情况(见图 4)。工件齿部通过金相分析,试块表

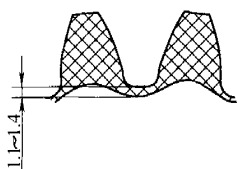


图 4

面抛光并腐蚀,淬硬层与非淬硬层间有明显的分界线,

黑色部分的组织是回火马氏体,其他部分是回火索氏体。齿根部有效硬化层为 1.1 ~ 1.4mm,层深较浅影响齿部的强度,所以我们决定调整硬化层深度要求,由原来的 0.5 ~ 2.5mm 调整至 1.5 ~ 3.0mm。

二是对淬硬层的硬度梯度进行了分析。其硬度梯度如图 5 所示。

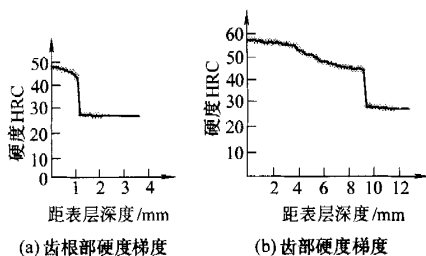


图 5

三、工艺改进

本硬度梯度是沿工件外,由外向里进行硬度测量得出的结果。由图 5 可清楚地看出,齿根部在 1.4mm 处、齿部在 10mm 处,硬度值急转而下,由 40 ~ 45HRC 迅速降到 26 ~ 30HRC。由此我们可以得出一个结论:硬度梯度值过急是造成齿强度弱的主要原因。硬度梯度值过急是由于工件在淬火时过冷度大造成的,减缓淬火时的冷却速度便能解决此问题。

于是我们决定将水基淬火液改为淬火油,并调整工艺为:工件整体加热并旋转,至淬火温度后,迅速浸入油中冷却淬火,冷却 60s 后将工件提出油面。经此工艺淬火后工件硬度和硬化层情况如表 4 所示。

表 4

序号	表面硬度 HRC	心部硬度 HRC	有效硬化层深 (界限值为 40HRC) /mm
1	53 ~ 54	42	23
2	53 ~ 54	43	24
3	54 ~ 54	44	25
4	54 ~ 55	43	24
5	53 ~ 54	43	24
6	54 ~ 55	44	23
7	54 ~ 54	43	25
8	54 ~ 55	42	24
9	53 ~ 54	43	23
10	54 ~ 55	44	23

