

# 17CrNiMo6 轴齿轮渗碳淬火热处理变形分析

尚可超, 杨 帅

(西安科技大学机械工程学院, 陕西西安 710054)

**摘要:** 17CrNiMo6轴齿轮渗碳淬火后的变形对齿轮的强度、精度和寿命等影响很大。通过试验, 研究了预处理工艺参数、工件装炉码放方式、渗碳预热、渗碳淬火工艺对轴齿轮变形的影响, 改进了热处理工艺, 从而有效地控制了轴齿轮热处理后的变形。

**关键词:** 轴齿轮; 热处理; 变形

轴齿轮一般的渗碳淬火工艺为渗碳+淬火+低温回火+齿面喷丸, 采用该热处理工艺生产后产品的主要问题是表面硬度低和产品变形, 此外还存在一些齿面黑皮和磨削裂纹。其中变形所占的比例较大, 因此对齿轮热处理变形问题的控制引起了广泛的注意。变形问题一直困扰着企业, 变形小的可以通过校直工序来消除或减轻, 但变形大的只能报废, 由变形引起的报废导致废品率居高不下, 解决变形已成为企业的重中之重。

轴齿轮原始相是由铁素体+少量珠光体组成, 铁素体量约占整个体积的80%。当加热至Ac1以上温度时, 珠光体转变为奥氏体, 当温度升高到900℃时, 铁素体全部转变为奥氏体。在920~940℃的温度区间内渗碳时, 零件表面奥氏体区碳浓度增加至0.6%~1.2%, 这部分碳浓度高的奥氏体冷至600~650℃才开始向珠光体、索氏体转变, 而心部区的低碳奥氏体在900℃即开始分解为铁素体, 冷至550℃左右转变完成。工件渗碳淬火时, 工件组织转变越不均匀, 淬火速度越快, 淬火应力就越大, 导致相变不均匀, 比容差大, 淬火变形严重。淬火变形还与钢的屈服强度有关, 塑性变形抗力越大, 变形的程度就小。此外, 由于大型齿轮轴模数大、渗层深, 渗碳时间较长, 再加上自重影响, 也会增加变形。

17CrNiMo6钢制造的轴齿轮在渗碳淬火后会产生严重的变形<sup>[1]</sup>, 变形严重会影响轴齿轮的加工精度和降低轴齿轮的抗疲劳能力, 从而使轴齿轮的寿命降低。生产中轴齿轮热处理变形虽无法完全避免, 但是可采取措施减少变形, 使变形维持在一个可接受的范围内。

本研究从轴齿轮热处理工艺流程、工艺参数及装炉方式等方面来分析轴齿轮热处理的变形规律, 并且提出了相关的控制措施使得工件热处理后变形减小, 为解决轴齿轮变形方面提供依据, 也提高了产品的质量。

## 1 试验

### 1.1 试验材料和设备

试验以17CrNiMo6轴齿轮<sup>[2-4]</sup>为研究对象, 热处理试验设备为多用炉和台车炉。

### 1.2 轴齿轮热处理方案

轴齿轮热处理工艺为正火+高温回火+渗碳+高温回火+淬火+低温回火<sup>[5]</sup>。通过分析, 初步确定影响对轴齿轮热处理变形影响最大的因素是预处理工艺参数、工件装炉码放方式、渗碳预热、渗碳淬火工艺流程。因此, 本研究拟根据这几个因

作者简介:

尚可超(1964-), 男, 副教授, 研究方向为机械工程材料及材料成形技术。  
电话: 13228042078,  
E-mail:418875570@qq.com

中图分类号: TG156

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)01-0074-04

收稿日期:

2019-08-26 收到初稿,  
2019-10-07 收到修订稿。

素<sup>[6]</sup>, 通过对比试验确定最优的热处理方案。

### 1.2.1 预处理工艺

试验主要采用两种不同的预处理工艺来进行比较, 试验在台车炉内进行, 具体工艺如表1所示。

### 1.2.2 工件码放方式

试验采取立装和吊装的方式来进行, 在保证相同的预处理、渗碳和淬火工艺下, 试验在多用炉中进行, 码放方式如表2所示。图1所示为工件的立装, 将图1中的工件倒置码放就是吊装。

### 1.2.3 渗碳预热工艺

传统渗碳工艺是渗碳前直接加热至渗碳温度。本试验在渗碳前加入预热工艺, 分析渗碳预热对变形的

影响<sup>[7-8]</sup>。表3为渗碳工艺和渗碳预热工艺<sup>[9]</sup>。

### 1.2.4 渗碳淬火工艺

该渗碳淬火工艺是渗碳淬火一次入炉, 渗碳结束后直接淬火。该工艺比常规工艺减少了高温回火, 并将渗碳淬火放在一起进行, 减少了一次加热的过程, 控制了变形量<sup>[10]</sup>。该工艺的重点是渗碳淬火, 由于轴齿轮是既有齿又有花键, 齿面要求渗碳后的高硬度和花键要求不渗碳的心部适中硬度和良好韧性, 所以在进行该工艺前, 要对花键部位采取防渗保护措施。试验采用对花键部位刷防渗涂料来保护花键防渗碳。表4所示为渗碳淬火的具体工艺参数。

表1 两种预处理工艺  
Table 1 Both pretreatment processes

编号	正火温度/℃	保温时间/h	冷却方式	回火温度/℃	保温时间/h	冷却方式
1	930	5	空冷	650	9	空冷
2	930	5	炉冷至500℃后空冷	加热至400℃, 保温2h, 再加热至650℃	9	炉冷至400℃后空冷

## 1.3 变形表征

轴齿轮热处理后的变形主要采取测量热处理前后轴齿轮的径跳和齿跳来表征。径跳采用百分表取轴齿轮的轴肩处测量; 齿跳检测采用齿轮跳动仪, 将跳动仪测头插入两轮齿之间, 与齿高中部接触, 转齿轮一圈测量。最后取测量3次的平均值作为最终结果。

## 2 试验结果分析

### 2.1 预处理工艺对变形的影响

表5所示为本试验最终产品的变形检测结果。从试验结果来看, 试验2的工艺优于试验1的工艺。与试验1相比, 试验2正火加热采取了预热, 并没有直接加热到930℃; 另外, 在冷却方式上, 试验2采取了随炉缓冷的方法, 减慢了冷却速度, 冷却速度较试验1缓和。预热和缓冷都降低了加热速度和降温速度, 不易产生热应力和热应力集中, 所以试验2的变形比试验1小得多。预处理还有一个作用就是均匀化组织。在高温作用下, 组织中的碳化物受热分解和扩散很充分, 碳化物不会集中在工件表层, 而是均匀分布于整个组织; 另外, 组织中的由于机加而产生的残余应力也会在高温下最大可能的释放, 消除了局部区域的应力集中, 为后续的渗碳及渗碳淬火工艺提供金相组织基础。

### 2.2 工件码放方式对变形的影响

该试验通过采用立装和吊装两种方式进行对比试验, 热处理工序和工艺参数完全相同。表6所示为本试验最终产品的变形检测结果。

从结果来看, 试验4的变形比试验3的要小, 即工

表2 工件码放方式

Table 2 Charging and placing mode of workpieces

编号	工件码放方式
3	立装
4	吊装



图1 工件立装

Fig. 1 Charging and placing of workpieces with the center of gravity downward

表3 渗碳工艺参数

Table 3 Parameters of carburizing process

编号	渗碳温度/℃	是否预热	预热温度/℃	保温时间/h
5	920	否		3
6	920	是	400	3

表4 渗碳淬火工艺

Table 4 Carburizing and quenching process parameters

编号	渗碳温度/℃	保温时间/h	淬火温度/℃	保温时间/h	冷却方式
7	920	16	840	1	油冷

件重心朝下码放优于工件重心朝上码放。这是因为工件重心朝上码放，在热处理时，由于自重的影响，会加剧形成应力，导致齿轮畸变变形。工件重心朝下码放，工件在热处理时受自重的影响就要小很多，也不会产生明显的自重诱导性应力和变形。

### 2.3 渗碳预热对变形的影响

试验5采用常规热处理工艺的渗碳加热模式，即直接快速加热到渗碳温度920℃，温度由多用炉自带Ipsen温控软件精密控制，工件入炉后从室温下加热到920℃的渗碳温度，随后保温。试验6在加热升温至920℃前，先预热，即先加热至400℃，保温3h，然后再加热升温至920℃渗碳，渗碳的工艺参数两者完全相同，后续的淬火+低温回火也均采用相同的工艺。表7所示为齿轮最终的变形测量结果。

从结果来看，渗碳前预热对控制变形是有利的。这是因为渗碳前预热缩小了升温的温度梯度，缩短了加热的时间，从而降低了热应力的产生。

### 2.4 渗碳淬火工艺对变形的影响

渗碳淬火工艺是将渗碳和淬火两种工艺放在一起进行，与常规工艺相比，减少一次中间高温回火过程，其他工艺与常规工艺完全相同，即正火+高温回火+(渗碳淬火)+低温回火。渗碳淬火温度为920℃，保温待渗碳至98%时降温至840℃，保温1h，然后淬火，淬火介质选择油淬，之后空冷。结果如表8所示。

最终产品的检测结果表明，渗碳淬火工艺的齿跳和径跳都在要求的范围之内，满足变形要求（要求：径跳 $\leq 0.3$  mm，齿跳 $\leq 0.25$  mm）。这主要是因为渗碳淬火工艺省去了原本安排在渗碳和淬火之间的一道高温回火工序，减少了一次加热和冷却过程，并将渗碳和淬火工艺放在一起进行，从原来的两次入炉变成了一次入炉，大大减少了因频繁加热和冷却导致的热应力，控制了热变形。

通过上述预处理工艺、工件装炉码放方式、渗碳预热、渗碳淬火工艺对变形影响的试验，改进了热处理工艺，有效控制了17CrNiMo6钢制造的轴齿轮在渗碳淬火后产生的严重变形，而且改进后的热处理工艺已在生产中得到了验证，并且应用于生产。

表5 预处理工艺对变形影响试验结果  
Table 5 The effect of pretreatment process on distortion/deformation

试验编号	径跳/mm	齿跳/mm
1	0.5~0.6	0.46~0.55
2	0.2~0.3	0.15~0.25

表6 码放方式对变形影响试验结果  
Table 6 The effect of different charging and placing modes on distortion/deformation

试验编号	径跳/mm	齿跳/mm
3	0.55~0.67	0.50~0.55
4	0.25~0.40	0.20~0.34

表7 渗碳预热对变形影响试验结果  
Table 7 The effect of carburizing preheating on distortion /deformation

试验编号	径跳/mm	齿跳/mm
5	0.58~0.69	0.51~0.57
6	0.31~0.47	0.23~0.36

表8 渗碳淬火工艺对变形影响试验结果  
Table 8 The effect of carburizing-quenching process on distortion /deformation

编号	径跳/mm	齿跳/mm
7	0.18~0.28	0.16~0.24

## 3 结论

(1) 与采用常规正火+高温回火的预处理工艺相比，正火930℃保温5h，然后随炉冷至500℃出炉后空冷+高温回火（加热到400℃保温2h，再加热到650℃保温9h，随炉冷至400℃出炉空冷）的预处理工艺有效地缩短了时间，控制了变形。

(2) 采用吊装的工件码放方式更有利于控制变形。

(3) 渗碳预热保证了组织转变的均匀性，有利于消除热应力，从而进一步控制了变形。

(4) 渗碳淬火工艺与常规热处理相比少了高温回火的过程，减少了时间，同时成本降低，提高了生产率，即将渗碳和淬火放在一起能更有效地控制变形。

**参考文献:**

- [1] 梁寒凌. 探究齿轮热处理变形控制 [J]. 世界有色金属, 2018 (14): 246-247.
- [2] 宋庭锋. 矿用设备齿轮箱齿轮材料的选取 [J]. 煤矿机械, 2011, 32 (7): 104-105.
- [3] 李海兰, 黄景福, 王鹏华, 等. 进口矿用齿轮轴的国产化 [J]. 铸造, 2018, 67 (4): 362-365.
- [4] 聂继红, 马建军. 煤矿机械重载齿轮材料的研究 [J]. 煤矿机械, 1996 (3): 9-12.
- [5] 刘国虎, 陈羿. 渗碳齿轮的热处理分析 [J]. 新技术新工艺, 2016 (1): 98-100.
- [6] 陈正国, 郝丰林. 影响齿轮热处理变形的几个重要因素 [J]. 金属加工 (热加工), 2017 (9): 50-52.
- [7] 陈强, 吴刚, 刘聪敏. 大型渗碳淬火齿轮热处理变形的控制 [J]. 机车车辆工艺, 2012 (5): 15-17, 27.
- [8] 史天振, 吴思良. 齿轮热处理变形及预防 [J]. 金属加工 (热加工), 2010 (17): 12-13.
- [9] 孟旭丽. 齿轮的渗碳预备热处理工艺和性能研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [10] 雷声. 齿轮热处理变形的控制 [J]. 机械工程师, 2008 (5): 74-76.

---

## Analysis of Deformation in Carburizing and Quenching Heat Treatment of 17CrNiMo6 Shaft Gear

SHANG Ke-chao, YANG Shuai

( School of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:**

The deformation of shaft gears made of 17CrNiMo6 steel caused by the carburizing and quenching heat treatment significantly affects on the strength, dimensional accuracy and life of gears. In the study, the investigation of deformation caused by the heat treatment of 17CrNiMo6 shaft gears was carried out. The influences of pretreatment process parameters, workpiece charging and placing mode in the heat treatment furnace, carburizing preheating and carburizing-quenching process on the deformation of shaft gears were analyzed through experiments so that optimal heat treatment process was determined. Experimental results show that the deformation of shaft gears made of 17CrNiMo6 steel in the heat treatment could be effectively controlled by using the improved heat treatment.

**Key words:**

shaft gear; heat treatment; deformation

---