

· 其它 ·

## 如何选用淬火油控制渗碳齿轮变形

王培忠<sup>1</sup>, 左永平<sup>2</sup>, 孙清汝<sup>2</sup>

(1. 山东泰工齿轮有限责任公司, 山东 泰安 271000; 2. 南京科润工业介质有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘要:**介绍了淬火油的基本冷却特性, 针对小模数齿轮渗碳淬火提出了油品选择的建议。以半轴齿轮为例, 采用不同冷却性能的油品进行试验, 证明通过油品调整可以有效控制变形。

**关键词:** 淬火油; 冷却特性; 半轴齿轮; 变形; 内花键

**中图分类号:** TG156.8<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4971(2011)01-0050-05

## How to Choose Quenching Oil in Order to Controlling Deformation of Carburizing Gear

WABG Pei-zhong<sup>1</sup>, ZUO Yong-ping<sup>2</sup>, SUN Qing-ru<sup>2</sup>

(1. Taian Implement Plant of Shandong, Taian Shandong 271000, China;

2. Nanjing Kerun Lubricants Co., Ltd, Nanjing Jiangsu 211100, China)

**Abstract:** The basic cooling characteristics of quenching oil is introduced, Some suggestion about how to choose quenching oil for small module gear is provided. As an example of the semiaxle gear, the deformation of carburizing gear can be effectively controlled by adjustment deformation, through using oils with different cooling characteristics.

**Key words:** quenching oil; cooling characteristics; semiaxle gear; deformation; internal spline

控制齿轮热处理的变形一直是困扰热处理工作者的难题, 如原材料、锻造工艺、预处理、机加工、热处理设备、工装、热处理工艺、淬火冷却方式等都是决定淬火变形的因素, 它是一个系统性的畸变工程, 有专家称其为世界性的难题。其实就是如何有效控制齿轮“均匀性”的问题, 如原材料淬透性带、锻造流线对称性、原始组织均匀性、加热及冷却均匀性等。本文从淬火冷却的角度出发, 就如何控制齿轮淬火变形提供参考的方法。

变截面渗碳齿轮的淬火变形问题, 相对于对称结构的齿轮来说, 这种复杂结构引起的变形更为突出。如半轴齿轮内花键喇叭口、后桥从动齿轮平面度变形、多联齿轮的变形问题等。由于结构复杂, 在

加热及冷却过程中组织转变的“不同时性”更为突出, 导致更为复杂的应力分布。其中选择合适的淬火冷却方式, 对于控制变形尤为关键。

目前国内渗碳淬火齿轮绝大多数采用淬火油进行淬火冷却, 相对于气淬和盐浴, 油淬的变形大, 同时规律性很差, 导致产品的控制难度较大。因此, 控制渗碳齿轮的淬火变形需要充分了解油品的冷却性能, 实现精确控制淬火冷却。

### 1 淬火油的基本冷却特性

油在淬火过程中存在物态变化, 通常其冷却过程可分为三个阶段: 蒸汽膜冷却阶段、沸腾冷却阶段、对流冷却阶段。

收稿日期: 2010-11-15

作者简介: 王培忠(1959-), 男, 本科, 高级工程师, 从事齿轮热处理技术工作。

联系电话: 15966000859; E-mail: zuoyongping@njkerun.com

当红热的工件浸入油中,工件表面的淬火油迅速气化,并立即在工件表面形成一层蒸汽膜,工件的热量主要通过蒸汽膜的辐射和传导来传递,此时工件冷却速度缓慢,直到工件表面所提供的热量不足以维持蒸汽膜所需要的热量时,蒸汽膜破裂,开始进入沸腾冷却阶段。蒸汽膜阶段向沸腾阶段转变的温度,称为淬火油的特性温度。

进入沸腾冷却阶段后,工件直接与淬火油接触,淬火油在工件表面产生强烈沸腾,工件的热量被油气化吸收,散热速度加快,冷却速度达到最大值。工件表面的温度迅速降低,当工件表面温度低于油的沸点时,开始进入对流冷却阶段。对流冷却阶段主要通过传对的方式进行,该阶段冷却速度明显下降。

淬火油的冷却特性曲线如图1所示,淬火油的特性温度对应的点通常称为A点,最大冷速对应的点称为B点,沸腾冷却阶段与对流冷却阶段的转变点通常称为C点,这三个点通常是我们解读淬火油冷却性能的基本依据。

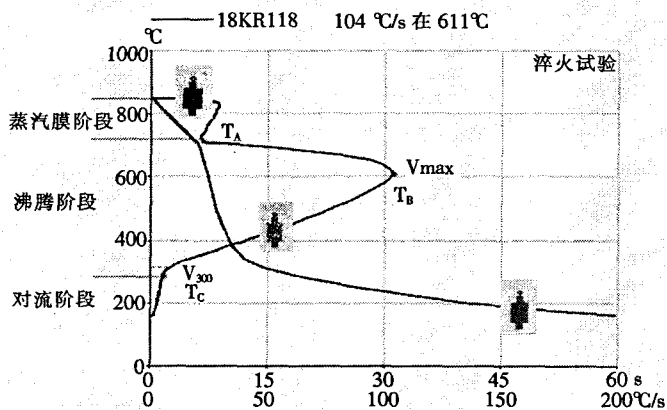


图1 淬火介质冷却特性曲线

Fig.1 Cooling curve of quenching medium

存在物态变化的介质在蒸汽膜到沸腾阶段的转变过程中都存在很大的“不确定性”,即使是在相同的条件下,破膜的时间、位置具有相当大的随机性。正是淬火油这种破膜的“不确定性”导致淬火冷却的不均匀性,这是使得齿轮淬火变形可控制性变差的重要原因之一。

## 2 齿轮渗碳淬火的油品选择方法

重载齿轮和小模齿轮的淬火变形机理完全不

同,重载齿轮主要是热胀冷缩和组织转变相互作用的结果,通过淬火油难以从根本上解决。小模齿轮的淬火变形相对来说更复杂一些,根据形状、大小、尺寸,其变形的特点差别很大,但是通过淬火油冷却性能的优化可以较好地控制淬火变形。

简单地讲,油品选择的基本原则是:在保证有效硬化层的前提下,尽量降低淬火应力,以减小变形及开裂的风险。但并不是说油品冷速越慢,齿轮变形就越小,而是要根据齿轮的形状、大小选择冷却性能分布合理的淬火油,以协调淬火过程的热应力和组织应力。

在正常情况下,小模数齿轮齿形热处理后较热处理前齿顶下垂现象,即压力角增大;齿向热处理后较热处理前有变直的趋势,即螺旋角减小的现象<sup>[1]</sup>。对于变截面齿轮,如半轴齿轮、后桥从动齿轮,变形就复杂多了,主要表现为花键喇叭口、平面度差(翘曲)等。其实从淬火介质的角度看,引起齿轮淬火变形的原因,可主要归结为淬火冷却不均匀和冷却速度不合适。

齿形齿向的变形是主要由齿轮自身的结构因素造成,由于形状复杂、壁厚不均,在同一冷却条件下轮齿各部位的温度很难一致。轮齿的不同部位存在加热和冷却的不同性;若采用淬火油同时存在冷却的“不确定性”,加剧了冷却的不均匀性;批量生产中,由于工装、夹具及工件之间的影响,淬火冷却更不可能保证均匀一致。从上述角度来看,齿形齿向的变形是不可避免的。

若齿形齿向变形有规律,掌握并能够将其变形控制在较小的范围之内,使其有重复性、稳定性,那么通过冷热加工工艺配合,是可以满足齿轮的技术质量要求的。但是由于淬火油的这种“不确定性”(暂不考虑其它因素影响),使产品变形的散差较大(非正态分布),产生部分产品变形超差以致报废。对于齿形齿向的变形,在保证有效硬化层的前提下,应该选用特性温度高,粘度尽量大的油品。采用等温分级淬火油对于控制这种类型的变形很有效,若同时辅助以较强烈的搅拌,可有效抑制这种“不确定性”,使其变形能够得到有效控制。

变截面齿轮除了具有对称结构齿轮的变形问题,它还具有其独特的变形特点,如内花键喇叭口、平面度差(翘曲)等。几种典型的变截面齿轮如图2所示。变形主要是由于截面上有效厚度不均,淬火时淬硬层分布不均匀,使其淬火应力不能得到平衡,

在局部产生较大的塑性变形。这种小模数的变截面齿轮变形,从本质上讲主要是组织应力主导的应力变形,解决此类变形要求油品具有以下两个特点:

一、较高的特性温度和高温冷速,保证均匀一致的淬硬层,同时增加淬火时的热应力;二、较低的低温冷速,降低组织转变时的组织应力。

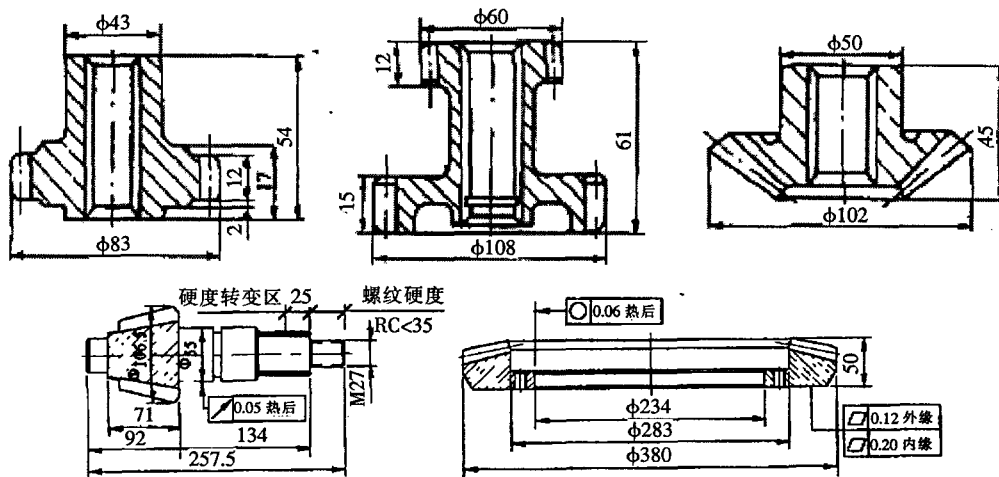


图 2 几种典型的变截面齿轮<sup>[2,3]</sup>

Fig. 2 Several typical variable cross-section gear<sup>[2,3]</sup>

根据笔者相关技术经验,建议渗碳齿轮选用的淬火油需要具备以下基本性能:

(1) 具有较好的破膜能力,以改善淬火冷却的均匀性(即较高的特性温度);(2) 足够的冷却能力,以保证有效硬化层的要求;(3) 较低的低温冷速,减小组织应力;(4) 科学合理的冷却分布,有效地控制淬火工件的应力分布。

### 3 半轴齿内花键的变形控制试验

对于变截面齿轮的内花键或内孔变形,一直是个棘手的问题,主要表现为壁薄的一端缩孔较多,壁厚的一端缩孔较少,形成“喇叭口”问题。通过防渗、胀孔、穿芯轴等方式可以有效解决,但成本高、生产效率低,现代化大生产的企业很少能接受。

以半轴精锻齿轮为例,采用不同油品进行试生产,如图 3 所示。半轴精锻齿轮材料为 20CrMnTi,采用多用炉生产线,单侧搅拌,装炉量 300 kg 左右。半轴齿轮技术要求:渗层要求 0.5 ~ 1 mm,表面硬度要求 58 ~ 62 HRC,内花键锥度 0.06 mm(喇叭口,合格率  $\geq 95\%$ )。原来采用某等温分级淬火油,使用油温 110 °C,因变形大更换南京科润公司的齿轮专用淬火油 KR228C 和 KR468C(1#炉用 KR468C,2#炉用 KR228C)。

原渗碳工艺为 910 °C 强渗 150 min(碳势 1.05), 910 °C 扩散 50 min(碳势 0.95), 810 °C 保温 30 min 油淬。更换新油后保持原工艺不变, KR228C 使用油温 70 °C, KR468C 使用油温 100 °C。

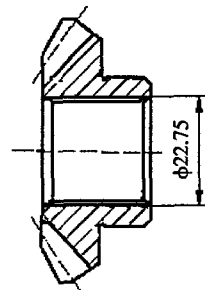
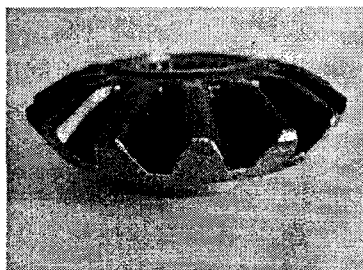


图 3 某厂家半轴精锻齿轮

Fig. 3 Precision forging samiaxle gear of a manufacturer

原使用等温分级淬火油与 KR228C 冷却性能对比如图 4 所示,可看出 KR228C 的特性温度和最大冷速比原淬火油要高很多,意味着 KR228C 的中高温冷却能力要强,工件的淬硬层相对要深。但 KR228C 的低温冷速要比原淬火油快,淬火冷却过程中组织应力相对会大一些。

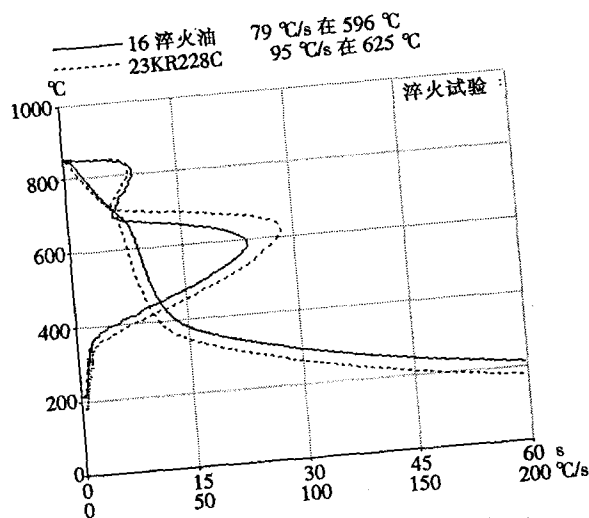


图 4 KR228C 与原淬火油冷却特性对比  
Fig. 4 Cooling characteristic of KR228C and original quench oil

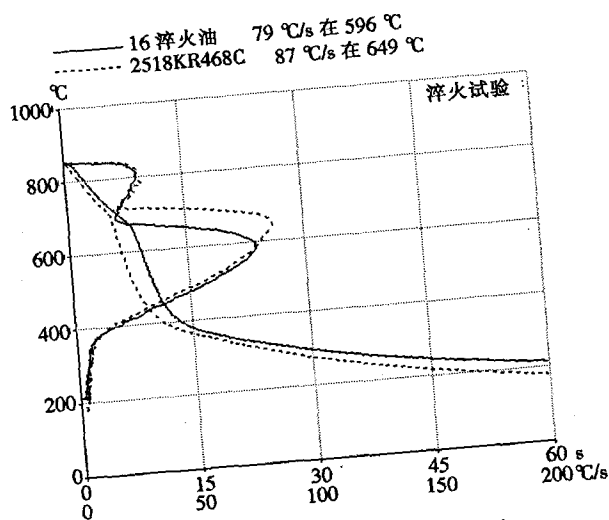


图 5 KR468C 与原淬火油冷却特性对比  
Fig. 5 Cooling characteristics of KR468C and original quench oil

原使用等温分级淬火油与 KR468C 冷却性能对比如图 5 所示,可以看出 KR468C 的特性温度和最大冷速比原淬火油要高,但比 KR228C 要低一点。KR468C 的低温冷速与原淬火油非常接近,但中高温冷速快,淬硬层比原淬火油深。

每组试验产品在料筐的不同部位各放 10 个样

品,分别测量热前、热后的大端和小端的尺寸,然后算出大端和小端各自的收缩量,最后得出最终的锥度变形,试验状况如表 1、图 6 所示。

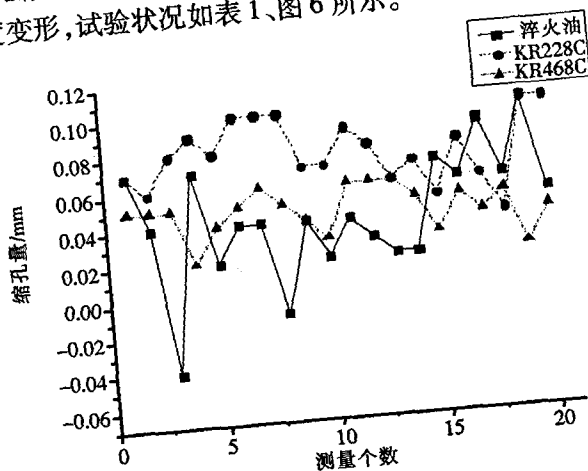


图 6 不同油品内花键变形对比  
Fig. 6 Comparison of internal spline deformation for different oil

表 1 内花键变形状况统计  
Table 1 Statistical survey of internal spline deformation

淬火油	原使用淬火油	KR228C	KR468C
最大值	0.10	0.10	0.06
最小值	-0.04	0.04	0.02
平均值	0.0415	0.0775	0.045

从表 1、图 6 可以发现,原等温分级淬火油的变形散差较大,导致报废率偏高;虽然 KR228C 变形偏大,但变形的规律性较好,可通过冷热加工配合进行修正;KR468C 的使用效果最好,既具有较小的变形,同时变形的散差也很小,能够有效的满足原产品的变形要求。

通过上述对比分析,可以得出如下结论:变截面齿轮的内花键“喇叭口”变形,通常是由于淬火油高温冷却能力不足,使大端的淬硬层不足,导致淬火应力分布不均,或者说是油的蒸气膜阶段过长的缘故。提高油的高温冷速并适当控制低温冷速,一般就能有效解决内花键孔的变形问题。

以上只是针对半轴齿轮的变形特点,进行淬火油选型的技术分析,不同类型齿轮其变形的机理可能完全不同,在此只是起到抛砖引玉的作用,提供一个淬火油选型的方法。总之,在淬火油选型时,应根据齿轮的材料、形状、尺寸和技术要求并结合工艺条件,从油的冷却速度特性分布去进行选择,以协调淬火应力分布,最好能与淬火介质厂家的有关技术人员多进行沟通,按照产品的要求进行量体裁衣,

齿轮淬火变形能够控制在较小的范围内。

术要求,量身定做最合适的淬火油。

#### 4 小结

本文介绍了淬火油的基本冷却特性,针对小模数齿轮渗碳淬火提出了淬火油选择的建议。并以半轴齿轮为例,提供了选择淬火油的基本思路,但是不同类型齿轮所需要的冷却特性分布要有所区别。根据我公司生产经验,建议齿轮热处理工作者加强同淬火介质厂家技术工程师的沟通,根据工况、产品技

#### 参 考 文 献

- [1] 雷晓寰. 浅谈齿轮齿形齿向热处理变形[J]. 工场技术, 2000:71-72.
- [2] 孙抗美. 影响齿轮热处理变形的主要因素[J]. 机械设计与制造工程, 1999, 3(28): 58-59.
- [3] 张红霞等. 汽车后桥齿轮热处理缺陷分析及预防措施[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2000, 3(14): 55-60.

(上接第 49 页)

表 2 可控气氛渗氮炉实测状况与传统渗氮设备的对比

Table 2 Comparison of actual situation of controlled atmosphere nitriding furnace conditions and conventional nitriding equipment

项目	可控气氛渗氮炉	传统的渗氮炉	对比说明
炉温均匀度	(500~570℃) ≤ ±3℃	(500~570℃) ≤ ±5℃	实测方法完全符合实际工艺运行状态
炉温稳定度	到温后 1 h 内测得 ≤ ±1℃	热稳定态测量 C 级炉为 ±1℃	达到国标 C 级炉要求
氮势稳定度	当 Kn < 1.5 时, ≤ ±0.15 当 Kn > 3.0 时, ≤ ±0.45	未明确要求	满足渗氮工件质量要求, 实现精密控制
炉衬材料	全陶瓷纤维	纤维 + 耐火砖	优于, 降低储热率, 节能
表面温升	炉体 < 40℃ 炉盖 < 50℃	≤ 50℃ ≤ 65℃	优于, 降低能耗
控温方式	主控 + 联控 + 监控	主控 + 监控	优于, 提高控制精度和运行可靠性
气体供应	质量流量控制器	电磁阀位式调节或手动	优于, 提高控制精度
控制器	一体化集成控制器	温度、氮势分立式仪表	优于, 提高控制精度和运行可靠性
控制器精度	0.25 级	无此要求	实现自动化控制
计算机渗氮专家系统	工艺仿真设计 在线动态控制	无此要求	实现渗氮工艺计算机设计 实现工件渗氮层深自动精确控制
氮势或氨分解率	可控	不可控	
渗氮深度控制	可控	不可控	
白亮层	可控 5~20 μm	不可控	
氮化物	可控 ≤ 2 级	不可控	国标为重要件 ≤ 3 级
疏松度	可控 ≤ 2 级	不可控	国标为重要件 ≤ 3 级
脆性	可控 ≤ 2 级	不可控	国标为重要件 ≤ 3 级
工艺气体用量	小	大	比不可控的要节约 40% 以上
安全性	好	差	
环保性	好	差	

#### 8 结语

传统的渗氮技术和设备, 不能满足渗氮工艺的精密控制; 过去对渗氮要求高的产品, 只能选择购买国外的精密控制渗氮设备, 而通过引进的设备价格很高, 维修也不方便, 相应的成本也高。天龙公司为满足国内控制精度高、自动化程度高、具有良好性价比的气氛精密控制渗氮设备的需求, 通过引进技术和合作开发等方式, 进行大量的试验研究, 成功地开发了可控气氛井式、箱式、罩式等多种精密控制的渗氮设备; 经过多家用户多年的生产实践证明, 这种可控气氛精密控制渗氮设备实现了氮势的精密控制和

工艺过程的在线动态控制, 确保了渗氮件的高品质和重现性; 受到了市场的重视和欢迎。

#### 参 考 文 献

- [1] 热处理手册编委会. 热处理手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008. 1.
- [2] 夏立芳, 高彩桥. 钢的渗氮[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [3] 席守谋. 激光热处理及可控渗氮[J]. 西安: 西北工业大学, 2002. 7.