

20Cr2Ni4A 钢内花键套热处理畸变分析

刘金武,高为国,倪小丹,贺永祥(湖南工程学院 机械电子工程系,湖南 湘潭 411101)

摘要:影响内花键套制造精度的主要因素是热处理工艺、加工工艺及制造工艺顺序等。研究分析表明,在零件加工和热处理过程中采用加空心芯轴,可使工艺精度比设计精度提高一级;淬火时用空冷代替油冷以及使工件在各阶段加热过程中尽量架空等措施,有利于减少内花键套应力和畸变,达到控制精度的目的。

关键词:内花键套;热处理;畸变;精度控制

中图分类号: TG135 文献标识码: A 文章编号: 0254-6051(2004)07-0075-04

Analysis of Distortion During Heat Treatment of Inner Splined Sleeve Made of Steel 20Cr2Ni4A

LIU Jin-wu, GAO Wei-guo, NI Xiao-dan, HE Yong-xiang

(Dept. of Mechanical Engineering, Hu'nan Institute of Engineering, Xiangtan Hu'nan 411101, China)

Abstract: The main factors affecting the process tolerance of inner splined sleeve are heat treatment, cutting process, and the arrangement of final machining process etc. The results showed that the following process techniques adopted including applying a muff mandrel to the cutting process and heat treatment, increasing process precision one grade higher than design requirements, by air quenching replacing oil cooling and by suspending parts during all heat process and so on, can decrease the stress and the distortion of inner splined sleeve, and get the precision control.

Key words: inner splined sleeve; heat treatment; distortion; precision controlling

1 引言

150t 载重自卸车电机轴和工作轴采用内花键套连接,内花键套实际上已成为一种高速重载刚性联轴器。在生产该花键套时,由于内花键槽最后的精加工困难,使得内花键套的精度无法保证,严重影响产品性能。通过对材料的热处理工艺性能和热过程中的热应力分析研究,针对内花键套的结构、材料和热处理特点,制订了先精加工后热处理的生产工艺,解决了难加工零件的精加工和热处理工序的矛盾,保证了零件的质量。

2 内花键套的技术要求及其与热处理畸变的关系

内花键套是在套筒的基础上加工出 12 个内键槽并加设减磨油孔、油槽及工艺倒角,其结构见图 1,尺寸公差和形位公差见表 1。由表 1 可知,内花键套的精度控制重点是内孔和内花键。为了保证内孔的精度,外圆也相应具有较高的精度要求。内花键套在传递较大的扭矩的同时,还要承受强烈的冲击和振动,键槽壁还会存在摩擦和磨损以及较高温度和速度的考验。其服役条件要求材料具有高的强度和冲击韧性、较高的表面硬度和一定的热硬性和热强度。为了满足零件

的使用要求和热处理工艺性能要求,其制造材料选择 20Cr2Ni4A 优质合金渗碳钢,其化学成分和热处理后的力学性能见表 2。热处理工艺^[6]为 900℃~950℃渗碳、880℃油淬(渗碳后预冷淬火);780℃油淬(第二次淬火);200℃回火空冷,采用两次淬火有利于淬透和细化晶粒。

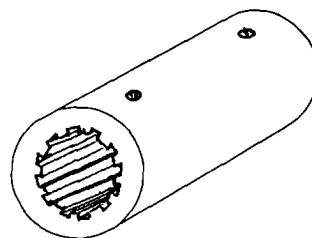


图 1 内花键套简图

Fig. 1 The scheme of inner splined sleeve

表 1 内花键套主要尺寸及精度要求(mm)

Table 1 The main dimensions and precision specifications of inner splined sleeve(mm)

长度公差	514 ^{+0.2} _{-0.2}	外径公差	φ235 ^{0.0} _{-0.046}	内径公差	φ215 ^{+0.06} _{0.0}
键宽公差	30 ^{+0.13} _{+0.07}	键深公差	10 ^{+0.01} _{-0.01}	内孔圆 柱度	0.05
内外圆 同轴度	0.03	键侧平 面度	0.02	内花键综 合公差	-0.014
键侧平行度	0.02	键侧综合 公差	0.0	键槽位 置度	0.015 度

零件的热处理畸变与其热处理前的精度、对称度和刚度有直接关系^[1],精度越高,对称度越高^[2],热处理畸变越小。通常对称度高的零件在加热和冷却的过程以及组织转变的过程中,热传递和组织转变对称度

作者简介:刘金武(1963—),男,湖南安乡人,副教授,硕士,主要从事金属材料成型工程及自动化研究。联系电话:0732-8688658,13037321658;E-mail:xtljw@sohu.com

基金项目:湖南省教育厅自然科学基金(02C169)

收稿日期:2003-10-08

表2 20Cr2Ni4A 钢化学成分(质量分数,%)和力学性能

Table 2 The chemical composition (wt%) and the mechanical properties of steel 20Cr2Ni4A

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_b (%)	ψ (%)	α_K /J·cm ⁻²
0.170~0.230	0.300~0.600	0.170~0.370	1.250~1.650	3.250~3.750	<0.035	<0.030	1080	1175	10	45	80

高,产生的热应力和组织应力分布对称度也高,所导致的畸变也小;另一面对称度高的结构抵抗内应力畸变的能力也强。在热处理过程中的畸变与很多因素有关^[3],影响零件的加工精度,一般通过热处理后的精加工来消除畸变,提高精度。内花键套需要进行多种热处理操作才能保证性能要求。每一次操作都会因热过程的不均匀性而产生内应力,多次内应力的积累、联系和相互影响会导致畸变和内应力的重新分布。内应力的分布及其变化过程目前很难用数学模型描述,但其基本规律可以用热应力理论^[4]和塑性力学理论分析^[1]。当零件的主应力超过弹性极限时,材料就会产生塑性变形,塑性变形后内应力的分布就会改变。

3 影响畸变的因素与精度控制原则

3.1 影响工艺畸变的客观因素

根据热应力、材料力学、金属学和热处理、塑性加工等理论分析,影响畸变的因素有内应力和零件刚性两个主要方面。而这两个方面的因素又是零件设计与制造过程中的各种客观因素共同作用的结果。畸变与各种客观因素之间的树状关系见图2。由图2可知,内应力决定于压力加工、机械加工、热过程和组织变化。其中热过程是指有热量交换的各种环节,主要包括各种热处理、压力加工和机械加工切削时的热过程。组织变化主要包括再结晶时的晶粒和结构重组、热处理时相结构的改变和冷处理时的结构改变。

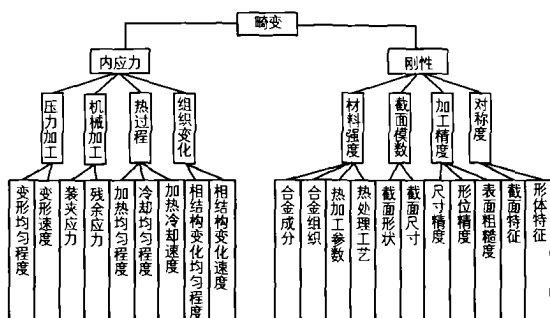


图2 畸变及其影响因素的树状关系

Fig. 2 The relations between distortion and its effect factors

3.2 减少工件内应力的工艺原则

根据影响内应力的基本客观因素及其影响规律总结出以下几方面减少内应力的工艺原则,遵循这些原则有利于减少内应力,从而减少畸变。①改进加热和冷却工艺,尽量保证在热过程中加热和冷却速度缓慢,工件表面温度及其变化率均匀。②改进加热和冷却工

艺,尽量减少工件的内外温度梯度。③减少热过程的次数。④改进锻造工艺,保证锻造加工时工件各表面塑性变形量和变形速度均匀。⑤改进装夹和切削工艺,减少夹紧力和切削力。

3.3 提高工件刚性的工艺原则

依据工件刚性的影响因素及其规律,总结出以下几方面提高工件刚性的工艺原则,遵循这些原则可以提高工件的刚性,减少变形。①粗加工和半精加工阶段采用芯轴装夹。②精加工采用高精度芯轴装夹。③渗碳及其后续热处理工艺改为空心芯轴提高刚度。④提高工件关键表面的加工精度。

4 传统制造工艺分析

4.1 性能保证工艺分析

薄壁花键套的传统制造工艺为^[5]:锻造—等温退火—粗加工—半精加工—渗碳、一次淬火、深冷处理、低温回火—精磨—热套装配,热处理工艺和保证零件装配工艺设计是合理的,其热处理工艺见图3。等温退火有利于减少锻造内应力,为后续的热处理和加工做组织和性能上的准备。渗碳淬火和低温回火有利于获得稳定的零件所需的表面硬度和心部强韧性指标,深冷处理有利于残留奥氏体的转化从而获得稳定的组织和性能。

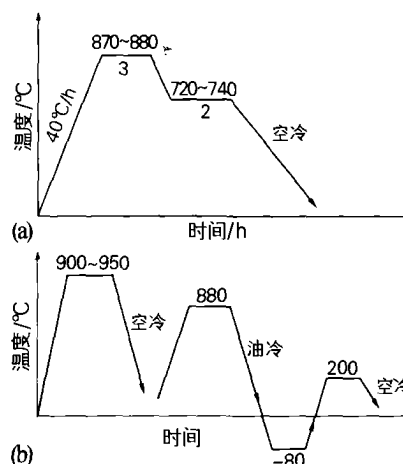


图3 花键套退火(a)和最终热处理(b)工艺曲线

Fig. 3 The process curves of annealing

(a) and final heat treatment (b) for inner splined sleeve

4.2 精度控制工艺分析

在零件整个制造工艺中,零件至少要经历7次热过程(包括锻造和机加工),热应力和热变形复杂。只是在粗加工、半精加工、渗碳、一次淬火、深冷处理阶

段,采取了芯轴装夹和带芯轴热处理的提高工件刚性的工艺,由于加芯轴对于减少变形作用有限,难于有效控制零件在热过程中的变形。

低温回火后的精磨加工工序由于受条件限制,只能精磨内外圆面,而不能磨削花键槽。内外圆面的热过程变形可以通过精磨消除,而花键槽的变形却得不到修正,这将成为花键套制造的工艺瓶颈。由于内花键槽的变形未能有效控制,花键套的装配和使用性能变差。主要体现在必须采用热装配以克服装配精度不足,工作过程中受力不均匀导致局部磨损严重,影响零件寿命和产品的性能等。零件的设计寿命为3年,而实际寿命为2~3个月。

5 花键套制造工艺的改进

花键套的制造工艺在现有加工技术条件的基础上,在保证力学性能的前提下,改进机械加工和热处理工艺以达到精度方面的要求。主要改进目标是在最终热处理之前进行精加工,取消最终热处理后的精磨加工。内花键套的制造工艺为锻造—完全退火—粗加工—半精加工—精加工—渗碳、高温回火、空冷淬火、低温回火—装配。

5.1 调整热处理工艺

为了减少内应力和畸变,采用了另一套热处理工艺方案。其中最终热处理的工艺曲线如图4所示,与传统工艺比较,取消了深冷处理工序,有利于减少内应力;采用空冷工艺,降低了淬火冷却速度,减少了淬火应力^[6,7]。而且新工艺采用空心芯轴,结构如图5c所示,代替实心芯轴提高刚性,有利于工件在热处理时内部和表面的温度梯度减少和变化一致,从而减少内应

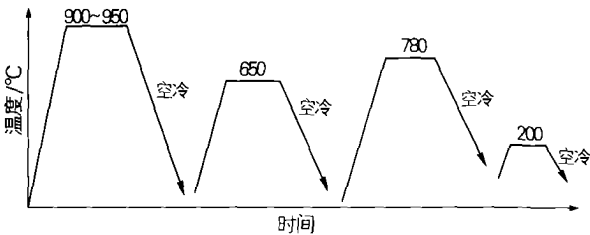


图4 花键套最终热处理(空冷淬火)工艺曲线

Fig. 4 The curve of the final heat treatment for inner splined sleeve(air quenching)

力。热处理的操作要体现工件与环境热交换的均匀性,工件周围环境的温度及其变化要一致。为此,工件在炉内或空气中应架空一定高度,吊装点应设在芯轴上部。

5.2 调整机械加工工艺

传统工艺中机械加工与热处理是穿插进行的,而新工艺将机械加工置于最终热处理工艺之前。从工艺路线来看,新工艺中热处理畸变无法修正。由于传统工艺中的精磨无法进行,其热处理畸变实质上也无法修正。新工艺针对热处理畸变无法修正的现实,在机械加工工艺制订时,采取了减少应力和畸变的预防措施。

(1) 精加工阶段更换芯轴。半精加工阶段所用芯轴在精加工之前应拆卸以释放应力。经敲击时效后再精加工。精加工阶段的芯轴应采用高精度芯轴。芯轴结构如图5a、b所示。

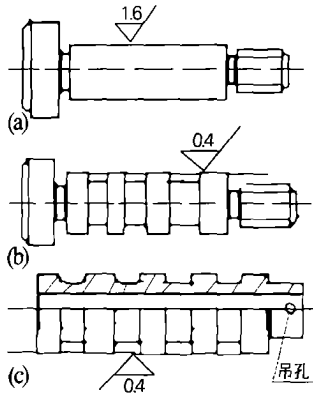


图5 芯轴结构图

(a)半精加工芯轴 (b)精加工芯轴 (c)热处理芯轴

Fig. 5 The structure of mandrel

(a) the half-machining mandrel (b) the finish machining mandrel (c) the heat treatment mandrel

(2) 提高机械加工工艺精度要求。将内外表面的加工精度在设计精度的基础上提高一级,将内孔键槽的加工精度提高半级。工艺精度要求见表3。加工精度要求的提高改善了工件截面的对称度,从而提高工件的刚性和抗变形的能力;而且可用富裕的精度来弥补热处理畸变,给热处理畸变留有一定的余量。

(3) 增加精拉键槽工序。在拉削键槽后,经时效处理,再进行精拉。将内花键键槽宽公差代号由CK*

表3 内花键套工艺要求(mm)

Table 3 The precision specifications of inner splined sleeve(mm)

项 目	工艺要求	热处理后	项 目	工艺要求	热处理后	项 目	工艺要求	热处理后
长度公差	514 ^{+0.125} _{-0.125}	514.011	外径公差	φ235 ^{0.0} _{-0.029}	φ234.965	内径公差	φ215 ^{+0.03} _{0.0}	φ215.05
键宽公差	30 ^{+0.085} _{+0.035}	30.110	键深公差	10 ^{+0.010} _{-0.010}	10.008	内孔圆柱度	0.025	0.04
内外圆同轴度	0.025	0.030	键侧平面度	0.015	0.020	内花键综合公差	-0.014	-0.014
键侧平行度	0.02	0.02	键侧综合公差	0	0	键槽位置度	0.012度	0.015度

行星轮轴承载表面激光强化

欧阳八生,樊湘芳,娄燕(南华大学 机械工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:对行星轮轴的承载表面激光淬火后的强化层进行了分析和研究。结果表明,激光淬火时,当表层区所需能量密度为 $40\text{J}/\text{mm}^2$ 时,表面硬度最高,组织为隐针马氏体和弥散分布的合金碳化物;过渡区由于发生托氏体转变,硬度明显下降。强化层的显微组织有利于提高行星轮轴的耐磨性和抗冲击性,从而延长了其使用寿命。

关键词:行星轮轴;激光淬火;能量密度;马氏体;合金碳化物

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-6051(2004)07-0078-03

Laser Hardening Load-Bearing Surface of Planet Wheel Axle

OUYANG Ba-sheng, FAN Xiang-fang, LOU Yan

(Department of Mechanical Engineering, Nanhua University, Hengyang Hu'nian 421001, China)

Abstract: The strengthen layer of load-bearing surface of planet wheel axle by laser hardening was studied. The results show that when surface energy density is about $40\text{J}/\text{mm}^2$, the highest hardness can be obtained. The surface microstructure is fine needle-covered martensite and dispersed alloy carbides which result in high hardness. And in its transition zone, the hardness is remarkably reduced owing to the troostite precipitated. So the wear and impact resistance of planet wheel axle are enhanced because of the microstructure in strengthen layer and the service life can be prolonged.

Key words: planet wheel axle; laser hardening; energy density; martensite; alloy carbide

1 引言

行星轮轴是某机械产品的一个重要零件,在使用过程中,其承载表面受到啮合、冲击力的作用而产生磨损,甚至出现凹坑(如图1所示),严重影响传动精度

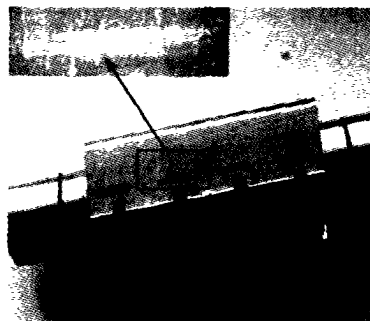


图1 行星轮轴及承载表面的磨损凹坑

Fig. 1 The worn pits on load-bearing surface of planet wheel axle

作者简介: 欧阳八生(1963.8—),男,湖南衡阳人,硕士,工程师,讲师,主要从事精密加工和激光表面强化处理的研究,发表论文6篇。联系电话:0734-8214960 或 13973460730 E-mail: OYBS6381@nhu.edu.cn 或 bsouyang@163.com

收稿日期: 2004-02-23

提高一级为 $\text{De}_4^{[8]}$ 。

6 结语

对内花键套的制造工艺过程和影响精度的因素进行全面分析,更清楚地认识到影响制造精度因素的多样性和复杂性。分析了各种客观因素的影响过程和影响规律,采取针对性的措施,有利于减少畸变。

(1) 将内外圆和键槽侧的机械加工工艺要求提高一级,可以提高工件的刚性和抗畸变能力;也有利于利用富裕的精度来弥补热处理畸变。

(2) 在机械加工和热处理时采用空心芯轴,既可以增加工件刚性,又可以改善热过程的速度和梯度,减少内应力。

(3) 用空冷淬火代替油淬,降低了淬火冷却速度,有利于减少内应力。新工艺在取消深冷工艺后对组织和性能影响小,有利于减少内应力。

(4) 加工过程中要体现工件与环境(炉内,空气,

吊装点)热交换的均匀性。

参考文献:

- [1] 徐秉业. 弹性与塑性力学[M]. 北京:机械工业出版社, 1984:248-259,521-576.
- [2] 刘鸿文. 材料力学(上)[M]. 北京:人民教育出版社, 1981:194-196.
- [3] 史美堂. 金属材料及热处理[M]. 上海:上海科学技术出版社,2000:225-232.
- [4] 邓文英. 金属工艺学[M]. 北京:高等教育出版社,1999:39-40.
- [5] 戴枝荣. 工程材料及机械制造基础(I) [M]. 北京:高等教育出版社,1991:97-101.
- [6] 王运炎. 金属材料及热处理[M]. 北京:机械工业出版社, 1986:157-159.
- [7] 高为国,刘金武,贺永祥. 18CrNi4WA 热处理工艺对显微组织和力学性能的影响[J]. 湖南工程学院学报,2001,11(3~4):39-41.
- [8] 华中工学院标准化与计量测试教研室. 互换性与技术测量[M]. 武汉:华中工学院出版社,1982:33-116.