▶工艺与装备 ◀

基于田口方法的关节轴承的优化制造工艺

王斌武,刘晓刚

(桂林航天工业高等专科学校 机械系,广西 桂林 541004)

摘要:应用"田口方法的信噪比对轴承表面渗氮的工艺参数进行分析,得到渗氮中关键单因子工艺指标的优化分析结果,找出变形量小的最优工艺参数,将其变形量控制在最小范围。在渗氮前,经过对最小变形的综合误差计算,设计出渗氮前切削加工的尺寸及精度要求,用切削加工的方法来补偿渗氮变形,使其渗氮后无需再加工就能达到理想的加工精度。优化后的工艺简单,质量稳定,生产效率高,制造成本低。 关键词:关节轴承;渗氮;变形;田口方法;工艺参数 中图分类号:TH133,33;TH156,82;TH122 文献标识码:B 文章编号:1000-3762(2006)11-0010-04

Manufacturing Technology for Joint Bearings in CoalMachine Based on TaguchiMethod

WANG B in - wu, L U Xiao - gang (Guilin College of Aerospace Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Signal - to - Noise of Taguchi Methods is applied to analyze the nitriding parameters of bearing surface The optimized technique norms of key single factors are obtained in nitriding The optimum technique parameters corresponding to the minimum distortion are found out to keep minimum distortion Before being nitrided, by calculating the integrated error of minimum deformation, the cutting amount needed is designed Because the error can be compensated via manufacture, it is not necessary to process again This method is simple and the quality is stable. Production efficiency is high and manufacture cost is low.

Key words: joint bearing; nitriding; distortion; Taguchi method; technique parameter

1 原制造工艺及存在的问题

关节轴承是采煤机截割部与摇臂滚筒部的 主要支承零件。采煤机在工作过程中要切割底、 顶板及夹石层等,该轴承受到很大的交变和冲击 载荷。轴承内圈外表面设计成球面形状,如图 1 所示。为了提高轴承表面硬度、耐磨性、疲劳强 度和耐腐蚀性及红硬性,并使其在表面强化处理 时的变形尽量最小,采用了渗氮处理,轴承材料 选用 38CMoA Pa。

根据零件的使用特性、针对其结构特点和精 度要求,原工艺中采取:渗氮前时效处理,以减小 渗氮后引起的变形误差;用数控车床编程加工内、

收稿日期: 2006 - 08 - 14;修回日期: 2006 - 09 - 01



图 1 关节轴承

外圈的内、外球面及内孔、外圆,使用专用工装, 尽可能提高切削加工的精度⁽¹⁾,以降低由于渗氮 后产生的变形对整个零件精度的影响。此工艺 方案虽基本上能满足产品使用要求,但在制造中 存在以下主要问题:

(1)在精磨外圈外圆和内圈内孔时,由于渗 氮后的变形,磨削时是自为基准,轴承的同轴误 差较大。此外,磨削后使渗氮层变薄,零件的耐 磨性和耐腐性下降,质量稳定性差,使用寿命大 大降低。

(2)为保证轴承内、外球面间的装配精度, 内、外圈成对配作,零件没有互换性。

(3)在磨削两端面时,由于人为因素,两端面 磨削量不可能完全相等,致使球心相对基准端面 的对称度误差增大。

(4)在投产时无法预测内、外圈的配对数量, 只能增加投产数量,给生产管理带来较大困难, 成本也大大增高。

本文应用"田口方法 对其工艺进行研究,找 出影响质量稳定的主要工序(渗氮处理)的最优 工艺参数,据此再设计出渗氮前切削加工的尺寸 公差。

2 田口方法的信噪比分析

"田口方法"(Taguchi Method)¹²¹提出了信噪 比的概念,并有效地将它作为试验指标应用到正 交试验设计中,提出了以试验设计和信噪比设计 为工具的 3次设计(即系统设计、参数设计、容差 设计)思想,系统地考虑问题,选择参数间的最优 水平组合,以及最恰当的容差。此方法对于提高 产品质量和性能的稳定性具有重要作用¹³¹。

信噪比是度量波动大小的指标,是参数设计 的核心。信噪比的分析过程实际上是一个择优 问题,通过使用正交试验表,以信噪比作为产品 稳健性的评价指标,运用统计技术进行分析,确 定最佳水平组合。信噪比值的级差越大,影响因 子水平就越高。

信噪比根据使用场合要求的不同分为望目 特性、望小特性和望大特性。

若产品的质量特性 (也称输出特性) y服从正 态分布 $N(\mu, 2)$ (其中 μ 是均值, 2 是方差),且 存在固定目标值 m,即 y为望目特性。一个好的 设计,应该是 $\mu = m$, 2 很小。设由 n件样品测得 望目特性 y的数据为: y_1 , y_2 ..., y_n ,其信噪比计算 公式为

$$= 10 \lg \frac{(S_m - V_e) / n}{V_e} \quad (dB)$$
 (1)

其中:
$$S_m = n(\overline{y})^2 = \frac{1}{n} {\binom{n}{i+1} y_i}^2$$

 $V_e = \frac{1}{n-1} \left(y_i - \overline{y} \right)^2$

望小特性参数设计的目的是找到输出特性 接近于 0,稳健性最好的参数组合。当输出特性 y 服从正态分布 $N(\mu, ^2)$ 时,既希望 μ 越小越好, 又希望 ²越小越好,因此,定义望小特性的信噪 比 = $\frac{1}{\mu^2 + ^2}$;即 越大,产品的输出特性越小、 越稳定。其信噪比计算公式为

$$= -10 \lg(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i^2) \quad (dB)$$
 (2)

望大特性可以看作为目标值为 的望目特性,希望质量特性 y越大越好,且波动越小越好。 由此,望大特性 y的倒数 1/y就是望小特性,其信 噪比计算公式为

$$-10 \lg(\frac{1}{n} \frac{n}{i=1} \frac{1}{y_i^2}) \quad (dB)$$
 (3)

3 田口方法的工艺试验与分析

应用"田口方法 对整个制造工艺进行综合 优化设计。通过分析原工艺中存在的问题,不难 得出影响最大的因子是渗氮工序(即渗氮后的变 形),其次是渗氮前的加工工序(即切削加工后的 尺寸)。在生产实践中发现,渗氮后的变形量基 本是一个固定的范围,变形的方向稳定(无论是 内孔还是外圆,其尺寸均变大),且符合正态分 布。因此,首先应对影响最大的渗氮工序用"田 口方法 进行稳健设计,通过试验,得出渗氮工序 中关键单因子工艺指标的优化分析结果,确定出 变形小的最佳工艺参数(使其变形量控制在最小 范围,且稳定性好)。然后,再对切削加工工序进 行公差设计,即设计出渗氮前切削加工的控制尺 寸。

3. 1 试验方案的设计

试验目的是找出渗氮后变形小的最佳工艺 参数。选取渗氮层深度、渗氮后变形量和渗层硬 度作为试验的指标。其中变形量属望小特性;渗 层硬度属望大特性;而渗氮层深度属望目特性, 根据图样要求选取其质量特性 y的目标值 m =0.5 mm,技术标准 0.5 ±0.1 mm。

试验设计了以渗氮温度、时间、氨分解率、加 热速度和冷却速度为可控因素的工艺参数¹⁴¹。 在生产经验的基础上,从试验设计优化方法考虑,每个工艺参数取 4个水平,具体可控因素的 工艺参数条件见表 1。由于该试验是 5个因素 4 个水平的试验,因此选取 L_{16} (4^5)的正交试验表 进行试验研究,具体的试验方案见表 2。

表 1 试验工艺参数

工艺参数	1	2	3	4			
温度 / ℃	480	510	540	570			
时间 /h	30	35	40	50			
氨分解率 ⁄ ④	15 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 45	45 ~60			
加热速度 /(· h ⁻¹)	50	60	70	80			
冷却速度 /(· h ⁻¹)	20	30	40	50			

表 2 L ₁₆ (4 ⁵)正交试验方案							
序号	温度 /	时间 ⁄h	氨分解率 /@	加热速度 /(· h ⁻¹)	冷却速度 /(・h ^{-−1})		
1	480	30	25 ~ 35	50	40		
2	480	35	35 ~ 45	60	50		
3	480	40	45 ~ 60	70	30		
4	480	50	15 ~ 25	80	20		
5	510	35	35 ~ 45	80	50		
6	510	40	45 ~ 60	50	40		
7	510	50	15 ~ 25	60	30		
8	510	30	25 ~ 35	70	20		
9	540	40	45 ~ 60	50	30		
10	540	50	15 ~ 25	70	40		
11	540	30	35 ~ 45	80	50		
12	540	35	25 ~ 35	60	20		
13	570	50	25 ~ 35	60	20		
14	570	30	35~45	50	30		
15	570	35	45 ~ 60	70	40		
16	570	40	15~25	80	50		

3 2 试验结果的信噪比计算

渗氮工艺的各参数变化对渗氮层深度、变形 量、渗层硬度的影响比较复杂,利用信噪比分析 能将诸多工艺参数 (可控因素)按影响规律以影 响因子的形式表现出来,使得进一步分析和优化 组合一目了然。

用同种规格的轴承零件,在每一种试验条件 下试验 5个样品,得出渗氮层深度、变形量和渗 层硬度的试验结果。根据每种试验条件下测得 的数据计算其信噪比,并对各种试验条件下的信 噪比进行分析,得出最优参数组合方案。

由于渗氮层深度为望目特性,将每一种试验

条件下的 5个样品试验结果代入 (1)式得出其信 噪比;变形量为望小特性,将其试验结果代入 (2) 式得出其信噪比;渗层硬度为望大特性,将其试 验结果代入 (3)式得出其信噪比。各质量特性在 每一种试验条件下的信噪比结果见表 3。

表 3 变形量、渗氮层深度及渗层硬度的信噪比值

序号	变形量信噪比	渗氮层深度信噪比	硬度信噪比		
1	18 695 88	18 513 28	- 15. 910 02		
2	18 658 58	19. 262 87	- 15. 928 13		
3	18 708 33	19. 631 48	- 15. 957 97		
4	18 673 48	22 364 21	- 16 041 90		
5	18 621 45	20 287 48	- 16 013 27		
6	18 651 14	19. 978 43	- 15. 991 32		
7	18 614 04	23 760 03	- 15. 998 08		
8	18 569 72	20 542 42	- 16 009 76		
9	18 555 00	22 139 60	- 15. 940 13		
10	18 308 42	20 976 84	- 15. 979 30		
11	18 308 47	18 842 40	- 15. 990 13		
12	18 445 38	19. 881 40	- 15. 987 74		
13	18 110 58	19. 187 58	- 15. 913 13		
14	18 474 47	22 447 91	- 15. 985 89		
15	18 194 84	21. 203 47	- 15. 989 13		
16	18 047 91	23 016 43	- 15. 881 72		

3 3 对参数优化的分析

利用表 3中的渗氮层深度、变形量及硬度信 噪比的数据结果,结合正交试验法,对其规律进 行研究分析,计算出各参数在每一个水平值下的 平均值和极差值 *R*,并以此作为规律分析的依据。 其中信噪比的值越大,此水平越优;极差值 *R* 越 大,此参数对质量特性的影响越大¹⁵¹。

各工艺参数对变形量的影响见表 4。由 R值 的大小判断影响因子的主次, R值越大的工艺参 数对其影响越大。从表中可以看出各水平因子 对变形量影响的主次关系,由大到小依次为渗氮 温度、冷却速度、加热速度、渗氮时间、氨分解率, 其中主要影响因素:渗氮温度、冷却速度、加热速 度。根据信噪比分析理论可知,由信噪比最大值 组成的组合为最优组合,从表 4中可推断出最优 组合为渗氮温度 480 ,时间 30 h,氨分解率 35% ~45 ④,加热速度 50 / h,冷却速度 20 / h。

通过试验验证,此组合为渗氮后变形量小的 最优参数组合。对于渗氮层深度、渗层硬度的质 量特性最优单因子参数组合,方法同上,不再列 出。应用时应考虑对各质量特性值进行综合优 化,选取最优的工艺参数组合。

4 田口方法优化设计的新工艺

在最佳工艺参数下的渗氮处理,其变形量控 制在较小的稳定范围内。结合此范围的变形量, 通过尺寸误差、形位误差等的综合误差的尺寸链 计算,设计出零件渗氮前、切削加工后的每个尺 寸的大小,有关数据见表 5。新加工工艺路线:毛 坯锻造 正火 粗加工 调质 半精加工 时 效 精加工所有部位 (按优化后设计出的尺寸) 渗氮 (按最佳工艺参数) 抛光球面。

用新工艺方法,渗氮后无需加工任何部位。

零件的同轴度、对称度等基本上取决于渗氮前切 削加工的精度,误差容易控制,渗氮层深度和硬 度也得到了较好的保证,使产品质量的稳健性大 大提高。由于变形量控制在一定的范围内是已 知数,内、外球面完全可以按固定的尺寸加工,工 艺简单,内、外球面的装配间隙易于控制,无需配 作就能满足精度要求。

此外,在提高制造精度和质量的同时,还省 去原工艺中渗氮后除抛光外的其他工序,极大地 提高了生产效率、降低了制造成本。实践应用验 证效果很好。

此方法可以推广应用于表面强化处理后有 尺寸变化的其他类零件的加工工艺中。

序号	温度 /	信噪比均值	时间 / h	信噪比均值	氨分解率 ⁄ ī	信噪比均值	加热速度 /(h ⁻¹)	信噪比均值	冷却速度 /(· h ⁻¹)	信噪比均值
1	480	20. 694 73	30	19. 134 62	15 ~ 25	18 413 67	50	19. 405 81	20	19. 784 62
2	510	19. 867 24	35	18 895 96	25 ~ 35	18 525 73	60	18 927 36	30	18 829 53
3	540	18 028 73	40	18 659 84	35 ~ 45	18 632 69	70	18 541 27	40	18 002 73
4	570	15. 743 51	50	18 414 31	45 ~ 60	18 285 37	80	18 361 84	50	17. 261 49
R	5	4. 951 22	$\overline{\Lambda}$	0. 720 31		0. 347 32		1. 043 97		2 523 13

表 4 各参数水平对变形量影响的信噪比平均值

表 5 两种规格的关节轴承参数及试验的相关数据

mm

各项内容		容	图样基本尺寸	原渗氮前的加工尺寸	原工艺渗氮后的尺寸	优化渗氮后的尺寸	最小变形量	公差修正量	优化后切削的尺寸
内. 圈	Sφ	1	$230^{\scriptscriptstyle -0.100}_{\scriptscriptstyle -0.146}$	229. 860 ~ 229. 900	229. 980 ~ 230 020	229. 980 ~ 230 018	0 113~0 126	- 0 120	$230^{+0.220}_{-0.260}$
	D	2	400 0 125	399. 820 ~ 399. 875	399. 953 ~ 400 020	399. 953 ~ 400. 016	0 131~0 143	- 0 137	400-0 280
	ϕ_E	1	$195^{+0}_{-0}^{-0.046}$	195 000 ~ 195 045	195 110~195 156	195 110~195 154	0 106~0 114	- 0 110	195 ^{-0 080} 0 100
		2	$370^{+0}_{-0}^{+0}$	370 000 ~ 370 057	370 125 ~ 370 135	370 125 ~ 370 131	0 123~0 134	- 0 129	370 ^{-0 080} 0 120
外 匮	Sφ	1	$230^{+0}_{-0}^{+0}$	230 000 ~ 230 024	230 080 ~ 230 110	230 080 ~ 230 109	0 073 ~ 0 085	- 0 079	230 ^{-0.055} 0.079
	D	2	$400^{+0}_{-0}^{+0}$	400 000 ~ 400 036	400 097 ~400 140	400 097 ~400 136	0 092~0 104	- 0. 098	400-0.062
	ϕ_F	1	260 ^{-0 056} 0 088	259. 912 ~ 259. 944	260 000 ~ 260 040	260 000 ~ 260 038	0 085 ~ 0 096	- 0 090	260 ^{-0 150} 0 170
		2	430 0 068	429. 892 ~ 429. 932	429. 998 ~ 430. 050	429. 998 ~ 430. 046	0 103 ~ 0 115	- 0 109	430 ^{-0 165} 0 220
宽 度	G	1	65 ⁰ _{0 074}	64 926 ~ 65 000	64 976 ~ 65 005	64 976 ~ 65 004	0 004 ~ 0 006	- 0 005	65 ^{-0 010} 0 070
		2	80 <u>0</u> 074	79. 926 ~ 80 000	79. 976 ~ 80. 006	79. 976 ~ 80. 005	0 005 ~ 0 007	- 0 006	80.000

参考文献:

- [1] 王斌武. 数控技术在采煤机生产制造中的应用 [J]. 煤矿机械, 2005, 26(2): 100 - 102
- [2] 田口玄一.开发、设计阶段的质量工程学 [M].中国 兵器工业质量管理协会,译.北京:兵器工业出版 社,1990.
- [3] 陈立周.稳健设计 [M].北京:机械工业出版社,

2000: 34 - 143.

- [4] 张 洁. 金属热处理及检验 [M]. 北京:化学工业 出版社, 2005: 132 - 139.
- [5] 中国兵器工业质量管理协会.质量工程学 [M].北 京:北京理工大学出版社,1991:218 - 232

(编辑:杜迎辉)