

太阳轮总成面轮廓度工艺的探讨

朱海明

(上海汽车变速器有限公司, 上海 201807)

摘要:介绍了运用尺寸链分析,通过改进工装和工艺解决了超越太阳轮总成面轮廓度合格率不足 70% 的问题。经分析和试验,确定合格率偏低的原因因为压配尺寸超差及硬车变形。为此,改进压配工装,由整体式改为分体式,上压头增加了外圈定位装置及容屑槽,达到简化尺寸链、稳定压配尺寸的效果,并在工艺中补偿硬车变形量,成功提升了面轮廓度的合格率。

关键词:面轮廓度;尺寸链;压配工装;工艺

中图分类号:TH16 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)04-0074-04

Discussion of Manufacturing Process of Surface Profile of Gear ASM-O/D Sun

ZHU Haiming

(Shanghai Automobile Transmission Co., Ltd., Shanghai 201807, China)

Abstract: This paper introduces the method used to analyze the dimension chain. The improved fixture and process are used to improve the qualified rate of the surface profile which is less than 70%. By the analysis and tests, the main reason of low qualified rate is found out, it is caused by the large deviation of the press-fit process and the deformation of hard turning process. So the fixture of the press-fit workstation is changed from one part to two parts, the positioning device of the outer ring and a slot are added to the center part, in order to reduce the dimension chain and increase dimensional stability. In addition, the dimensional compensation is made for the hard turning. All greatly improve the qualified rate.

Keywords: surface profile; dimension chain; press-fit fixture; process

1 太阳轮总成面轮廓度

文中所述太阳轮总成,为某 9 速自动变速器核心零部件,如图 1、图 2 所示。0.32 mm 是轮毂花键面到 C 基准面的理想距离,要求面轮廓度 <0.25 mm。

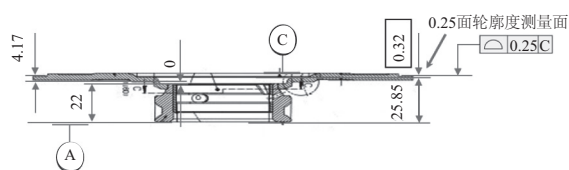


图 1 太阳轮总成尺寸图

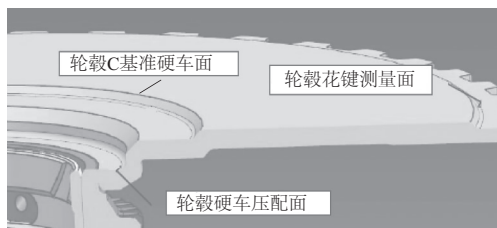


图 2 轮毂

1.1 面轮廓度概念

根据我国 GB/T 标准,面轮廓度即公差带是包络一系

列直径为公差值 t 的球的两包络面之间的区域,诸球的球心必须位于具有理论正确几何形状的面,面轮廓公差带对称于理想轮廓面^[1],如图 3(a) 所示。美国 GM-04 标准,用符号 $\textcircled{U}$ 表示公差带不对称于理想轮廓的分布, $\textcircled{U}$ 后为要素体外的尺寸^[2],见图 3(b)、图 3(c)。

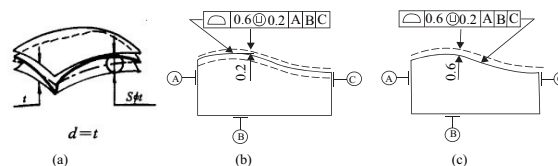


图 3 面轮廓度

对于本文太阳轮总成面轮廓度要求,主要是约束花键面的范围,可理解为花键面必须在距离 C 基准面 (0.32 ± 0.125) mm 高度范围内。

1.2 太阳轮总成工艺过程

太阳轮总成工艺过程为压入齿轮—激光焊接—压入衬套—硬车 C 基准面、外圈及内孔—硬车另一面。其中压、焊和硬车第一面加工基准均为齿轮端面 A。

激光焊接是“法孚”进口设备,分两个工位,压配完成后,机械手自动抓取至焊接工位焊接,激光器是罗芬 CO₂ 激光器。图 4 是压配工位示意图,采用中间定位压配方式。

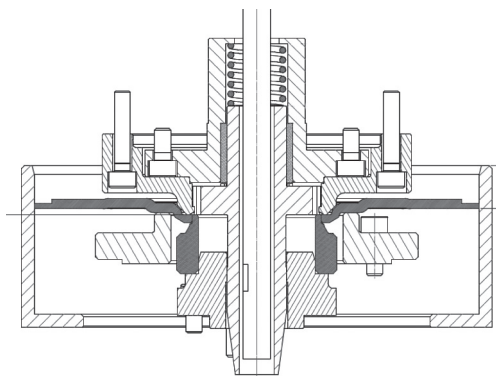


图4 太阳轮总成压配工装

硬车第一面设备为村田车床,节圆夹具。硬车加工会产生一定的切削应力^[3],使轮毂花键面高度增减,影响面轮廓度。图5为两道硬车示意图。

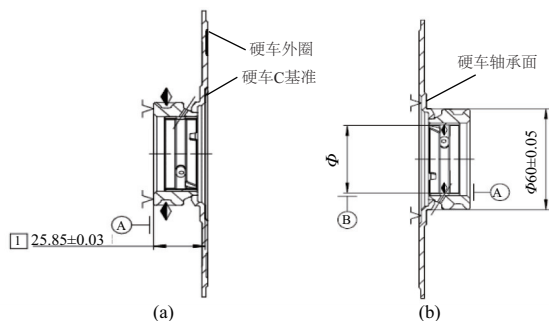


图5 硬车示意图

2 运用尺寸链分析工艺过程关键尺寸

2.1 尺寸链概念

尺寸链是在装配或零件加工过程中,由相互连接的尺寸形成封闭的尺寸组。列入尺寸链中的每一个尺寸称为环,尺寸链中在装配或加工过程最后形成的一环即为封闭环^[4]。组成环的任何一个尺寸变动,必然引起封闭环的变动。计算时, L 表示基本尺寸, T 表示公差, T_L 为极限公差, T_S 为统计公差。

2.2 面轮廓度尺寸链

从以上工艺过程可知,面轮廓度是通过尺寸链保证的,为间接尺寸。图6为尺寸链示意图,由5个环组成,其中 L_1 是硬车C基准高度, L_2 是齿轮高度, L_3 是轮毂硬车压配面到花键面距离, L_4 是压配高度, L_5 是硬车变形量,其包含平行、垂直等几何公差。由于具有几何公差的拟合要素的变化范围是在几何公差的范围之内,所以,作为尺寸链的一环,它可看作基本尺寸为0(或趋近于0)的一个尺寸链的环^[5],即 $L_5=0$ 。

分析5个组成环, L_1 、 L_2 、 L_4 公差可控,尺寸稳定。 L_3 和 L_5 变动量较大。

2.3 通过尺寸链校核 L_3 、 L_5 公差带

下面通过尺寸链,简单校核 L_3 、 L_5 允许的公差范围。

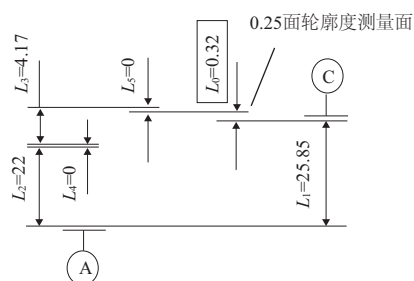


图6 尺寸链1

封闭环的基本尺寸等于所有增环基本尺寸之和减去所有减环基本尺寸之和^[6],即: $L_0=L_2+L_3+L_4+L_5-L_1$,其中封闭环 $L_0=0.32$,各组成环中, $L_1=25.85$, $L_2=22$, $L_3=4.17$, $L_4=0$, $L_5=0$ 。

一般工艺尺寸链采用极值公差公式计算,封闭环公差 $T_0=0.25$,而 $T_1=0.06$, $T_2=0.04$, $T_4=0.08$, $\xi_2=\xi_3=\xi_4=\xi_5=1$, $\xi_1=-1$ 。可知:

$$T_{0L} = \sum_{i=1}^m |\xi_i| T_i = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 = 0.06 + 0.04 + T_3 + 0.08 + T_5 = T_0 = 0.25$$

可得出 $T_3+T_5=0.07$ 。

实际生产过程中, L_3 和 L_5 变差总量在0.4左右,从而引起轮廓度超差。

3 工艺改进措施

3.1 改进优化压配工装

1) 确定优化压配工装方案

深入分析Fives压配工位工作原理,可将上压头由整体式中间压配分为两部分:中间压配,外圈定位面,如图7所示。定位压头直接定位在花键面,高度可以直接控制,在计算尺寸链时,可以减少环 L_2 、 L_3 、 L_4 。

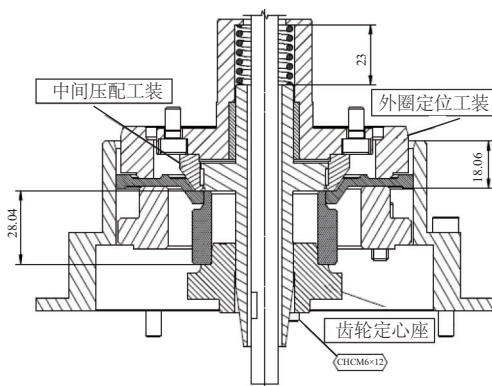


图7 改进后工装图

在设计外圈定位压头工装时,采用三点定位,这样最接近花键面实际中心面。另外,三点定位面做了较大的倒角,避免压到细屑或毛刺,影响定位。中间压头沿用原来结构,安装固定在中间副滑台上,压头工装见图8、图9。

2) 优化后压配过程

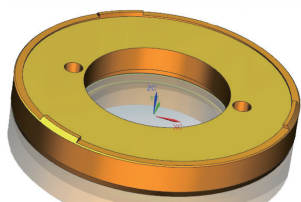


图8 外圈定位工装

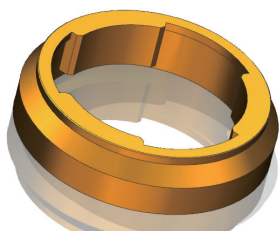


图9 中间压配工装1

图10是压配工位上半部分结构。主要特点是压配滑台由主滑台和副滑台组成,当两个滑台达到要求高度差时,由气压驱动的制动装置会启动,使两个滑台位置锁定,成为一个整体下压。这样,内、外压头分别安装于两个滑台上,可以实现中间压配、外圈定位方案。

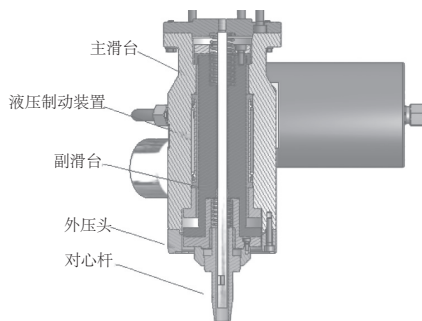


图10 压机上部结构

图11为压机下半部分结构。最上面是轮毂粗定心装置;下面是放置轮毂的平衡台,有弹簧支撑,可以下降,使轮毂压入齿轮;弹簧下面是位置探测器,可使气压锁紧装置启动。齿轮放置在定心座上,其中间孔与上压头定心轴配合,可以精确定心。中间是光栅尺,可以精确控制下压高度。

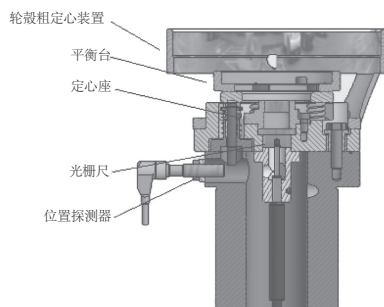


图11 压机下部结构

以上结构可使内、外两个压头高度差浮动,大大增加

轮毂尺寸容错能力。

3) 进一步优化工装

增加外圈定位后,几次试验不稳定。经分析,压头内圈有三等分凸台结构,是防止齿轮混料的防错装置。在压配时,由于孔径有过盈量,压配面会产生微小切边拉丝,下压时,凸台会被压到。由于受力不均,使轮毂产生倾斜,或者压不到位,影响高度。经讨论,在中间压头增加一个容屑槽,如图12所示,既避免了切边的影响,又保留原来功能。齿轮定心座避免压到毛刺翻边,也做了优化,如图13所示。

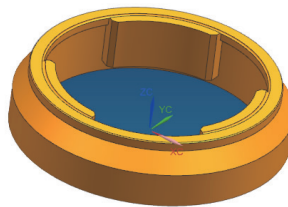


图12 中间压配工装2

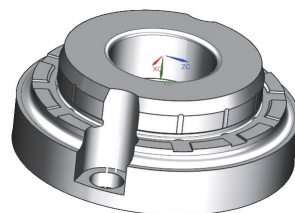


图13 齿轮定心座

优化后经验证,焊接后高度变动量从原来的0.4 mm稳定在0.19 mm左右。经批量生产验证,高度稳定性有明显提高。

3.2 摸索硬车变形量规律并补偿

对于硬车变形量,通过寻找变形规律,并在压焊工序中补偿这些变形量,从而达到面轮廓度的控制要求。应力变形与加工方式有很大关系,选取合适的切削参数可以降低硬车时的切削应力^[3]。

经多次跟踪试验,每批次50~100件左右,确定硬车后26.17的平均变形量 Δh 波动范围,见表1。综合数据,平均变动量在 $-0.021\ 5\text{ mm} \sim 0.055\ 5\text{ mm}$,即 $(0.017 \pm 0.038\ 5)\text{ mm}$ 。可见,焊接后尺寸需要补偿这些变形量,中间值要控制在26.153 mm。

表1 硬车变形量 单位:mm

组别	Δh	组别	Δh	组别	Δh	组别	Δh
1	0.013 2	3	-0.021 5	5	0.019 6	7	0.055 5
2	0.061 0	4	0.012 0	6	0.017 1	8	0.039 0

注:平均变形量 Δh 为车后高度减焊接后高度

3.3 优化后尺寸链分析

上压头工装更改后,可使 L_2 、 L_3 和 L_4 合并为一个环,

可记为 L_{234} , $L_{234} = 26.153$; L_5 为硬车变形量, 即 $L_5 = 0.017$; $T_5 = 0.077$; T_0 、 T_1 不变, 如图 14 所示。尺寸链可表示为:

$$L_0 = L_{234} + L_5 - L_1$$

$$T_{0L} = \sum_{i=1}^m |\xi_i| T_i = T_1 + T_{234} + T_5 = 0.06 + T_{234} + 0.077 =$$

$$T_0 = 0.25$$

$$T_{234} = 0.113$$

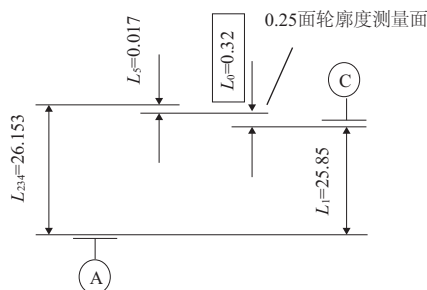


图 14 尺寸链 2

两种结果对比,后一种公差宽裕了很多,但从几次试验得出 T_{234} 为 0.19 来说仍然不够。

如果采用统计公差公式计算,大批量生产条件下,在稳定工艺过程中,工件尺寸趋近正态分布,相对分布系数 $k=1$,而平行、垂直误差趋近偏态分布,取 $k=1.17^{[4]}$ 。对于本例,有 $k_0=1$,压焊高度和硬车变形与形状误差有关,可取 $k_{234}=k_5=1.17$, $T_0=0.25$, $T_1=0.06$;硬车变形量由于变动量较大,可取 $T_5=0.08$, $T_{234}=0.19$,则有:

$$T_{0s} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 k_i^2 T_i^2} = \sqrt{k_1^2 T_1^2 + k_{234}^2 T_{234}^2 + k_5^2 T_5^2} =$$

$$\sqrt{0.06^2 + 1.17^2 \times 0.19^2 + 1.17^2 \times 0.08^2} = 0.249$$

极值法公差公式计算,得到各组成环公差最小,可保证产品 100% 互换。用统计公差公式计算,各组成环按正态分布,同样封闭环也符合正态分布。由概率论理论可

知,合格产品实际尺寸处于 $[\text{USL}, \text{LSL}]$ 的尺寸区间内,且在正态分布中,实际尺寸落在 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 区间的概率为 99.73%^[6]。按以上结果,仍会有大约 0.27% 的产品超出要求。

综上所述,面轮廓度 0.25 公差分配到焊接、硬车变形量等不确定变量上,大批量生产时很难达到 100% 合格,需要在各个环节严格控制,实现精细化生产,目前合格率在 99.8% 左右;另一方面,从装配使用方面分析,面轮廓度设计要求可适当放宽至 0.35 左右,这样可有效降低成本,利于大批量生产。

4 结语

本文通过尺寸链分析工艺尺寸,大胆改造进口设备的工装结构,使之达到制造工艺要求,给出了某型 9 速自动变速器太阳轮总成面轮廓度有效的工艺方案,有效提升了产品质量,顺利实现国产化,并对同类产品有一定借鉴意义。

参考文献:

- [1] 国家标准化管理委员会. GB/T 1182-2018 产品几何技术规范 几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注[S].
- [2] 王廷强. GD&T 基础及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2013.
- [3] 郝雪玲,张林. 背吃刀量对中小型轴承零件硬车变形的影响[J]. 轴承, 2016(11): 34-36.
- [4] 国家标准化管理委员会. GB/T 5847-2004 尺寸链计算方法[S].
- [5] 刘绍力. 基于直线尺寸链几何公差工艺尺寸链的求解[J]. 设备管理与维修, 2017(17): 66-68.
- [6] 霍春景,单红波,赵一民,等. 基于统计过程控制的变速箱尺寸链优化设计方法研究[J]. 机械传动, 2018(7): 66-76.

收稿日期: 2019-03-26

(上接第 60 页)

参考文献:

- [1] 刘大响,叶培梁. 俄罗斯的发动机进口流场畸变评定指南[J]. 燃气涡轮试验与研究, 1994(3): 1-10.
- [2] 汪涛,姜健,史建邦. 进气道/发动机相容性试飞中总压畸变数据的采集与处理[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2012, 25(2): 54-58.
- [3] 孔迪. 某型航空发动机进气压力畸变试验研究[J]. 航空发动机, 2014, 40(3): 60-65.
- [4] 余安远,王琴芳. 一种进气道流场畸变模拟装置的研究[J]. 航空动力学报, 2001(2): 123-127.
- [5] 叶巍,陆德雨,李丹. 畸变模拟板的设计与试验研究[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2001(2): 1-20.
- [6] MUKHOPADHYAY A, BISWAS G, SUNDARARAJAN T. Nu-

merical investigation of confined wakes behind a square cylinder in a channel[J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2010, 14(12): 1473-1484.

- [7] M R Mankbadi, N J Georgiadis. Examination of parameters affecting large-eddy simulations of flow past a square cylinder[C]. Aiaa Fluid Dynamics Conference, 2014.
- [8] 张海涛,曹曙阳. 基于动态亚格子模型的方柱绕流大涡模拟[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2013, 29: 434-439.
- [9] YANG S Q, BALACHANDAR R. Determination of velocity distribution and flow resistance in vegetated channel flows. River Flow 2016: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics[C]. Leiden: CRC Press, 2016: 2211-2218.

收稿日期: 2019-03-25