

某型变速器一档齿轮内花键热处理变形改善

章康乐

麦格纳动力总成（江西）有限公司 江西南昌 330038

摘要：针对某型汽车变速器一档齿轮在热处理（渗碳淬火）后出现内花键 M 值超差，影响塞规检测和装配，从齿轮的材料淬透性、机加工和热处理等环节进行了相关研究和改善验证，得出了影响该内花键变形的因子并采取相应措施进行优化，减少和控制内花键变形量，解决 M 值和锥度引起的内花键问题，提高产品合格率。

关键词：内花键 M 值；结构；反向拉花键；热处理；变形；优化

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.07.002

某型变速器一档和中间轴通过花键压装连接，实现600N·m转矩的传递，简化了中间轴结构，有利于中间轴加工。然而一档齿轮采用内花键结构，热处理后变形大（ M 值在轴向呈现锥度且超差），影响塞规检测，引起装配不合格。当前对内花键变形的研究，总结起来的相关经验主要是通过结构设计优化，控制材料淬透性，热处理工艺调整^[1]，或者机加工方式的变化（改变拉花键方向，热后拉花键）等^[2]。本文结合零件实际结构和状态，研究零件的热变形控制。

问题提出

变速器7T800机型是某世界汽车巨头全球新车型的传动系统，其一档齿轮结构设计为内花键，与中间轴外花键通过压装相配连接。该零件的内花键较长，内孔壁厚变化较大，热处理（渗碳淬火）时内孔径向变形不一致，导致内花键上中下三段 M 值不同，呈现轴向锥度，如图1所示。该热处理变形导致的不合格率约为

10%，对产品质量和交付造成了较大影响。

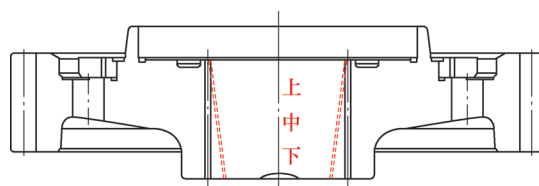


图1 零件结构示意图

热处理变形的改善

1. 原材料

一档齿轮材料为20MnCr5，材料冶炼要求高，与常见的20CrMnTi和20CrMoH相比热处理后的变形量小。淬透性的变化会带来淬火后的尺寸变化，材料设计上选择低淬透性并收窄淬透性带宽，末端淬透性按J5=37~41HRC，J9=29~33HRC，J15=26~30HRC控制。

2.机加工工艺

一档齿轮内花键是通过拉花键方式加工。由于上下两端结构不对称，且内孔一端突出轮辐较多，形成凸台，因此加工内花键的方式有正向和反向拉花键两种方式，如图2所示。

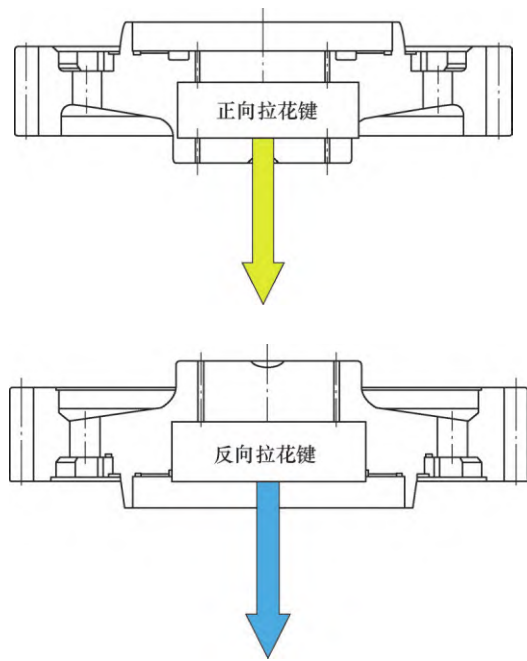


图2 正向与反向拉花键

抽取正向和反向拉花键的产品各30件，测量内花键M值进行双样本T分析。H0：正向与反向拉花键对M值没有显著差异；H1：正向与反向拉花键对M值有显著差异。分析结果如图3所示，P值<0.05，拒绝H0，正向和反向拉花键的一档内花键M值存在明显差异。因此，确定热前改用反向拉花键的工艺。

双样本T检验和置信区间：反向，正向

反向 与 正向 的双样本T

	N	均值	标准差	均值标准误
反向	30	32.57443	0.00993	0.0018
正向	30	32.5824	0.0123	0.0022

差值 = μ (反向) - μ (正向)
差值估计值: -0.00792
差值的95%置信区间: (-0.01370, -0.00214)
差值=0(与≠)的T检验: T值=-2.75 P值=0.008 自由度=55

图3 正/反向拉花键M值双样本T检验

3.热处理

热处理过程是控制和改善零件热变形的关键工

序，主要从以下三个方面做改善。

(1) 焊接应力 该零件为齿轮齿圈焊接结构，考虑焊接产生较大的应力可能引起内花键变形大，采用200℃回火2h的方案进行验证。取去应力回火(200℃×2h)和正常生产的零件各30件，测量M值进行双样本T分析。H0：热处理前回火去应力对M值没有显著影响；H1：热处理前回火去应力对M值有显著影响。分析结果如图4所示，P值<0.05，拒绝H0，去应力和不去应力的一档内花键M值存在明显差异。据此，零件焊接探伤后增加去应力回火工序。

双样本T检验和置信区间：不去应力，去应力

不去应力 与 去应力 的双样本T

	N	均值	标准差	均值标准误
不去应力	30	32.5838	0.0137	0.0025
去应力	30	32.5750	0.0121	0.0022

差值 = μ (不去应力) - μ (去应力)
差值估计值: 0.00878
差值的95%置信区间: (0.00209, 0.01546)
差值=0(与≠)的T检验: T值=2.63 P值=0.011 自由度=57

图4 去应力回火M值双样本T检验

(2) 搅拌速度 理论上降低淬火烈度，有利于淬火变形的改善。通过改变淬火搅拌速度，降低淬火油的流量，验证内花键的热变形变化。不同搅拌速度的验证结果如图5所示，从四种搅拌速度统计数据看，600r/min淬火的M值数据均值靠近中差，且标准差最小，数据更优，配合拉刀的调整可以实现热后M值合格。

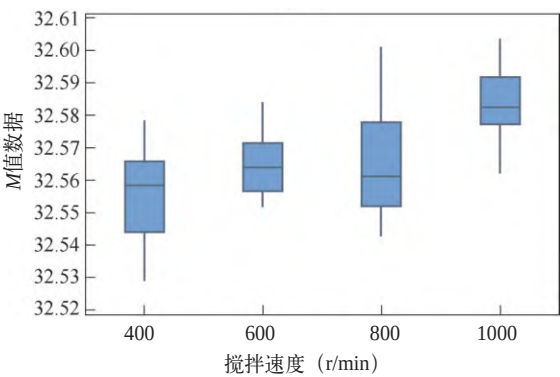


图5 淬火搅拌速度验证

(3) 工装及装炉方式 工装主要分为补偿变形和自由变形两种方式；装炉方式主要分为串装吊立和平放叠装两种。

通常而言，串装吊立方式会因为零件自重带来蠕(下转第48页)

方式，风管为侧送下回风的对流传递，如图4所示。此种对流循环方式的优点是烘干室内不易起灰，有利于车身的清洁，但是由于回风口离车底很近，使烘干室底部喷流出来的热风很快被回风口抽走而无法顺利循环至车体下部，导致车体下部位置升温慢、保温时间短，达不到规定的烘烤温度和时间的要求，从而造成局部烘烤不良。



图4 电泳烘干室

(上接第44页)

变，内孔圆度变差，内花键锥度和周累变大。而平放能使零件径向冷却均匀，周累和锥度变形较小^[3]。然而该零件的结构特殊，齿轮大而轮辐薄，且内孔上下结构不一致，平放时的变形程度更加严重。因此结合该零件内孔有凸台，并非对称结构，做平装并增加补偿套的方式，对比用补偿芯轴串装吊立的方式来验证能否减少内花键变形。验证结果如图6所示，热处理平装和串装的一挡内花键M值存在明显差异，且串装的均值和标准差好于平装。

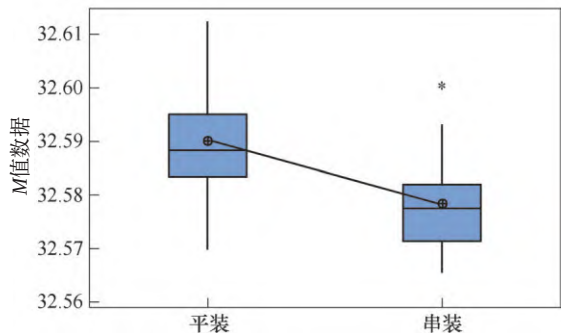


图6 平装/串装花键M值

同一段烘房内部的循环热风量是固定的，需要调整烘房内部B柱下部车身体质位置循环热风风量分布，来改善B柱内侧烘烤不良的问题。经过烘炉烘烤仿真分析，最终确定方案为：将进出风口的方孔改为圆孔，并增加送排风风量。

结语

电泳烘干是一种常见的表面处理方法，但在实际生产中常常会遇到烘干性不好等问题。温度的控制是电泳烘干中最关键的因素之一，需要严格控制烘干温度，以避免出现烘干性不好的情况。除此之外，还需注意其他一些问题，以保证涂层的质量和美观度。

参考文献：

[1] 高海军，华云，潘雷亮. 电泳漆膜局部烘烤不良的影响因素及解决措施 [J]. 汽车工艺与材料，2010 (5) : 16-18. **AUTO1950**

结语

通过上述多个影响内花键变形因子的验证，针对该一档齿轮实施以下措施：

- 1) 签订材料标准，收窄淬透性带宽。
- 2) 拉花键工艺固化，采用反向拉内花键。
- 3) 焊接后增加去应力回火处理。
- 4) 降低淬火有搅拌速度。
- 5) 采用补偿芯轴串装方式装炉热处理。

上述措施实施后，一档内花键热处理后M值合格，且锥度由0.08缩小为0.04，效果显著。

参考文献：

[1] 崔鼎，车永平. 带内花键零件的畸变控制方法[J]. 金属热处理，2022 (3) : 252-256.

[2] 杨更青. 探究提高零件内花键M值稳定性的方法[J]. 机械管理开发，2019 (4) : 55-57.

[3] 陈国民. 对齿轮热处理畸变控制技术的评述[J]. 金属热处理，2012 (2) : 1-13. **AUTO1950**