

盘毂碳氮共渗变形分析及控制

赵星

南京法雷奥离合器有限公司 江苏南京 211100

摘要：针对双质量飞轮盘毂花键加工过程中的变形问题，基于PFMEA进行原因分析，使用DOE方法进行试制验证。试制结果表明：能够通过增加预热工序、优化热处理悬挂挂棒直径、适当降低淬回火温度等措施，减小花键热处理变形，满足对花键参数的技术要求。

关键词：碳氮共渗；盘毂花键；变形；内应力

1 序言

双质量飞轮用于将车辆发动机输出的转矩传递到变速器。作为双质量飞轮中的重要部件，盘毂与变速器输入轴连接，进而通过其他部件将转矩传递给整车。通常，盘毂中心带有内花键，变速器输入轴带有与内花键匹配的外花键，从而实现可靠的动力传输。在工作过程中，盘毂在传递发动机转矩的同时会承受了一定的接触疲劳应力，有时由于发动机的转矩波动还会有一定的过载冲击力。因此，对盘毂的技术要求是其表面具有高硬度、高耐磨性以及高接触疲劳强度。

为实现以上技术要求，需要对盘毂进行热处理操作。该盘毂使用低碳合金材料冲压成形，材料中含有的铬使其具有高的淬透性，经热处理后，不但表面能达到很高的硬度，且心部强度和韧性、塑性匹配度好。由于盘毂带有花键，因此在热处理时，

对变形控制有严格要求。分析认为，由于零件本身特点（壁薄、厚度不均匀）以及热处理操作的局限性等原因，所以零件容易产生变形。

在气体碳氮共渗技术应用中，由于氮的渗入使钢的临界点(A_1 、 A_3)下移，所以可适当降低淬火温度，为进一步减少淬火变形提供了可能；且氮的渗入还使淬透性增加，因此除合金钢外，碳素钢也可以实施碳氮共渗及油淬处理，从而提高硬度和表面耐磨性，这两个特点也正是该技术被广泛应用的原因^[1]。相对于渗碳来说，该工艺缩短了加工时间，加快了生产进度^[2]。因此，对该盘毂采用的是碳氮共渗淬火，以获得高的表面硬度，同时达到较高的尺寸精度。

2 变形问题分析

当双质量飞轮盘毂（见图1）的花键尺寸过大时，会造成车辆怠速噪声；而花键尺寸过小时，会

度，提高工作效率，实现自动化生产，是替代箱式炉、井式炉的理想产品。

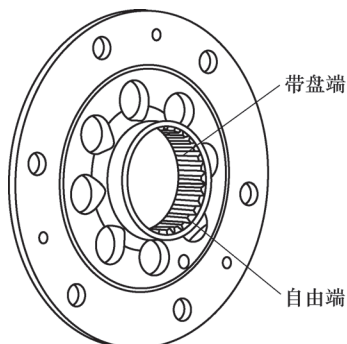
参考文献：

- [1] 美国金属学会手册编委会.美国金属学会热处理手册：钢的热处理基础和工艺流程A卷[M].北京：机械工业出版社，2019：230-244.
- [2] 美国金属学会.热处理工作者手册：钢的标准操作和程序[M].北京：机械工业出版社，1986：86-92.
- [3] 中国机械工程学会热处理分会.热处理手册（第4

卷）：热处理质量控制和检验[M].4版.北京：机械工业出版社，2013.

- [4] 高志廷，闫焉服，宋克兴，等.不同温度水的冷却特性及45钢的水淬[J].热处理，2012，27（5）：60-62.
- [5] 赵步青，胡庆华.纯水淬火及其应用[J].金属加工（热加工），2014（3）：31-33.
- [6] 张文勇，陈亚维.45钢量化水淬应用研究[J].热加工工艺，2005（8）：40-41.

引起装配困难甚至无法装配。因此,该盘毂对跨棒距有严格的要求,跨棒距偏差要求 $\leq 0.061\text{mm}$,可同时满足性能与装配需求。



碳氮共渗后,提取5件试制产品数据进行详细分析。5件试制盘毂中带盘端花键跨棒距最大偏差为 0.02mm (见图2),自由端最大偏差为 0.08mm (见图3),超出跨棒距公差范围,因此需要对该盘毂的工艺过程进行分析优化,找到影响变形的因素,并对相关因素进行控制。

盘毂制造工艺过程:冲压成形→调质→机加工

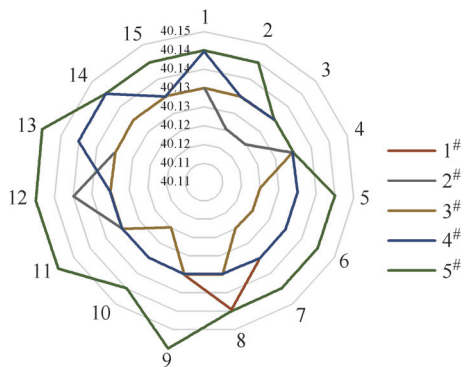


图2 带盘端跨棒距尺寸分布

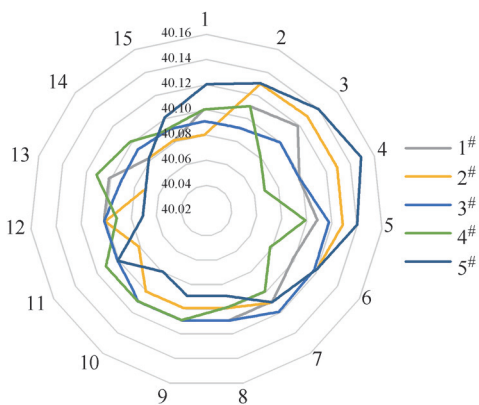


图3 自由端跨棒距尺寸分布

→拉齿→碳氮共渗→淬火→油冷→终检。经数据分析发现,拉齿工序后、碳氮共渗前,自由端跨棒距偏差已经大于带盘端偏差,为 $0.01\sim 0.03\text{mm}$;带盘端的跨棒距偏差为 0.01mm 。根据以上分析,为了减小盘毂花键的制造变形,需要分别控制从成形到拉齿工序的变形,以及后续热处理环节的变形。通过冲压精整、拉刀修磨等,拉齿工序后自由端跨棒距偏差优化为 $0.01\sim 0.02\text{mm}$ 。本文主要针对后续盘毂碳氮共渗淬火环节的变形进行研究。

3 变形原因理论分析

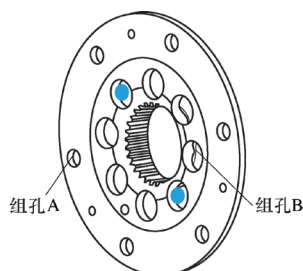
在加工过程中,工件变形的根本原因在于零件内应力的释放,如果释放的内应力高于材料的屈服强度,工件就会产生永久性的塑性变形。

碳氮共渗过程中的变形,源于热处理应力,具体包括以下两个方面:一方面,在热处理过程中,因工件的表面与中心或薄的部位和厚的部位之间因加热或冷却速度的不同,形成的温度梯度导致体积胀缩不均而产生内应力。通常,加热或冷却速度越快,产生的内应力越大;另一方面,由于相变前后组织的比容发生变化,以及金属的表层与心部不同时发生相变,这样引起的内应力为组织应力。组织应力会增大比容的转变区受压应力,减小比容的转变区受拉应力。当组织应力过大时,其与内应力叠加的结果可能导致工件变形。盘毂的结构形状、材料厚度,以及在炉中加热和冷却时的支承或夹持方式等因素也会导致变形。

具体到该盘毂,PFMEA分析变形原因如下。

1) 拉齿后、碳氮共渗前,没有应力释放工艺步骤。工件在碳氮共渗前经过机械加工,残存着内应力^[3]。碳氮共渗过程中,释放的内应力导致盘毂变形。

2) 碳氮共渗装炉工件摆放方式为悬挂方式,如图4所示。当前悬挂支撑点为组孔B中的两个孔,悬



挂支撑点距离花键近且挂棒直径小,挂棒直径仅为10mm。悬挂支撑点处可能产生应力集中,在其后应力释放过程中,盘毂变形,引起花键变形。

3) 碳氮共渗淬火及回火温度过高,不利于控制变形。

4 试验验证

对于薄壁件,合适的预处理工艺对控制其渗碳淬火变形是至关重要的^[4]。针对PFMEA分析的第一要素,在拉齿后、碳氮共渗前,增加去应力预热步骤,将工件预热到400℃保温。针对碳氮共渗工件摆放方式,尝试平放,悬挂点设置在分布直径远离花键孔的组孔A,加粗挂棒直径直至与挂孔名义间隙为0.5mm(预留0.5mm防止盘毂变形后卡滞在挂棒上),以及三点悬挂等方式。

DOE结果显示:平放时,由于上下面渗入速度不同,最大偏差为0.09~0.1mm,变形比原始悬挂放置更大,因此不予采用。

对比不同的悬挂支撑点,由于组孔A比组孔B孔径小,悬挂A孔时挂棒直径尺寸受限。试制发现,工件悬挂后,挂棒弯曲变形,造成工件相互触碰接触,不利于工件变形控制,因此也不予采用。

加粗挂棒直径至16.5mm后,挂棒抗弯强度增加,有利于减小工件碳氮共渗过程中的变形。

对于三点悬挂方式,由于工件变形后,该方式限制了后续回火去应力工序中变形的疏解,所以也不能有效减小工件变形。

因此,最终方案为悬挂点保持在组孔B,挂棒直径加粗至16.5mm,碳氮共渗温度由870℃降低为840℃;设置淬火温度为810℃,稍低于渗碳温度。

使用改进工艺方法进行碳氮共渗后,抽取5件试制件,进行测量及数据分析。结果显示,综合考虑带盘端与自由端花键变形有改善:带盘端(见图5)

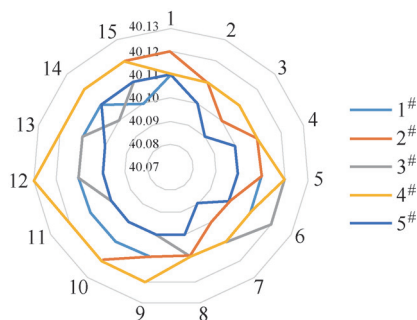


图5 改进后带盘端棒间距尺寸分布

棒间距最大偏差为0.03 mm,与前期验证相当(前期验证为0.02mm),自由端(见图6)棒间距最大偏差显著减低为0.04mm(前期验证为0.08mm)。因此,改进后花键跨棒距最大偏差为0.04mm,达到了偏差 ≤ 0.061 mm的要求。

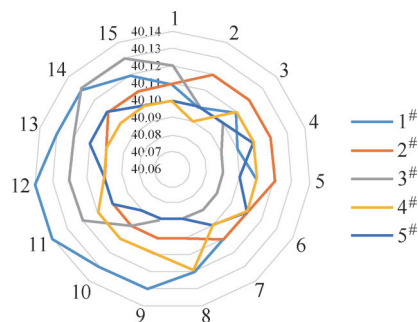


图6 改进后自由端棒间距尺寸分布

5 结束语

本文针对双质量飞轮盘毂在碳氮共渗过程中的变形问题对工艺过程进行分析,确定影响盘毂变形的相关因素。对这些因素进行优化后试制验证显示:对于该盘毂,碳氮共渗时悬挂方式中,立式悬挂优于平放,立式悬挂时两点悬挂优于三点悬挂,同时挂棒直径适当增大时有利于变形控制;碳氮共渗前增加预热工序有利于前序工序的应力释放,在后续热处理中能有效减小工件变形;在渗层、硬度及金相满足要求的前提下,碳氮共渗和淬火温度的降低也有助于减小工件热处理变形。

通过以上三个方面的优化,最终生产出了满足标准要求的产品。

参考文献:

- [1] 张建国,丛培武,陈志英.真空渗碳及碳氮共渗技术近况和应用[J].机械工人(热加工),2007(3):17-20,23.
- [2] 李远飞,刘汉金.内星形轮碳氮共渗的性能及变形[J].机械工人(热加工),2006(12):69,71.
- [3] 杨笋.气体氮碳共渗零件变形成因分析及改进措施[J].现代制造技术与装备,2011(2):42,48.
- [4] 唐明华,张蓉,张岚原.解决薄壁零件渗碳淬火变形的措施[J].热加工工艺,2003(3):60-61.