新能源汽车典型主减速齿轮车削工艺

张金梅，张特，石耀敏，张录，闫鹏辉
陕西法士特齿轮有限责任公司　陕西西安　710100

摘要：针对新能源汽车典型主减速齿轮热处理后车削内孔及端面工序存在的问题，通过对工艺方案的完善及工装夹具的改进，解决了加工效率低、质量不稳定的难题，同时总结了不同工艺方案对加工节拍及产品精度的影响，并批量验证了工艺稳定性及效率提升，为新能源汽车典型齿轮的高精高效加工提供了参考。

关键词：新能源汽车；主减速齿轮；车削；工装



工程师　张金梅

1　序言

随着新能源乘用车市场的快速发展，汽车性能及价格的竞争愈发激烈[1, 2]，为了在激烈的市场竞争中取得优势，必须不断挖掘新能源齿轴工艺潜能，在质量稳定的前提下，最大限度地提升效率、降低成本。

典型新能源汽车齿轴如图1所示。主减速齿轮作为新能源汽车减速器总成中的典型零件，其工艺路线已经相对成熟，传统的机械加工路线包括粗、精车成形→钻孔→滚齿→铣棱→热处理→车削内孔及端面→磨齿等。但实际加工过程中，该零件热处理后车削工序一直存在刀具损耗大、加工节拍长、加工质量与加工效率不能兼顾的情况。本文针对新能源主减速齿轮热处理后车削加工中存在的问题，在打样及批量加工过程尝试了各种改进方案，总结了

3）孔铣削达不到圆度技术要求时，需改用镗削、铰削方法实现。

4）夹具设计时，每工位设计同时装夹两件，排位沿*Y*轴方向排列，可兼顾效率和提高精度。

5）涡旋盘渐开线型面精铣加工平面时，主轴转速n=22000r/min，进给速度v_f=1500mm/min；加工侧面时，主轴转速n=22000r/min，进给速度v_f=1600mm/min，夹具压紧气压需要调至0.4MPa，能提高效率和达到精度要求。

参考文献：

[1] 杜涛，孟晓磊，李晨凯，等. 汽车空调涡旋压缩机的阶梯型齿形结构分析[J]. 制冷技术，2017（1）：44-47.
[2] 袁华. 适用于现代模具制造的新一代刀具夹持系统[J]. 模具工业，1999（5）：42-44.
[3] 姜芙林，刘战强，刘钢. 热缩刀柄夹持力的理论模型与有限元分析[J]. 工具技术，2011（6）：31-35.
[4] 张卫兵，刘向中，陈振华，等. WC-Co硬质合金最新进展[J]. 稀有金属，2015（2）：178-186.
[5] 郭风丽，彭文屹，冯亮，等. 硬质合金表面类金刚石涂层的研究进展[J]. 稀有金属，2014（4）：720-729.
[6] 任家隆，刘志峰. 机械制造基础[M]. 3版. 北京：高等教育出版社，2015.

MW 20250519

各类加工方案的优缺点，并根据实际情况选出最合适的加工方案，在保证质量的情况下缩短节拍，提高效率，降低成本，为新能源典型盘类齿轮的加工提供经验参考，助力新能源汽车齿轮加工技术的快速发展。

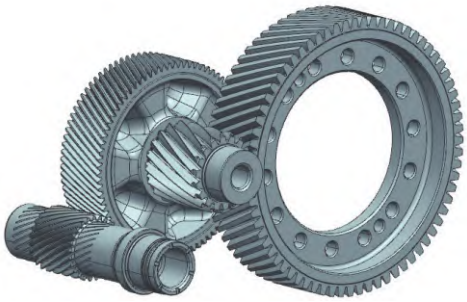


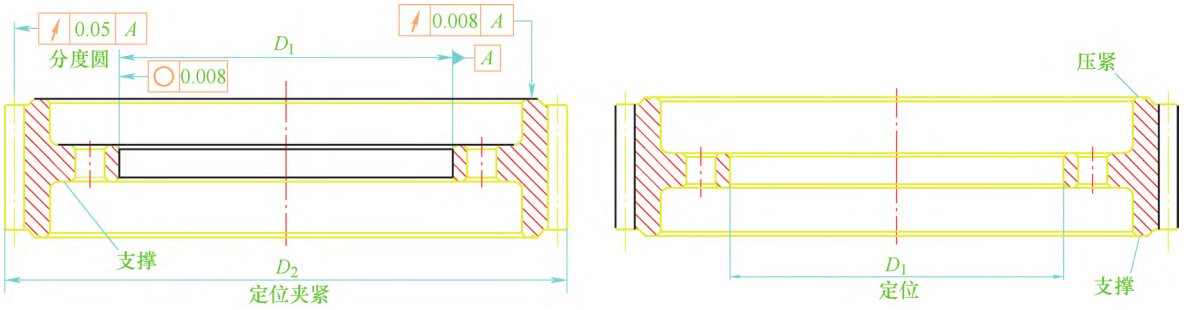
图1　典型新能源汽车齿轴

2　车削工序样件加工方案

主减速齿轮热处理后需要进行内孔、端面及齿部的精加工，涉及车削、磨齿两道机械加工工序，车削、磨齿工艺装夹方案如图2所示。车削工序加工的内孔及端面作为磨齿工序的定位、支撑基准，端面对内孔的轴向圆跳动值过大，将直接影响磨齿精度；分度圆对内孔的径向圆跳动值过大，将会因磨削余量分配不均而导致有效渐开线不足，甚至出现齿面黑皮问题[3]。因此，为了提升磨齿合格率，必须严格控制车削工序内孔及端面的加工精度。

2.1　条形自定心卡盘加工方案

车削内孔及端面工序常用的装夹方案是利用条形自定心卡盘支撑端面、定位并夹紧齿顶圆，该方案夹具结构简单，制造周期短，通用性高，工装维



a）车削内孔及端面　　b）磨齿

图2　车削、磨齿工艺装夹方案

护方便，在项目初期为了缩短试制周期，实现样件的快速交付，常采用此工艺方案，条形自定心卡盘装夹如图3所示。



图3　条形自定心卡盘装夹

在实际使用过程中，采用上述装夹方案一直存在加工质量与加工效率无法平衡的问题。由于条形自定心卡盘夹持面积比较小，三点夹紧零件不可避免地会出现变形，内孔精加工后在夹紧状态下圆度合格，从机床上取下后零件恢复原状，出现三瓣形状，且随着夹紧力的增加，三瓣形状越来越明显，进而圆度越来越差，不同机床压力下内孔圆度如图4所示，在机床压力为0.5MPa、0.7MPa下内孔圆度分别为5.30μm、7.73μm。因此，为了避免内孔圆度超差，必须严格控制机床压力的大小。虽然通过减小机床的夹紧力可有效减小零件夹紧变形，但是由于零件小端面存在16个孔，断续切削过程切削冲击大，此时夹紧力不足，零件松动，将导致轴向圆跳动变大。因此，为了保证内孔圆度合格，机床的夹紧力大小必须给定合适。在机床压力一定的情况下，为了防止断续车削下出现零件松动的情况，只能通过减小切削深度及进给速度的方式减小切削力

的大小[4]，此时就会出现机床加工节拍长、加工效率低的问题。

通过加工验证，若要保证车削工序质量的稳定性，采用条形自定心卡盘的装夹方案机床压力需要控制在0.7MPa。同时，为了防止断续车削过程零件松动，需要减小切削深度及进给速度来减小切削力，保证轴向圆跳动的稳定性，加工节拍在4min左右。因此，条形自定心卡盘装夹方案加工效率低，仅适用于小批量样件加工。



a）0.5MPa下内孔圆度



b）0.7MPa下内孔圆度

图4　不同机床压力下内孔圆度

2.2　扇形自定心卡盘加工方案

为了解决加工质量与加工效率不平衡的问题，更换自定心卡盘结构形式，将条形更换为扇形，增加夹持面积。扇形自定心卡盘装夹如图5所示，此种情况下可通过提升机床压力保证装夹可靠，同时可减少零件的装夹变形，保证内孔圆度及轴向圆跳动合格，在此基础上进行数控提效，加工节拍可提升至2min30s。



图5　扇形自定心卡盘装夹

扇形自定心卡盘加工方案随着机床压力的增加，圆度相对稳定，与条形自定心卡盘相比，虽然二者定位基准均是热处理后的齿顶圆，但夹持面积大，齿顶的微小磕碰及热处理变形都将引入装夹误差，导致内孔车偏，此时分度圆对内孔的径向圆跳动值变大，进而影响磨齿精度。因此，扇形自定心卡盘适用于小批量样件加工，若应用于批量加工中，则需要控制好热处理变形，并做好过程防磕碰工作，同时需要控制好热处理前滚齿的加工精度，滚齿推荐使用全切齿顶的方式[5]，保证齿顶与分度圆的位置度。

3　车削工序批量加工方案

基于自定心卡盘在加工过程中存在的问题，若要具备成本优势，则批量加工中需要兼顾考虑加工质量与加工效率，因此需要对工艺及工装进行优化改进，寻求最适用于批量加工的方案，在保证质量的同时提升节拍，降低成本。

3.1　工艺优化

工艺方面，舍弃传统的齿顶定位与夹紧方式，采用齿顶圆或节圆定中心、端面支撑及压紧的方式，在齿端增加了压紧装置，为了防止压紧变形，

支撑面由辐板处的小端面调整为靠近齿部的大端面，改进后的装夹方案如图6所示。此时，零件的压紧主要依靠轴向力，避免了径向抱紧导致的内孔变形问题，但为了防止轴向压紧变形导致的轴向圆跳动超差问题，需要严格控制支撑面积的大小以及支撑点与压紧点的相对位置。

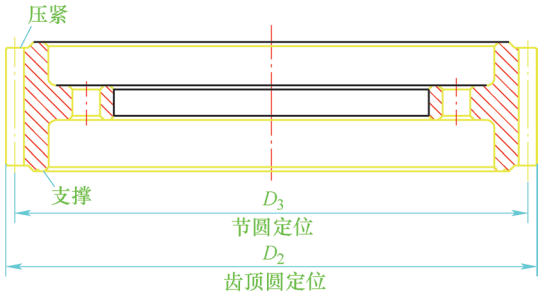


图6　改进后的装夹方案

3.2　工装改进

工装方面，采用3个均布的定位块，通过薄膜卡盘的弹性力对零件进行可靠定心，同时3个均布的支撑块支撑下端面，3个均布的压板压紧上端面，支撑点与压紧点一一对应，通过调整机床压力保证端面的可靠压紧。成套精车端压夹具如图7所示。



a）齿顶圆定中心



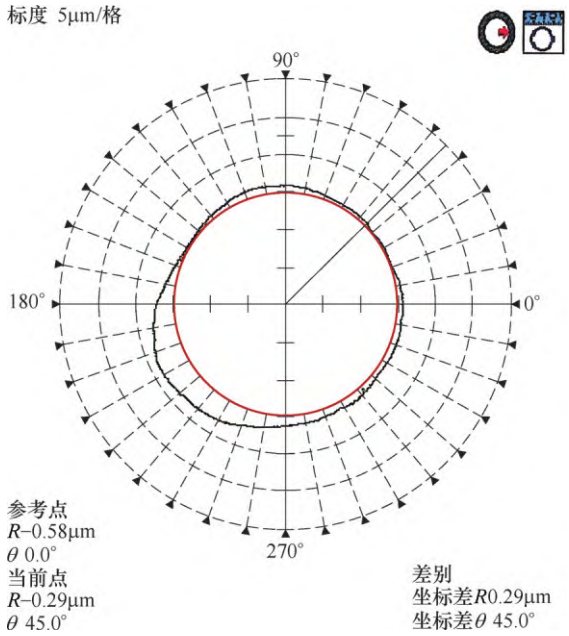
b）节圆定中心

图7　成套精车端压夹具

此种装夹方案零件受到的径向定心力较小，内孔变形也较小。为了防止零件在加工过程中松动，可通过提高机床压力至0.9MPa对零件进行端面可靠压紧。采用精车夹具后，优化调整切削参数，批量加工时间减少至2min，在此节拍下内孔圆度、轴向圆跳动均满足工艺要求且过程稳定，两种装夹方案下内孔圆度值分别为3.44μm、3.73μm。端压夹具下内孔圆度如图8所示。



a）齿顶圆定中心



b）节圆定中心

图8　端压夹具下内孔圆度

通过批量加工对比，以齿顶圆定中心的方案车削内孔后，齿部分度圆径向圆跳动值的大小主要取决于热处理前滚齿的精度及热处理变形，在滚齿及热处理过程稳定的前提下推荐采用该方案；以节圆定中心的方案，不仅圆度、轴向圆跳动合格，而且其分度圆径向圆跳动稳定在50μm以内，最适用于批量加工。

采用成套精车夹具虽然可提高加工效率并保证质量的稳定性，但是否采用该方案应综合考虑市场情况。夹具方面，精车夹具的结构复杂，制造周期长，采购价格在10万元左右，是自定心卡盘的百倍左右。以节圆定中心比以齿顶圆定中心的精车夹具价格略高，且在自动化生产线上该装夹方案对机器人的定位精度要求较高。刀具方面，尤其是进行断续车削的加工刀具，随着切削速度的提升，其寿命会显著下降。因此，实际加工中须根据产能需求选用相应的夹具、刀具及切削参数等，以达到效率、质量和成本三者之间的平衡。

4　结束语

本文介绍了新能源典型齿轮热处理后车削内孔及端面工序常用的工艺及工装方案，总结了各类加工方案存在的问题，根据批量加工验证了热处理后车削内孔及端面工序的最佳方案。

1）自定心卡盘加工方案机床压力控制在0.6～0.7MPa，圆度可控制在8μm以内，此夹紧力下需降低进给速度，避免零件松动以保证轴向圆跳动合格，加工节拍为4min。该方案加工效率低，适用于新品开发阶段。

2）扇形自定心卡盘的装夹方式可在保证装夹可靠的情况下，避免因夹紧变形导致的圆度超差问题，加工节拍可提升至2min30s。该方案通用性高，节拍短，成本低，但热处理变形的影响较大，需要做好热处理变形及过程防磕碰管控，适用于新品开发阶段。

3）精车夹具端面压紧的方案，机床压力控制在0.9MPa，加工节拍2min，内孔圆度及轴向圆跳动合格。对于以齿顶圆定中心的方案，批量加工过程中分度圆径向圆跳动的稳定性受滚齿精度及热处理变形的影响较大，该方案适用于滚齿及热处理过程稳定的生产线。节圆定中心的方案可修正滚齿及热处理变形的影响，分度圆径向圆跳动稳定，批量加工首选该方案。

参考文献：

[1] 崔吉男. 2023年国内新能源汽车价格竞争策略分析[J]. 汽车工业研究，2023（4）：28-35.
[2] 李晓华. 我国新能源汽车的发展现状与前景趋势[J]. 人民论坛，2024（9）：76-79.
[3] 王泽贵. 齿轮-轴压配焊接后和磨齿前加工误差影响分析[J]. 传动技术，2024（4）：7-12.
[4] 杨方. 机械加工工艺基础[M]. 西安：西北工业大学出版社，2002.
[5] 焦志贤. 小模数全切滚刀齿形与控制齿厚计算[J]. 机械工艺师，1994（10）：9-11.

MW 20250606

专家点评



文章介绍了齿轮热处理后精车工序常用的工装夹具，总结了各类装夹方式的优势和不足，通过批量加工验证了精车内孔及端面的最佳方案，解决了精车工序加工效率低、质量不稳定的难题。

文章布局合理，思路清晰，详略得当，图文并茂。亮点是齿轮车削工序的工装夹具改进方案，基于自定心卡盘装夹存在的问题，舍弃传统的齿顶圆定位与夹紧方式，设计制作专用夹具，采用齿顶圆或节圆定中心、端面支撑及压紧的方式，在保证质量的同时提升效率、降低成本，具有一定的实用性和通用性。