



本文介绍了焊接差速器全新的焊接工艺，焊接后对差速器齿轮进行磨齿，磨齿后齿轮精度可以达到 5 级以上。焊接差速器技术优势明显，具有轻量化、低成本、高精度及低噪声等优势。

□ 株洲齿轮有限责任公司 文国锋 崔双好 沈洪军 刘祥环

焊接差速器在纯电动汽车中的应用研究

无论是传统乘用车还是新能源乘用车，差速器都是汽车零部件的一个重要组成部分，它提供动力传动，保障汽车转弯安全差速。传统差速器和主减速齿轮是通过物理方式连接，即采用螺栓连接，差速器特性对螺栓、转矩要求比较高。在商用车领域，EMAG LaserTec 提供了激光焊接整体生产系统，将主减速齿轮和差速器采用化学融合方式连接，焊接成为一个整体。针对货车差速器的生产，EMAG 生产系统将 3 个独立部件焊接在一起，由此可省去大约 40 处昂贵的螺栓连接成本，同时重量也大幅减轻。

技术研发

株洲齿轮有限责任公司（以下简称“株洲齿轮”）与某高校合作在乘用车上对差速器和主减速齿轮焊接技术进行研究。

焊接技术难点：差速器壳体材料主要为球墨铸铁，主减速齿轮材料主要为渗碳钢，两种材料的含碳量、金相组织和化学性能差异很大，无法通过自融方式焊接为一个整体。我们采用添加焊丝的方式进行焊接，采用以镍为基体的焊丝。焊接技术方案为部件激光清洗、部件压装、部件激光焊接、焊缝超声波探伤、总成烘干、清洁焊缝和焊渣等，两台工业机器人完成整个系统的上下料和作业。

1. 部件激光清洗

通过机器人独立上料，对差速器壳体和主减速齿轮的焊接部位的表面进行激光灼烧（图 1），除去所有残留物，例如冷却剂或防腐剂，减少杂质对焊接质量的影响，激光清洗中激光器功率较低，既即达到清洗目的，又能保护产品。激光清洗过



图 1 激光清洗机

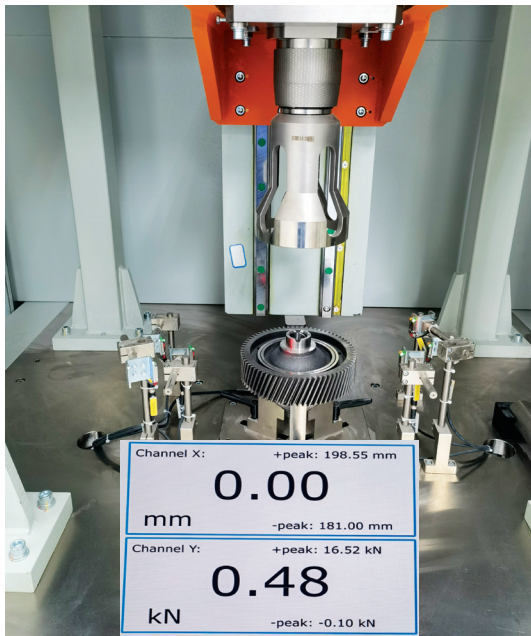


图 2 主减速齿轮压装机

程非常快捷，同时设备又采用双工位清洗，设备工作效率高。

2. 部件压装

机器人从激光清洗机中取出部件并将其送入

压装工位，压装设备有力和位移监控功能，确保压装到位（图2）。

3. 激光焊接

机器人将压装好的部件取出并传递到焊接设备（图3），通过专用的工装轴向定位夹紧后，采用高能激光焊技术将差速器壳体和主减齿轮焊接成为整体。整个焊接过程非常快捷，激光器发射激光，先将镍基焊丝融化，然后焊丝作为焊接中介将差速器和主减齿轮融合成一个整体。

合理的焊接工艺参数焊出的差速器和主减齿轮的热变形都比较小。株洲齿轮已经完成4 mm、5 mm 和 5.5 mm 焊缝的焊接工艺开发，实现了焊接变形小、焊接飞溅小、焊接质量高及无虚焊等。

4. 超声波探伤

焊接完成后采用超声波检测技术（图4），系统会100%自动检查焊接区域质量，做到零缺陷。完成探伤后进行总成烘干，将探伤的媒介探伤液烘干，防止产品生锈。烘干后机器人转运到刷焊缝工位，对焊



图4 超声波探伤机

缝表面的焊渣、氧化层等进行清理。

焊接技术优势

采用焊接方式连接的差速器具备轻量化、低成本、高精度、低噪声和结构紧凑等几方面优势。

1. 轻量化

差速器和主减齿轮通过焊接方式连接取代了传统的螺栓连接方式，不仅节省了大量的螺栓，而且差速器壳体和主减齿轮结构设计更加简约，质量明显改善。根据株洲齿轮开发3000 N·m 的B 型 减 速 器

和 5000 N·m 的 C 型 减 速 器的焊接差速器和螺栓差速器对比，发现3000 N·m 的B 型减 速 器焊接差速器总质量较螺栓差速器总质量减少了0.95 kg，减 重 约 15.5%；5000 N·m 的C 型减 速 器焊接差速器总质量较螺栓差速器总质量减少了1.24 kg，减重约13.1%。由此可见焊接差速器在轻量化方面具有明显优势，见表1。

2. 低成本

差速器和主减齿轮采用焊接方式连接后首先节省了大量的螺栓的昂贵费用；与此同时也取消了差速器和主减齿轮上的螺栓孔、螺纹孔等工艺，节约了钻孔和攻丝等加工费用、取消了总成装配工序，节约了装配等人工费和螺栓拧紧设备费用。而相对增加的仅有焊接成本，在批量自动化条件下，焊接成本要低很多，激光焊接的成本比螺栓差速器成本低约20%。

3. 高精度

传统螺栓连接差速器的主减齿轮单独进行磨齿，然后再与差速器装配，螺栓打紧。主减齿轮磨齿使用高精密磨齿机，磨齿过程中采用心轴定位，由于定位面较小，磨齿过程中齿轮有轻微抖动，齿轮的螺旋线精度略差，同时与差速器装配后

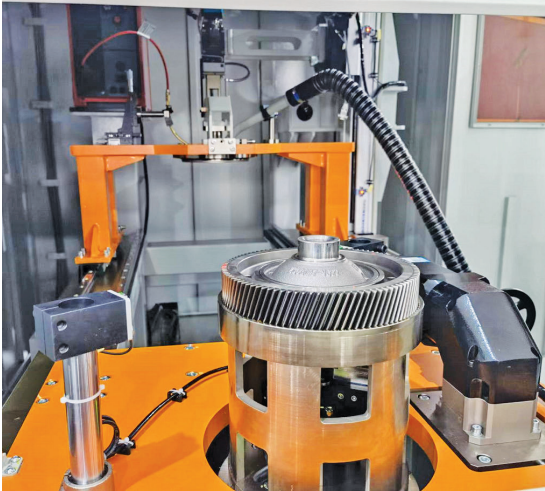


图3 激光焊接机

表1 差速器轻量化 (单位：kg)

减速器 型号	焊接差速器			螺栓差速器			
	差壳	齿轮	总质量	差壳	齿轮	螺栓	总质量
B 型	2.11	3.06	5.17	2.72	3.04	0.36	6.12
C 型	3.92	4.54	8.23	4.12	4.64	0.71	9.47

表2 螺栓差速器齿轮精度 (单位：μm)

左齿面			右齿面			F_r
$f_h \beta$ V 值	$f_h \beta$ 三截 面扭变	F_p	$f_h \beta$ V 值	$f_h \beta$ 三截 面扭变	F_p	
5.033	2.433	11.6	4.333	1.533	12.2	9.667



累积装配误差后，以实际使用的轴承位置为基准检测，齿轮的螺旋线精度变化很大。通过多组齿轮数据得出表 2 中的齿轮精度平均值。

焊接差速器的主减齿轮和差速器焊接之后作为一个整体部件进行磨齿，磨齿过程中采用顶尖和差速器的轴承处外圆轴向定位，定位精度高，装夹力大，磨齿后稳定性好，磨齿后的精度即为实际使用精度，没有装配误差。通过多组齿轮数据得出表 3 中的齿轮精度平均值，对比两种磨齿方式，发现焊接差速器的齿轮累积偏差 F_p 接近 1 级齿轮精度；而螺栓差速器的齿轮累积偏差 F_p 达到 3 级齿轮精度，焊接差速器的齿轮累积偏差提高了 1 级。焊接差速器的齿轮径向跳动公差 F_r 达到 2 级齿轮精度；而螺栓差速器的齿轮的径向跳动公差 F_r 达到 3 级齿轮精度，螺栓拧紧后累积装配误差后齿轮的径向圆跳动公差达到了 6 级，明显焊接差速器的齿轮的径向圆跳动公差提高了 3 级。焊接差速器齿轮的螺旋线倾斜偏差一致性 $f_h\beta$ V 值和螺旋线三截面扭变偏差达到了 1 级齿轮精度；而螺栓差速器齿轮的螺旋线倾斜偏差一致性 $f_h\beta$ V 值和螺旋线三截面扭变偏差达到了 2 级齿轮精度，齿轮精度提高了 1 级。可见焊接差速器齿轮可以达到 2 级齿轮，比螺栓差速器齿轮高了 4 级精度。量产时螺栓差速器主减速齿轮磨齿可以稳定达到 5 级齿轮精度，装配和螺栓拧紧后，齿轮可以达到 6 ~ 7 级精度。而量产的焊接差速器

表 3 焊接差速器齿轮精度

(单位：μm)

左齿面			右齿面			F_r
$f_h\beta$ V 值	$f_h\beta$ 三截面扭变	F_p	$f_h\beta$ V 值	$f_h\beta$ 三截面扭变	F_p	
2.875	1.1	6.3	3.6	1.025	6.275	6.825

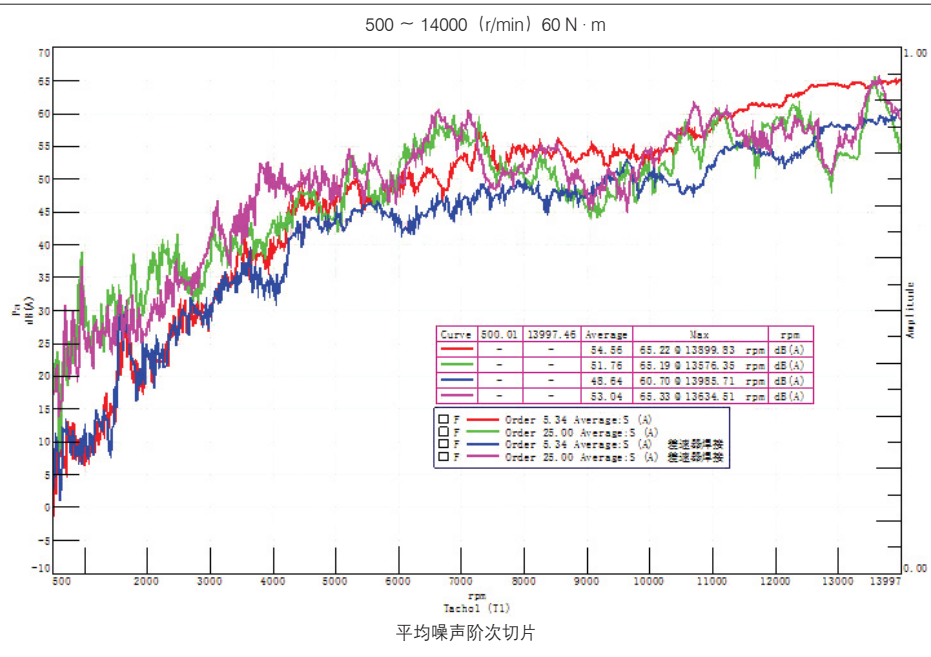


图 5 焊接差速器与螺栓连接差速器 NVH 对比

的主减齿轮可以稳定达到 4 ~ 5 级精度，没有装配误差。焊接差速器在齿轮精度方面有明显优势。

4. 低噪声

焊接差速器齿轮磨齿后可以达到 2 级齿轮精度，装配到减速器中进行 NVH 测试，二级齿轮噪声有明显降低，噪声较螺栓差速器齿轮箱降低 2 dB，如图 5 所示。

5. 结构紧凑

螺栓差速器结构设计时要考虑差速器承载能力，预留差速器空间、螺栓装配空间等，从而限制了主减齿轮尺寸，主减齿轮不能过小。而采用焊接结构时差速器可以完美避开这些限制，焊缝位置可以设置在差速器外侧，焊缝探伤空间仅为螺栓空间的 50%，由此累

积二级传动的中心距可以减小 10 ~ 20 mm。因此减速器的整体尺寸可以更小，而承载能力也很大，同时减速器质量也会更轻，也实现了乘用车轻量化。

结论

株洲齿轮正在逐步优化焊接工艺流程，加载机器人产线，控制生产节拍，保证稳定的工艺和效率。同时株洲齿轮也与各大高校联合开发焊接结构设计、工艺路线，潜心研究，打破国外对焊接差速器技术的垄断，引领乘用车的焊接差速器技术发展。 [A]