

机器人滚边技术在白车身制造中的应用及问题解决方法

刘 锋,王 宁,陆奇能,胡 雪,李 佳

(一汽-大众汽车有限公司吉林,长春 130011)

摘要:滚边是汽车外覆盖零件常见结构,广泛存在于车门、发动机盖、行李箱盖总成。常见的滚边手段有手工翻边、模具滚边、机器人滚边等。随着技术发展,机器人滚边技术因其系统柔性程度高、成本低等特点,应用规模逐渐扩大。门盖滚边质量对功能性及美观性均有影响,影响滚边质量的工艺参数较多,质量优化周期长,因此滚边质量是批量生产验收放行的重要检查项。文章主要介绍了车身四门两盖制造中机器人滚边技术的工艺特点、系统组成,重点介绍了压合厚度、外板开口间隙及角度、压合涂胶质量、压合表面质量要求,对常见压合缺陷如波浪、拐角处褶皱和堆料、板外漏、压合凹坑的原因进行了详细阐述。未来,随着机器人滚边压合技术日趋成熟以及成本逐步下降,其应用范围将逐渐扩大,覆盖批量生产、试制小批量生产。

关键词:机器人滚边;质量标准;质量缺陷;控制方法

中图分类号:U468.22

文献标志码:A

文章编号:1672-545X(2024)03-0108-04

0 引言

压合技术在白车身滚边生产中应用广泛,压合是指利用压合机构或设备将门盖外板翻边进行180°弯曲,使门盖外板折边包住内板,以增加门盖整体刚度和强度的工艺^[1]。滚边压合为采用滚轮将这边辊压并包裹住另一个零件,以实现装配^[2]。车身的四门两盖内外板采用滚边工艺,门盖滚边工艺不仅要求零件表面光滑、平整、无钣金波浪、坑包等缺陷,还需要保证车门内外板之间涂胶量及车门整体尺寸,涂胶不足影响车辆防腐及密封,尺寸偏差影响车门匹配间隙及闭合合力,所以滚边是门盖开发及制造过程中的重点和难点工艺。为增加不同车型设备通用性,降低投资成本^[3],提高问题解决效率,目前车身的四门两盖普遍采用机器人滚边技术。

1 机器人滚边原理及技术特点

机器人滚边压合的原理:工业机器人的工具(滚轮),沿着被翻边的工件轮廓进行运动,通过机器人工具上滚轮所施加的力将工件在冲压过程中所预留的

翻边在滚轮的作用下向内侧翻折,从180°或90°最后变成0°,从而将外表面件的边缘紧紧低翻压在内板件上,是外板和内板被整合成一体^[4]。滚轮的运动轨迹和压力控制通过机器人编程实现^[5]。

车身的四门两盖一般采用三次滚压成型法^[6],每次压合角度依次为30°、60°、90°,如果前盖有水滴结构滚边,一般采用四次滚压成型法,门盖零件压合边曲率变化不大的区域也有采用两次滚压成型法的。滚轮压入角对板件成型有显著的影响^[7],比如在局部曲率变化大、形状复杂的部位一般需要多次滚压法才能完成内外板的压合。

根据滚边的零件及位置不同,一般滚边压合有普通压合、水滴(欧式)压合、V型(日式)压合三种形式。其中发动机罩盖为提高安全性多采水滴压合,门盖其他区域多采用普通压合形式。

与传统机械压合相比,机器人滚边压合在成本、设备构造、压合零件变形、维修调试、维护费用、对外板开口角度要求、预压和角度等方面具有明显优势,但在生产节拍、工作频率及这边次数方面机械压合具有优势。机器人滚边压合及传统机械压合优劣势对比见表1。

收稿日期:2023-12-20

第一作者:刘锋(1981-),男,黑龙江牡丹江人,硕士,高级工程师,研究方向:汽车试制、制造。

表 1 机器人滚边压合与机械压合对比

| 序号 | 功能结构 | 机器人滚边压合 | 传统机械压合 |
|----|--------|------------------------------------|----------------|
| 1 | 成本 | 低 | 中 |
| 2 | 设备构造 | 简单、灵活性高 | 复杂、灵活性低 |
| 3 | 节拍 | 慢 | 较慢 |
| 4 | 对零件的变形 | 小 | 较大 |
| 5 | 维修调试 | 优化质量容易 | 优化质量较复杂 |
| 6 | 维护费用 | 少 | 多 |
| 7 | 外板开口角度 | 外板开角至 180° | 外板开角至 110° |
| 8 | 预压合角度 | 每次折边角基本上不允许大于 35° | 翻边角度为开口角度的 1/2 |
| 9 | 工作频率 | 机器人的运动速度 100mm/s | 目前节拍 40~50s |
| 10 | 折边次数 | 外板开角至 120°, 4 次折边外板开角至 180°, 6 次折边 | 仅需两次折边 |

2 机器人滚边系统组成

机器人滚边系统主要由三部分组成^[8]: 机器人系统、滚边胎模及夹具系统、滚轮系统。机器人及其控制系统主要用于控制滚轮的运动轨迹, 以及机器人与其他相关系统之家的通信。滚边过程由机器人抓持滚轮架执行滚边程序, 依次完成整个车门的滚边。

机器人需要根据零件的尺寸、滚边位置、滚边零件的材料等选用不同的机器人; 滚轮直接与金属板材零件接触, 是压力直接传输的部件。针对不同滚压零件的轮廓以及所要达到的滚边效果, 所用滚轮的形状通常设计有 30°、45°、90° 阶轮和专用轮等^[9]。

3 滚边压合质量要求及常见问题

3.1 压合厚度要求

压合厚度由外板厚度 $S1$ 、内板厚度 $S2$ 、涂胶间隙及公差四部分组成, 见图 1, 其中涂胶间隙需要根据胶的不同类型预留不同尺寸, 一般为 0.2 mm, 公差一般为 0.4 mm, 在进行质量检查时对压合厚度进行测量, 并结合厚度计算公式 $2 \times S1 + 1 \times S2 + 0.2 + 0.4$ 判定压合厚度是否满足质量要求。

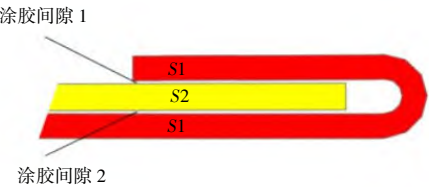


图 1 压合厚度

针对水滴滚边, 水滴滚边区域压合的最大厚度一般为 $5\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$, 因为水滴滚边增大了人与车辆的圆角接触区域, 可以有效保护在碰撞时行人的安全, 所以发动机罩盖一般采用水滴滚边的形式, 见图 2。



图 2 水滴滚边厚度

针对有未封口的压合滚边, 未封口的钣金高度一般为 3 mm, 否则会影响后续涂装密封工艺的实施及防腐性能, 见图 3。



图 3 未封口滚边厚度

3.2 开口间隙及开口角度要求

内外板之间的压合间隙一般要求小于 0.5 mm, 开口角度需小于 20°, 否则影响门盖防腐性能, 具体见图 4。

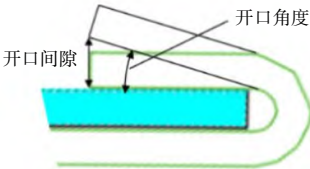


图 4 开口间隙及开口角度要求

3.3 压合涂胶质量要求

在进行压合涂胶质量检查时, 需要将门盖烘干后用边铲或打磨的方式使内外板分离, 然后测量各区域涂胶面的宽度及面积, 涂胶常见的缺陷类型主要是气孔、涂胶不连续、无连接、部分宽度减小。为有效的说明各区域涂胶状态, 把压合区域按照图 5 分为了 A、B、C、D 四个区域, 其中 A 面指 100% 的压合重叠区, B 面指 30% 的压合重叠区, C 面指填充区, D 面指溢胶区。

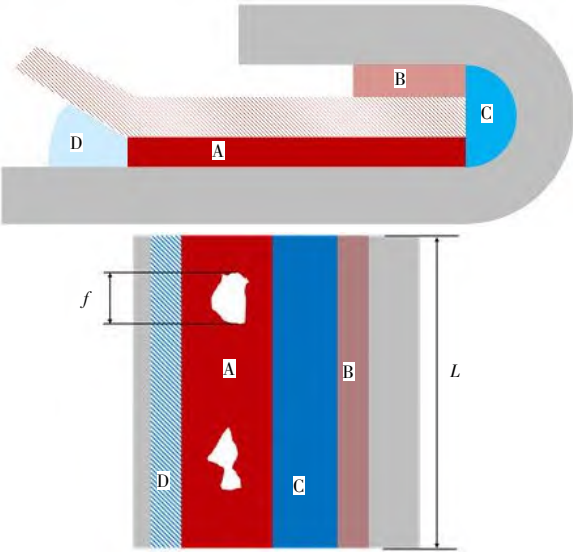


图 5 压合涂胶分区

针对 A、B、C、D 四个区域，各区域针对涂胶的要求如下：

可接受的 A 面缺陷：缺陷在与 CD 面转换位置，且缺陷不开放，前 5 mm 连接位置无缺陷、总缺陷长度小于 20% 的涂胶长度 L ，单个缺陷长度 f 小于 200 mm。

可接受的 B 面缺陷：缺陷在与 C 面转换位置，且缺陷不开放，前 5 mm 连接位置无缺陷、总缺陷长度小于 50% 的涂胶长度 L ，单个缺陷长度 f 小于 200 mm。

可接受的 C 面缺陷：缺陷在与 AB 面转换位置，或在内部位置周围均有涂胶前 5 mm 连接位置无缺陷、总缺陷长度小于 20% 的涂胶长度 L ，单个缺陷长度 f 小于 200 mm。

可接受的 D 面缺陷（不连续）：前 5 mm 连接位置无缺陷、总缺陷长度小于 20% 的涂胶长度 L ，单个缺陷长度 f 小于 200 mm。

各区域缺陷见图 6。

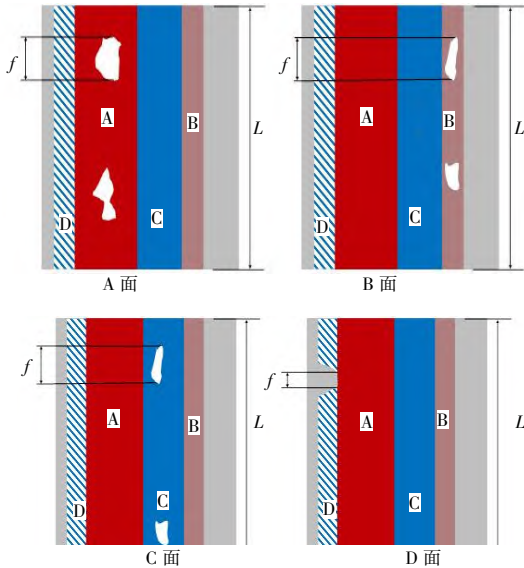


图 6 各区域涂胶缺陷

3.4 压合表面质量要求

门盖表面质量问题约有 20% 是由压合引起的，压合表面质量不但影响目视效果，部分质量缺陷还会影响门盖性能，如因压合褶皱或波浪可能引起压合区域密封问题，进而影响防腐性能。

门盖表面质量一般通过目视和油石打磨的方式进行检查，压合表面质量不能出现如下常见的缺陷。

4 常见压合缺陷及原因分析

零件尺寸、压合模具、压合滚轮、压合压力、压合轨迹及压合次数等都可能引起压合缺陷，常见的压合缺陷主要有 7 种：①压合后未完全闭合，在内外板之间存在缝隙；②外板出现明显波浪；③角未闭合或者

有多肉；④压合后滚边圆角直径过大，或者不规则；⑤局部宽度过大，在检具上表现为间隙小；⑥压合后零件尺寸过大，在检具上表现为间隙小；⑦外观质量和尺寸缺陷。

4.1 压合波浪

压合波浪是压合最常见的问题，引起压合波浪的原因很多，需要对零件单件、压合机器人程序、压合工装及涂胶进行综合分析，影响压合波浪的影响因素及问题原因见表 2 所示。

表 2 压合波浪影响因素及问题原因

| 序号 | 影响因素 | 问题原因 |
|----|-------|------------------------------|
| 1 | 外板单件 | 外板波浪、压合边波浪、棱线处圆角不均匀、零件表面过于平坦 |
| 2 | 压合边长度 | 过长、过短、长度不均匀 |
| 3 | 内板单件 | 内板法兰边波浪、内板焊接变形 |
| 4 | 涂胶 | 涂胶过多、过少、不均匀、胶过期、固化温度、时间 |
| 5 | 机器人程序 | 压合速度、压合力、压合角度 |
| 6 | 压合模具 | 有波浪、研磨不合格、磨损/有砂眼 |
| 7 | 预压合 | 角度不均匀，剩余关闭角度过大 |

4.2 压合边拐角处褶皱或堆料

压合边褶皱或堆料是压合转角处常见的缺陷^[10]，主要是由两方面原因引起，第一是外板法兰边整体过长，导致压合后外板板料褶皱或堆积；第二是拐角处外板法兰边一般会设计长度缩减区，长度缩减区长度不小于 20 mm，法兰边尺寸不超过 3 mm。

4.3 压合内板外漏

压合内板外漏是一种严重的质量缺陷，在压合质量检查时要重点关注，因为它会严重影响门盖内外板之间密封，长时间用车后极易产生腐蚀、生锈或漏雨缺陷，且缺陷出现后无法返修，导致内板外漏主要因素及问题原因见表 3。

表 3 压合外漏影响因素及问题原因

| 序号 | 影响因素 | 问题原因 |
|----|-------|---------------------------|
| 1 | 内板 | 角处内板过小、内板不圆、内板上翘 |
| 2 | 外板压合边 | 外板压合法兰边过短 |
| 3 | 夹具定位 | 夹具定位不精准 |
| 4 | 夹具夹紧 | 夹紧力不够，夹紧位置过少或不合理，导致压合位置偏移 |
| 5 | 压料板 | 压料板压力小，无法对内板进行压紧固定导致内板移动 |

4.4 压合边凹坑

门盖压合后经过油石打磨部分区域会出现凹坑，经过涂装后凹坑缺陷会更加明显，会影响整车的外观质量，也是白车身及整车质量评价的扣分项。压合凹坑是一个综合问题^[11]，需要对零件内外板单件、零件匹配、压合模具、机器人轨迹、压合力等进行综合分析，外板单件缺陷及压合力是造成压合凹陷缺陷的主要原因。

5 结论

机器人滚边压合技术因其投资少,柔性好、结构简单,问题解决容易等优势,迅速的应用在汽车门盖总成制造中。主要讨论了与机器人滚边压合的工艺特点、系统组成、质量要求、常见问题及控制方法,随着技术的发展,机器人滚边压合技术将逐步淘汰传统的机械压合,成为汽车制造的关键工艺。

参考文献:

- [1] 钟丽慧,辛玉林,郝海鹏,等.车身后盖压合结构及质量影响[C].2016 中国汽车工程学会年会论文集,2016.
- [2] 项义恩.机器人滚边压合工艺[J].现代零部件,2013(8):86-87.
- [3] 张述元.浅谈车门包边工艺[J].企业技术开发(下半月),2016,35(12):16-17.

- [4] 孟繁秋.基于工业机器人控制的滚边压合技术研究[D].长春:吉林大学,2011.
- [5] 谢翔.机器人滚边技术在车身制造中的应用[J].江苏科技信息,2012(5):27-29.
- [6] 郝俊伟,谢跃文,王莘莘,等.机器人滚边压合工艺及常见缺陷处理方法[J].锻造与冲压,2021(4):51-54.
- [7] 王洪杰,贾艳辉.滚边关键工艺参数有限元模拟分析[J].金属加工:热加工,2016(23):3.
- [8] 潘远安,张洋,李昕.汽车行业机器人滚边压合系统组成及应用[J].金属加工(热加工),2014(19):66-68.
- [9] 林忠钦,陈关龙,王皓,等.具有回转工作台的并联式机器人包边系统:CN20051002479[P].2005-09-21.
- [10] 朱西产,王洪杰.机器人滚边压合工作岛的应用[J].世界制造技术与装备市场,2016(3):4.
- [11] 刘殿福,陈朝明.车身关键部件制造的柔性化技术——机器人滚边技术[J].汽车工艺与材料,2010(7):9-12.

(上接第79页)

预习、复习赋分可由过程性评价、总结性评价两部分组成。过程性评价包括预习时长、教材简单作业课前完成质量情况等,总结性评价通过让学生在每一块内容学习后写一段课程内容的精简介绍,并据此给分。课外项目实践分主要帮助学生跳出实践依样画葫芦式的流程,深入培养学生的创新能力和工程实践能力,帮助学生更好适应用人单位的要求,比如学生的课外阅读课程相关的文献并提交文献阅读报告,或者学生课外参加课程相关的学科竞赛并完成样机或获得一定奖励,这些课外实践成果都可以在学生课程最终成绩上有所体现。该过程通过实际案例导入,在课程教学过程中加入机电系统设计等工程实际项目,同时提高该部分在最终成绩中的比重。在这部分分值中进一步分成系统可行性分、创新设计分、前沿技术运用分三个考核标准。学生在这套评价体系的驱动下,理论学习和实践验证能力明显提高。培养的学生基本具备了独立展开创新设计的能力,在机电系统设计的能动性上也可以满足生产实践的要求。

5 结语

通过机电传动控制课程建设与改革,学生对机电传动的学习兴趣得到明显改善,同时大量学生参加了学校的创新创业实践活动,部分有能力的学生还进行了机电系统样机的设计与集成,并在学院的支持下参加了学校相关科研项目工作。此外,学生对机电传

动系统原理和特性的理解水平上相较于传统教学模式下学习该课程的学生也有明显进步。在机电传动控制实践方面,培养的学生也基本具备了独立开展创新设计与实践的能力。以上情况表明课程在学生培养上基本达到了新工科的改革要求。

参考文献:

- [1] 倪敬,许明,陈国金.《机电传动控制》课程教学改革研究[J].教育教学论坛,2011(21):147-148.
- [2] 李昆,张宏良,刘向东,等.基于产教深度融合模式下的机电传动与控制课程教学改革与研究[J].模具制造,2023,23(8):93-96.
- [3] 崔海蓉,袁云龙.基于工学结合的《机电传动控制》课程改革探索[J].宁波工程学院学报,2014,26(1):83-87.
- [4] 程诚,吴洪状,杨聪.“新工科”建设背景下“机械原理”课程的教学模式改革研究[J].装备制造技术,2023,345(9):102-104.
- [5] 曹有为,孙雪,王福生.以机电传动控制课程为例对机械专业开放性实验教学体系的探索与研究[J].科教文汇,2017,(1):67-69.
- [6] 韩亚丽,欧益宝,蒋荣,等.工程教育专业认证背景下机电传动控制课程教学改革的探讨[J].中国现代教育装备,2023(19):75-77,96.
- [7] 郑大腾,肖忠跃,陈海萍,等.数字化技术背景下机电传动控制课程教学研究[J].农机使用与维修,2020(9):104-105.
- [8] 余南辉,王旺平,裴后昌.专业认证背景下的“机电传动与控制”课程教学改革[J].轻工科技,2021,37(3):174-176.