工艺开发过程中的螺柱焊质量控制要点

罗光盛，梁刚，保静瑜

宜宾凯翼汽车有限公司　四川宜宾　644000

摘要：针对螺柱焊在工艺开发过程各个阶段的质量控制要点进行阐述，并系统分析论述了螺柱失效的原因和主要影响因素，制定了螺柱焊质量问题排查方法和流程，为后续针对螺柱焊质量问题排查和优化提供了参考。

关键词：工艺开发；螺柱焊；质量控制

螺柱焊是一种将螺柱或类似紧固件通过拉弧焊接于工件上的工艺方法。螺柱焊工艺有以下几个优点：操作相对简单，生产效率较高；热影响区小，焊接变形极小；单面焊接，不需开孔，对焊接空间和密封要求低；不需要填充材料及气体保护，制造成本较低。基于以上优点，螺柱焊工艺广泛应用于车身连接上，如管路、线束、内饰及隔热垫等承载力较小部位的固定，以及电子电器搭铁连接等。螺柱焊质量问题主要有虚焊、偏弧、焊穿及气孔等，此类问题如不加以控制，在总装装配过程中出现螺柱脱焊，经常导致车辆下线返修和停线，造成人员、动能的巨大浪费。

工艺开发过程的螺柱焊质量控制

螺柱焊接质量的产生是多种因素共同作用的结果，需从产品设计、设备选择、工装设计到参数设置、地线连接和设备保养维护等各个环节加以控制，才能保证良好的焊接质量。在前期开发阶段明确螺柱焊控制要点，不仅提前规避了焊接缺陷，而且降低了质量风险和开发成本。

按照产品开发逐渐成熟的各阶段，整车工艺开发分为工艺策划、工艺分析、工艺设计、设备工装开发、工艺验证和工艺维护优化等六个过程。在车型开发中，螺柱焊质量的控制侧重点各不相同，现就工艺开发各个过程中控制方法分别阐述。

工艺策划和工艺分析

螺柱焊质量策划为质量专项策划其中一个模块，主要通过人机料法环测6个维度，针对影响螺柱焊接质量的33项内容进行分析，如图1所示。通过影响螺柱焊质量的因素正向确认，以及历史问题排查，制定相应的解决措施和改善建议，按产品开发各阶段逐步确认。

螺柱焊的工艺分析主要包含焊接材料、料厚、焊接结构、工艺干扰距离以及防错要求的分析，以改善产品可制造性，辅助产品实现。

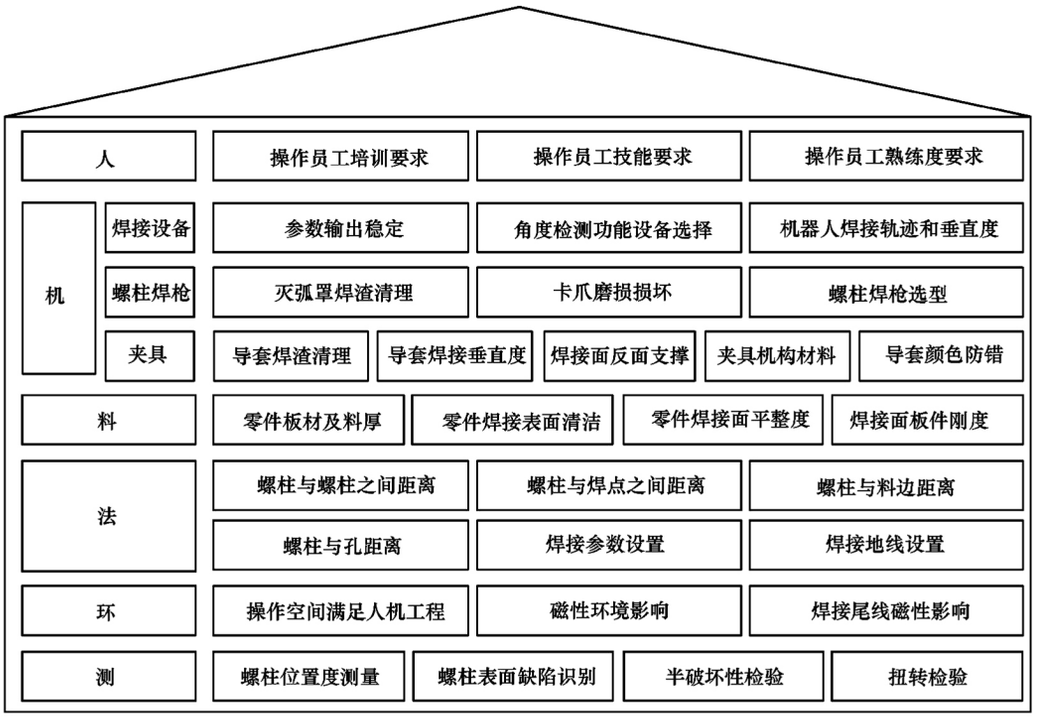


图1　螺柱焊质量策划全景

1.焊接材料及板厚

被焊零件一般为车身常用的低碳钢、镀锌钢、高强度钢及不锈钢等，材料厚度建议≥0.7mm，尤其是在薄板上焊接搭铁螺栓时易导致焊穿。

2.焊接结构

螺柱焊接面尽可能为平面，为增加板件刚度建议设计凸台。如图2所示，一般取$A \geq B+4.0$mm（其中A为凸台尺寸，B为螺柱焊枪枪头直径），如M6普通螺柱参考值为25mm，M6搭铁螺柱参考值为30mm。弧面等特殊部位焊接螺柱，曲率半径需＞400mm。

为防止出现磁偏吹，螺柱需避免过于靠近L形零件的根部，螺柱中心距折边距离应＞60mm。如图3所示，搭铁螺柱中心与L形立面距离仅30mm，焊接后向根部方向偏弧。

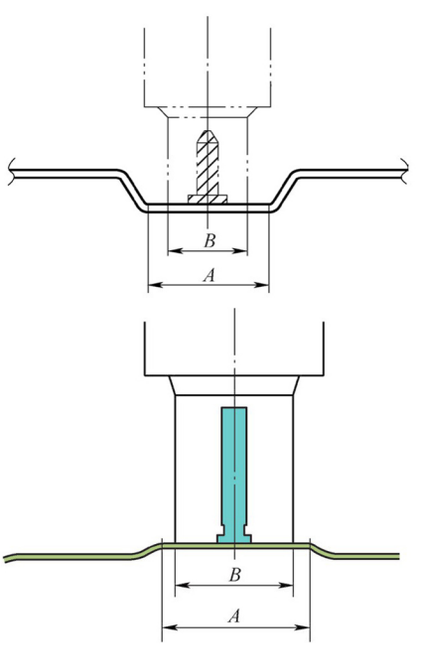


图2　螺柱凸台平面尺寸要求

3.工艺干扰距离

1）点焊与焊接螺柱之间最小距离。以M6螺柱为例，如螺柱在点焊之后焊接，则要求螺柱焊与点焊中心距最少为27mm，如螺柱在点焊之前焊接，则要求螺柱焊与点焊中心距最小25mm。

2）螺柱与螺柱之间最小距离。以M6螺柱为例，螺

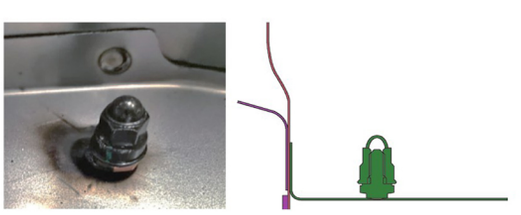
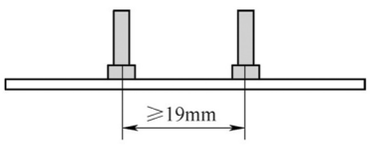


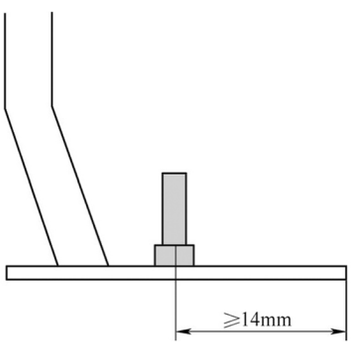
图3　螺柱位于L形零件根部

柱与螺柱中心距最少为19mm，如图4a所示。

3）零件料边、孔与螺柱之间最小距离。以M6螺柱为例，零件料边、孔与螺柱之间最小距离为14mm，如图4b所示。



a）螺柱与螺柱



b）螺柱与零件

图4　螺柱工艺之间距离要求

4）防错。工序排布时，螺柱焊接一般集中在少数工位，减少设备投入，利于生产组织。因此，同工位焊接的螺柱种类越少，防错能力越高，作业效率也越高。根据经验，同工位螺柱种类应不超过3种。同时外形差异较小的螺柱，应与产品部门讨论统一型号，避免仅存在螺柱长度差异的在同一工位焊接。

工艺设计和设备工装开发

1.设备选型

为保证螺柱焊后接头可靠，工件不变形，焊机需具有抗电磁干扰能力，以及自动补偿电网电压波动，确保电流输出稳定。

2.焊枪选型

人工焊枪要使用轻便，符合人机工程学；同时可靠性高，动作重复性好，控制精确，焊枪自身也要有焊接螺柱垂直角度调节功能。

3.参数设置

螺柱焊的工艺参数主要包括极性、焊接电流、焊接时间，以及提升高度设置。

1）极性。一般钢质螺钉采用正极性接法，即工件接电源正极，其余材质螺钉采用负极性连接方式。

2）焊接电流与焊接时间。焊接电流的选取与螺柱的公称直径有关，焊接电流一般取螺柱公称直径的100～120倍，焊接时间一般取公称直径的4～5倍。若焊接板材为镀锌板，焊接电流需在此基础上增加20%。

3）提升高度。提升高度一般在0.8～2mm，需结合焊接过程调试确认。当提升高度过大时，电弧引弧不稳定，容易产生磁偏吹；提升高度过小时，易产生短路而导致断弧。

4.夹具技术要求。

在夹具图样会签阶段，需重点针对螺柱焊夹具的人机工程、结构及材质、地线设置及防错等要求进行确认。

1）人机工程。在夹具设计中，应预留充分的焊接通道，焊枪作业范围内不应有干涉。夹具设计在满足定位精度和一致性的原则下，同时结构要简洁，保证有良好的操作性。

2）夹具结构及材质。连接座部位采用不锈钢材质，植钉套筒采用碳钢材料，并尽量保证整圆结构，表面发黑处理，植钉套筒的轴线需垂直于焊接平面，套筒设计时距离焊接件3～5mm。

3）焊接面反面支撑。所焊接零件料厚在0.8mm及以下的薄板，夹具设计时，需在植钉背面相应位置设计支撑块，支撑块采用45钢，表面发黑处理。而当支撑块在螺柱的正下方时，支撑块的中心需与套筒中心线基本重合，支撑块中心位置开ϕ10mm、深度为2～3mm的孔（见图5），支撑块的材料需选用铬锆铜。

4）焊接地线设置。螺柱焊植钉夹具在夹具UNIT单

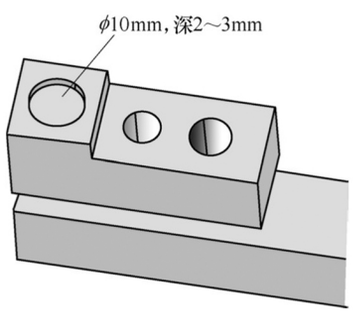


图5　螺柱焊反面支撑

元处要做绝缘处理，板件较大夹具需要布置2～3处接地装置防止焊接磁偏弧。螺柱焊夹具地线需要与车身零件直接连接，不通过夹具BASE进行连接，与车身零件接触的夹具定位块、压紧块、定位销都需要做绝缘处理。螺柱焊接地装置尽量采用浮动式，以保证工件与零件贴合度。

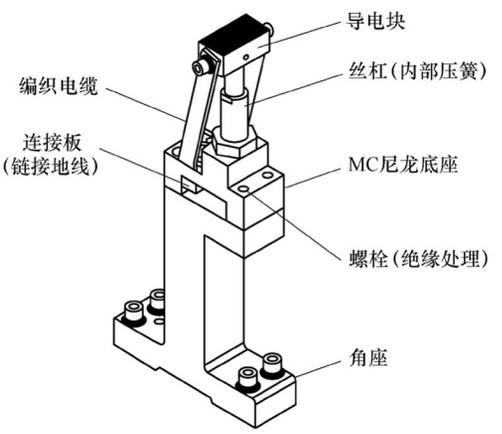


图6　螺柱焊接地装置

5）夹具防错。一套夹具上不同型号的螺柱焊，枪套采用不同颜色进行识别，枪与套筒的颜色相对应，颜色标识要清晰，不可脱落。不同车型螺柱防错方式首选夹具机构切换防错，特殊情况（如空间限制）无法做工装防错的采用颜色防错等人工辅助防错方式。

工艺验证和维护

工艺验证阶段主要对前期策划和开发的工艺工装进行验证确认，以满足达到既定的质量目标和过程质量能力。

（1）焊接面、焊枪清洁度　螺柱焊前应清洁焊接面油污、锈蚀、漆层及灰尘杂质等，同时焊枪防溅罩以及夹具反面支撑的焊渣应定期清理，避免焊接时电流密度不均焊接质量不稳定，产生虚焊、气孔等，如图7所示。

（2）焊接垂直度　螺柱焊枪在导套中与焊接面应垂直，偏差不超过3°。验证表明，当螺柱垂直度误差大于3°时，螺柱与板件焊接接触面积减少，导致虚焊率大幅上升。

（3）磁偏吹问题排查　焊接时如发生磁偏吹，应在磁偏吹的背向端增加地线或引铁验证，以此达到“吸引”电弧，减少磁偏吹的目的，如图8所示。

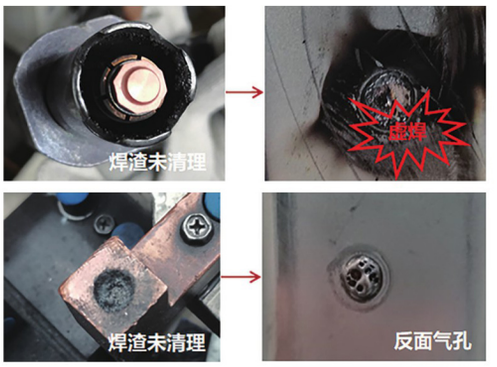
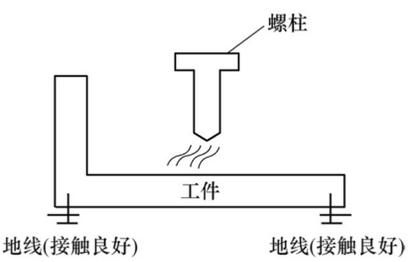
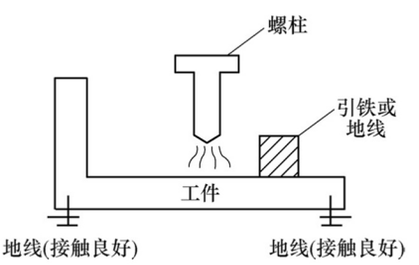


图7　焊枪及夹具清洁度影响



a）磁偏吹



b）解决方法

图8　磁偏吹原理及解决方法示意

（4）螺柱焊质量检验　主要有弯曲检验和扭转检验两种方式。弯曲检验是焊接完成后用相应的螺柱套筒使螺柱弯曲10°~15°，观察螺柱形态，螺柱不脱落，焊缝无裂纹，则为合格焊缝，反之需补焊处理。扭转检验是在焊接的螺柱上手拧双螺母，然后使用扭力扳手对不同规格的螺柱加载相应的扭矩，验证螺柱是否脱焊。要求加载到扭矩值标准时，螺柱不与钣材剥离；如果在螺柱剥离前，焊接钣材被撕出孔洞或有损坏，即认为螺柱满足扭矩值要求。

工艺优化及维护阶段除了对影响螺柱焊接质量的作业方法、参数设定、工装设备维护及检验方法规范受控，还要针对焊装过程检验及总装装配过程发现的螺柱焊质量问题进行排查和控制。根据对螺柱焊失效产生的原因和影响因素的分析，结合生产现场的螺柱焊质量控制经验，制定了螺柱焊质量问题排查方法和

流程，如图9所示。流程共包含6项主要素及16项子要素，涵盖焊接面表面状态、设备维护保养、焊枪垂直度保证、板件刚度、地线布置及焊接参数等，为螺柱焊质量问题排查和优化提供参考。

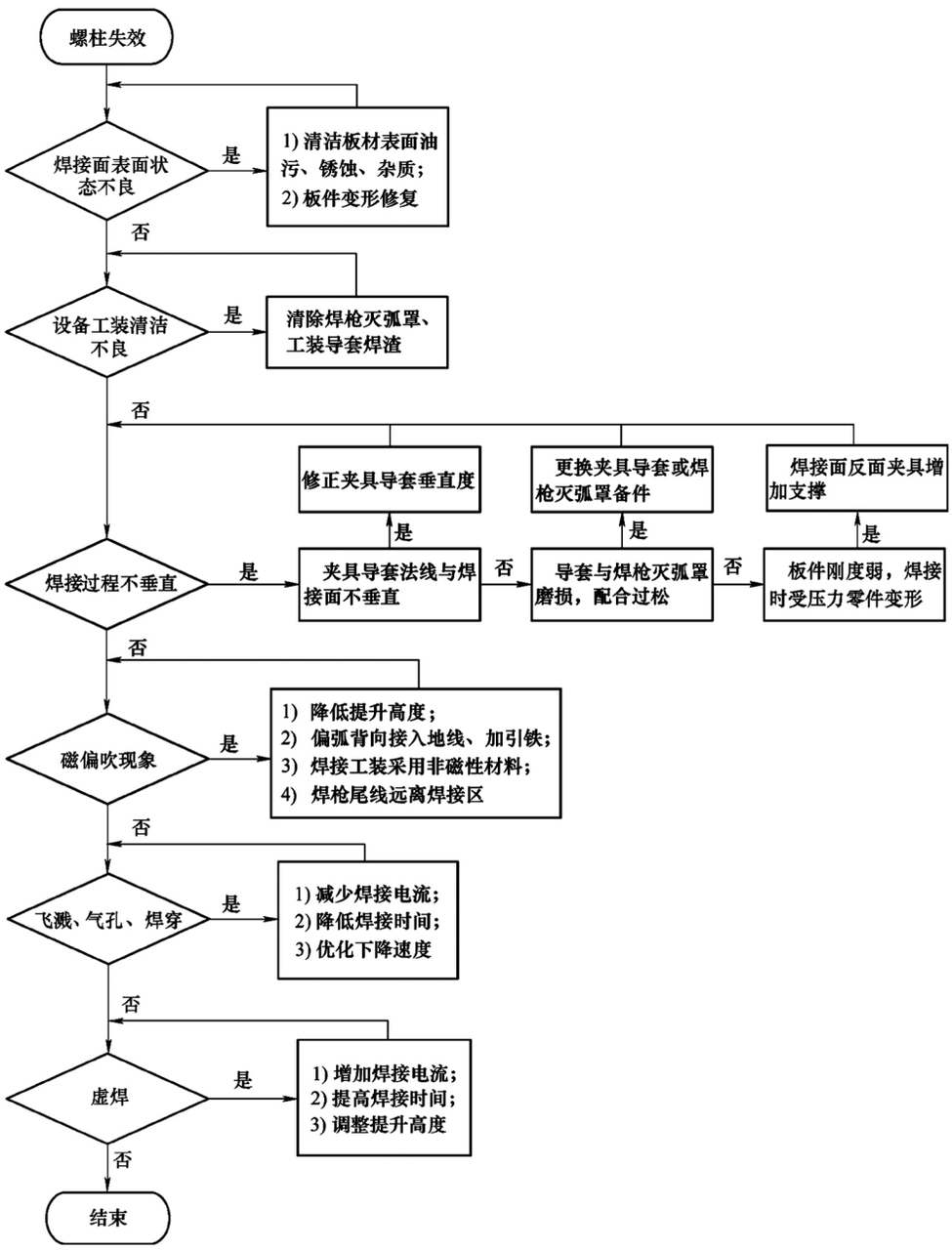


图9 螺柱焊质量问题排查方法和流程

结语

随着汽车焊接工艺的发展和提升，螺柱焊的自动焊接已逐渐应用于车身制造中，自动焊接过程不需要工装夹具精确定位，其生产高效、设备稳定、焊接一致性好，也将成为未来的螺柱焊自动化、智能化的发展方向。工艺技术人员要不断深入研究，总结经验，推动焊接技术的不断发展。

参考文献：

[1] 靳延鹏，等.汽车车身螺柱焊接参数对焊接组织与性能影响的研究分析[J].时代汽车，2021（22）：161-162.

[2] 滕飞.螺柱焊系统的故障分析及预防措施研究[J].现代制造技术与装备，2018（4）：58-59.