

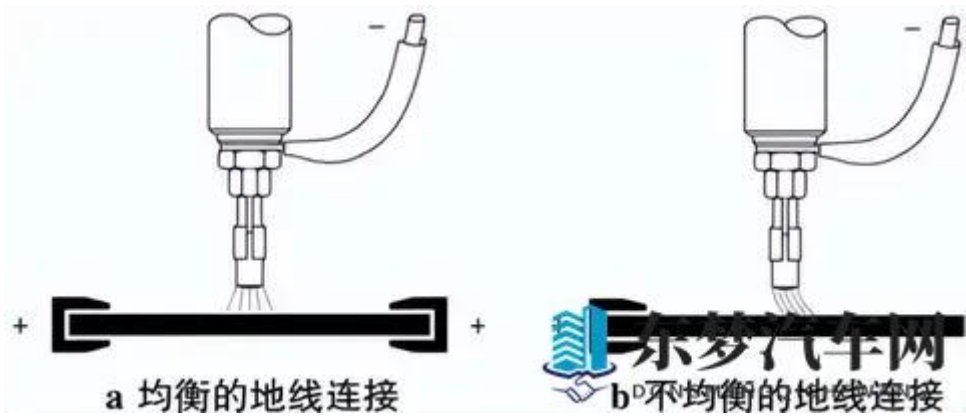
薄板短周期螺柱焊虚焊问题成因与防治策略

来源：黄俊映 发布时间：2025-11-22 23:21:59

短周期拉弧螺柱焊作为一种高效、经济的连接工艺，广泛应用于汽车车身制造中薄板类零件的连接。然而，在进行螺柱焊接时，在厚度小于0.7mm的薄板上进行焊接时，虚焊（Incomplete Weld/Lack of Fusion）缺陷频发，严重影响接头强度和生产质量。根据行业标准，薄板螺柱焊接的虚焊率应控制在 $\leq 0.04\%$ ，但实际生产中常因多因素耦合而超标。本文基于文献研究与实践数据，系统分析虚焊成因，并提出综合工艺优化建议。

一、虚焊问题成因分析

虚焊本质上是焊接接头未形成充分冶金融合的现象，其成因复杂，主要可归纳为以下几个方面：



1. 磁偏吹导致的电弧不稳定

磁偏吹是短周期拉弧螺柱焊中的常见问题，指电弧因磁场分布不均而偏离螺柱轴线的现象。通过对前地板薄板螺柱焊缺陷的统计分析，磁偏吹是导致螺柱脱焊的主要原因，占比高达81%。磁偏吹会使电弧能量分布不对称，导致螺柱一侧熔深不足而另一侧过熔，形成虚焊或气孔缺陷。

上图显示了磁偏吹引起的典型缺陷，如偏弧、单侧焊缝缺失等。

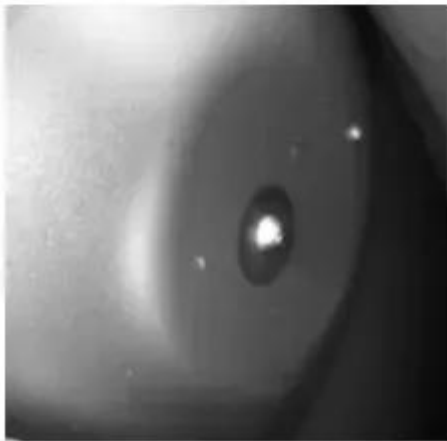
磁偏吹的诱因包括：



a 磁偏吹



b 虚焊



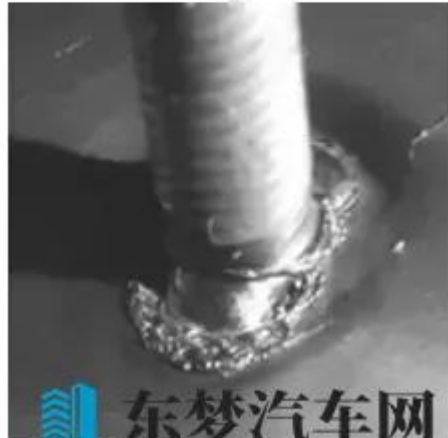
c 焊穿(凸)



d 焊瘤



e 高气孔



f 咬边

螺柱尺寸偏差：焊接端锥角或引弧球尺寸不标准，导致电流偏离中心。零部件形状不对称：异形零件加强磁场不均匀性，吸引电弧偏移。地线接法不当：地线位置不均衡会造成电流分布畸变，加剧磁偏吹。2. 板材定位与垂直度偏差

薄板（如0.7mm DC04钢）刚性差，在焊接过程中易因夹具压紧不足发生晃动或偏移。板材定位不稳定会破坏螺柱与母材的垂直度，导致电弧能量分布不均。倾斜状态下，熔池形成不一致，有效融合面积减少，引发虚焊。同时，焊枪提升高度（Lift Height）波动会进一步造成弧长不稳定，若弧压波动超过 $\pm 10\%$ ，焊点强度显著下降。



a 背面



3. 薄板局部厚度不均

冲压成型过程中，薄板局部区域（如弯角处）可能因塑性变薄至 $0.45 - 0.50\text{mm}$ （减薄率达23%）。原焊接参数基于标称厚度设计，在变薄区域易导致过熔或击穿，反而抑制冶金结合，形成“假焊”。热输入与板材厚度不匹配是虚焊的重要诱因。

4. 背面支撑不充分与热传导失衡

薄板焊接时，若背面缺乏刚性支撑，板材在电弧热作用下发生鼓包变形，改变螺柱与工件的相对位置，影响弧长和热分布。支撑不足会导致热量积聚，形成“热点效应”，使焊核冷却异常，晶粒粗大，降低接头强度。

上图显示采用非磁性材料（如黄铜）的支撑结构可有效抑制变形和磁干扰。

二、工艺优化建议

为系统性降低虚焊率，需从工装设计、工艺参数和过程控制多维度优化：

1. 强化背面刚性支撑与接地设计采用定制化支撑块：在焊接区域背面设置黄铜或高温铜合金支撑块，提供全接触贴合，增强板材刚度。支撑块应带通孔结构（孔径略大于螺柱直径 $2 - 3\text{mm}$ ），以平衡热传导和熔池膨胀。优化地线布局：实施多点弹性接地，确保焊枪位于地线中间位置，消除电流分布不均。
2. 引入防飞溅保护套与预压紧机制使用硅胶/陶瓷防飞溅套：扩大板材接触面积，抑制焊接过程中的振动和局部凹陷，提升弧长稳定性。此装置还可延长焊枪寿命，便于自动化维护。
3. 精细调控焊接工艺参数

基于实践数据，针对M6螺柱焊接 0.7mm 薄板，推荐参数：

提升高度： $1.2 - 1.3\text{mm}$ （避免过高导致电弧漂移或过低引发短路）。焊接电流与时间：主电流 520A ，主焊接时间 16ms ；预焊接电流 80A ，预焊接时间 50ms 。动态参数调整：对厚度偏低区域（ $<0.55\text{mm}$ ），采用脉冲焊接模式或微降电流峰值，实现能量精准匹配。

4. 建立厚度检测与差异化焊接策略实施超声波测厚：对冲压件关键区域抽检，生成厚度分布图，对变薄区标记并调整参数。
- 加强夹具防磁化设计：采用非磁性材料（如塑料、铝）制作夹具组件，减少剩磁对电弧的干扰。
5. 过程监控与质量验证引入弧压实时监测：控制波动在 $\pm 10\%$ 以内，

确保热输入稳定。强化焊后检测：通过扭力试验、弯曲试验和锤检法验证焊点质量。优化后焊瘤和气孔显著改善，脱焊率从4%降至合格水平。

短周期拉弧螺柱焊在薄板螺柱焊接中的虚焊问题，根源在于磁偏吹、板材变形、厚度不均及工装支撑不足等多因素交互作用。通过综合采用刚性支撑结构、优化地线布局、参数精细调控及厚度适应性策略，可有效提升焊接稳定性。实践表明，上述措施能将虚焊率控制在行业先进的 $\leq 0.04\%$ 以内，满足汽车制造的高标准需求。未来，需进一步融合智能传感与自适应控制技术，实现焊接过程的动态优化。欢迎各位老铁留言探讨！

HTML版本： [薄板短周期螺柱焊虚焊问题成因与防治策略](#)