

IVOSTUD 螺柱焊异常横焊缺陷分析及优化

孙德能, 毛中正, 张明, 孟松
(北京奔驰汽车有限公司, 北京 102600)

摘要: 螺柱焊技术作为一类将螺柱或柱状金属焊接在金属表面的特种焊接工艺方法, 在汽车生产制造中有广泛应用, 在一些豪华车上通过螺柱焊焊接的螺柱数量高达三四百颗。文中针对艾沃斯达特(IVOSTUD)公司的螺柱焊枪进行研究, 结合北京奔驰汽车车身生产过程中使用该设备进行螺柱焊产生的一系列问题进行系列化的研究分析和模拟测试, 对设备遇到的诸多问题提出有效解决方案, 并具体到现场实施, 经过一段时间的验证被证明有效。文中是对以上模拟测试过程和研究分析结论进行的总结提炼, 一方面是与使用此螺柱焊枪的其他同行进行经验分享和技术交流, 另外文中所采用的问题解决分析策略和试验验证测试手段亦值得与生产制造相关的技术工程师做参考借鉴和交流讨论。

关键词: 螺柱焊技术; IVOSTUD; 焊前钉位移; 熔深; 异常横焊

中图分类号: TG453+3 文献标识码: A doi: [10.12073/j.hj.20220621001](https://doi.org/10.12073/j.hj.20220621001)

Analysis and optimization of abnormal horizontal welding defects in IVOSTUD stud welding

Sun Deneng, Mao Zhongzheng, Zhang Ming, Meng Song
(Beijing Benz Automobile Co., Ltd., Beijing 102600, China)

Abstract: Stud welding technology, as a special welding process method for welding studs or columnar metals to the metal surface, has a wide range of applications in the manufacturing process of automobiles. In some luxury cars, the number of studs welded by stud welding is as high as three. Four hundred. This paper studies the stud welding gun produced by IVOSTUD Company, and conducts a series of research analysis and analysis on a series of problems arising from the use of this equipment for stud welding in the body production process of Beijing Benz Automotive. The simulation test has put forward effective solutions to many problems encountered in the actual production process, and implemented it on site. After a period of verification, it has been proved to be effective. This paper is a summary and refinement of the above simulation test process and research and analysis conclusions. On the one hand, it is to share experience and technical exchanges with other peers who use this stud welding gun. On the other hand, the problem solving analysis strategy and The test method of test verification is also worthy of reference and exchange and discussion with other technical engineers related to production and manufacturing.

Key words: stud welding technology, IVOSTUD, stud displacement before welding, penetration, abnormal horizontal welding

0 前言

螺柱焊作为白车身焊接工艺中典型的焊接技术, 主要分为储能式和拉弧式螺柱焊机, 拉弧式螺柱焊机是汽车生产制造过程中运用最为广泛的设备类型^[1]。目前国外拥有诸多较为成熟的螺柱焊品牌, 例如德

国的 TUCKER 和 IVOSTUD, 英国的 TAYLOR 都是专门从事螺柱焊设备、工艺研究生产的公司^[2]。而国内螺柱焊技术的发展相对滞后, 尚无强势的从事相关螺柱焊设备生产研制的公司, 当前国内各汽车生产商仍较多的使用国外螺柱焊品牌, 常见的例如 TUCKER 和 IVOSTUD, 文中所进行的各项焊接技术的研究测试即是

针对德国艾沃斯塔特(IVOSTUD)公司生产的螺柱焊枪^[3]。

随着时代和生产技术的发展进步,汽车生产过程越来越追求数字化、精细化管理,这对于汽车生产制造过程使用的生产设备厂商也提出更高的要求^[4]。各汽车厂商更多的要求设备生产厂商设计的焊枪能对生产过程中的各项质量相关参数进行更精细的监控,以方便技术工程师进行精准有效管理^[5]。戴姆勒奔驰作为一家豪华汽车生产厂商始终坚持将质量意识贯彻在设计 and 生产制造的全过程中,因此对生产设备提出诸多要求^[6]。

IVOSTUD 螺柱焊设备为戴姆勒首次在奔驰 C 级车车型上引入,在此之前此厂商在质量参数监控上无成熟设计经验,在戴姆勒提出设计要求后针对戴姆勒车型特殊设计了一套螺柱焊 N4s 系统^[7]。因为是首次在实际生产中使用,此系统在质量监控上有诸多不成熟之处在实际生产中逐步显露出来,并产生了部分质量问题。文中围绕解决该设备生产中产生的质量问题展开细致的研究分析,并最终解决了该质量问题^[8]。

表1 IVOSTUD 螺柱焊焊接工艺参数

参数	电流 I/A	焊接时间 t/ms	焊前钉位移 s/mm	焊接电压 U/V	熔池深度 d/mm
Actual	40	23	27	27	1.9
Set	40	27	28	28	1
公差+	5	6	3	9	—
公差-	5	6	3	9	0.5

以上工艺参数 $t=25\text{ ms}$ 和 $I=1\ 100\text{ A}$ 为系统预设值,焊前钉位移 $s=27\text{ mm}$ 、熔深值 $d=1.9\text{ mm}$ 和电压值 $U=27\text{ V}$ 为结果参数,每次焊接都存在一定差异,只要在公差要求范围内即可。各参数中焊前钉位移 s 和熔池深度 d 为该文研究的主要参数^[11]。

焊前焊钉位移的物理解释是:焊钉输送至焊枪枪头的夹头处,露出钉帽部分,系统发出焊接指令,枪头带动焊钉向前移动,至顶帽前端接触到车身这一过程移动的距离即为焊前钉位移。系统依据上一次相同焊点成功焊接的钉位移 s_1 作为参考,与本次焊接测量的钉位移 s_2 的差值 s_1-s_2 进行对比,示意简图如图 2a 差值不超过设定值则无报错可焊接。焊前钉位移公差值监控设置主要用于监测焊钉状态是否正常,按照厂家建议焊前钉位移设定为 28 mm ,公差为

1 螺柱焊工艺流程及参数简介

IVOSTUD 螺柱焊系统主要由 N4s 控制系统、FSE 送料器和 KSE 焊枪 3 部分组成, N4s 控制送料和焊接全过程, FSE 负责输送螺柱, KSE 负责接收和完成螺柱的焊接^[9]。焊枪接收到螺柱后由 N4s 发出前伸指令,枪头动作;螺柱尖端接触车身,焊枪提升线圈接通电流通过磁芯带动枪头同时提升螺柱,引出辅助电弧;随后引燃主电弧,螺柱和母材熔化;焊接结束后,螺柱被焊枪压入液态熔池,在极短时间内与熔池完成接合,螺柱焊接完成^[10],如图 1 所示。

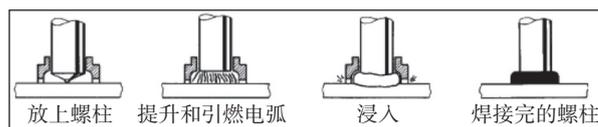


图1 IVOSTUD 螺柱焊焊接工艺流程

IVOSTUD 螺柱焊系统包含的主要质量参数有电流值、焊接时间、焊前钉位移、焊接电压值和熔池深度,相关参数要求见表 1。

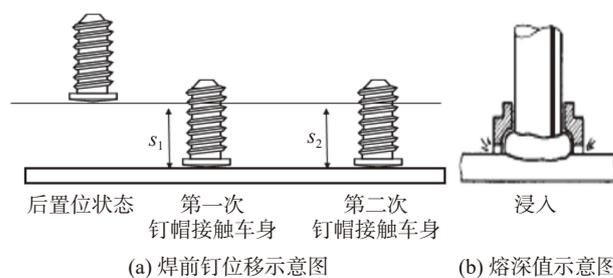


图2 焊前钉位移和熔深值示意图

4 mm , 大于此设定值时无法通电并完成焊接。

熔池深度简称熔深值即焊枪完成拉弧后焊钉下落接触到熔池后,枪头推动螺柱插入熔池移动的距离值,示意简图如图 2b 熔池深度决定了焊钉的焊接质量,过大会对工件有影响,过小容易掉钉。熔深监

控主要用于监测熔池深度是否正常,按照厂家建议设定为 2 mm,公差为 2 mm。

2 异常横焊问题引入

图 3 为螺柱焊正常焊接与异常焊接状态对比。在首次引入此螺柱焊系统的项目 SOP 后不到半年的时间,IVOSTUD 系统焊接的焊钉发生了 3 次以上批量异常横焊质量问题,焊钉水平或偏移焊接在车身表面。



图 3 螺柱焊正常焊接与异常焊接状态对比

经过查看相关历史记录未发现任何相关焊前钉位移偏差或熔深值偏差报警。后对问题焊枪深入分析并在测试站进行问题重现,最终判定导致焊钉异常横焊的根本原因是焊枪夹头疲劳断齿,夹持焊钉的夹头其中一根齿缺失导致焊钉被横向推出。此外,此状态下系统的焊前钉位移和熔深值监控并未被触发,最终导致焊钉横置焊接在车身上。

从各主要参数来看,与此问题相关的有两个重要参数,分别是焊前钉位移厂家建议设定为 28 mm,公差为 4 mm 和熔深值厂家建议设定为 2 mm,公差为 2 mm。焊接前后系统均未触发报警,可分析得知发生横焊时的 2 个参数值在系统设定的监测值范围内。

经过与 IVOSTUD 的沟通,其技术人员建议将焊前钉位移和熔深值监控进行修改,基准值仍设定为 28 mm 和 2 mm,公差改为 3 mm 和 1 mm。在参数更改两个月的时间内,同样发生了异常横焊问题,同时由于公差变小设备频繁出现焊前钉位移和熔深值偏差报警,严重影响生产效率,图 4 展示了 CW51 前后

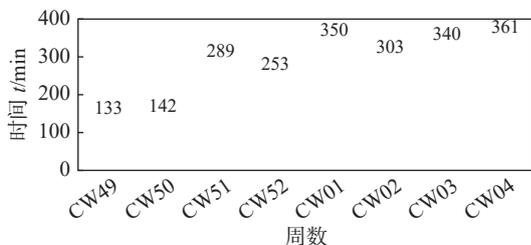


图 4 参数更改前后设备停机时间对比

参数更改设备总停机时间(min)对比。

基于以上问题出现,且设备设计厂家亦无有效方案解决异常横焊问题,为了进一步了解异常横焊过程焊前钉位移和熔深值问题特进行以下测试研究。

3 异常焊接测试研究

3.1 模拟测试试验

在试验区域搭建测试站,图 5a 为模拟实际生产环境搭建的焊接测试系统,包含控制柜、送料器和焊枪组成的螺柱焊系统和机器人、工件等辅助工具,方便进行焊接试验。图 5b 为焊枪焊接测试时的状态。



(a) 螺柱焊焊接测试系统图

(b) 焊接测试状态图

图 5 焊接测试图

3.2 试验描述

焊接分为 7 组试验,每两组之间互相进行对照,每组试验焊接 50 颗焊钉,因主要研究焊前钉位移和熔深值对横焊的影响,试验过程中针对焊前钉位移和熔深值特殊记录:①共 6 组试验,每把枪试验前先用正常夹头进行 50 次焊接,破坏夹头一根齿做 50 次横焊试验;②夹头断齿后顶杆顶出的焊钉状态比较随机,正常、倾斜(头朝前和尾朝前)、水平、翻转的情况均有出现;③7 项断齿测试一共模拟出四种横焊情况,焊钉水平、焊钉头先焊上、焊钉尾先焊上、两颗钉出现在夹头里第一颗钉水平横焊上;其他倒焊及斜焊的情况均有出现;④每个夹头在进行长时间的横焊试验后(约 100 次横焊)均严重损毁无法再夹住焊钉。

经过多次试验并严格记录每一次试验数据,并对数据进行分析制作出如图 6 所示可视化图表。

3.3 试验数据分析

结合试验数据和可视化分析图表,对试验数据深入分析,总结出各组试验数据,以焊前钉位移和熔深值分别为研究对象,统计出每次试验时不同参数监

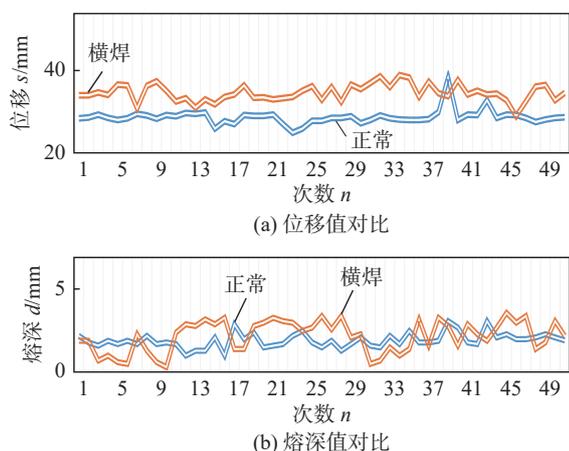


图6 位移值和熔深值可视化分析对比

控值设置在特定范围内能监测出异常横焊的概率, 得出表2中后2列所示概率。

表2 位移和熔深监控出异常横焊的概率

枪型	正常 夹头	断齿 正常	断齿 横焊	枪水 平焊	位移 监控	熔深 监控
1000 型枪 1	50 次 固定点	—	50 次 固定点	—	42%	22%
1000 型枪 2	50 次 固定点	—	50 次 固定点	—	96%	26%
1000 型枪 3	50 次 固定点	—	50 次 固定点	—	100%	2%
1055 型枪 4	50 次 固定点	50 次 固定点	50 次 固定点	—	94%	0
1055 型枪 5	50 次 非固定	—	—	50 次 非固定	60%	0
1055 型枪 5	50 次 固定点	—	50 次 固定点	—	46%	0

3.3.1 理论效果分析

以上测试试验验证了焊前钉位移监控设置为 2 mm 时对横钉横置有较好监控效果, 概率大于 80%; 熔深对横焊监控不明显, 公差设置为 1 mm 时可监控概率小于 20%, 且大部分熔深监控能检测出的横焊在焊接之前焊前钉位移监控亦能发现。

3.3.2 实际效果验证

焊前钉位移监控能监控出焊接开始前非正常送钉的大部分情况, 监控效果与夹头损坏程度有关; 结合图表分析出现横焊后熔深值整体偏大, 但不会大于熔深监控上限, 且横焊与正常焊接时工况和工艺参数几无差异, 熔深监控无法准确发现横焊。

总结可知, 焊前钉位移设置为 2 mm 较合适, 低于此值设备报警较多, 高于此值监控横焊效果不佳; 当熔深值出现低于 0.5 mm 多是因工件或焊枪不稳定, 此时焊钉焊接质量实际不佳, 因此可将熔深监控设置下限值大于 0.5 mm, 无需设置上限监控。

3.4 异常横焊测试结论

经过以上试验验证得出重要结论, 该螺柱焊设备出现焊钉横焊质量问题的原因是夹头断齿导致焊钉被顶杆横向推出, 且该设备无有效功能直接监控断齿的发生。①经过实际生产验证, 夹头使用次数监控设置 20 000 并及时更换夹头, 作为第 1 道防线; ②设置焊前钉位移监控 2 mm, 可保证 80% 的焊钉横置在焊接前被发现, 作为第 2 道防线; ③熔深监控成功率不足 20%, 设置不合理会有误报警, 设置大于 0.5 mm, 作为第 3 道防线; ④生产实际中, 尽管有以上 3 种参数保障质量问题大概率不发生, 但均无法完全避免, 因此若现场发现夹头断齿, 需对前车进行排查, 作为第四道防线。图 7 为四道防线示意简图。

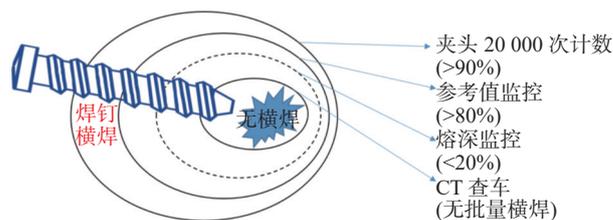


图7 四道防线示意简图

通过以上 4 道防线可为现场 IVOSUD 螺柱焊设备焊接焊钉提供质量保障, 将进一步展示该研究在实践中运用以上试验结论并取得良好成效的实践。

4 实践效果验证

在完成以上焊接测试和结论分析后, 对现场 IVOSTUD 螺柱焊设备的各项参数进行调整优化, 夹头使用计数监控值设置 20 000 次; 焊前钉位移设置监控 2 mm; 以及导致较多停机对设备 OEE 产生严重影响的熔深监控仅设置大于 0.5 mm。

经过长达一段时间的调整优化, 结合现场逐步调整共 17 台设备的所有参数, 现场停机时间逐步降低。在长达 2 个月完成所有调整优化, 再观察 1 个月完全稳定。图 8 展示了从 CW04 开始调整至 CW10 完成优化, 再观察至 CW14 长达 3 个月的实践, 质量检查工位停机次数和停机时间(min)呈明显下降趋势, 证

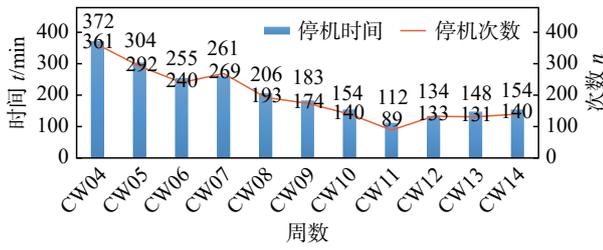


图8 质量问题检查工位停机时间和次数统计

明以上焊接测试试验结论的可行性和有效性。

进一步分析,由于UB43-2为生产线体的重要工位,对于生产进度的影响很大,经过以上焊接测试和现场实践,该工位OEE从CW04的81%逐步提升,至CW16的时候完全稳定在90%左右,进一步验证此项研究测试和现场实践的重要意义,图9为OEE跟踪统计。

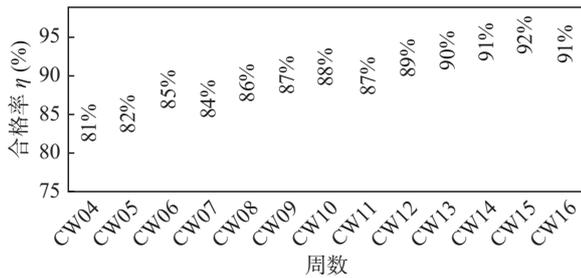


图9 UB43-2 OEE跟踪统计

5 结论

(1)位移值监控存在大于80%的概率监控出异常横焊,熔深值监控存在小于20%的概率监控出异常横焊。因此对结论应用在生产现场设置相应参数为合理值,夹头计数监控为20000次、焊前钉位移监控小于2mm和熔深值监控大于0.5mm,并在生产现场具体实践被验证有效。

(2)焊接试验结论解决了IVOSTUD设备产生的较多停机问题并显著提高设备OEE,避免了批量质量问题的发生,对生产线高效高质量生产具有重要意义,文中仅作为对该类设备问题解决的一种思路展示和实践总结,对于使用该类设备的同行具有重要借鉴意义。

本文引用格式:

孙德能,毛中正,张明,等. IVOSTUD 螺柱焊异常横焊缺陷分析及优化[J]. 焊接, 2023(8): 60-64.

Sun Deneng, Mao Zhongzheng, Zhang Ming, et al. Analysis and optimization of abnormal horizontal welding defects in IVOSTUD stud welding[J]. Welding & Joining, 2023(8): 60-64.

参考文献

- [1] 王克鸿,张德库,薛鹏飞,等. 复合热源螺柱焊方法[J]. 焊接学报, 2008, 29(11): 45-48.
- [2] 韩成才, 年科技. 螺柱焊接的缺陷分析及改善[J]. 现代制造, 2010(31): 55-57.
- [3] 张义. 螺柱焊焊接技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 黄河杰, 梁春芝. 螺柱焊接技术在装载机线束固定中的应用[J]. 装备制造技术, 2015(11): 154-155.
- [5] 张义. 螺柱焊技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 朱麟. 螺柱焊虚焊分析与解决措施[J]. 制造技术与材料, 2012(37): 33.
- [7] 魏先银. 浅谈螺柱焊在焊装白车身上的应用[J]. 金属加工(热加工), 2009(24): 60-62.
- [8] 王军. 轿车白车身螺柱焊焊接工艺[J]. 焊接技术, 2010, 39(10): 66-68.
- [9] Oh H S, Lee J H, Yoo C D. Simulation of capacitor discharge stud welding process and void formation[J]. Science & Technology of Welding & Joining, 2007, 12(3): 274-281.
- [10] Wu B, Zhang F, Xue T. Monocular vision-based method for online measurement of pose parameters of weld stud[J]. Measurement, 2015(61): 263-269.
- [11] Lee J S, Ryu Y S, Kim N, et al. Stud welding for fixation of cryogenic insulation of membrane tanks in LNG ship building[J]. Transaction of Nonferrous Metal Society of China, 2009(19): 271-275.

第一作者: 孙德能, 硕士; 主要从事汽车制造焊接技术方面的研究工作; Sundn@bbac.com.cn.

(编辑: 曲畅)