

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2025.08.12

阿普拉斯焊在白车身侧围D柱上的应用研究

石增超, 刘杰*, 孙黎

重庆赛力斯新能源汽车设计院有限公司, 重庆 401135

摘要: 以某车型白车身侧围D柱为对象, 探讨了阿普拉斯焊接工艺的应用可行性。通过对比传统电阻点焊与阿普拉斯焊对镀锌板/B280VK钢及镀锌板/DC01钢组合的连接性能, 结合拉伸测试、断口形貌分析及结构设计优化, 研究了两种焊接工艺的力学特性与失效模式差异。试验结果表明: 电阻点焊与阿普拉斯焊接头在拉伸测试中均表现为拔出熔核断裂, 其中DC01钢组合的阿普拉斯焊接头平均最大拉力为3 351 N, 电阻点焊接头为3 589 N, 二者强度相近; 扫描电镜观察显示, 阿普拉斯焊接头断口韧窝更深且分布均匀, 表明其韧性断裂特征更显著。外观质量对比显示, 阿普拉斯焊连接处表面平整无明显压痕, 涂装后压痕基本不可见, 而电阻点焊压痕显著影响外观。针对车身侧围结构特点, 提出工艺适配方案: 曲率半径需大于150 mm, 搭接宽度极限值为4~7 mm, 并将三层板结构优化为双层板以规避虚焊风险。研究表明, DC01钢组合更适用于阿普拉斯焊工艺, 其接头强度与外观质量均满足车身侧围制造要求, 为车身高感知区域焊接工艺升级提供了理论依据与实践参考。

关键词: 阿普拉斯焊; 电阻点焊; 质量控制; 白车身

中图分类号: TG457.11 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2025)08-0107-09

Research on the Application of Arplas Welding on the Side Wall D-pillar of the Body in White

SHI Zengchao, LIU Jie*, SUN Li

Chongqing SERES New Energy Automobile Design Institute Co., Ltd., Chongqing 401135, China

Abstract: Taking the D-pillar of the side wall in the body-in-white (BIW) of a specific vehicle model as the research object, this study explored the feasibility of applying Arplas welding technology. By comparing the joint performance of galvanized steel sheets combined with B280VK steel and DC01 steel using traditional resistance spot welding and Arplas welding, the mechanical properties and failure modes of the two welding processes were investigated through tensile testing, fracture morphology analysis, and structural design optimization. Experimental results showed that both resistance spot welding and Arplas welding joints exhibited pull-out fracture during tensile testing. For the DC01 steel combination, the average maximum tensile force of Arplas welding joints was 3 351 N, while that of resistance spot welding joints was 3 589 N, indicating comparable strength between the two methods. Scanning electron microscopy (SEM) observations revealed deeper and more uniformly distributed dimples on the fracture surfaces of Arplas welding joints, suggesting a more pronounced ductile fracture characteristic. In terms of appearance quality, Arplas welding achieved a smooth surface without visible indentations, even after painting, whereas resistance spot welding left obvious indentation marks that compromised surface aesthetics. To address the structural characteristics of the BIW side wall, process adaptation strategies were proposed: curvature radius should exceed 150 mm, overlap width should be within 4-7 mm, and a three-layer structure should be optimized into a two-layer configuration to avoid incomplete welding risks. The study demonstrated that DC01 steel combined with Arplas welding better met the manufacturing requirements for BIW side walls, as the joint strength and surface quality satisfied both functional and aesthetic demands. This work provides theoretical support and practical guidance for upgrading welding pro-

收稿日期: 2024-07-04 修回日期: 2024-11-22

作者简介: 石增超(1984—), 男, 学士, 工程师, 主要从事汽车工艺、产线建设、供应链体系等研究。

通讯作者: 刘杰(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事白车身焊装线规划, 焊装产线设计, 焊接工艺设计等研究。E-mail: 53775646@qq.com。

cesses in high-perceptual zones of automotive body assembly.

Keywords: Arplas welding; spot welding; quality control; body in white

引用格式:石增超,刘杰,孙黎.阿普拉斯焊在白车身侧围D柱上的应用研究[J].电焊机,2025,55(8):107-115.

Citation:SHI Zengchao, LIU Jie, SUN Li. Research on the Application of Arplas Welding on the Side Wall D-pillar of the Body in White[J]. Electric Welding Machine, 2025, 55(8): 107-115.

0 引言

随着汽车工业的不断发展,对车身表面质量的有效控制和绿色生产的科学理念日益受到重视,已成为汽车生产中的重要考量之一。车身D柱区域,为客户高感知区域,其焊接外观质量直接影响客户体验感受,甚至最终购买决策。传统汽车车身生产过程中往往采用电阻点焊/弧焊等方式进行车身连接^[1],会产生一些固有问题,例如焊接面平整度较差、焊点压痕过深、焊接热变形超差,对车身的表面质量造成不良影响。因此改善焊接生产工艺,提升焊接表面质量,成为了汽车制造领域的主要发展方向之一^[2]。

阿普拉斯焊接(Arplas welding),作为一种新型的焊装连接技术,其最大特点在于低能耗和对车身表面质量的显著改善。这种焊接方式能够大幅度减少焊接过程中产生的热变形,使车身结构更加稳定,同时焊点压痕也更浅,几乎不会破坏工件表面的原有镀层。因此,阿普拉斯焊接技术能够确保汽车外观的精致和美观^[3]。

本文采用电阻点焊与阿普拉斯焊两种工艺分别对镀锌板与B280VK钢板、镀锌板与DC01钢板两组板材进行连接,综合分析两种工艺焊接后在外观质量、接头力学性能等方面的差异,并详述了阿普拉斯焊接工艺结构设计要求,为阿普拉斯焊在白车身的應用提供试验依据和理论支持。

1 试验材料及方法

1.1 阿普拉斯焊接设备

本文中阿普拉斯焊接采用的冲凸枪(AL-S.DRL.S2.21.05550)和气动型焊枪(21.05500_2D_V08_weld unit)如图1所示,其中焊枪动臂行程100 mm,单个焊点的焊接循环时间约为2 s。

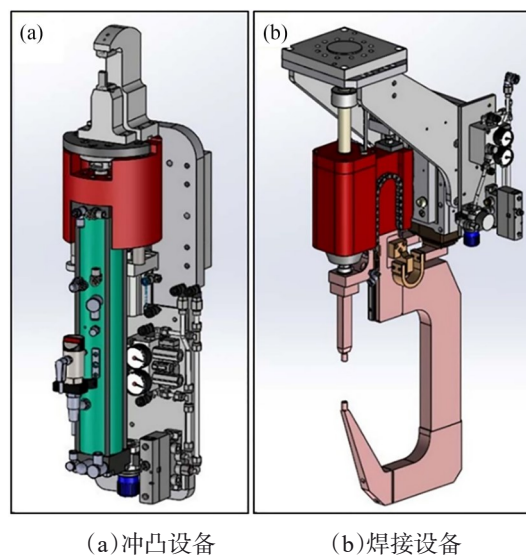


图1 冲凸及焊接设备示意

Fig. 1 Schematic diagram of dimpling and welding equipment

1.2 阿普拉斯焊接原理

阿普拉斯焊是一种在零件间施加压力,并在短时间内通过极大的电流,产生电阻热使得零件熔合连接的焊接工艺;电阻点焊也是一种利用电流和压力将金属材料连接在一起的焊接方法,两者最大的区别在于焊接流程和焊接工艺参数不同,阿普拉斯焊比电阻点焊多一步冲凸过程,焊接过程中无需水冷。本车型实际生产过程中侧围总成处电阻点焊与阿普拉斯焊焊接工艺参数范围如表1所示,与传统电阻焊相比,阿普拉斯焊焊接时间极短、焊接压力小、焊接电流大、接触面积小、热影响区小、几乎没有热应力产生,所以工件变形小,外观质量更好^[4],并且无需水冷却,节能环保。

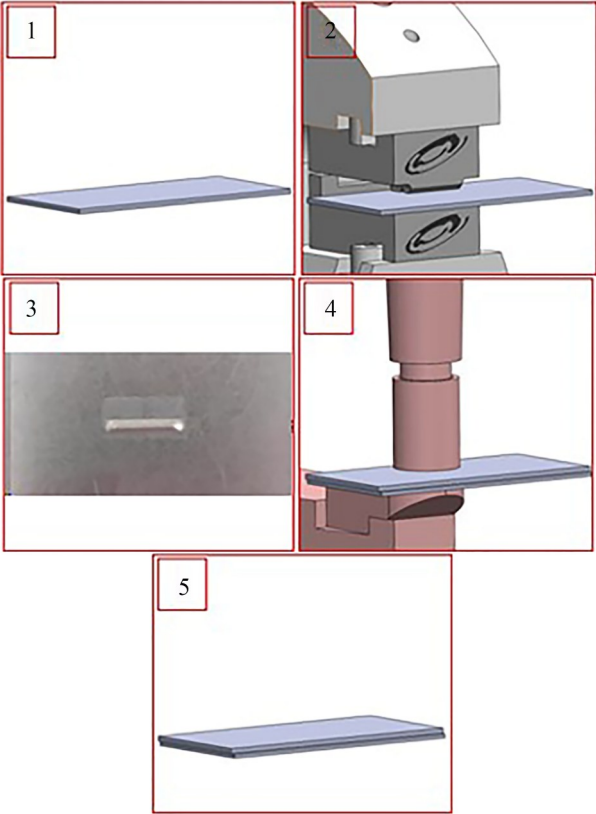
阿普拉斯焊接流程如图2所示,可分为冲凸和焊接两个过程。阿普拉斯焊接首先进行冲凸操作,

表1 焊接工艺参数对比

Table 1 Comparison of welding process parameters

连接方式	焊接时间/ms	焊接压力/N	焊接电流/kA
阿普拉斯焊	8~10	1 000	16~17
电阻点焊	120~440	2 500~4 000	7.5~9

冲出条形凸台,冲出的凸台面积小便于集中热量,接着与目标连接零件装配接触后在凸台处通电焊接,在足够的预压压力下,焊接电流快速达到峰值,产生足够的热量熔化凸台与目标零件,形成合格的焊点^[5]。



1准备零件; 2冲凸台; 3完成冲凸; 4通电焊接; 5焊接完成。

图2 阿普拉斯焊焊接流程

Fig. 2 Welding process of Arplas

1.3 产品阿普拉斯焊结构设计

为了保证良好的焊接质量,采用阿普拉斯焊接工艺对于零件的曲率半径、边长、搭接宽度和搭接层数有一定要求。

为保证焊接表面质量,在不同的焊接位置,阿普拉斯焊接所用电极尺寸与曲率半径的要求也不同。如表 2 所示,阿普拉斯焊一般用于窗框窄边焊和侧围流水槽的连接,在窗框处使用 12 mm×5 mm 的电极,长度方向的曲率半径需大于 150 mm,宽度方向则需大于 25 mm。在侧围流水槽处,可使用 12 mm×7 mm 的电极和 $\varnothing 13$ mm 的圆形电极。使用矩形电极时,长度方向的曲率半径要求大于 150 mm,宽度方向需大于 50 mm;针对本文中的车型所采用的

$\varnothing 13$ mm 圆电极,通常在流水槽位置的焊接要求其弯曲半径应不小于 150 mm。

表 2 阿普拉斯焊对零件曲率半径要求^[6]

Table 2 Requirements for curvature radius of parts in Arplas welding^[6]

板材材质	焊接位置	电极尺寸 /mm	长度/宽度方向的最小 曲率半径要求/mm
钢	窗框窄边焊	12×5	150/25
钢	流水槽	12×7	150/50
钢	流水槽	$\varnothing 13$	150

侧围外板折边长度与角度示意如图 3 所示。根据实际生产与阿普拉斯厂家得到一组关于折边的长度与角度的经验值,为保证焊枪与零件间的安全工作距离,防止工作中焊枪与零件干涉,当折边角度越小时,折边长度应越大。随着侧围外板翻边角度增加,折边长度可参考表 3 进行数据审查,在产品阶段即可规避一些风险。

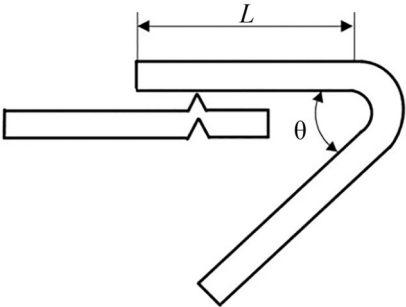


图3 侧围外板折边长度与角度

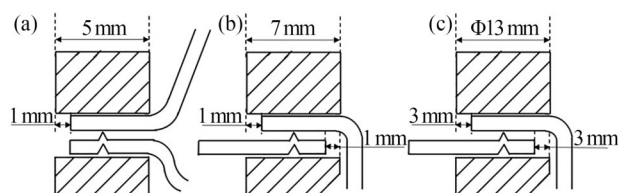
Fig. 3 Folding length and angle of the outer side panel

表 3 阿普拉斯焊对侧围外板折边长度的要求

Table 3 Requirements for folding length of parts in Arplas welding

翻边角度 $\theta/(^{\circ})$	翻边长度 L/mm
30	17.6
40	15.1
45	14.5
50	13.9
60	12.9
70	12.3
80	11.5
90	10.8

阿普拉斯焊对零件搭接宽度的要求如表 4 所示。窗框处采用 12 mm×5 mm 的电极,单侧电极最多可悬空 1 mm,所以极限搭接宽度为 4 mm。侧围与流水槽焊接,若采用 12 mm×7 mm 的电极,单侧电极最多可悬空 1 mm,极限搭接宽度为 5 mm;若采用 $\varnothing 13$ mm 的圆电极,单侧电极最多可悬空 3 mm,极



(a)窗框窄边焊;(b)侧围-流水槽;(c)侧围-流水槽

图4 搭接示意

Fig. 4 Schematic diagram of overlapping

表4 阿普拉斯焊对零件搭接宽度要求

Table 4 Requirements for overlap width of parts in Arplas welding

板材材质	焊接位置	电极尺寸 /mm	单侧电极最大 悬空/mm	极限搭接 宽度/mm
钢	窗框窄边焊	12×5	1	4
钢	侧围-流水槽	12×7	1	5
钢	侧围-流水槽	Φ13	3	7

限搭接宽度为7 mm。

此外,阿普拉斯焊更适用于双层板连接,对于三层板有虚焊风险;并且在实施焊接的区域不建议涂密封胶,这是由于阿普拉斯焊接过程焊接电流大,时间短,若有胶,易发生炸枪现象^[7]。

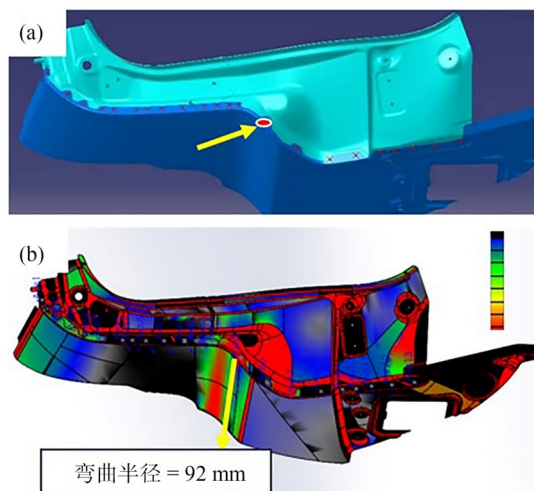
根据阿普拉斯焊对零件结构的要求,本文从曲率半径、边长、搭接宽度和搭接层数等方面对侧围分总成进行分析。如图5所示,由侧围分总成数模可知,侧围中有一处焊点焊接面曲率半径为92 mm(箭头所指位置),图中黑色表示曲率为0,为平整面;红色表示半径较小,有出现焊接压痕的风险,将增大该位置的曲率半径以适应焊接工艺要求。

如图6a所示侧围原结构为三层板焊点,为减少三层板虚焊风险,需调整产品结构,将三层板焊接改为如图6b所示的二层焊产品结构。经过修改产品零件结构后,三层板焊点A、B、D调整为如图6b所示E、F、H两层板焊点,并在C区域增加一个焊点G。

本结构中侧围外板折边角度大于90°,测量侧围边长为18.88 mm,搭接的宽度为16.52 mm,满足最低的结构尺寸要求。综上所述,通过对本车型的侧围总成的结构特征分析及相应结构的调整,可采用阿普拉斯焊接工艺进行焊接。

1.4 试样验证

为探究阿普拉斯焊在本车型中的应用价值与实际效果,同时为阿普拉斯在白车身中的应用提供



(a)零件数模;(b)曲率半径分布图

图5 侧围分总成焊点分布

Fig. 5 Distribution diagram of welding points on the side panel assembly

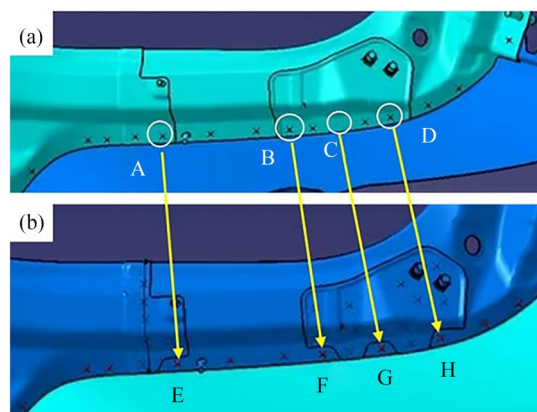


图6 (a)三层板焊点位置;(b)更改后产品结构

Fig. 6 (a) Position of three-layer welding points; (b) Modified product structure

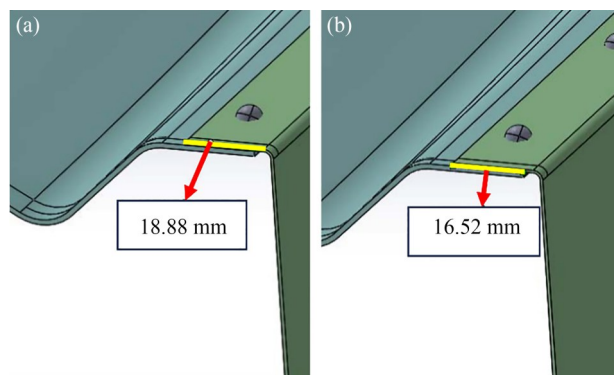


图7 (a)侧围边长;(b)搭接宽度

Fig. 7 (a) Side length; (b) Overlap width

更多指导依据,进一步对电阻点焊和阿普拉斯焊连接接头进行对比试验分析。试验所用的焊接工艺

参数如表 5 所示。侧围外板为 0.7 mm 厚的镀锌钢板,侧围内板为 1.2 mm 厚的高强钢裸板,在钢板上截取出 200 mm×20 mm×0.7 mm 和 200 mm×20 mm×1.2 mm 的试片并进行焊接。拉伸试样尺寸如图 8 所示。

表 5 焊接工艺参数
Table 5 Welding process parameters

材料及厚度	连接工艺	电流 /kA	焊接时间 /ms	焊接压力 /N
0.7 mm(锌)+1.2 mm(DC01)	电阻	9	360	3000
0.7 mm(锌)+1.2 mm(B280VK)	点焊			
0.7 mm(锌)+1.2 mm(DC01)	阿普拉	17	7	1100
0.7 mm(锌)+1.2 mm(B280VK)	斯焊			

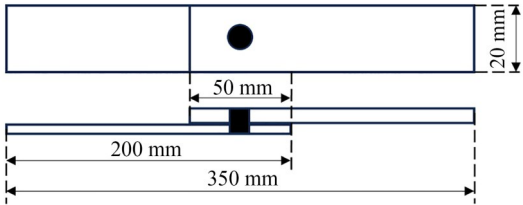
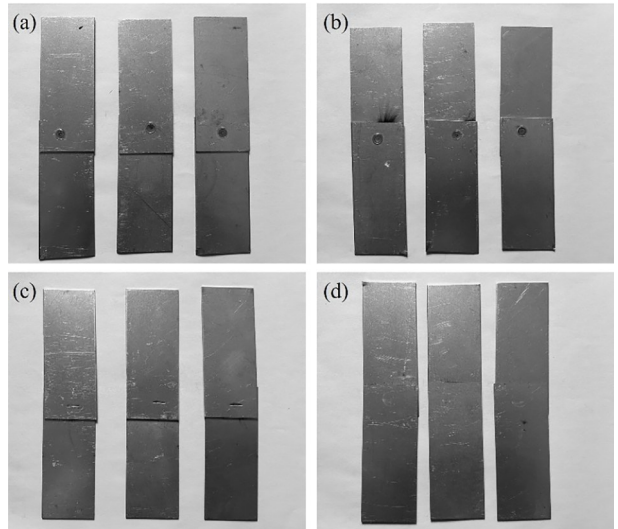


图 8 焊接试片尺寸

Fig. 8 Dimensions of welding specimens

将镀锌板与钢板搭接,分别进行电阻点焊和阿普拉斯焊,得到如图 9 所示的焊接试片,图 9a、9b 为点焊试片,图 9c、9d 为阿普拉斯焊试片。焊点拉伸试验采用型号为 WDW-100 的微机控制万能试验机,拉伸速度为 2 mm/min。室温拉伸试验后采用型号为 FEI Nova400 扫描电镜进行断口形貌观察。



(a)、(b)电阻点焊;(c)、(d)阿普拉斯焊

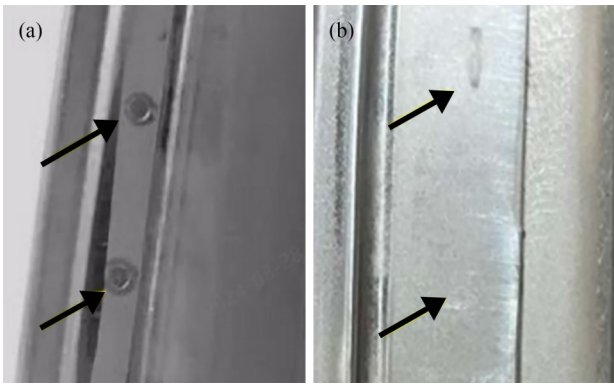
图 9 试验试片

Fig. 9 Experimental samples

2 试验结果及分析

2.1 焊接接头外观及力学性能

在白车身侧围 D 柱区域分别采用电阻点焊和阿普拉斯焊进行连接,结果显示阿普拉斯焊在焊点外观改善方面优势明显。焊接后外观如图 10 所示,左边为电阻点焊后的外观形貌,图 10a 中箭头处为点焊位置,点焊压痕较深;图 10b 为阿普拉斯焊焊接后的外观,表面平整无明显压痕。



(a)电阻点焊 (b)阿普拉斯焊

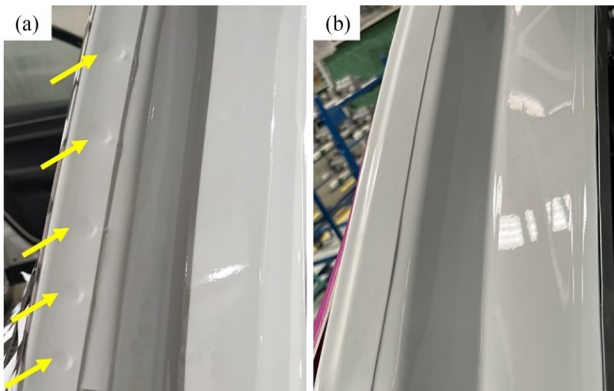
图 10 焊点外观

Fig. 10 Appearance of joints

经过涂装后的外观如图 11 所示,图 11a 为电阻点焊涂装后的外观形貌,其中箭头所指处为点焊位置,点焊压痕依旧明显,影响外观质量;图 11b 为采用阿普拉斯焊接工艺涂装后的外观,表面平整,压痕基本不可见。

2.1.1 拉伸力学性能

0.7 mm 镀锌板与 1.2 mm DC01 钢板的焊接接



(a)电阻点焊 (b)阿普拉斯焊

图 11 涂装后的外观形貌

Fig. 11 Appearance after painting

头拉伸试验结果如表6所示,结果显示电阻点焊与阿普拉斯焊强度基本相当,电阻点焊的平均最大拉力值为3 589 N,阿普拉斯焊的平均最大拉力值为3 351 N,具有较好的力学性能。

根据金属薄板电阻点焊推荐工艺规范^[8],以外侧薄板厚度为0.8 mm的板厚为例,电阻点焊接头最小焊核直径要求为4.5 mm,本试验中镀锌钢板+DC01板电阻点焊的平均焊核直径为5.8 mm,完全符合强度要求。计算可知,电阻点焊接头的平均焊核面积为26.8 mm²,阿普拉斯焊为13.3 mm²,仅为前者的1/2,但力学性能却与之相当。

表6 镀锌钢板与DC01焊接结果

Table 6 Welding results of galvanized steel plate and DC01

序号	连接工艺	拉力值/N	焊核尺寸/mm
1	电阻点焊	3 405	∅5.8
2	电阻点焊	3 476	∅5.9
3	电阻点焊	3 886	∅5.8
4	阿普拉斯焊	3 393	1.5×9.7
5	阿普拉斯焊	3 104	1.5×8.8
6	阿普拉斯焊	3 557	1.5×8.1

0.7 mm 镀锌板与1.2 mm的B280VK钢板的接头拉伸试验结果如表7所示,由表中可知电阻点焊的平均最大拉力值为3 593 N,阿普拉斯焊的平均最大拉力值为2 955 N。综合两组试验可知,0.7 mm厚的镀锌板与1.2 mm厚的钢板焊接接头均能保持较高的强度。若在侧围选择用阿普拉斯焊进行焊接,DC01钢板比B280VK钢板更合适,焊接接头强度更高。

表7 镀锌钢板与B280VK焊接结果

Table 7 Welding results of galvanized steel plate and B280VK

序号	连接工艺	拉力值/N	焊核尺寸/mm
1	电阻点焊	3 611	∅6.1
2	电阻点焊	3 565	∅6.0
3	电阻点焊	3 605	∅6.0
4	阿普拉斯焊	2 866	1.5×7.7
5	阿普拉斯焊	2 974	1.5×8.4
6	阿普拉斯焊	3 025	1.5×8.0

2.1.2 热输入分析

焊接热输入计算公式为:

$$Q = I^2 R t \quad (1)$$

式中 Q 为焊接产生的热量, I 为焊接电流, R 为电极间的电阻, t 为焊接时间。电极间的电阻包括工件

本身电阻 R_w , 两工件间的接触电阻 R_c , 电极与工件间接触电阻 R_{ew} 。

图12为焊接过程中电阻点焊与阿普拉斯焊的电阻与温度分布示意。阿普拉斯焊通过冲凸形成的小面积凸台,使零件间接触面积显著减小,接触电阻 R_c 大幅增大,在大电流(16~17 kA)作用下,凸台处可瞬间聚集足够热量实现熔合;同时,其焊接时间极短(8~10 ms),热量集中于凸台区域,热影响区窄,热变形小且无需水冷,能量消耗更低。电阻点焊则因接触面积大、焊接时间长(120~440 ms),导致焊核周围热量损失较多,易产生较大热变形。

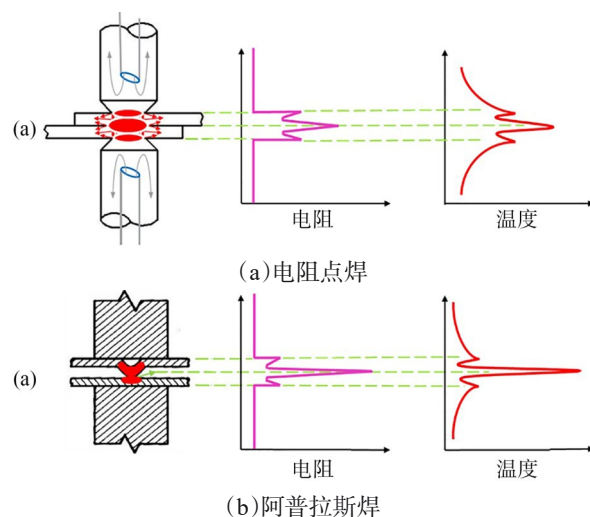


图12 不同焊接工艺对比

Fig. 12 Comparison of different welding processes

研究表明,电阻点焊需通过增加焊接热输入(如延长焊接时间)以保证焊核尺寸与强度,否则易因熔合区硬度不足发生界面断裂^[9-10];而阿普拉斯焊焊接电流比点焊大,但是焊接时间极短,总热热输入更低,阿普拉斯焊凭借小热量输入也可以得到力学性能优异的焊接接头。为满足当前汽车轻量化、低制造成本以及环保等综合要求,在车身设计中大量使用大差厚高强韧不锈钢板材。然而大差厚板材组合导致焊接过程熔核产生偏移现象,使得薄板侧焊透率严重不足,焊接接头性能无法满足使用要求,阿普拉斯焊或许是一个替代点焊有效的焊接方式,值得进一步研究。

2.2 失效模式与断口分析

焊接接头的失效模式是评估其力学性能的重要指标^[11]。接头的失效模式可根据裂纹萌生区域与

裂纹扩展方向简单地分为界面断裂(Interfacial Failure, IF)和拔出熔核断裂(Pull-out Failure, PF)^[12],如图13所示。

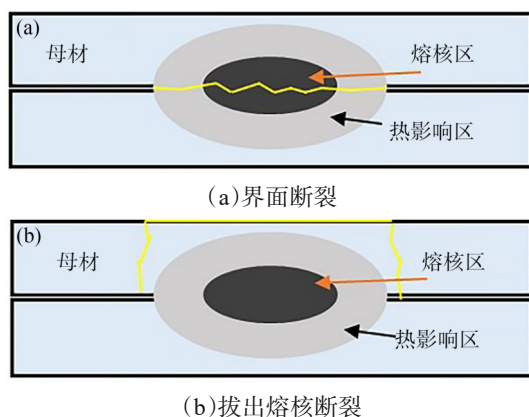


图13 失效模式示意

Fig. 13 Schematic diagram of failure modes

在试样剪切拉伸过程中,焊接接头主要受拉伸应力和剪切应力作用,其中接头横截面区域主要承受剪切应力,熔核边缘的a、b区域(见图14)主要受拉应力作用。剪切应力是界面断裂失效的主要驱动力,当焊点横截面的剪切应力先达到临界值时,会发生界面断裂失效;拉伸应力是拔出熔核失效的主动驱动力,若拉伸应力先达到临界值,则发生拔出熔核失效^[13-14]。界面断裂是一种脆性断裂,其裂纹沿熔核中心扩展,该失效模式对汽车的耐撞性不利,发生界面断裂说明该接头的承载性较差,在生产中应尽量避免。拔出熔核断裂是一种韧性断裂,裂纹于熔核区边缘萌生并沿板厚方向扩展,表现为焊核从另一块钢板完整拔出,在该钢板则留下空洞^[15-16]。受到外应力作用时,热影响区或母材常发生缩颈现象,最终在缩颈区域发生和焊点交界处发生断裂,即a、b区域。发生拔出熔核断裂说明该焊接接头质量优异,具有不错的力学性能。

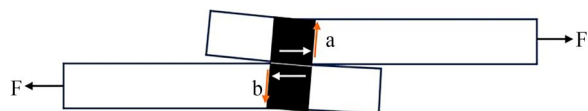


图14 熔核界面受力示意

Fig. 14 Schematic diagram of the stress on the nugget interface

通过对两组不同连接材料以及不同连接工艺后的试样进行拉伸试验,结果显示拉伸试片断裂均首先发生在0.7 mm厚的母材上,具体为焊点与其周

边基材交界处。如图15所示,本试验点焊和阿普拉斯焊接接头失效模式均为明显的拔出熔核断裂。

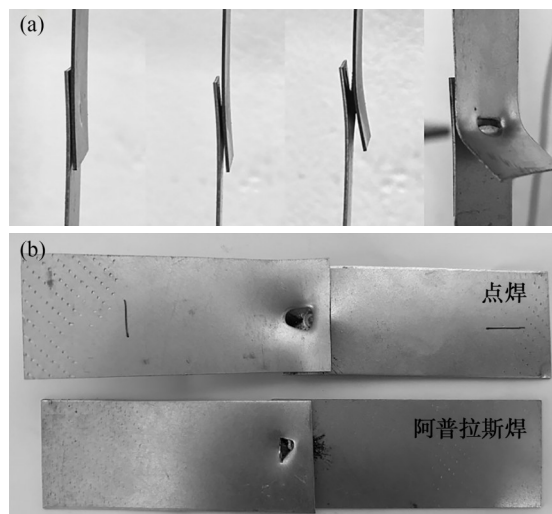


图15 (a)拉伸变形过程;(b)拔出熔核断裂

Fig. 15 (a) Tensile deformation process; (b) Full out fracture

在扫描电镜下观察阿普拉斯焊焊接接头发生拔出熔核断裂后的断口形貌,如图16所示,断口处存在大量的韧窝,且韧窝较深,说明接头在拉伸断裂过程以韧性断裂为主,塑性较好,焊接接头质量较好。

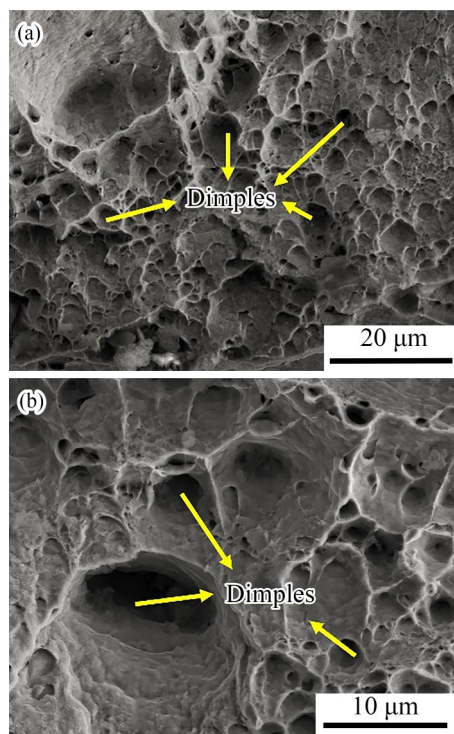


图16 阿普拉斯焊断口形貌

Fig. 16 The fracture morphology of Arplas welding

3 结论及展望

本文讨论了阿普拉斯焊接工艺在某车型侧围的应用,详述了应用阿普拉斯焊接工艺的结构设计要求,对比分析了电阻点焊与阿普拉斯焊的差异,具体结果如下:

(1)通过对采取不同焊接工艺的试片进行拉伸测试后发现,本试验工艺参数条件下,电阻点焊的焊核面积为阿普拉斯焊核面积的2倍左右,得到的阿普拉斯焊与电阻点焊接头强度基本相当。镀锌钢板与DC01钢板阿普拉斯焊后的平均最大拉力值为3351N,电阻点焊后的平均最大拉力值为3589N,可达点焊强度的93.4%,阿普拉斯焊接接头具有良好的力学性能。

(2)阿普拉斯焊焊接接头失效模式为拔出熔核失效,通过对其断口形貌进行观察发现存在大量韧窝,拉伸断裂过程以韧性断裂为主。阿普拉斯焊接总体热输入小,能量损耗低,焊接接头质量优异,为进一步研究大差厚板材连接接头性能提供一定的理论基础和方向。

(3)同普通电阻点焊相比,采用阿普拉斯焊车身外观质量明显提升,几乎无焊接压痕,同时实现了强度和外观的双重考量,说明阿普拉斯焊接技术应用在本车型的侧围D柱处是可行且有价值的。

参考文献:

- [1] Hussein K M, Akbari H, Noorossana R, et al. Mechanical Behavior Investigation for Quenching and Partitioning Steel Dissimilar Resistance Spot Welds[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2023, 27: 4064–4073.
- [2] 蔡爽. 汽车焊点外观精致感的提升研究[J]. 专用汽车, 2023(4): 63–65.
CAI S. Research on Improving the Exquisite Appearance of Automotive Welding Points [J]. Special Purpose Vehicle, 2023(4): 63–65.
- [3] 刘美娜, 高博. 汽车后流水槽连接工艺研究[J]. 汽车实用技术, 2021(14): 129–130.
LIU M N, GAO B. Study on Connecting Technology of Car Rear Flow Tank [J]. Automobile Applied Technology, 2021(14): 129–130.
- [4] 任涛, 潘青. 阿普拉斯焊接技术及应用[J]. 电焊机, 2014, 44(02): 35–38+90.
- [5] 彭俊, 苏明, 陈绍翰, 等. 白车身侧围后流水槽焊接工艺技术分析[J]. 汽车工程师, 2019(12): 11–13.
PENG J, SU M, CHEN S H, et al. Analysis on Welding Technology of Rear Wallrear Gutter of BIW [J]. Automotive Engineer, 2019(12): 11–13.
- [6] 马庆, 杜亚奇, 骆杰, 等. 浅析阿普拉斯焊接工艺条件及参数设置[J]. 汽车科技, 2022(4): 38–43.
MA Q, DU Y Q, LUO J, et al. Brief Analysis on The Process Conditions and Parameters of Arplas Welding [J]. Auto Sci-Tech, 2022(4): 38–43.
- [7] 李克政. 阿普拉斯焊接在白车身的应用及优势[J]. 时代汽车, 2023(12): 156–158.
LI K Z. Application and Advantages of APRAS Welding in Body-in-white [J]. Auto Time, 2023 (12): 156–158.
- [8] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 43412—2023 金属薄板电阻点焊推荐工艺规范[S]. 2023.
- [9] Manladan S M, Abdullahi I, Hamza M F. A Review On the Application of Resistance Spot Welding of Automotive Sheets[J]. Journal of Engineering and Technology, 2015, 10: 20–37.
- [10] Marashi P, Pouranvari M, Amirabdollahian S, et al. Microstructure and Failure Behavior of Dissimilar Resistance Spot Welds Between Low Carbon Galvanized and Austenitic Stainless Steels [J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 480: 175–180.
- [11] 王敏, 杨海峰, 刘兴毅. 高强钢电阻点焊工艺研究[J]. 电焊机, 2023, 53(11): 107–112.
WANG M, YANG H F, LIU X Y. Resistance Spot Welding Technology of High Strength Steel [J]. Electric Welding Machine, 2023, 53(11): 107–112.
- [12] 常旭. 2205 双相不锈钢电阻点焊接头组织及力学性能的研究[D]. 山西: 太原科技大学, 2014.
CHANG X. Study on Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Joint of 2205 Duplex Stainless Steel [D]. Shanxi: Taiyuan University of Science and Technology, 2014.
- [13] 张玉柱. 高强汽车钢电阻点焊接头组织性能及失效机理研究[D]. 辽宁: 东北大学, 2020.
ZHANG Y Z. Research on Microstructure, Properties and Failure Mechanism of Hiah Strength Automobile

- Steel Resistance Spot Welded Joints [D]. Liaoning: Northeastern University, 2020.
- [14] 金泉军,高明,吕玲芳,等. 高强钢点焊熔合界面正向拉伸撕裂失效评价分析[J]. 电焊机, 2023, 53(01): 31-37.
- JIN Q J, GAO M, LV L F, et al. Failure Analysis of Fracture of High Strength Steel Spot-welded Joints about Cross Tension Testing [J]. Electric Welding Machine, 2023, 53(1): 31-37.
- [15] Janardhan G, Mukhopadhyay G, Dutta K. Failure Behaviour of Spot-Welds On Automotive Steel Sheets [J]. Materials Today: Proceedings, 2022, 62: 6120-6124.
- [16] Pouranvari M. Fracture Toughness of Martensitic Stainless Steel Resistance Spot Welds [J]. Materials Science and Engineering: A, 2017, 680: 97-107.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>

☞ 上接第106页

参考文献:

- [1] 赵熹华. 压力焊[M]. 北京:机械工业出版社, 1989.
- [2] 王永胜,徐庆华. 基于故障树的点焊电极帽粘脱原因分析[J]. 电焊机, 2010, 40(05): 74-77.
- WANG Y S, XU Q H. Failures analysis of electrode-cap-off on resistance spot weld based on fault tree [J]. Electric Welding Machine, 2010, 40(05): 74-77.
- [3] 王亚荣,张忠典,冯吉才. 电阻点焊过程中动态电阻的变化规律[J]. 电焊机, 2006, 36(02): 42-44.
- WANG Y R, ZHANG Z D, FENG J C. Studies of dynamic resistance in resistance spot welding [J]. Electric Welding Machine, 2006, 36(02): 42-44.
- [4] 王敏. 电阻焊在汽车工业中的应用[J]. 电焊机, 2003, 33(01): 1-6.
- WANG M. Application of Resistance Welding in the Automotive Industry [J]. Electric Welding Machine, 2003, 33(01): 1-6.
- [5] 易铁,田永强,蒋冬,等. 不同自适应控制系统在汽车点焊中的应用[J]. 焊接技术, 2018, 47(10): 80-84.
- YI T, TIAN Y Q, JIANG D, et al. Application of different adaptive control systems in spot welding of automobile [J]. Welding Technology, 2018, 47(10): 80-84.
- [6] 张洪延. 《电阻焊:基础与应用(第二版)》[M]. 北京:科学出版社, 2017.
- [7] 汪飞,毛建华,叶少剑,等. 点焊机器人电极修磨浅析[J]. 汽车零部件, 2023(02): 85-87.
- WANG F, MAO J H, YE S J, et al. Analysis on Electrode Grinding of Spot Welding Robot [J]. Automotive Parts, 2023(02): 85-87.
- [8] 王朝建. 汽车车身点焊电极修磨器的优化调整[J]. 焊接技术, 2022(05): 51.
- WANG C J. Optimization and adjustment of spot welding electrode grinding machine for automobile body [J]. Welding Technology, 2022(05): 51.
- [9] 郭亚洲,张勇,付玉生,等. 非破坏性凿检对高强钢点焊接头性能的影响[J]. 汽车工艺与材料, 2015(08): 23-25+29.
- GUO Y Z, ZHANG Y, FU Y S, et al. Impact of non-destructive chiseling inspection on the performance of spot welds in high-strength steels [J]. Automobile Technology & Material, 2015(08): 23-25+29.
- [10] 刘倩雯,张南峰,阮洁珊,等. 电阻点焊质量检测技术研究现状[J]. 精密成形工程, 2022, 14(05): 83-93.
- LIU Q W, ZHANG N F, RUAN J S, et al. Research Status of Quality Detection Technology for Resistance Spot Welding [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2022, 14(05): 83-93.
- [11] 韩晓丽,肖富城,肖灵. 汽车点焊超声波检测技术发展及趋势[J]. 焊接, 2018(03): 34-40+66-67.
- HAN X L, XIAO F C, XIAO L. Development and trends of ultrasonic testing of automobile spot welding. Welding & Joining, 2018(03): 34-40+66-67.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>