

1500MPa 热成型钢电阻点焊性能分析

文 | 许鹏、龙曲波、方锁泽、肖伟、廖洋、王宇威 · 东风（武汉）实业有限公司

随着国家对汽车安全及排放等法规要求的不断升级，对汽车车身所用材料的要求也越来越高，既要满足不断提高的安全法规要求，又要降低车身重量，实现轻量化，满足不断提高的排放法规要求。因此，越来越多的汽车开始使用高强钢，从而实现钢板减薄、车身重量降低、汽车油耗及排放减少，同时还可以提高车辆的安全性和舒适性。

目前，1500MPa 高强度钢板被广泛应用于制造汽车车身结构零部件，尤其汽车的防撞梁，A、B 柱等部位，它能满足汽车的碰撞性能要求，同时也实现了轻量化。

然而，与普通冷成型钢不同，1500MPa 钢还具有比较特殊的物理属性，其初始抗拉强度为 500MPa 以上，通过淬火处理后，抗拉强度能达到 1500MPa 左右，所以 1500MPa 钢在应用中基本都是在淬火状态下进行焊接。一般首先是在材料受热后，采用模具进行冲压，而模具本身带有冷却装置，能使工件进行快速冷却，从而使工件起到淬火的目的，材料也达到了淬火状态的机械强度。然后再进行部件焊接，但是当其淬火以后再行焊接的时候，受焊接热循环影响，可能会产生一系列问题。例如：焊接接头热影响区软化、性能下降以及焊接接头疲劳降低等。因此在焊接过程中，加强对 1500MPa 钢焊接接头强化方面的研究是非常有必要的。

本文对淬火态的 1500MPa 热成型钢进行点焊试验，通

过对点焊工艺参数进行正交试验设计，确定了最优焊接工艺参数，并研究不同因素对焊接性能的影响大小。通过分析点焊接头硬度和金相分析，从微观组织方面研究了热成形高强度钢点焊接头的焊接性能；同时，分析了点焊接头的断口形貌特征。

试验材料及方法

试验材料及机械性能

试验使用的带铝硅镀层热成型钢 22MnB5，厚度为 1.2mm，其基材的化学成分如表 1。镀层成分中 Al 占 88.6%，Si 占 9.4%，其单面的平均镀层重量约为 74g/m²。

表 1 钢的基材化学成分（质量分数，%）

C	Si	Mn	P	S	B	Ti	N
0.2130	0.2234	1.1480	0.0108	0.0015	0.0028	0.0356	0.0069

淬火态的热成型钢 22MnB5 其抗拉强度 1458MPa，屈服强度 1068MPa，A50 断后延伸率 6%，硬度 478HV，组织为板条状马氏体组织，表面的 Al-Si 总镀层厚度约 40 μm。

点焊试验方法

本次试验所用厚度 1.2mm 钢板，采用中频点焊机

GFwelding, 型号 HPA150NP, 试样长度 $L=100\text{mm}$, 宽度 $H=30\text{mm}$, 搭接宽度 $B=30\text{mm}$, A 为试样板厚, 如图 1 所示。通过设置不同焊接参数, 点焊试验在电子万能试验机上进行抗剪切强度试验, 如图 2 所示。同时对焊点熔合。

参数设计: 焊接电流、通电时间、电极压力是影响点焊接头质量最重要的三个工艺参数, 本文选取工艺参数中影响因素最大的焊接电流为试验因素, 设计试验参数, 研究焊接电流参数对热成型高强度钢点焊接头力学性能的影响。采用中频点焊机 GFwelding, 型号 HPA150NP, 参数设计如表 2。

表 2 热冲压高强度钢焊接工艺参数选取

板厚 (mm)	电极端面大小 (mm)	焊接压力 (KN)	加压时间 (cyc)	焊接时间 (cyc)	保持时间 (cyc)	焊接电流 (KA)
1.2	8	3.6	30	4 (5+1)	12	5.5
						6.0
						6.5
						7.0
						7.5
						8.0
						8.5

金相试验: 将焊点断面制成金相试样, 在 400#、600#、800#、及 1200# 砂纸上逐级精磨, 然后用抛光液进行机械抛光, 满足要求后使用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀, 制备好的金相试样在光学金相显微镜下观察焊点区域微观组织。

硬度测试试验: 使用显微维氏硬度计试验中采用的压力为 9.81N, 保持时间为 10s, 检测从焊核中心至两侧母材的维氏硬度值。

力学性能试验: 试样长度 $L=100\text{mm}$, 宽度 $H=30\text{mm}$, 搭接宽度 $B=30\text{mm}$, A 为试样板厚, 如图 1 所示。在电子万能试验机上通过拉剪试验测试点焊接头的抗剪切强度 (如图 2 所示)。

通过观察接头断口形貌, 研究接头断裂性质及断裂位置, 失效形式。

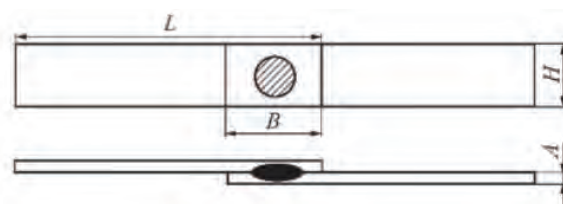


图 1 点焊试验试样



图 2 焊点抗剪切强度试验

试验结果及分析

工艺参数对接头承受拉剪载荷的性能研究可知, 焊接电流对接头性能的影响最大, 因此有必要重点研究热冲压高强度钢点焊接头微观组织, 热影响区的影响, 焊接电流对力学性能及失效方式的影响规律。

高强度钢焊点接头组织及硬度分布

热成型高强度钢点焊接头的宏观组织如图 3 所示。由图可见: 热冲压高强度钢点焊接头存在非常明显的三个区域: 熔合区、热影响区 (HAZ) 及母材区。



图 3 热成型高强度钢点焊接头宏观组织

熔合区组织晶粒的生长具有明显的方向性, 由热影响区与熔合区的结合处即熔合线处向熔合中心面生长, 具体方向

为垂直于中心面，形成类似柱状晶组织。

进一步微观组织观察可知，图4所示为接头母材区，熔合区及热影响区的微观组织形貌。由图4可见，不同区域的显微组织因焊接产生的热量及冷却速度的不同而存在较大的差异。其中图4a母材区是典型的板条马氏体组织，图4b为熔合区主要以粗大的板条状马氏体为主，这是由于在焊接过程中发生了马氏体晶粒的粗化，图4c为近熔合区的HAZ区，马氏体明显比熔合区小，是因为在焊接过程中焊接热输入奥氏体化后，在冷却过程中冷却速度比熔合区快，马氏体晶粒来不及长大。同时该区域由于焊接热输入不充分存在少量的铁素体组织。图4d为近母材区的HAZ区，以铁素体为主，还有少量的马氏体。由于该区域的温度未能完全奥氏体化，导致存在不完全淬火区，在冷却过程中，奥氏体组织会发生分解，分解成铁素体。

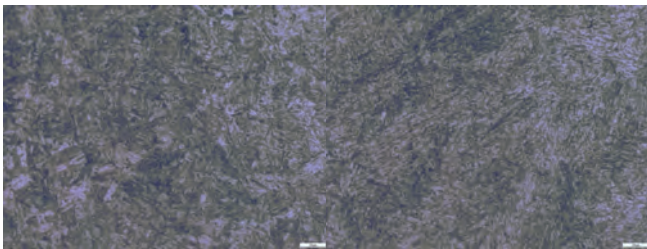


图4a 母材区图4b 熔合区

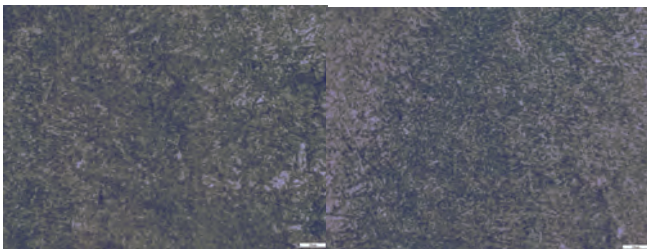


图4c HAZ区(近熔合区)图4d HAZ区(近母材区)

图4 热成型高强度钢点焊接头微观组织

由图4所示的热冲压高强度钢点焊接头微观组织特征可知，熔合区、HAZ区和母材区微观组织存在明显的差异，这几个区域的力学性能也存在明显的不均匀性。图5所示为热冲压高强度钢点焊接头三个区域的显微硬度曲线。由图5可知，母

材区硬度约为470HV左右，为马氏体组织。熔合区硬度较母材接近，约为450HV左右，组织为粗大的板条马氏体。HAZ区由于铁素体的生成导致该区域硬度开始下降，最低硬度达到了323HV。可见热冲压高强度钢点焊接头最薄弱的位置是在HAZ区位置。

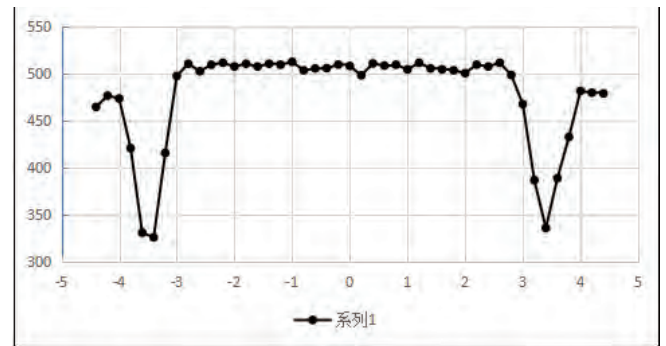


图5 热成型高强度钢点焊接头显微硬度曲线

高强度钢焊点的力学性能及失效形式

为了避免偶然偏差，每个参数均焊接三个试件，对焊接后的试件分别进行拉剪试验。对不同焊接电流条件下试件抗剪切最大载荷和失效方式进行统计，试验结果如图6所示。

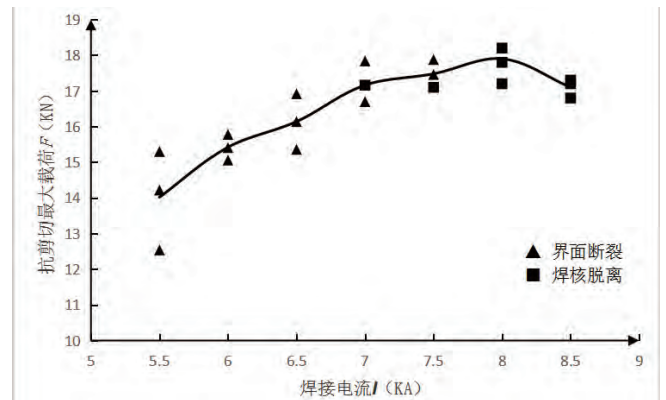


图6 焊接电流对峰值拉剪载荷及失效方式的影响

由结果可知，随着焊接电流的增加，焊点抗剪切能力逐渐增加。当焊接电流为8kA时，接头平均峰值拉剪载荷达到最大值17.7kN。此后，随焊接电流的增加，峰值拉剪载荷小幅度的下降。从每组参数的三个试片的试验结果中可分析出，电流在较小时，焊点强度稳定性较差，三组实验结果存在较

大的波动，电流增大后，三组数据的结果趋向稳定。

焊接电流对接头失效方式有明显影响，当焊接电流为 5.5 ~ 6.5kA 时，接头失效方式以在焊核处界面断裂为主（图 7），当焊接电流超过 8kA 时，接头失效方式全部为焊核剥离，如图 8 所示。焊接电流为 7.0 ~ 7.5kA 时，两种接头失效方式共存。

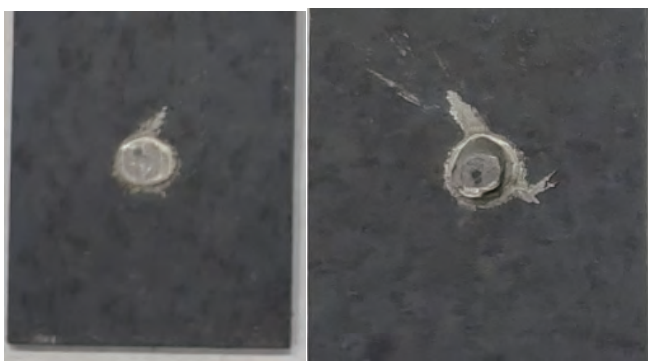


图 7a 界面断裂图 7b 焊核剥离

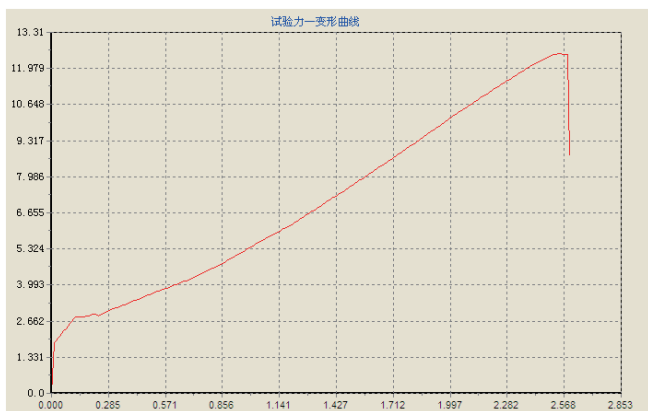


图 8 焊点抗剪切拉伸力 - 变形曲线

分析拉剪试验不同焊接电流条件下两种典型接头失效方式的宏观照片及断裂拉伸曲线。由图 7a 可见，当焊接电流 6KA 时，接头承受载荷的性能较弱，约为 15.4KN，焊接接头从两个工件结合的界面处断裂，断裂处界面明显可见疏松缺陷。随着焊接电流的增大，接头承受载荷的性能显著提高。如图 7b 所示为焊接电流为 8kA 时接头的断裂方式，抗剪切力约为 17.7KN。接头失效方式为焊核脱离，一个试片从另一个试片拉出焊核。当电流继续加大后，其强度反而有略微下

降的趋势，原因在于焊点界面处飞溅变大，使得焊接热输入作用在焊核位置的能量变小，强度变低所致。分析其断裂拉伸曲线（如图 8），焊点断裂形式全部为脆性断裂。

结论

22MnB5 热成型高强钢点焊接头金相组织，母材区和熔合区以板条状马氏体为主，热影响区组织为铁素体和马氏体，特别是近母材区域的位置存在大量的铁素体。这三个区域的力学性能也存在明显的差异，母材区和熔合区维氏硬度能达到 450HV 以上，热影响区的硬度分布不均，从母材区和熔合区到热影响区，硬度逐渐减小的趋势，最小达到 323HV，是焊点力学性能最薄弱区域，与该区域的金相组织相关。

焊接电流参数对 22MnB5 热成型高强钢点焊接头力学性能的影响。随着焊接电流的增加，焊点抗剪切能力逐渐增加。当焊接电流为 8kA 时，接头平均峰值拉剪载荷达到最大值 17.7kN。此后，随焊接电流的增加，峰值拉剪载荷小幅度的下降。

焊接接头失效方式随焊接电流增加从焊核处界面断裂到焊核处剥离，焊点断裂形式全部为脆性断裂。MFC