

# DP590 双相钢电阻点焊接头性能研究

王敏<sup>1</sup>, 吴毅雄<sup>1</sup>, 潘华<sup>2</sup>, 雷鸣<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 200240;

2. 宝山钢铁股份有限公司 技术中心, 上海 201900)

**摘要:** 通过对两种强度相近、母材化学成分不同的 DP590 双相钢电阻点焊接头的强度、断口及熔核 TEM 分析, 揭示了母材化学成分对双相钢点焊接头强韧性的影响规律及机理, 结果表明: 母材碳含量越高, 接头正拉强度及韧性越差, 其主要机理是, 在电阻点焊不平衡的急速冷却条件下, 随着母材碳含量的增加, 在点焊熔核及熔合区形成了板条状或片状的孪晶马氏体亚结构, 从而降低了接头的延性, 研究结果对开发具有优良的电阻焊点焊可焊性的汽车用双相钢板具有重要的指导作用。

**关键词:** DP590 双相钢; 电阻点焊; 母材化学成分; 接头性能

随着汽车轻量化发展, 高强度双相钢已成为目前及今后几年汽车生产中需求增加最大的新型材料<sup>[1-2]</sup>。由低碳钢和低碳低合金钢经临界区处理或控制轧制而得到的在铁素体基体上分布着 5%~20% 岛状马氏体的双相钢<sup>[3-4]</sup>, 在电阻点焊快速加热和冷却条件下, 接头性能会发生怎样的变化? 性能的变化与母材化学成分的关系如何? 需要从点焊热循环对双相钢的组织影响机理方面进行深入研究。本文选择了两种不同化学成分的 DP590 双相钢, 探讨材料化学成分对其电阻点焊可焊性的影响程度及规律, 其结果对开发具有优良的电阻焊点焊可焊性的汽车用双相钢板具有重要的意义。

## 1 试验研究

本试验选用两种不同化学成分的 DP590 双相钢板, 分别标为 DP590(A) 和 DP590(B), 冷轧态, 厚度均为 1.4mm, 其化学成分及力学性能分别见表 1 和表 2。这两种 DP590 钢板的强度相近, 但其化学成分, 特别是含碳量有较大差别。

表 1 试验用双相钢板的化学成分 (wt%)

材料	C	Si	Mn	P	S
DP590(A)	0.071	0.43	1.84	0.011	0.02
DP590(B)	0.12	0.44	1.80	0.021	0.006

表 2 试验用双相钢板的力学性能

材料	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	均匀延伸率 (%)	断裂延伸率 (%)
DP590(A)	367	650	18.7	33.0
DP590(B)	432	665	19.0	29.0

为了深入研究母材化学成分对 DP590 双相钢电阻点焊接头性能影响的机理, 本文设计了如下试验: 点焊工艺试验、接头强度、正拉断口扫描电镜分析及透射电镜 TEM 微观分析等。

## 2 母材化学成分对焊点性能影响的机理分析

### 2.1 点焊接头强韧性比较及分析

图 1 (a)、(b) 分别为电极压力为 400kgf, 焊接时间为 20cyc 下, 两种 DP590 钢板点焊接头的拉剪和正拉试验结果比较, 图 2 为两种材料点焊接头的延性比 (即接头正拉强度与拉剪强度之比  $P_c/P_t$ ) 比较。

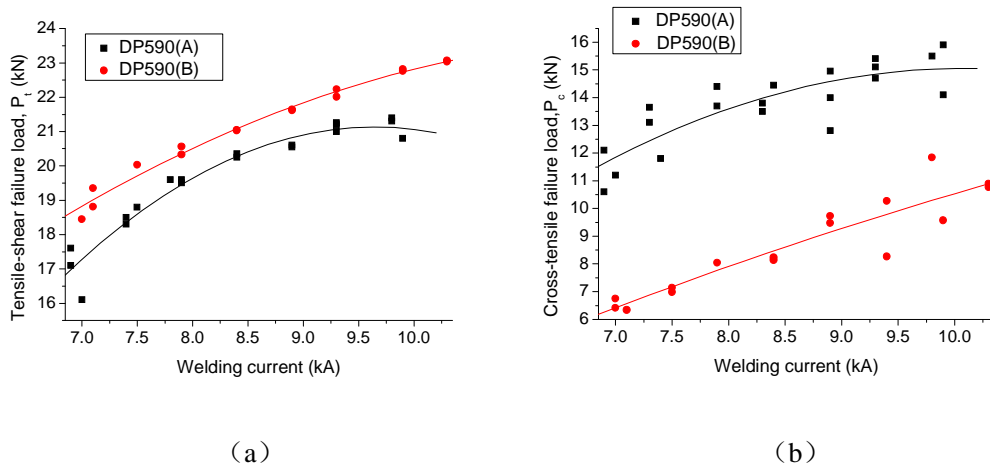


图 1 DP590 (A) 与 DP590 (B) 焊点强度的比较

(a) 拉剪强度

(b) 正拉强度

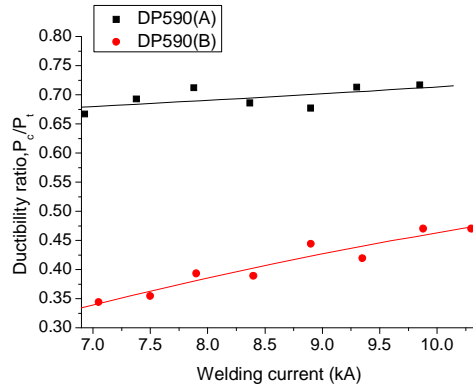


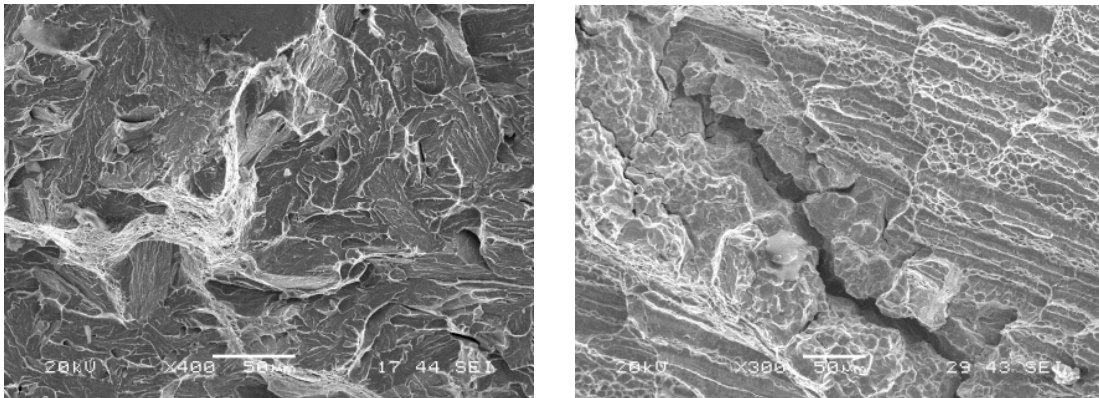
图 2 DP590 (A) 与 DP590 (B) 焊点延性比比较

图 1 和图 2 表明：同等强度下，母材的化学成分对点焊接头的拉剪强度几乎无影响，但严重影响接头的正拉强度，从而严重影响接头的延性比，DP590 (B) 点焊接头的延性比仅为 0.34~0.47，大约只有 DP590 (A) 的一半，因此其韧性非常差。

## 2.2 点焊接头正拉断口比较及分析

接头强度试验结果表明：正拉强度是决定其延性比的关键因素，为了进一步探索接头延性差别的机理，对上述两种双相钢正拉断口在扫描电镜下的形貌进行了比较分析，希望从断裂形式上进一步研究不同母材成分双相钢点焊接头的断裂机理。

图 3(a)和(b)分别是电极压力为 400kgf, 焊接时间为 20cyc, 焊接电流为 8.5kA 下, DP590(A) 和 DP590(B) 钢板点焊接头正拉断口形貌, 图 3 (a) 为准解理断裂, 局部有撕裂棱, 塑性变形痕迹大, 二次裂纹少, 说明 DP590(A) 点焊接头的韧性较好; 而图 3 (b) 是带有河流状花样的解理断裂断口, 并有大量的二次裂纹, 说明 DP590 (B) 点焊接头的韧性低, 脆性大。



(a)

(b)

图 3 点焊接头正拉试验断口

### 2.3 组织形态及内部亚结构对接头性能的影响

图 4 和图 5 分别是电极压力为 400kgf，焊接时间为 20cyc，焊接电流为 8.5kA 下，DP590(A) 和 DP590(B) 点焊熔核中心的马氏体 TEM 明场形貌像及选区电子衍射图谱。

图 4 表明：DP590(A) 点焊熔核中心为典型的马氏体板条，其晶体结构为体心立方，晶带轴  $B = [011]$ ，亚结构为位错型马氏体；而从图 5 发现：DP590(B) 点焊熔核中心是板条状或片状马氏体，但其亚结构存在少量孪晶马氏体，图 5(b) 为典型的孪晶马氏体电子衍射花样，其取向关系为： $[\bar{1}\bar{1}3]_M // [\bar{1}\bar{1}3]_t$ 。

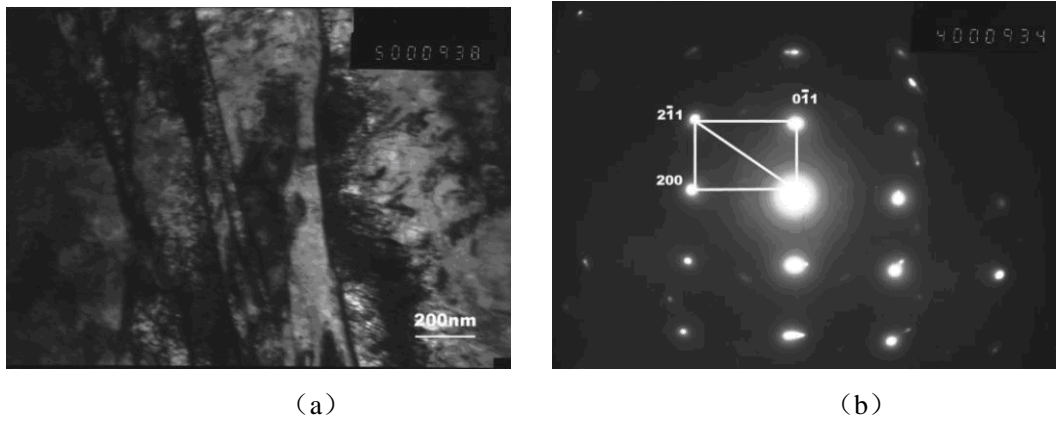


图 4 DP590(A) 熔核中马氏体的 TEM 形貌像及选区电子衍射图谱  
(a) 明场像 (b) 衍射花样

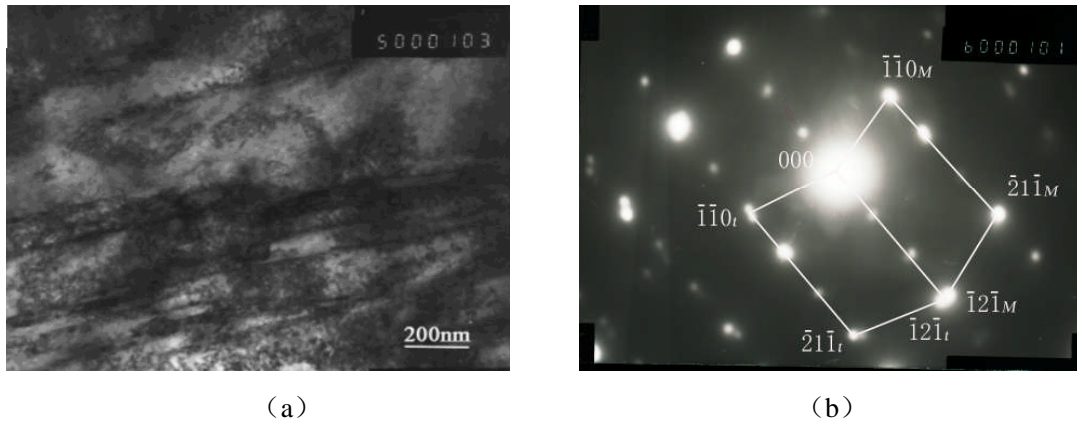


图 5 DP590(B) 熔核中马氏体的 TEM 形貌像及选区电子衍射图谱  
(a) 明场像 (b) 衍射花样

通常说，马氏体的组织形态与钢的化学成分有关，含碳量较低的钢通常得到板条状马氏体，板条状马氏体的亚结构通常是由位错缠结而构成的胞状亚结构，位错密度达  $10^{11} \sim 10^{12} \text{cm}^{-2}$ ，且

位错呈平直线状。而在含碳量较高（通常含碳量大于 0.2%）的钢中，随着马氏体中碳固溶量的增加，会出现亚结构为孪晶的片状或条状马氏体，形成孪晶一位错混合型马氏体。在本研究中，对于 DP590(B) 双相钢，其碳含量为 0.12%，比 DP590(A) 的高，虽然其含碳量并未超过 0.2%，但在点焊快速冷却的非平衡条件下，出现了上述的孪晶一位错混合型马氏体。

点焊焊接后，熔核及热影响粗晶区得到了非平衡淬火组织，淬火马氏体力学性能的最主要特点是具有高强度和高硬度。马氏体的强度和硬度主要取决于马氏体的含碳量，随着马氏体中含碳量的增加，其强度和硬度也增大<sup>[137]</sup>。马氏体的塑性和韧性与含碳量有关，高碳片状马氏体中的晶格畸变大，且片状马氏体中存在较多的显微裂纹，故其塑性和韧性都很差；低碳板条状马氏体中的位错密度较高，显微裂纹较少，其塑性和韧性较好。

同时，马氏体的亚结构也是影响其塑性和韧性的一个有效因素，位错马氏体的塑性和韧性在等强度时优于孪晶马氏体<sup>[5]</sup>。

综上所述，DP590(B) 点焊接头延性降低的主要机理是由于其碳含量较高，点焊熔核及熔合区在急速冷却的不平衡条件下，形成了板条状或片状的孪晶马氏体亚结构，降低了接头的延性。

### 3 结论

通过对 DP590(A) 和 DP590(B) 两种强度相近、母材化学成分不同的双相钢电阻点焊接头的强度、断口及微观分析，得出如下结论：

- (1) DP590 双相钢点焊接头的拉剪强度主要取决于母材的强度，而接头的正拉强度及韧性受母材的化学成分，尤其是碳含量影响很大；
- (2) 对两种母材化学成分不同的 DP590 双相钢点焊接头正拉断口扫描分析结果表明：碳含量高的 DP590(B) 的接头韧性明显较差；
- (3) DP590(B) 点焊接头延性降低的主要机理是由于其碳含量较高，点焊熔核及熔合区在急速冷却的不平衡条件下，形成了板条状或片状的孪晶马氏体亚结构，降低了接头的延性。

### 参考文献

- [1] 陆匠心，王利. 高强度汽车钢板的生产与使用[J]. 世界汽车，2003，(7) :45-49
- [2] 康明，褚东宁，敖炳秋. 北美汽车材料的研究及应用动态[J]. 汽车工程，2003，25(4) :315-321
- [3] D.T.Llewellyn, D.J.Hillis. Dual phase steels[J]. Ironmaking and Steelmaking, 1996, 23(6):471-478
- [4] Jiang Z.G. Effects of microstructural variables on the deformation behaviour of dual-phase

steel[J]. Materials Science and Engineering, 1995,A190(1):55-64

[5] 俞德钢. 钢的强韧化理论与设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1990