表面镀铝对 22MnB5 钢薄板焊接性的影响

王春雨，李磊，韩飞，赵洪运
（哈尔滨工业大学（威海）材料科学与工程学院，威海 264209）

[摘 要] 在22MnB5 钢板表面浸镀铝，采用钨极氩弧焊的方法焊接浸铝钢板和裸钢板，通过观察焊缝区的金相形貌和测定拉伸断裂强度，研究了焊接热输入和表面镀铝对焊缝组织和拉伸性能的影响。结果表明：焊缝热影响区中的不完全淬火区组织由马氏体、铁素体等组成，是接头中的软化区，力学性能最低，断裂在此发生；热输入较低会引起未熔合等成形缺陷，过大则会使焊缝组织变得粗大，适宜的热输入在 3800 J/cm 左右；浸铝层的存在对焊接参数（即热输入）的选择有影响，但不影响焊接力学性能。

[关键词] 热浸铝；22MnB5 钢；钨极氩弧焊；热输入
[中图分类号]TG113.26+3；TG174.443 [文献标识码]A [文章编号]1001-3660(2012)06-0037-03

Effects of Surface Hot-dipping Al on Welding of 22MnB5 Sheet

WANG Chun-yu, *LI Lei*, *HAN Fei*, *ZHAO Hong-yun*
(School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China)

[**Abstract**] Hot dip Al 22MnB5 sheet and bare sample were welded by GTAW. Microstructure of weld metal and tensile strength were observed and tested, the effects of heat input and surface hot-dipping Al on the heat affected zone and tensile strength were investigated. The result shows that the incomplete quenching zone is composed of ferrite and martensite. The incomplete quenching zone is soft zone and the lowest tensile strength is shown in this zone. Low heat input may cause lack of fusion, or other molding defects; But high heat input would become coarser grain sizes. The optimized heat input of hot dipping aluminized 22MnB5 is at 3800 J/cm. The preparation of welding has been affected with dipping Al coating and tensile strength of joints have not affected.

[**Key words**] hot dipping Al; 22MnB5; GTAW; heat input

应用高强钢和超高强钢是减轻汽车质量，进而减少油耗的重要途径。在使用较薄的超高强钢代替普通钢时，可以通过减小板厚或截面尺寸等方式，实现汽车轻量化和安全性能的提升[1—3]。然而与普通钢板相比，超高强度钢板的屈服强度和抗拉强度较高，成形性较差，冲压时会产生裂纹、起皱、回弹等；此外，高强钢和超高强钢成形时，需要更大的成形力，坯料与模具之间的压力增大，容易发生卡模具现象。所以，冷加工工艺不太适合加工此类钢。热冲压是一种专门成形高强钢、超高强钢的工艺，其原理是：把钢板加热到奥氏体化温度以上，使之完全奥氏体化，再送入具有冷却系统的冲压模具内成形，之后冷却的同时，使工件淬火，工件的微观组织由奥氏体转化为马氏体，从而获得超高强度。在热冲压过程中，工件加热到 800～900 ℃，难以避免被氧化，产生的氧化皮需后续喷丸工艺去除，既浪费材料，又增加了工序。在超高强钢表面制备一层铝涂层，可以避免或减少加工过程中钢的氧化，而且在工件存放时，也有一定的保护作用[4—6]。

超高强冲压零件在使用过程中，需通过焊接工艺实现连接。淬火状态的零件经焊接热循环后，组织与性能会发生变化，而铝层的存在也会影响钢的焊接工艺性[7—9]。文中通过钨极氩弧焊的方法焊接 22MnB5 超高强钢，研究焊后的组织和力学性能，探索焊接对涂层的破坏及铝层对焊接组织的影响。

1 试验

试验基材为 30 mm×80 mm×1.5 mm 的 22MnB5 钢板。文中采用水溶液助镀法进行热浸镀铝，具体流程为：打磨→除油（丙酮超声清洗）→除锈→助镀→热

[收稿日期]2012-07-30；[修回日期]2012-09-29
[基金项目]山东省自然科学基金（ZR 2011 EMM013）
[作者简介]王春雨（1975—），男，辽宁丹东人，博士，讲师，主要研究方向为表面工程。

浸镀(720 ℃浸镀 80 s)→后处理。浸镀完成后,镀层表面粘附了较多的熔盐熔渣,可使用 30 ~ 60 mL/L 硝酸+20 ~ 40 mL/L 硫酸+30 ~ 50 mL/L 氢氟酸组成的混合酸浸泡去除。

氩弧气氛还原性比较低,切割面上的氧化物会将氧带入焊缝金属中,所以焊前要用砂纸打磨去除。焊机为北京时代科技交直流方波 WES-315 钨极氩弧焊机。将覆有浸铝涂层的两块钢板放到带有成形槽的铜垫板上,调整位置,使焊枪对准两板接合处。成形槽可以防止焊缝的熔化金属与铜垫板粘连。焊接电源类型选择交流,在交流的负半波里,阴极的雾化作用可以去除铝层表面的氧化铝。焊接参数的确定原则是:在保证焊机正常引弧的前提下,调整电弧电压、焊接电流、焊接速度。选择的焊接参数见表 1。

表 1　镀铝钢焊接参数

Tab. 1 The welding parameter of hot dipping Al coating on steel

序号	电压/V	电流/A	焊速/(m · h^{-1})
1	18.2	105	17.5
2	18.7	110	17.5
3	15.7	100	12.0
4	16.0	100	12.0
5	15.9	76	9.0
6	17.2	100	12.7
7	15.9	94	11.0
8	15.9	96	11.0
9	15.0	85	9.0
10	15.7	100	11.0

焊后,通过线切割截取 20 mm×5 mm 的焊缝区域,制作金相试样,腐蚀剂使用 4%(体积分数)的硝酸酒精。用金相显微镜观察组织,并测试显微硬度。根据 ISO 4136:2001(E)《金属焊缝破坏性试验方法》制备焊缝拉伸试样(如图 1 所示),在万能试验机上测定拉伸性能,拉伸速率为 0.5 mm/s。

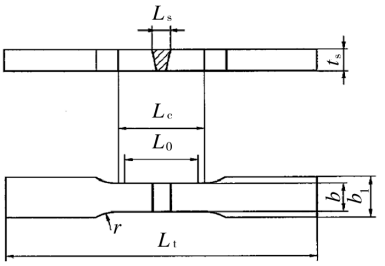


图 1　焊缝拉伸试验示意

Fig. 1 Schematic diagram of tensile testing of welding joints

2　结果与分析

2.1　热输入对焊接的影响

在焊接结构和焊接材料一定的情况下,调整焊接参数是控制焊缝组织和提高性能的唯一可行方法。调整焊接参数可以控制焊接热输入,进而控制熔池的尺寸和温度梯度,获得晶粒细小的结晶组织,防止熔合处母材晶粒过分粗化,提高焊缝的强度和韧性。对于易淬火钢,热输入对控制焊接缺陷的出现比较关键。过大的热输入会引起热影响区奥氏体晶粒粗化,形成有害的粗大马氏体;过小的热输入会引起热影响区淬硬,增大延迟裂纹倾向。焊接后进行拉伸试验,浸铝钢板与无镀层钢板焊缝的力学性能如图 2 所示。可见,随着热输入的增加,拉伸强度逐渐增大,热输入达到一定值后,再增加则会导致拉伸强度减小。镀铝钢板焊接力学性能最高(830 MPa)的热输入为 5 号参数,热输入为 3800 J/cm 左右,未镀铝钢板焊接力学性能最高(500 MPa)的热输入为 3500 J/cm 左右。

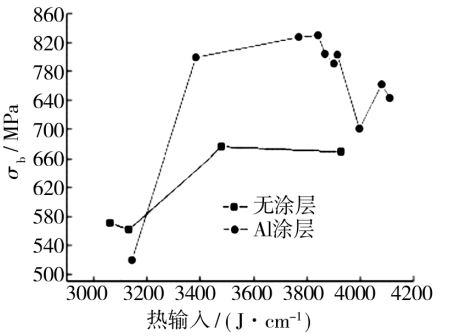
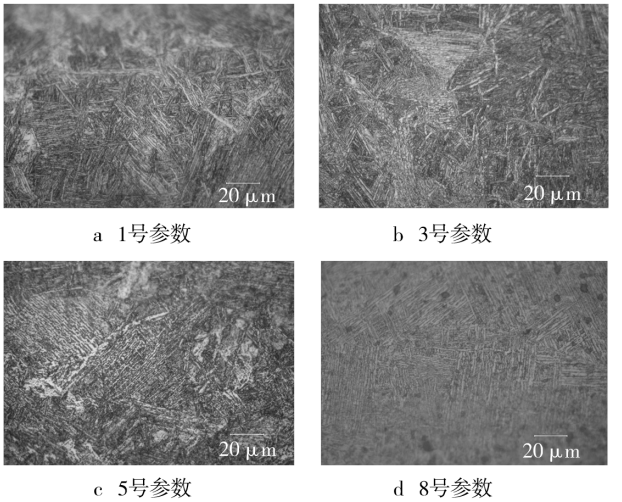


图 2　热输入与材料拉伸强度的关系

Fig. 2 Relationship between heat input and tensile strengthen

2.2　热输入对金相组织的影响

图 3 为表 1 中四组焊接参数所得焊缝的金相组织。可见随着焊接热输入逐渐增加,焊缝组织越来越粗大。原因是:当热输入较高时,金属中的合金元素溶于奥氏体中,失去了阻碍晶粒长大的作用,并且奥氏体化的温度相对较高,使得奥氏体有更多的时间长大,而



a　1号参数　　b　3号参数

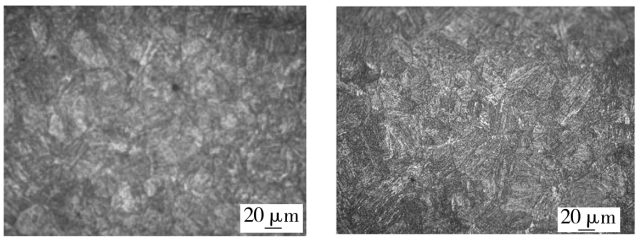
c　5号参数　　d　8号参数

图 3　焊缝金相组织

Fig. 3 Metallographic structure of welding joints

获得的较大奥氏体晶粒在冷却过程中淬火,转变为较粗大的板条马氏体。由于晶界强化的作用减小,粗大的马氏体力学性能不如细小的板条马氏体。此外,淬火过程的相变应力较大,存在产生冷裂纹的危险[10]。

淬火态 22MnB5 钢的焊接热影响区分为完全淬火区、不完全淬火区、回火区。图 4 为焊接热影响区中的完全淬火区。完全淬火区中,紧邻熔合区的部分在焊接过程中处于过热状态,难熔的碳化物等第二相熔融,奥氏体晶粒发生严重长大,易于形成粗大的马氏体。粗大马氏体具有较高的硬度、较低的塑性和韧性,使此处成为接头的脆弱部位。观察图 4 可认为,无涂层钢板和浸铝钢板的完全淬火区无明显组织差别。

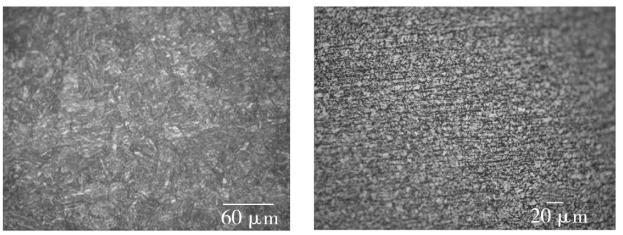


a 无涂层　　b 有铝涂层

图 4　完全淬火区的金相组织

Fig. 4 Metallographic structure of complete quenching zone

图 5 为不完全淬火区。与无镀层钢板(图 5a)相比,浸铝钢板(图 5b)的晶粒细小一些。热影响区的金属峰值温度处于 $Ac1 \sim Ac3$ 之间时,不能实现完全奥氏体化。冷却获得的组织除了马氏体外,还有铁素体等。马氏体由含碳量较高的奥氏体转化而来,因而它属于高碳马氏体,硬度比较高,脆性大;铁素体等使整体区域发生软化,硬度下降,强度降低,造成接头强度的降低。

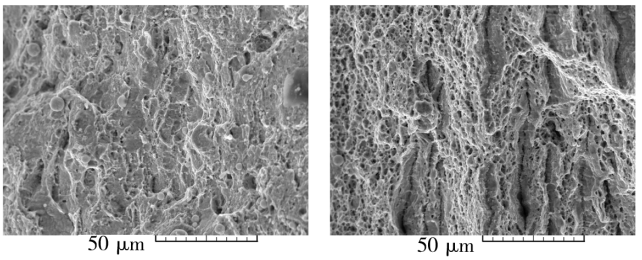


a 无涂层　　b 有铝涂层

图 5　不完全淬火区的金相组织

Fig. 5 Metallographic structure of incomplete quenching zone

试验证明,断裂发生在接头热影响区的软化区。图 6b 为镀铝钢板经 8 号参数焊接并拉伸后的断口形貌,与无涂层钢板的断口(图 6a)相比,其断面存在密集、细小的韧窝,表明断裂为塑性变形量较少的韧性断裂。



a 无涂层　　b 有铝涂层

图 6　焊接试件拉伸断口形貌

Fig. 6 Microstructure of tension fracture of welding

3　结论

1) 热浸镀铝 22MnB5 钢焊缝处的组织主要为板条马氏体。熔合区附近热影响区的马氏体组织粗大。热影响区中的完全淬火区组织为马氏体;不完全淬火区组织由马氏体、铁素体等组成,是接头中的软化区,力学性能最低。

2) 较低的热输入会引起未熔合等成形缺陷,而热输入过大时,焊缝组织会变得粗大,故热输入有一个恰当值。浸铝钢较适宜的焊接热输入在 3800 J/cm 左右,此时接头的抗拉强度较高。

3) 22MnB5 钢浸铝层的存在对其焊接参数(即热输入)的选择有影响,但不影响焊接力学性能,焊缝最高抗拉强度为 830 MPa。

[参 考 文 献]

[1] 谷诤巍,姜超,单忠德,等. 超高强度冲压件热成形工艺[J]. 汽车工艺与材料,2009(4):15—17.

[2] 王光雍,李晓刚,董超芳. 材料腐蚀与装备环境工程[J]. 装备环境工程,2005,2(1):1—6.

[3] CHOI Hong Seok, KIM Byung Min, PARK Geun Hwan, et al. Optimization of Resistance Spot Weld Condition for Single Lap Joint of Hot Stamped 22MnB5 by Taking Heating Temperature and Heating Time into Consideration[J]. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, 2010, 34(10):1367—1375.

[4] DA SILVA A A M, ALDANONDO E, ALVAREZ P, et al. Friction Stir Spot Welding of AA 1050 Al Alloy and Hot Stamped Boron Steel (22MnB5)[J] Science and Technology of Welding and Joining, 2010, 15(8):682—687.

[5] KIM C, KANG M J, PARK Y D. Laser Welding of Al-Si Coated Hot Stamping Steel[J]. Procedia Engineering, 2011, 10:2226—2231.

(下转第 43 页)

钠分子中 H—P 键变弱,使氢在被催化表面更容易移动和吸附,即增加了次磷酸根的活性[9];而当硫酸铵浓度过高时,由于析氢严重,不仅使镀层中产生了大量气孔,也降低了沉积速率。在本试验条件下,加速剂硫酸铵的质量浓度取 10.0 g/L 为宜。

2.4　最佳工艺方案的验证

上述分析确定的最佳工艺方案为:硫酸镍 25 g/L,$n(Ni^{2+})/n(H_2PO_2^-)=0.4$,乳酸 7.5 mL/L,冰乙酸 13.0 mL/L,硫酸铵 10 g/L,稳定剂 1 mg/L,乙酸钠 20 g/L,pH=5.3,温度(70±1) ℃,时间 1.5 h,装载比 0.5 ~1 dm^2/L。

为验证该镀液配方的镀覆效果,按该配方配制镀液,得到了光亮、平整的 Ni-P 合金化学镀层。由其微观形貌(图 7)可以看出,镀层颗粒细小、均匀、致密,孔隙率低于 1 个/cm^2。测得镀速为 10.4 μm/h,可见沉积速率较高,而且镀层与基体的结合良好,显微硬度可达 515HV,若将镀层在 400 ℃ 热处理 1 h,硬度可达 916.9HV,接近电镀硬铬(1000 ~1100 MPa)[11]。

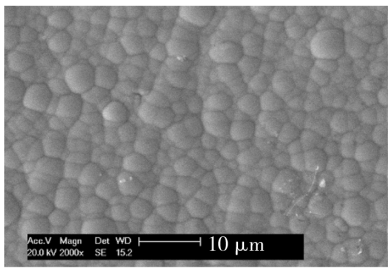


图 7　黄铜表面中温化学镀 Ni-P 合金镀层 SEM 形貌
Fig. 7 SEM morphology of electroless Ni-P plating onto brass surface at medium temperature

3　结论

1) 主盐硫酸镍与还原剂次磷酸钠的配比对镀层沉积速率和显微硬度均有较大的影响。在本试验条件下,以 $n(Ni^{2+})/n(H_2PO_2^-)=0.4$ 为宜。

2) 采用乳酸和冰乙酸作为复合络合剂时,乳酸的作用以络合为主,起络合剂的作用;冰乙酸的作用以稳定镀液 pH 值为主,起缓冲剂的作用。

3) 加入加速剂硫酸铵,可促使次磷酸钠分子中 H—P 键变弱,从而增加次磷酸根的活性,使 Ni-P 合金镀层沉积速率增大。

4) 在中温(70±1) ℃ 条件下,当硫酸镍质量浓度为 25 g/L,$n(Ni^{2+})/n(H_2PO_2^-)=0.40$,复合络合剂中乳酸和冰乙酸的用量分别为 7.5 mL/L 和 13.0 mL/L,镀液 pH 值为 5.3,加速剂硫酸铵质量浓度为 10 g/L 时,可以在黄铜表面获得光亮、致密,且与基材结合良好的 Ni-P 合金镀层。

[参 考 文 献]

[1] 郑仕远,卿立述,胡春平. 黄铜制品钝化处理新工艺[J]. 电镀与涂饰,2000(2):24—26.
[2] 尚红霞,胡社军,吴启白. 黄铜表面防锈蚀新工艺[J]. 新技术新工艺,2000(7):39—40.
[3] AL-KHARAFI F M, BADAWY W A. Electrochemical Impedance Spectroscopic Investigations of the Corrosion Behavior of Brass Alloys in Aqueous Solutions[J]. Materials Science Forum, 1998, 289/290/291/292: 471—482.
[4] 王振尧,汪川,张春基. 白铜和黄铜在 SO_2 气氛中的腐蚀对比[J]. 装备环境工程,2006,3(5):16—20.
[5] BASKARAN I, SANKARA NARAYANAN T S N. Effect at Accelerators and Stabilizers on the Formation and Characteristics of Electroless Ni-P Deposits[J]. Materials Chemistry and Physics, 2006, 99: 117.
[6] 王芳,俞宏英,孙冬柏. 高耐磨化学复合镀层的研究[J]. 装备环境工程,2007,4(3):88—90.
[7] 黄鑫,贺子凯,蔡晓兰. 中温酸性光亮化学镀镍[J]. 表面技术,2003,32(5):46—48.
[8] 胡信国. 化学镀镍新技术及其在工业中的应用[J]. 电镀与精饰,1998,20(2):30—32.
[9] 李宁. 化学镀实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
[10] 方景礼. 电镀配合物理论与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
[11] 朱厚菲,黄文全,杨超. 钨铜合金表面化学镀 Ni-P 镀层性能研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2009,21(3):347—349.

(上接第 39 页)

[6] KOVTUNOV A I, SIDORO V P, CHERMASHENTSEVA T V, et al. Special Features of Refining Processes in Welding Aluminized Steel with an Oxidizing Gas[J]. Welding International, 2011, 25(6): 450—453.
[7] 周灿旭,刘越洲,糜亮,等. 碳钢热浸渗铝性能研究[J]. 表面技术,2009,38(4):18—19,56.
[8] 刘洪福,牛宗伟,赵东山. 热浸镀铝技术研究进展与展望[J]. 全面腐蚀控制,2011,25(11):11—14.
[9] 张伟,郭勤军,文九巴. 稀土在热浸镀铝中的行为和分布研究[J]. 稀土,2009,30(5):50—55.
[10] CHENG Wei-jen, WANG Chaur-jeng. Microstructural Evolution of Intermetallic Layer in Hot-dipped Aluminide Mild Steel with Silicon Addition[J]. Surface & Coatings Technology, 2011, 205(19): 4726—4731.