

镀锌钢压印接头热处理后拉剪强度及组织形态

王医锋 何晓聪 曾凯 刘福龙

(昆明理工大学机电学院,昆明 650500)

文 摘 通过搭建局部热处理试验装置,对镀锌钢压印接头部位进行火焰淬火处理。然后对试件进行力学性能测试,制备金相试样观察分析经过局部热处理后接头显微组织,并对比热处理前后组织的显微硬度。结果表明:火焰淬火使接头失效时颈部撕裂程度变大;拉剪强度提高 16.7%;经过火焰淬火处理接头部位材料组织呈现为板条状马氏体,该组织较未经过热处理的组织显微硬度提升了 12.1%。

关键词 压印接头,热处理,拉剪强度,显微组织分析

中图分类号: TG162.8

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.05.013

Tensile-Shear Strength and Microstructure After Galvanize Steel Clinched Joints Heat Treatment

WANG Yifeng HE Xiacong ZENG Kai LIU Fulong

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500)

Abstract In this paper, a thermal treatment apparatus was established to take local heat treatment on zinc-coated clinched joints. Then mechanical test was conducted on the specimens under tensile-shear condition, and the metallographic specimens were prepared to observe the metallographic structure of the clinched specimens with heat treatment. The micro-hardness of metallographic specimens with heat treatment and non-heat treatment were also measured. The results exhibited that compared with the clinched specimens with non-heat treatment, local heat treatment largened the degree of joint neck tear and the static strength increased by 16.7%. The material structure of the clinched joints has changed from ferrite and pearlite to lath martensite after thermal treatment. In comparison to unheated treatment, the micro-hardness of the new microstructure is increased by 12.1%.

Key words Clinched joints, Heat treatment, Tensile-shear strength, Metallographic analysis

0 引言

目前,汽车行业面临着来自能源紧缺和环境污染等多方面的挑战,通过减轻车身质量可以大大减少汽车的排放量^[1]。因此,大量使用铝合金、镁合金等轻质材料代替钢板制造车身以使车身轻量化已成为必然趋势。压印连接是近年来发展迅速的一种薄板连接新技术,可实现一些难于焊接甚至不能焊接的新型薄板材料的连接。

针对压印连接技术,国内外学者对其进行了大量研究^[1-4]。Jacek Mucha、杨小宁和冯模盛等^[5-7]采用试验及有限元模拟的方法研究了两层板压印连接成

型过程与机理;杨慧艳等^[8]采用相同的方法对三层板不同组合顺序的成型性进行了研究。陈兴茂^[9]对压印连接工艺进行了系统研究;杨小宁^[6]在研究压印连接成型机理的前提下重点分析了影响压印接头强度的主要因素。周云郊等^[10]对压印连接钢铝异种材料的可行性进行了实验研究和仿真分析,并对钢铝异种材料的压印模具几何参数进行多目标优化。M. Carboni 和 Ho-Kyung Kim 等^[11-12]对压印接头的拉-拉疲劳性能进行了试验研究。通过前人的研究发现,压印接头的动态疲劳性能要优于点焊,但是单点压印接头的拉伸强度只有点焊的 70%。对于点焊接头强

收稿日期:2015-01-15

基金项目:国家自然科学基金(50965009);昆明理工大学分析测试基金(20140974)

作者简介:王医锋,1989 年出生,硕士研究生,主要研究方向为薄板材料连接新技术。E-mail:WF201309@163.com

通讯作者:何晓聪,1955 年出生,教授,博导,主要从事薄板材料连接新技术研究

度提高的研究已取得较多成果:陈芙蓉等^[13]对30CrMnSiNi2A钢电子束焊接接头进行局部热处理,研究了局部热处理对接头组织与断裂性能的影响;胡美娟等^[14]研究了局部热处理对TC4钛合金焊接接头组织、硬度和拉伸性能的影响;付鹏飞等^[15]对GH4133合金钢焊接接头进行局部热处理,研究了局部热处理对焊接接头疲劳性能的影响;付鹏飞等^[16]还研究了电子束局部热处理对TC4钛合金焊接接头疲劳性能的影响。对于压印接头强度提高的研究相对较少。本文针对镀锌钢板压印试件进行火焰淬火处理,对经过火焰淬火的试件进行金相分析,并测试经过热处理与未经热处理接头组织的显微硬度;之后对两组试件进行拉伸-剪切试验,以研究火焰淬火对压印接头拉剪强度的影响;最后结合接头失效模式及金相分析结果从微观角度解释火焰淬火处理引起接头强度变化的原因。

1 试验

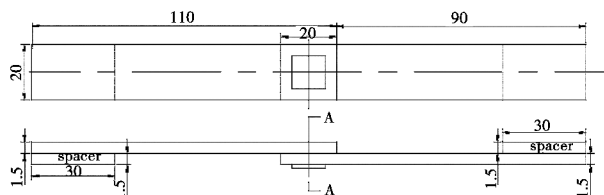
1.1 试件制备

1.5 mm厚镀锌钢板,其化学成分见表1。采用RIVCLINCH 1106 P50压印设备连接试件,压力为0.6 MPa,共连接30个试件;根据材料屈服强度,选用矩形模具进行连接。为减小拉伸过程中接头处的弯矩,在试件夹持端加上与基板等厚且等宽的垫片,垫片长度为30 mm。试件尺寸及接头截面见图1。

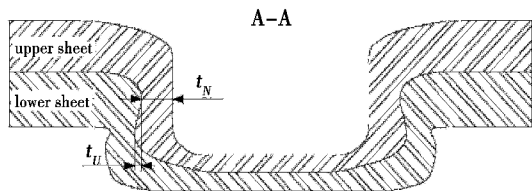
表1 镀锌钢化学成分

Tab.1 Chemical composition of galvanize steel wt%

C	Si	Mn	P	S	Others
≤0.18	≤0.5	≤2.0	≤0.025	≤0.015	≥0.015



(a)



(b)

图1 压印试件及截面示意图

Fig.1 Clinch specimen and section

1.2 试件火焰淬火处理

宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015年 第5期

将30个试件均分为两组,一组不作火焰淬火处理,另一组进行火焰淬火处理,分别命名为SA和SB。采用氧乙炔焰对试件接头部位进行加热,将乙炔与氧气按1.2:1.1的比例调配。采用手持式GM1350高精度红外测温仪实时测量温度,当温度达到1000℃时迅速将试件放入冷水中冷却淬火(图2)。

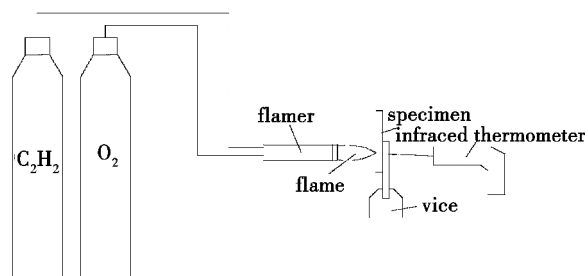


图2 加热装置

Fig.2 Heating equipment

1.3 拉伸-剪切试验

拉伸-剪切试验在MTS Landmark 100型电液伺服试验机上进行,拉伸速率设为5 mm/min,两组分别测试12个试件。

1.4 金相实验

制备金相试样观察接头微观组织:沿图1(a)中所示A-A方向剖开试件并截取30 mm长,然后采用义齿基托树脂与义齿基托树脂液剂进行冷镶嵌;镶嵌完成后用砂轮机及不同粒度的金相砂纸进行磨光;磨光完成后采用绒布与研磨膏在抛光机上对磨面进行抛光,直到抛光面达到镜面效果。抛光完成后采用体积比为4%的硝酸酒精溶液对经过热处理试样的抛光面腐蚀1 min,之后采用冷风将其吹干,最后置于金相显微镜下观察。采用自动转塔显微硬度仪(型号HV-1000ZDT,中国科学院上海精密研究所)分别测试火焰淬火处理前后金相试样的显微组织硬度。

2 结果分析

2.1 接头失效模式

压印连接是利用一对配套的上模与下模,在专用的压力设备上,上模在外力的作用下向下运动,迫使连接材料在下模模腔内发生变形,填充下模的环形凹槽,最终形成机械互锁结构,从而达到连接的目的,连接接头截面如图1(b)所示。在拉伸-剪切载荷作用下,压印接头强度主要取决于接头颈部抗剪切强度和内锁强度,这两个值是由接头颈部厚度值 t_N 以及内锁值 t_U 决定。当 t_N 值较大时,接头发生内锁拉脱失效;反之,接头发生颈部断裂失效;还有一种情况就是两个值产生的强度相当时发生复合失效,即内锁结构被拉脱时颈部也被撕裂,如图3所示。本次试验接头的

失效模式为复合失效,如图4所示。

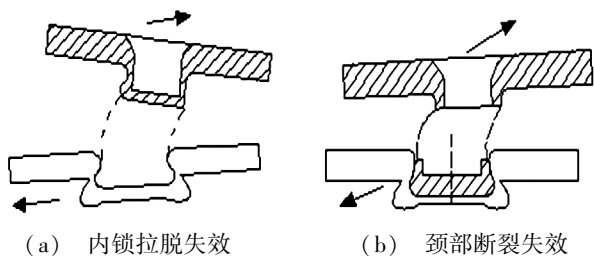
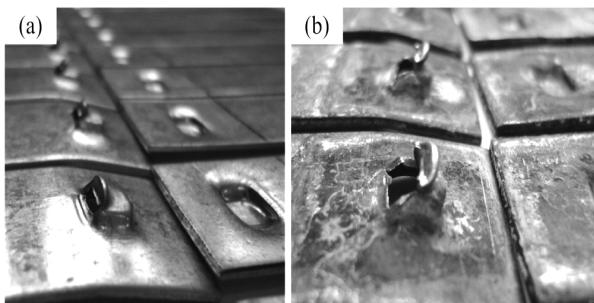


图3 接头理论失效模式

Fig.3 Joint theory failure modes



(a) 热处理前 (b) 热处理后

图4 接头失效模式

Fig.4 Joint failure modes

压印接头在火焰淬火处理前颈部被撕裂的程度[图4(a)]比热处理后颈部被撕裂的程度[图4(b)]小,这是因为热处理前材料塑性好硬度低,接头内锁值为 t_v 时产生的摩擦阻力大于颈部厚度为 t_n 时的颈部断裂力;接头经过热处理后,基板的强度与硬度均得到提升,在 t_n 与 t_v 均未发生变化的条件下,接头的摩擦阻力与颈部断裂力均得到提升,接头总体强度得到提升,但是内锁摩擦阻力提升的幅度大于颈部断裂力,也就是说内锁摩擦阻力与接头颈部断裂力相差变

得更大,最终导致颈部被撕裂的程度变大。

2.2 拉剪强度分析

由拉伸-剪切试验可得接头拉剪强度值(图5)。

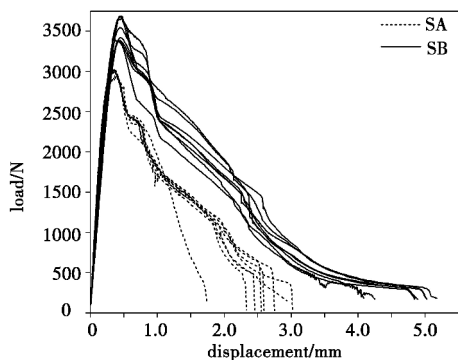


图5 载荷-位移曲线

Fig.5 Load-displacement curves

拉剪强度的变异系数为:SA组0.009,SB组0.040。SA组拉剪强度均值为3014.6 N,SB组拉剪强度均值为3518.7 N。经过局部热处理,压印接头的拉剪强度提升16.7%。这是因为局部热处理改变了接头的组织,有利于接头强度的提高。

2.3 显微组织分析

根据接头拉伸-剪切失效模式分析可知,提高基板强度与硬度有利于接头拉剪强度的提高。为获得马氏体组织,采用氧乙炔焰将镀锌钢压印接头加热至 M_s 点后用冷水冷却淬火。文献[17]指出马氏体有两种典型形态,板条状马氏体和片状马氏体。片状马氏体,也叫针状马氏体,但在显微镜下观察到的却是针状,这是因为在通常条件下,试样的磨面和马氏体片相截,所以看到的是针状。本次试验得到的马氏体组织如图6所示。

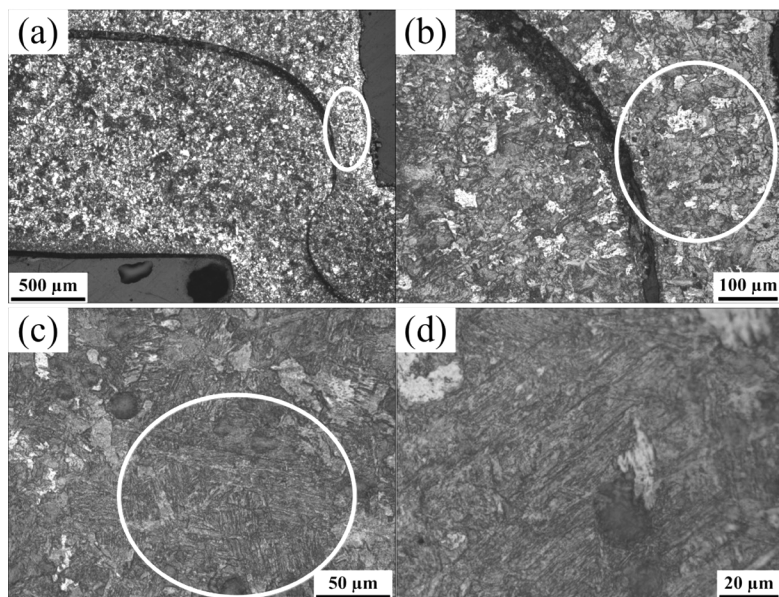


图6 接头显微组织

Fig.6 Microstructure of joint

其中图 6(a)为试件放大 50 倍,图 6(b)、(c)及 (d)为图 6(a)所圈区域放大 200、500 及 1 000 倍。可以看出,本次试验获得微观组织为板条状马氏体。马氏体在形成过程中以及形成后的 3 种强化功能使马氏体组织具有较高的强度与硬度,这几种强化功能也都有利于接头强度的提升。马氏体的韧性主要取决于它的亚结构,板条状马氏体与具有相同强度的片状马氏体相比韧性要好得多,主要是因为片状马氏体中存在的孪晶结构大大减少了有效滑移,同时片状马氏体含碳量高,晶格畸变大,淬火应力大,以及存在大量的显微裂纹。而板条状马氏体含碳量低,可以发生“自回火”,碳化物分布均匀。同时,由于板条状马氏体的位错密度分布不均匀,存在低密度区,为位错提供了活动余地,缓和了局部应力集中,延缓裂纹形核和削减已存在的裂纹尖端的应力峰值,有利于韧性增加。另一方面,由于淬火应力小,不产生显微裂纹,裂纹也不容易通过板条状马氏体。因此,板条状马氏体不仅具有很高的强度和韧性,而且还具有小的缺口敏感性和小的过载敏感性,而这些特性都有利于压印接头强度的提升。

2.4 显微硬度分析

采用显微硬度仪测试压印接头处材料经过火焰淬火处理与未经过处理的显微硬度,分别测试 6 个点,最后求均值可得:未热处理时接头处材料显微硬度为 532.17HV,热处理过后接头处材料显微硬度为 596.63HV。由此可知局部热处理使压印接头处材料显微硬度提升了 12.1%。热处理后材料的硬度正是处于马氏体硬度参考范围内。马氏体的硬度主要取决于它的含碳量,随着含碳量的增加,马氏体的硬度增大,当含碳量的质量分数达到 0.6% 时,淬火钢的硬度接近最大值。淬火钢硬度与淬火工艺也有关系。

3 结论

通过搭建火焰淬火处理试验平台,采用氧乙炔火焰将镀锌钢压印接头局部加热至相变温度后进行淬火处理。对经过局部热处理与未经过局部热处理的试件进行拉伸-剪切试验,并对经过热处理的试件进行金相分析且对比分析热处理前后两组接头组织的显微硬度。试验结果表明:

(1)火焰淬火使接头失效时颈部撕裂程度变大。

(2)接头经火焰淬火后拉剪强度得到提高,较热处理前拉剪强度提高了 16.7%。

(3)火焰淬火处理后接头部位材料组织呈现为板条状马氏体,且该组织较未经过热处理的组织显微硬度提升了 12.1%。

参考文献

[1] He Xiacong. Recent development in finite element analysis of clinched joints [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 48(5/8): 607-612

宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 5 期

[2] He Xiacong. Coefficient of variation and its application to strength prediction of clinched joints [J]. Advanced Science Letters, 2011, 4(4/5): 1757-1760

[3] Mori K, Abe Y, Kato T. Mechanism of superiority of fatigue strength for aluminium alloy sheets joined by mechanical clinching and self-pierce riveting [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212(9): 1900-1905

[4] 龙江启,兰凤崇,陈吉清. 基于神经网络无铆钉自冲铆接接头力学性能预测 [J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(8): 1614-1630

[5] Jacek Mucha. The analysis of lock forming mechanism in the clinching joint [J]. Materials and Design, 2011, 32(10): 4943-4954

[6] 杨小宁,佟铮,杨明,等. 铝板件冲压连接技术的实验研究 [J]. 内蒙古工业大学学报, 2006, 25(2): 107-111

[7] 冯模盛,何晓聪,严柯科,等. 压印连接工艺过程的数值模拟及实验研究 [J]. 科学技术与工程, 2011, 11(23): 5538-5541

[8] 杨慧艳,何晓聪,周森,等. 多层金属板材压印连接成形研究 [J]. 热加工工艺, 2013, 24: 37-40

[9] 陈兴茂. 无铆钉铆接的工艺研究 [D]. 南昌:华东交通大学, 2008: 19-20

[10] 周云郊,兰凤崇,黄信宏,等. 钢铝板材压力连接模具几何参数多目标优化 [J]. 材料科学与工艺, 2011, 19(6): 86-99

[11] Carboni M, Beretta S, Monno M. Fatigue behavior of tensile-shear loaded clinched joints [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2006, 73: 178-190

[12] Ho-Kyung Kim. Fatigue strength evaluation of the clinched lap joints of a cold rolled mild steel sheet [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2012, 22(1): 294-299

[13] 陈芙蓉,霍立兴,张玉凤,等. 电子束局部热处理对 30CrMnSiNi2A 钢接头组织和断裂性能的影响 [J]. 焊接学报, 2001, 22(6): 53-56

[14] 胡美娟,刘金合,康文军,等. 电子束局部热处理对 TC4 钛合金焊接接头组织和性能的影响 [J]. 焊接学报, 2008, 29(2): 104-107

[15] 付鹏飞,毛智勇,李晋炜,等. 焊后电子束局部热处理对 GH4133 合金接头疲劳性能的影响 [J]. 焊接, 2005(12): 18-21

[16] 付鹏飞,刘方军,毛智勇,等. 电子束局部热处理对 TC4 合金接头疲劳性能影响 [J]. 材料热处理学报, 2007, 28(2): 60-63

[17] 谈育煦,蔡和平. 高碳钢隐针马氏体的电子显微组织研究 [J]. 热加工工艺, 1983(3): 54-58

(编辑 吴坚)