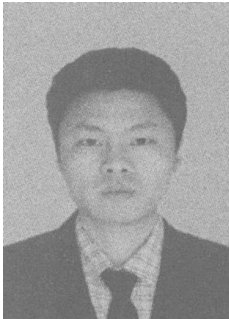


冲击式自穿孔铆接方法及其接头性能

汪 彬¹, 郝传勇¹, 张劲松¹, 张洪延²

(1. 中国科学院 金属研究所, 沈阳 110016;
2. 美国托来多大学 机械工程系, 美国 俄亥俄州 OH 43606)



汪 彬

摘 要: 采用一种新型的应用火药作为驱动力的铆接方法和试验设备。对影响该方法的主要因素如模具尺寸、铆钉硬度进行分析。用该设备铆接铝合金板形成的接头的拉剪强度、十字抗拉强度以及疲劳强度与点焊形成的接头进行比较。试验证明这种新型的自穿孔铆接接头比点焊接头有更好的力学性能。

关键词: 自穿孔铆接; 铝合金; 点焊; 汽车

中图分类号: TG406 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)05-043-04

0 序 言

随着现代汽车工业的发展,为降低汽车燃料的消耗和汽车尾气的排放,汽车厂商们一直在发展轻量化汽车,特别是采用铝合金材料代替钢材制作铝合金车身。由于铝合金本身具有电阻率小、导热性能好、且铝材表面易形成致密氧化膜的特点,如果用传统点焊方法点焊铝合金车身,则要求焊接工艺相对点焊钢板需用短时间、大电流和大的电极压力,而且需要铝合金板表面在点焊前必须碱洗获得均一的表面电阻^[1]。这些特点迫使现代汽车厂商广泛采用一种新型的自穿孔铆接方式(self-piercing riveting)代替传统的点焊方式制造铝合金车身,如奥迪 A8 车身就采用了 1 100 个自穿孔铆接接头^[2]。自穿孔铆接过程是一个冷成形的过程,用来连接两部分或多部份叠放的板材而使接头达到机械紧固式的自锁连接。自穿孔铆接前不需要在板材上钻孔,板材放置在铆钉和底座模具之间,铆接时铆钉腿部先在力的作用下刺穿上层板材,并部分穿透下层板材,最后板材被冲击变形充满底座模具的凹槽,而铆钉腿部由于模具的作用向外张开,将铆钉自锁在叠放的板材内形成自锁式的紧固连接。自穿孔铆接方法具有不需要钻孔、自动化程度高、可连接相同或不同材料的板材、低能耗和设备使用寿命长等优点^[3]。传统的自铆接方法的驱动力通常是通过双气缸或电机提供^[3],设备比较复杂且价格昂贵。作者采用一种新

型的自穿孔铆接试验设备和方法,对影响接头性能的因素进行分析,并对采用该方法形成的接头与点焊接头比较进行性能评价。

1 试验设备和方法

新型的自穿孔铆接试验设备如图 1 所示,内部结构简图如图 2 所示。该设备主要包括射钉枪、基座和模具。基座上有上下两个平台,上平台上的孔用于塞入射钉枪的套筒,下平台上的孔用来放置模具。射钉枪上有一平台,用于和分离的基座锁紧。

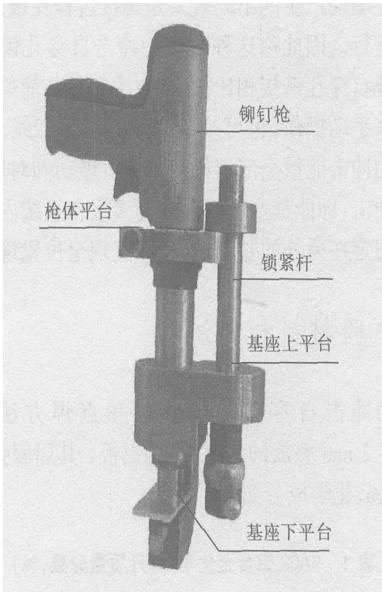


图 1 冲击自穿孔铆接设备

Fig. 1 New self-piercing riveting system

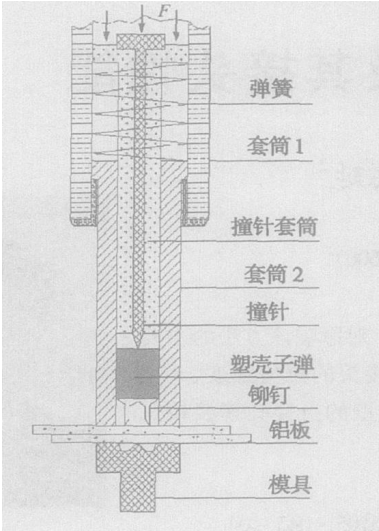


图 2 设备内部结构简图
Fig. 2 Inside structure

铆接时将圆柱形塑壳子弹和铆钉组合体放入枪管的套筒 2 内,然后将枪管塞入基座上平台的孔中,将叠放的铝板放置在枪口和基座下平台的模具之间。向下压枪体使套筒 2 缩入套筒 1,套筒 1 内的弹簧积蓄弹性势能提供扣动扳机的能量。套筒 2 收缩后枪管缩短,用基座上的锁紧杆将基座和缩短枪管的射钉枪锁死。最后扣动扳机,扳机释放的力触动撞针,枪管里面的撞针尖端撞击火药,触发后的火药提供强大的爆炸驱动力驱使铆钉进行铆接。

该方法和传统的自穿孔铆接方法主要区别在于采用火药产生的冲击力作为驱动力,和电机驱动或双气缸驱动产生的不同效果是铆接过程在很短的时间内进行。因此称这种方法为冲击自穿孔铆接法。和传统自穿孔铆接相比,这种方法和设备简单实用,可用来手动操作,也可改装用于汽车生产线。子弹产生的冲击能量全部消耗在对铆钉做功和对底座模具的冲击,即能量全部消耗在铆接设备系统内部,不需要固定在另外的基座上,可以实现全位置铆接。

2 试验材料和方法

用冲击自穿孔铆接方法和点焊方法连接 2 mm+2 mm 叠放的 5A02 冷轧铝板,其屈服强度为 176 MPa,化学成分如表 1 所示。

表 1 5A02 铝合金化学成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical composition of 5A02 aluminum alloy

Mg	Fe	Cu	Mn(Cr)	Ti	Si	其它	Al
2.0~2.8	0.4	0.1	0.15~0.4	0.15	0.40	0.7	余量

模具的材料为 GCr15 工具钢。设计两种不同尺寸的模具试验,将铆接好的接头沿铆钉中轴线截开观察铆钉在接头中的形貌。

选用三种不同装药量的子弹用来提供各种不同大小的驱动力,测量冲击自穿孔铆接过程中动态 $F-t$ 曲线,其中的 F 指对基座的冲击力大小,观察接头形貌选择最佳的驱动力使得既能得到成形良好的接头又不至于对基座产生过大的冲击。

铆钉为含碳量 0.36% 的普碳钢冲压而成,尺寸为躯干外部直径 5.4 mm、头部直径 7.8 mm、长度为 6 mm。原始状态的铆钉为在准静态自穿孔铆接条件下使用的铆钉,将铆钉加热到 520 ℃分别保温 10 min、20 min 低温退火得到两种退火后的铆钉,原始状态和 10 min、20 min 退火三种不同的铆钉硬度分别为 493 HV、422 HV、398 HV,标记为 1 号、2 号、3 号铆钉进行铆接试验,在相同的子弹、铝板和模具条件下,由接头的截面形貌选择最合适热处理状态的铆钉。

为保证点焊接头质量,将用来点焊的试样进行表面化学处理。先用金属洗涤剂将铝板清洗干净,再将铝板在温度为 60~65 ℃、浓度为 5% 的 NaOH 溶液中浸蚀 4 min,用自来水冲洗完毕后,在室温下浓度为 30% HNO₃ 溶液浸蚀 3 min,最后再用清水冲洗干净并晾干,在 24 h 内用来焊接。焊机选用 300 kW 的三相次级整流点焊机。主要的焊接参数为焊接电流 28.5 kA,焊接时间 100 ms (5 个周波),电极压力 7.5 kN。电极选用直径 20 mm、球面半径 100 mm 的铬钴铜球面电极。

将冲击自穿孔铆接和点焊方法制成的试样进行拉剪、十字拉伸和疲劳试验,试样的尺寸和试验方法参照国家标准 GB/T 2651—81^[4] (拉剪试样)、日本标准 JISZ 3138:1989^[5] (十字拉伸试样)、国家标准 GB/T 15111—94^[6] (疲劳试样)。拉剪试样和十字拉伸试样都为 3 个,试验得到的拉剪强度和十字抗拉强度都为平均值。疲劳试样为一组 12 个,应力比 $R=0.1$,频率 $f=20$ Hz。得到疲劳曲线后确定循环一千万次时的疲劳强度。

3 试验结果及分析

3.1 不同模具的影响

在相同子弹不同模具的条件下铆接 2 mm+2 mm 铝板,冲击自穿孔铆接接头呈现不同的内部形态,模具 1 和模具 2 的主要区别在于,模具 1 中的凸起部分不够高,底部凹槽过于平坦。由图 3 的接头截面形貌可看出,在模具 1 的作用下,铆钉虽然也全部铆入板材,但是铆钉腿部没有完全张开,使得在垂直于铝板平面作用力下铆钉容易被拔出,即十字抗拉强度降低。铆钉腿部的尖端部分触及下层

铝板的边沿, 使得靠近铆钉腿部区域的下层变形铝板很薄, 由铆钉腿部围住的下层铝板的环状区域在作用力特别是疲劳载荷的作用下容易剥落。在模具 2 的作用下, 铆钉腿部呈喇叭状分开, 铆钉腿部的最下端距下层铝板的边沿有一定的距离。铆钉在铝板内的不同形态导致了铆接接头的不同性能, 因此模

具设计非常重要, 既要保证铆钉腿部分开又要防止铆钉腿部触及下层铝板边沿。在成形良好的模具 2 的作用下, 模具尺寸的流线形保证了铝材变形流畅, 模具中的凹槽保证了一定的体积用来承载变形后的铝材, 模具中凸起的部分保证了铆钉腿部张开。因此选用 2 号模具。

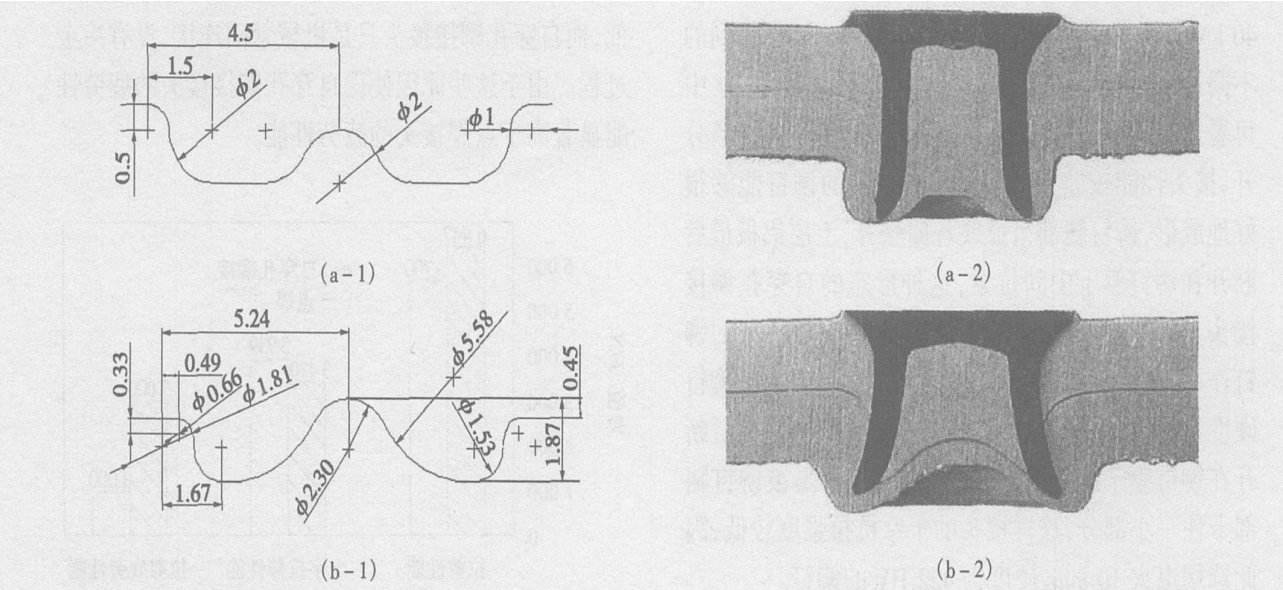


图 3 两种不同尺寸模具和形成的接头截面形貌
Fig. 3 Two dies with different dimensions and its joints appearance

3.2 冲击力大小对外观和性能的影响

从图 4 中可看出三种不同的子弹的最大冲击力分别为 20 kN、40 kN、100 kN 左右, 而铆接时间分别为 400 μs、100 μs、50 μs 左右。从不同子弹铆接后对应的接头形貌可以看出, 在最大力值为 100 kN 和 40 kN 的子弹作用下, 铆钉基本全部进入铝板且铆钉头部平面与铝板平面平齐。相反, 最大力值为 20 kN 的子弹不能提供足够的冲击力使铆钉完全铆

入铝板, 铆钉头部暴露在铝板平面上, 这样会产生如影响美观、影响汽车装配、接头部位易受侵蚀、接头性能降低等缺点。冲击力值最大为 100 kN 的子弹所产生的接头由于冲击力过大, 会对基座产生过大的冲击, 这样就要求基座增加重量提供更大的刚性, 使得设备笨重不利于操作。传统的铆接设备基座需要承受 40 kN 左右的冲击力^[3], 这说明虽然子弹的爆炸力对铆钉的冲击力很大, 但是在合适的装药量

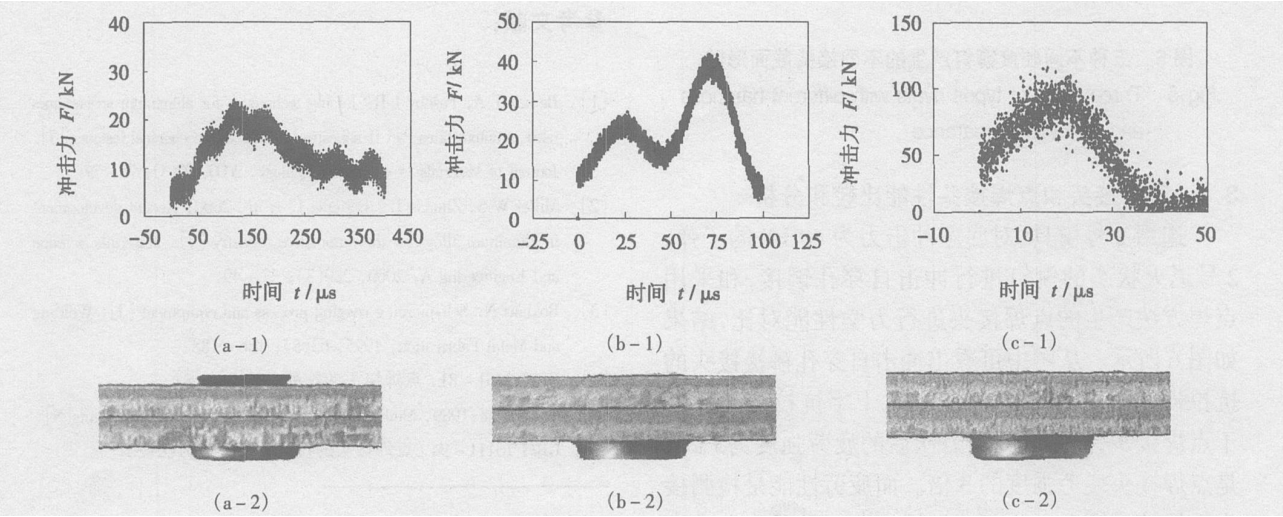


图 4 三种不同的冲击力波形及形成的接头形貌
Fig. 4 Three different wave shapes and its joints appearance

的子弹作用下对基座的冲击力和传统自铆接方法相同,因此最终选用对基座冲击力值为 40 kN 的子弹进行试验。

3.3 铆钉硬度的影响

铆钉硬度对铆接接头的形貌和力学性能有很大的影响,铆钉硬度直接影响到铆钉穿透铝板的能力和接头截面形貌。在选用相同的铝板、冲击力为 40 kN 的子弹、不同退火状态铆钉的作用下,得到的不同冲击自穿孔铆接接头的形貌如图 5 所示,从中可看出,1 号原始状态下的铆钉腿部呈斜直线形分开,接头性能较差。2 号退火 10 min 的铆钉能够很好地成形,铆钉腿部呈弧线弯曲张开,上层铝板最后断开在铆钉躯干中间位置,这种形态的自穿孔铆接接头具有良好的力学性能。在 3 号退火 20 min 的铆钉作用下,铆钉腿部虽然分开形态良好,但由于铆钉硬度不够,腿部严重墩粗变短,使得上层铝板最后断开在铆钉躯干的下部位置,下层铝板只是被铆钉腿部卡住一小部分,这样接头的十字抗拉强度较低,因此选用退火 10 min、硬度为 422 HV 的铆钉。

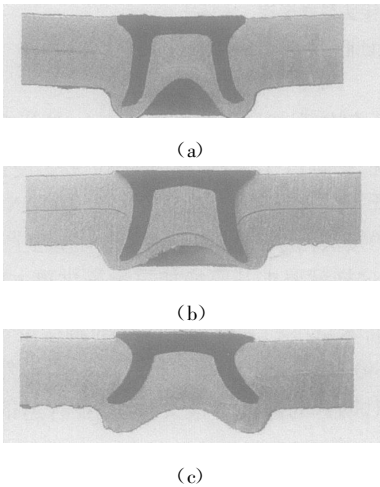


图 5 三种不同硬度铆钉产生的不同接头截面形貌
Fig. 5 Three different types rivets with different hardness and its joints appearance

3.4 铆接接头和点焊接头性能比较和分析

选用 2 号模具、对底座冲击力为 40 kN 的子弹、2 号退火状态的铆钉进行冲击自穿孔铆接,和采用点焊方法产生的点焊接头进行力学性能对比,结果如图 6 所示。从图中可看出冲击自穿孔铆接接头的抗拉强度高于点焊接头的强度,十字抗拉强度稍低于点焊接头,而循环一千万次后的疲劳强度为 3 kN,是点焊接头疲劳强度的 3 倍。而疲劳性能是检测接头性能的一项重要指标,这也充分说明了冲击自穿孔铆接接头的优越性。疲劳强度的巨大差异主要是归因于接头的形态和冶金因素。点焊的焊核周围在

接合面处形成一尖角,导致在疲劳载荷的作用下产生严重的应力集中,显著降低疲劳强度。而冲击自穿孔铆接条件下铆钉刺穿第一层铝板,铆钉周围和上下层铝板都是圆滑接触,不会产生大的应力集中。另外,点焊接头中的铝材经过熔化和再结晶转变,熔核中的铝液由于铝板的迅速散热容易产生缩孔缺陷,焊核的热影响区也因为高温急冷作用而性能降低,而自穿孔铆接接头只是机械紧固连接,没有冶金过程。由于这些原因使得自穿孔铆接接头的疲劳性能显著高于点焊接头的疲劳性能。

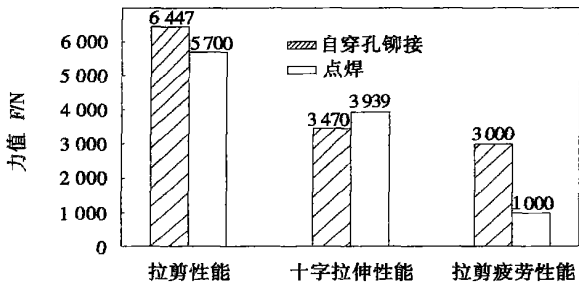


图 6 点焊接头和自穿孔铆接接头性能比较
Fig. 6 Performance comparison between SPR and spot welded joints

4 结 论

采用火药作为冲击力的自穿孔铆接设备简单实用。采用对底座冲击力为 40 kN、2 号模具和 1 号铆钉能够形成良好的自穿孔铆接接头。冲击自穿孔铆接接头具有良好的拉剪、十字拉伸力学性能和较高的疲劳力学性能。

参考文献:

[1] Bames T A, Pashby I R. Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles Part II-adhesive bonding and mechanical fasteners[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 99(3): 72—79.
[2] Miller W S, Zhuang L, Bottema J, et al. 2000: Recent development in aluminum alloys for the automotive industry [J]. Materials Science and Engineering A, 2000, 280(3): 37—49.
[3] Bokhari N. Self-piercing riveting-process and equipment [J]. Welding and Metal Fabrication, 1995, 63(5): 186—188.
[4] GB/T 2651—81, 点焊接头的拉剪实验方法[S].
[5] JIS Z 3138: 1989 Method of fatigue testing for spot-welded joints[S].
[6] GB/T 15111—94 点焊接头的拉剪疲劳实验方法[S].

作者简介: 汪 彬, 男, 1979 年 11 月出生, 工学硕士。主要研究方向为铝合金车身点固连接技术, 发表论文 1 篇。

Email: binwang@imr.ac.cn

Effect of re-heating on microstructures near Fe₃Al/18-8 diffusion bonding interface MA Hai-jun, LI Ya-jiang, WANG Juan, YIN Yan-sheng(Key Lab of Liquid Structure and Heredity of Materials, Ministry of Education, Shandong University, Jinan 250061, China). p35—38

Abstract: There unevenly distributed second-phase precipitations at the Fe₃Al/18-8 (stainless steel) diffusion bonding interface directly. Especially, the continuous precipitation groups at the boundary could induce welding cracks which was the main factor caused the failure of the Fe₃Al/18-8 diffusion-bonded joint. The Fe₃Al/18-8 diffusion-bonded joint was re-heated and the precipitation and phase constituent of the interface were analysed by means of scanning electron microscope, energy dispersive spectrum and X-ray diffraction. The results indicated that the precipitation distributes evenly at the Fe₃Al/18-8 diffusion bonding interface due to the effect of re-heating and the precipitation becomes tiny and regular. The continuous precipitation groups are liquated. The microhardness near the Fe₃Al/18-8 diffusion bonding interface decreases and there are no higher-microhardness brittle phases after re-heating.

Key words: Fe₃Al/18-8 (stainless steel) diffusion bonding interface; re-heating; precipitation; phase constituents

Teleteaching technology used in remote welding assisted by laser vision sensing LI Hai-chao, WU Lin, GAO Hong-ming, ZHANG Guang-jun(State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p39—42

Abstract: Laser vision sensing assisting teleteaching technology (LSAT), which was used in remote welding, was presented. The technology overcame the drawback of teleteaching assisted by stereoscopic vision display and relieved the payload of human operator. Welding seam feature point was extracted by laser vision sensing that enhanced the precision of seam identification in teleteaching. Space mouse acted as the hand controller in teleoperation to increase the performance capability. The experiment results illustrated that the technology can decrease the teleteaching time and enhance the capability of adapting environment. Accurate welding path and automatic welding process avoid time-delay for the long distance teleoperation. The LSAT has practical value for remote welding.

Key words: remote welding; arc welding robot; teleoperation; laser vision sensing; teleteaching

Method of self-piercing riveting and properties of its joint WANG Bin¹, HAO Chuan-yong¹, ZHANG Jin-song¹, ZHANG Hong-yan²(1. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Department of MIME University of Toledo, OH 43606, USA). p43—46

Abstract: Self-piercing riveting (SPR) has become an im-

portant alternative joining technique for the automotive applications of aluminum sheets. Most existing SPR machines use a dual-action hydraulic cylinder or an electrical motor to drive a rivet into the sheets. A new technique and the corresponding equipment was presented using gun-powder to drive the riveting process. Some main factors such as the dimensions of the die, the rigidity of the rivet were also researched. The tensile-shear, cross-tension, fatigue and impact performances of self-piercing riveted joints using the new device were compared with those of spot-welded joints on aluminum sheets. The experiment proved that the new SPR joints had provided a better mechanical properties than that of resistance spot welded joint.

Key words: self-pierce riveting; aluminum alloys; resistance spot welding; automotive

Effect of bonding time on thick aluminum wire wedge bonding strength WANG Fu-liang, LI Jun-hui, HAN Lei, ZHONG Jue (College of Mechanical and Electronical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China). p47—51

Abstract: The effect of bonding time on the bonding strength of thick aluminum wire wedge bonding was studied under different ultrasonic power conditions. The shear strength is the criterion of bonding strength. The experiments show that: (1) Bonding strength is sensitive to the bonding time when the ultrasonic power is low, and insensitive when the ultrasonic power is high. (2) For short bonding time, the primary failure are peeled off and non-stick, which indicated that the diffusion of interface is insufficient. (3) For long bonding time and large ultrasonic power, the failure state is break, which illuminated that the diffusion of interface is sufficient, and the durative vibration causes fatigue crack in the aluminum wire.

Key words: thick aluminum wire wedge bonding; bonding strength; bonding time; over bonding

Numerical simulation of temperature field and stress field of medium carbon steel before and after hardfacing YANG Qing-xiang, GAO Jun, LI Da, CHEN Xiao-jun, LIAO Bo(National Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology, College of Material Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, Hebei, China). p52—56

Abstract: The residual stress field of hot roller steel 60Cr-MnMo after hardfacing was measured by using X-ray stress analysis. From temperature simulation results, the temperature distribution of specimen and temperature curve at different location of the specimen at different time can be obtained, which can represent the whole process of temperature variation during hardfacing. When the hardfacing time is 16 sec, the temperature at different location of the specimen is very different. When hardfacing process is finished, the heat spread quickly to other directions. Up to 180 sec, the temperature is similar to each other between center and surface of the specimen, the temperature distribution of the whole specimen is uniform.