

手工电弧堆焊接头组织及微动磨损性能研究

章友谊¹, 屈金山¹, 李娟¹, 陈文静¹, 张鑫²

(1.西华大学材料科学与工程学院,四川成都610039;2.河南科技大学材料学院,河南洛阳471003)

摘要:用手工电弧堆焊技术,在基体材料45钢表面上,分别选用CHR237和CHR207两种堆焊焊条在相同的工艺参数下进行堆焊。用光学显微镜和显微硬度计对堆焊金属的显微组织和显微硬度进行了分析,用PLINT型微动磨损试验机考察了基体材料及堆焊层金属在室温条件下的微动磨损行为。结果表明,堆焊金属的显微组织和显微硬度跟焊条的种类,硬质相的类型、数量及其分布有关;其抗微动磨损能力均优于基材45钢,且CHR237堆焊金属的抗微动磨损性能最好。

关键词:堆焊;堆焊金属;显微组织;显微硬度;微动磨损

中图分类号: TG407.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2007)01-0013-04

Study on Microstructure and Fretting Wear Behavior of Joints Surfaced Metals by Shielded Metal Arc Welding Process

ZHANG You-yi¹, QU Jin-shan¹, LI Juan¹, CHEN Wen-jing¹, ZHANG Xin²

(1. School of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. College of Materials and Science, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: Surfaced joints was conducted by shielded metal arc welding process on the 45 steel substrate using electrodes CHR237 and CHR207 at the same welding process parameters. The microstructure and microhardness of the joints were tested by means of optical microscope and microhardness tester, the fretting wear behavior of substrate and surfaced metals in room temperature were investigated on a PLINT fretting wear test rig. The results show that the microstructure and microhardness of the surfaced layers depends on the kind of electrode used as well as the type, quantity and distribution of hard particles; and the fretting wear properties of surfaced metals are better than that of 45 steel, the sample using electrodes CHR237 is the best.

Key words: overlaying; deposited metal; microstructure; microhardness; fretting wear

堆焊是一种改善机械零件表面耐磨性的简单、经济且行之有效的办法。它已在冶金机械、矿山机械、交通运输、航天工业等部门的零件制造和修复中获得广泛应用。金属材料的耐磨性与其微观组织密切相关,为提高耐磨堆焊金属的耐磨性,应根据磨损条件来改善组织^[1-3]。为此,本文采用CHR237和CHR207两种堆焊焊条,分别在45钢基体表面进行堆焊,然后对所获得的堆焊接头的显微组织和显微硬度进行分析,用微动磨损试验机考察其基材及堆焊层金属的微动磨损性能,以便为生产实践提供参考。

1 试验材料及内容

1.1 试验材料及焊前准备

用 $\phi 150\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的45钢作基材,其堆焊面用砂纸打磨,以清除表面上的氧化皮和油污等。

所选用的CHR237和CHR207两种堆焊焊条均是大西洋焊材公司生产,前者为低氢钠型药皮铬钨硼系焊条,后者为低氢钠型药皮铬钨钒系焊条,直径均为4 mm,化学成分见表1。焊条经 $250^\circ\text{C} \times 1\text{ h}$ 烘焙后置于保温筒中随用随取。

表1 堆焊焊条化学成分(质量分数,%)

焊条牌号	C	Cr	Mo	V	Mn	Si	其他元素总量
CHR237	0.3~0.6	8~10	≤3	0.5~1.0	-	-	≤4
CHR207	0.3~1.0	≤3.5	-	-	≤2.5	≤1	≤1

1.2 焊接工艺

采用手工电弧堆焊方法,直流反接,其工艺参数如表2所示。由于手工电弧堆焊的熔深较大,稀释率较高,为了尽量减小基体材料对堆焊层金属性能的影响,我们在基体表面堆焊了三层,使堆焊金属的厚度达到6 mm以上,所以最外层堆焊金属基本上能够反映焊条熔敷金属本身的性能。每

表2 堆焊工艺参数

试样	焊条型号	焊接电压 /V	焊接电流 /A	平均焊度 / $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	线能量 / $\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$
1	CHR237	25~28	140~170	0.383	9.138~12.428
2	CHR207	25~28	140~170	0.333	10.511~14.294

收稿日期:2006-11-20

作者简介:章友谊(1979-),男,四川仪陇人,硕士研究生,研究方向:

高强度钢的焊接;电话:13881869363;

E-mail: zyy_0906@yahoo.com.cn

一层堆焊完之后,试件在空气中冷却1h后再进行下一层的堆焊,以保证一定的层间温度。

1.3 组织观察与显微硬度测试

试样经绿化铁腐蚀剂(5g $FeCl_3$, 20ml HCl , 100 ml H_2O) 腐蚀后,用光学显微镜进行观察分析;用HVS-1000型显微硬度计测定显微硬度,载荷为1.96 N,加载时间为20 s。

1.4 微动磨损试验

微动磨损试验设备为法国产 PLINT 电液伺服式微动磨损试验机。摩擦对偶为 $\phi 40$ mm的GCr15钢球(870~890 HV, $R_a=0.04 \mu m$),球和平面接触方式。平面试样为线切割加工成的 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 立方体,试验前研磨并抛光至 $R_a=0.04 \mu m$ 。微动磨损试验条件见表3。本试验主要以试样表面磨痕面积的大小及磨痕形貌作为耐磨性的主要判据。微动试验后,用扫描电镜观察磨痕形貌。

表3 微动磨损试验条件

正压力 /N	位移幅值 / μm	频率 /Hz	循环次数	试验温度 / $^{\circ}C$	相对湿度 (%)
100	10	5	10^4	23 ± 2	60 ± 10

2 试验结果及分析

2.1 堆焊接头显微组织

图1为试样1各堆焊层的显微组织。其第一层组织是以针状马氏体为基体,其上较均匀地分布着块状残余奥氏体;第二层组织中黑色成团簇状的是马氏体,白色的为残余奥氏体;第三层组织中黑色团状的为马氏体,白色网状的为残余奥氏体。可看出:在第一层中,马氏体呈针状分布,残余奥氏体成不规则块状且分布不均匀;而第二层中,马氏体由针状聚集为较大的团簇状,残余奥氏体则已初步形成网格状,比第一层分布均匀,并且出现了共晶莱氏体;到了第三层,马氏体由团簇状聚集为小岛状,而残余奥氏体形成网格状,与马氏体交错均匀分布,晶间未见共晶莱氏体出现。

图2为试样2各堆焊层金属的显微组织。其第一层组织是以板条状马氏体为基体,在其间分布有残余奥氏

体,并有少量碳化物析出,呈带状分布;第二层组织主要是针状马氏体,有共晶莱氏体和粒状碳化物析出;第三层组织主要是团簇状马氏体、少量针状铁素体和残余奥氏体,晶间有共晶莱氏体析出。可看出:第一层中组织呈带状分布,且晶粒比较大;而第二层的组织变得非常细小且分布均匀,是比较理想的一种组织;但到了第三层,晶粒有所长大,且出现了共晶莱氏体^[4-6]。

由上述可知,用这两种焊条堆焊所得堆焊层金属均形成了以马氏体为基体的显微组织。虽然第一层堆焊金属显微组织受到母材的影响,但仍能反映熔敷金属的基本特征。通过第二层堆焊,母材对熔敷金属的影响进一步减小,这在试样2中体现更为明显。而到了第三层,就基本不受基体材料的影响,从而能够充分体现熔敷金属的性能。从两个试样的第三层堆焊金属显微组织中可以观察到,它们都含有大量的马氏体,主要是因为焊条中的合金元素铬、钼、钒、锰降低了马氏体转变开始温度(M_s),使过冷奥氏体稳定性增强,提高了淬透性,并且焊后的冷却速度比较快,这些都为马氏体的形成提供了有利条件。同时,通过第一层和第三层堆焊金属显微组织的对比也可看到,第三层中的马氏体更加细小且分布更加均匀,且碳化物的数量也比第一层多,这就使得第三层堆焊金属硬度得到提高,在一定程度上会使堆焊金属的耐磨性增强。

2.2 堆焊接头显微硬度

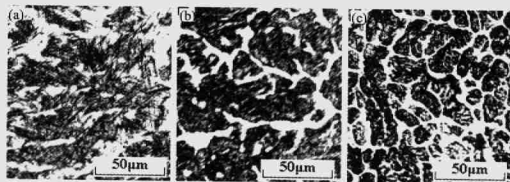


图1 试样1各堆焊层金属显微组织(a-第一层;b-第二层;c-第三层)



图2 试样2各堆焊层金属显微组织(a-第一层;b-第二层;c-第三层)

硬度测试是从试件表面向基体方向每隔 0.5 mm 取一个测试层,每个层上测三点,取其平均值作为该层的硬度。试样 1 堆焊层的显微硬度分布如图 3.4 所示。可看出:试样 1 堆焊层的硬度的平均值为 700 HV 左右,最小也大于 600 HV;其第三层堆焊金属的硬度变化不是很大,越靠近第二层硬度略有升高;第二层的硬度相对较高,出现了峰值;第一层的硬度值变化比较快,越靠近熔合线硬度值越低;而在熔合区硬度几乎成线性下降。试样 2 堆焊层硬度的平均值约为 650 HV,最小只有 530 HV;其各堆焊层的硬度变化规律与试样 1 一样,只是第二层的硬度分布比较均匀,未出现峰值。

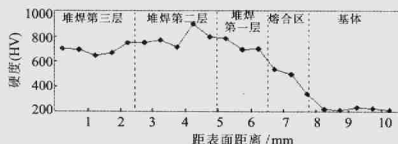


图3 试样1显微硬度分布

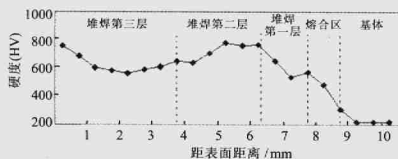


图4 试样2显微硬度分布

通过图3、图4的对比,不难发现:试样1各堆焊层的平均硬度值要比试样2的高,试样1的平均硬度大约为基体的3.5倍,而试样2只是基体的3倍左右。这是由于两个试样所选用的焊条种类不同,所含合金元素及含量不一样所致。

两个试样的第三层堆焊金属的硬度分布比较均匀,而第二层的硬度值相对最高,第一层硬度值变化最大,而到了热影响区,其硬度值迅速下降到 200 HV 左右,与母材的硬度基本一致,在热影响区未出现软化现象。这是因为手工电弧堆焊的稀释率高,熔合比大,第一层堆焊金属的硬度受母材影响较大,所以变化比较明显;而第二层和第三层则受母材的影响就越来越小,特别是到了第三层,就基本能反映熔敷金属的特性,硬度变化也不大。由于在堆焊第三

层的时候相当于对第二层熔敷金属做了一次正火处理,使组织更加细化,使硬质相碳化物分布更加均匀,所以第二层堆焊金属的硬度反而比第三层的要高^[9-8]。

2.3 微动磨损试验

图5为基材45钢、试样1及试样2第三层堆焊金属在经过 10^4 次微动磨损后的磨痕表面形貌。可看出,三者磨痕都明显分为三个区域:即由不同厚度混合物组成的最外层,这主要是由于微动磨损过程中表面氧化的结果;严重的塑性变形层,这个区域中,越靠近微动磨损表面其塑性变形越大;以及磨痕中心的塑性变形层。通过三者磨痕的对比不难发现:基材45钢表面的磨痕明显比堆焊层金属的磨痕大,且表现为大面积的粘着损伤,在材料表面留下许多的粘着坑,损伤表面层次较深;而堆焊层金属抵抗粘着损伤的能力明显增强,其表面损伤层次都比基材的浅,但试样1磨痕最浅,沿着微动磨损的方向有明显的条状磨痕,且内表面相对比较光滑。这说明,通过堆焊之后得到高硬的马氏体组织使堆焊金属的耐磨性得到明显改善;且使用CHR237焊条堆焊的试样1的耐磨性比用CHR207焊条堆焊的试样2更好。这是因为堆焊之后堆焊层的金属组织均以马氏体为基体,但由于其形态的不同,使得试样1的硬度更高,所以其抗微动磨损能力更好^[9-10]。

图6为各试样磨痕中心的形貌。因为在观察前已将试样用超声波进行过清洗,故在SEM下观察不到金属磨屑,但可观察到:基材和两个堆焊

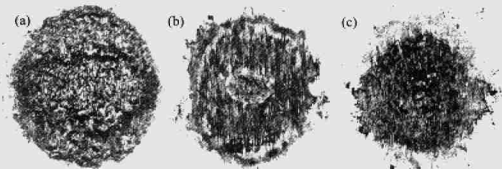


图5 微动磨损形貌(a-45钢;b-试样1;c-试样2)×26



图6 微动磨损试验后磨痕心部的SEM照片(a-基材45钢;b-试样1;c-试样2)

层金属的磨痕中心都出现了微动裂纹,但基材上的裂纹更多、更明显,试样1上的裂纹最少、最细小;基材上的粘着坑较大,而试样1上的最小。这主要是因为微动磨损试验时,各试样都是在交变载荷作用下,接触表面下方一定深度处交替承受拉一压循环应力,随着微动磨损的进行,由应力而产生的塑性变形不断积累,导致微裂纹的产生。而裂纹不断扩展,就会造成表面金属成片状脱落,形成粘着坑。产生的裂纹越多,在微动磨损时表面金属就越容易脱落,就越容易形成粘着坑。而堆焊金属组织是以马氏体为基体,其中还分布一些硬质相,其显微硬度显著提高,这就降低了堆焊层的应力集中,因而在微动磨损过程中抵抗塑性变形的能力比较强,不易产生微动裂纹^[11]。

图7是基材、试样1及试样2第三层堆焊金属分别与GCr15对磨时的摩擦系数曲线。可见三者的变化规律基本一致,但其稳定值明显不同,试样1、2堆焊层金属的摩擦系数开始比较低,且变化缓慢,直到微动循环90次时试样2的开始明显增大,约400次时试样1的开始明显增大,两个试样都是微动2000次左右时达到最大值,此后均开始降低并趋于稳定;而基材45钢的摩擦系数微动开始大约10次之后就迅速增大,循环70次左右即达到最大值,然后略有降低,在微动循环约100次时已基本稳定。通过前面分析知道,堆焊层金属抗粘着损伤的能力较强。所以在开始阶段的摩擦系数很低,相对耐磨性较高,而且开始阶段的磨屑主要是通过轻微擦伤和局部结合不牢的表面粒子脱落而形成,磨屑数量较少,形成稳定的磨屑层需要较长的时间,因此保持低摩擦系数较长时间基本不变。但随着微动循环次数的增加,磨屑数量增多,摩擦系数就开始变大。在微动磨损条件下,摩擦副接触非常紧密开始形成的磨屑难以逸出,蓄积在两个接触界面之间成为第三体,将摩擦副分离,使摩擦副之间的粘着减弱,并使接触

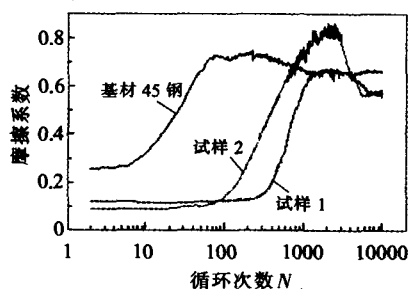


图7 堆焊金属和基材摩擦系数随微动循环次数的变化

性质发生变化,因此摩擦系数达到最大值之后迅速下降,然后趋于稳定。基材45号钢硬度较低,其抗粘着能力较差,微动循环一开始即发生严重的粘着,导致摩擦系数迅速增大,磨损比较严重。且由于开始阶段的磨屑主要是粘着造成的材料转移和剥落而形成的,加之它的抗粘着能力较差,所以可以通过粘着转移迅速形成大量磨屑,这也使得其摩擦系数迅速增大。同样由于大量的磨屑积蓄在两摩擦表面之间而改变了摩擦副接触的性质,使其摩擦系数达到最大值之后就趋于稳定^[12]。

3 结论

(1) 手工电弧堆焊第一层受母材稀释的影响较大,而第二层影响较小,第三层基本上不受影响,能反映堆焊焊条熔敷金属本身的性能。且堆焊层金属的显微组织与堆焊焊条的合金成分及含量有关,与其硬质相的类型、数量及分布等有关。

(2) 堆焊层金属硬度显著提高,基本都达到600 HV以上,但硬度最高的并不是最外层而是第二层堆焊金属,在热影响区没有出现软化现象。

(3) 堆焊层金属的抗微动磨损能力明显增强,耐磨性优于基材45钢,且用CHR237堆焊焊条的试样1的抗微动磨损性能高于用CHR207堆焊焊条的试样2的抗微动磨损性能。

参考文献:

- [1] 周振丰,张文钺. 焊接冶金与金属焊接性[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- [2] 王娟. 表面堆焊与热喷涂技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 陈天佐,李泽高. 金属堆焊技术[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [4] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接金相图谱[M]. 机械工业出版社,1985.
- [5] 姜锡山. 特殊钢金相图谱[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [6] 尹士科,王征林,张晓牧,等. 焊接接头性能调控与应用[M]. 北京:兵器工业出版社,1992.
- [7] 许勇静,陈俐. Cr-Mo-V堆焊合金的成分对其组织及性能的影响[J]. 焊接技术,2003,32(3):39-41.
- [8] 张元彬,任登义. 合金元素对堆焊焊缝硬度的影响[J]. 热加工工艺,2003(4):15-16.
- [9] 张春和,张绪寿,赵家政. 45号碳钢微动磨损时表面层的结构特征[J]. 固体润滑,1990,10(2):114-119.
- [10] 赵涛,蔡珣,陈秋龙等. Cr/WC激光表面改性梯度层组织及磨损行为[J]. 上海交通大学学报,2002,36(5):612-615.
- [11] 徐向阳,左铁镛. 等离子喷涂WC/18Co涂层微动磨损机理的研究[J]. 材料保护,2001,34(5):1-3.
- [12] 赵涛,陈秋龙,蔡珣等. 铝硅合金表面激光Ni/WC梯度层组织结构[J]. 上海交通大学学报,2002,36(1):32-35. □

● 焊接技术 ●

SiC_p/6061 复合材料半固态焊接特性研究

孙跃志, 陈刚, 雷玉成

(江苏大学材料学院, 江苏镇江 212013)

摘要:通过对 SiC_p/6061 复合材料在半固态条件下的焊接特性研究, 提出了颗粒增强铝基复合材料半固态焊接新方法。根据不同焊接温度下合金基体受冲击力作用时的变形能力以及冷却后基体中颗粒、疏松分布情况的分析, 优化了半固态焊接参数。结果表明: 620℃时, 在 20 N 冲击力作用下, 试样有较好的触变成形能力, 颗粒团聚程度较低, 疏松较少。

关键词: 铝基复合材料; 半固态焊接; 焊接特性

中图分类号: TG441.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2007)01-0017-03

Investigation of Welding Characteristics of SiC_p/6061 Composites During Semi-solid Bonding

SUN Yue-zhi, CHEN Gang, LEI Yu-cheng

(School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: A new welding method of particle reinforced aluminum matrix composites based on semi-solid bonding technique has been suggested according to the research on the welding characteristics of SiC particle reinforced 6061 alloy matrix composites. The plastic deformation of the matrix alloy under an impact load at different bonding temperature, as well as the distribution of particles and micro-pores in the matrix alloy after cooling was observed, and the optimum semi-solid bonding parameters were suggested. The result shows that the samples with satisfactory thixotropic-deformation capacity, the low aggregation degree of particles and a few of micro-pores can be obtained under a suitable impact load (20N, at 620°C).

Key words: aluminum matrix composites; semi-solid bonding; welding characteristics

SiC 增强铝基复合材料因具有高强度、高比模量、耐高温、抗辐射、尺寸稳定性好等优异的综合性能而受到人们的广泛关注, 并将逐步取代部分传统的金属材料而广泛应用于航空航天、汽车制造业、军事和民用产品等领域, 成为当今金属基复合材料发展与研究的主流。但是, 由于铝基复合材料为非均质多相材料, 其焊接要比单相均质材料复杂得多, 因此其焊接问题一直阻碍着该材料的迅速发展^[1-2]。铝基复合材料结构件的应用同样受到缺乏可靠、方便的焊接方法的限制^[3]。国内外学者就铝基复合材料的焊接问题作了大量的研究, 但到目前为止这方面的研究尚有许多技术难题正在研究解决中^[4]。

本文提出了一种新型的焊接颗粒增强铝基复合材料的方法——铝基复合材料的半固态焊接技

术。通过对母材升温, 使母材处于固液两相共存状态; 保温适当时间后, 对其施加一定的冲击力, 利用母材的触变成形特性得到理想的焊接接头。通过对 SiC_p/6061 复合材料半固态焊接特性的研究, 本文优化了相关焊接工艺。

1 试验方法

试验用 SiC_p/6061 复合材料的基体合金成分见表 1, SiC 颗粒的体积分数为 15%。在扫描电镜下复合材料的显微组织如图 1 所示, SiC 颗粒尺寸在

表 1 6061 合金的化学成分(质量分数, %)

Cu	Mg	Fe	Si	Zn	Ti	Ni	Al
0.34	0.75	0.22	0.36	1.26	<0.15	<0.05	Bal

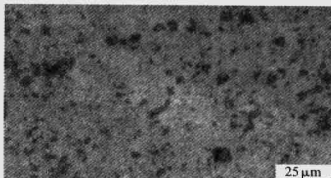


图 1 SiC_p/6061 复合材料显微组织

收稿日期: 2006-11-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475126)、江苏省高技术研究项目(BG2005026)和江苏省研究生创新计划项目(xm04-27)

作者简介: 孙跃志(1982-), 男, 河南辉县人, 硕士研究生;

电话: 13952811759; E-mail: yz_sun@126.com