

手工电弧堆焊金属的显微组织分析

章友谊, 屈金山, 李娟, 马小利, 曾庆宝
(西华大学材料科学与工程学院, 四川成都 610039)

摘要: 采用 CHR207、CHR227 和 CHR237 堆焊焊条, 通过手工电弧焊工艺在 45 钢基体上进行堆焊试验; 对获得的不同堆焊金属的显微组织进行了分析, 并讨论了合金元素对堆焊层金属显微组织的影响。结果表明, 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, 也与焊条熔敷金属中硬质相的类型、性能及分布等有关; 合金元素钼、钒对堆焊金属晶粒的细化作用效果明显。

关键词: 堆焊; 堆焊金属; 显微组织; 合金元素

中图分类号: TG407.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3738(2007)01-0029-03

Analyses on Microstructure of Deposited Metals by Shielded Metal Arc Welding Process

ZHANG You-yi, QU Jin-shan, LI Juan, MA Xiao-li, ZENG Qing-bao
(Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Surfacing process was conducted by shielded metal arc welding process on 45 steel substrate using electrodes CHR207, CHR227, CHR237 under the same welding conditions. The analyses on microstructure of deposited metals were made, and the effect of alloy elements on the microstructure of deposited metal was discussed. The results show the microstructure of the deposited layers depended on the kind of electrode used as well as the type, performance and distribution of hardening particles. The alloy elements such as Mo, V have distinct effect on the deposited metal grain refinement.

Key words: surfacing; deposited metal; microstructure; alloying elements

0 引言

堆焊与一般焊接方法的用途不同, 它不是为了连接零件, 而是用焊接的工艺方法, 在零件的表面堆敷一层或数层具有一定性能的材料。其目的在于修复零件或提高零件的耐磨、耐热及耐腐蚀等性能。堆焊工艺在冶金、矿山、农业和石油化工机械等的零件制造和修复中获得了广泛的应用^[1,2]。采用堆焊技术来制造或修复某些零件时, 不仅可发挥零件的综合性能和材料的工作潜力, 还能节约大量的贵重合金, 从而降低成本。为使 45 号钢表面获得耐磨性能较好的熔敷金属层, 作者采用不同焊条作了试验, 对堆焊层金属的显微组织以及合金元素对显微组织的影响进行了研究。

1 试样制备与试验方法

选用 3 块 $\phi 150 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的 45 钢圆片作为堆焊基体材料。待堆焊面用 70 号砂纸打磨后清洗。试样 1 选用 CHR227 低氢钠型药皮铬钨硼系堆焊焊条; 试样 2 选用 CHR237 低氢钠型药皮铬钼钒型堆焊焊条; 试样 3 则用 CHR207 低氢钠型药皮堆焊焊条。所用焊条直径均为 $\phi 4 \text{ mm}$, 其化学成分见表 1。焊条使用前均需在烘箱中经 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘焙 1 h, 后置于焊条保温筒中随用随取。

表 1 堆焊焊条化学成分(质量分数/%)

Tab. 1 Chemical compositions of surfacing electrodes(mass/%)

焊条	C	Cr	Mo	V	Mn	Si	Fe
CHR227	0.45~ 0.65	4.00~ 5.00	2.00~ 3.00	4.00~ 5.00	—	—	余
CHR237	0.30~ 0.60	8.00~ 10.00	≤3.00	0.50~ 1.00	—	—	余
CHR207	0.30~ 1.00	≤3.50	—	—	≤2.50	≤1.00	余

收稿日期: 2005-12-28; 修订日期: 2006-03-15

作者简介: 章友谊(1979-), 男, 四川仪陇人, 硕士研究生。

导师: 屈金山教授

采用了直流反接方式手工电弧堆焊方法,所有试样堆焊均在相同的焊接电流(150 A)、焊接电压(33 V)下进行,1~3号试样的焊接速度分别为190,230,200 mm/min;其线能量分别为1.094,0.904,1.040 kJ/mm。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,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堆焊焊条熔敷金属本身的性能。每一层堆焊完后需在空气中冷却约1 h后再进行下层的堆焊,以保证合适的层间温度(280~320 ℃)。

用线切割机在堆焊好的3个试样上各取1个10 mm×10 mm×20 mm金相试样。依次在80,200,400,600,800和1000号的金相砂纸上磨制,经机械抛光后用配制的氯化铁腐蚀剂(5 g FeCl₃+20 mL HCl+100 mL H₂O)腐蚀出堆焊层组织,并用Olympus-Tokyo型光学显微镜进行观察。

2 试验结果及分析

2.1 堆焊层显微组织

图1为45钢的显微组织,其中白色的是铁素体,其周围黑色部分是珠光体,虽晶粒较粗大但分布较均匀。

图2为堆焊金属空冷至室温后的显微组织,可

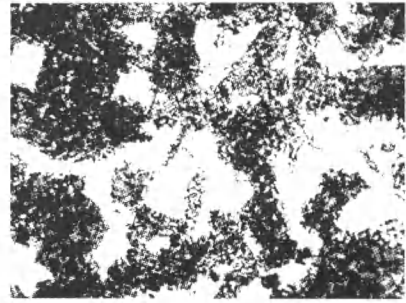
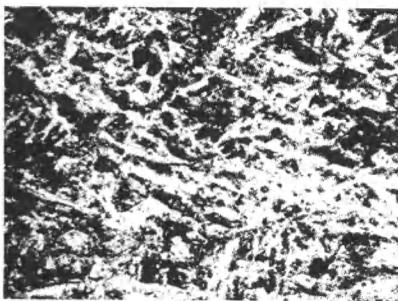
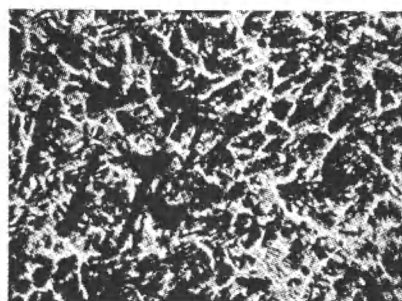


图1 基体材料45钢的显微组织 400×
Fig. 1 Microstructure of base metal 45 steel

见:试样1的第一层堆焊金属显微组织主要是马氏体和残余奥氏体,并有少量分布不均匀的碳化物析出;试样1的第三层堆焊金属的显微组织是以马氏体为基体,其上有贝氏体、残余奥氏体、弥散碳化物和少量的块状碳化物形成,晶粒较细小且分布均匀。试样2的第一层堆焊金属显微组织是以针状马氏体为基体,其上较均匀地分布着网状残余奥氏体,另外有少量碳化物的析出;试样2的第三层堆焊金属显微组织主要为黑色团状马氏体,白色网状组织为残余奥氏体,并有少量黑色碳化物出现,各种组织分布较均匀。试样3的第一层堆焊金属的显微组织是以板条状马氏体为基体,其上分布着残余奥氏体;试样3的第三层堆焊金属显微组织主要是马氏体和残余奥氏体,晶间有共晶莱氏体析出^[3-5]。



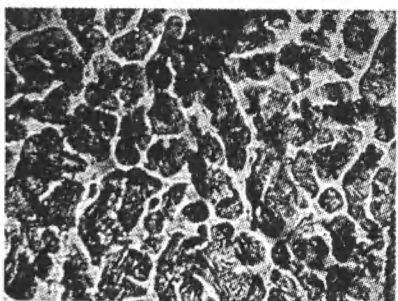
(a) 试样1第一层



(b) 试样1第三层



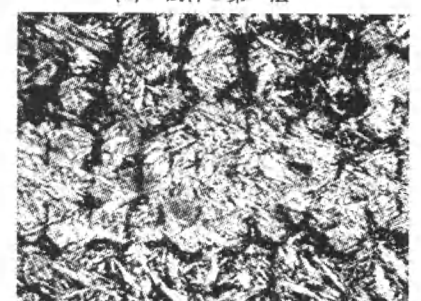
(c) 试样2第一层



(d) 试样2第三层



(e) 试样3第一层



(f) 试样3第三层

图2 堆焊层金属显微组织 800×

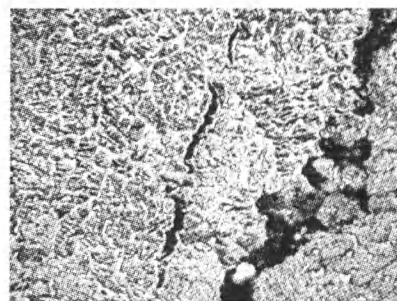
Fig. 2 Microstructure of deposited metal 800×

由图2可见,用不同的焊条堆焊一层之后得到的堆焊层金属显微组织与基体材料的明显不同,已具有熔敷金属的特征,即均形成了以马氏体为基体的显微组织。虽然手工电弧堆焊的熔合比大,稀释率高,但其升温速率快且在高温停留时间短,使得母材中的铁素体熔化后并未得到充分扩散而形成残余奥氏体分布在堆焊金属中。所以第一层堆焊金属显微组织虽受到母材稀释的影响,但仍具有熔敷金属的基本特征。堆焊第二层金属后,母材对熔敷金属的稀释影响进一步减小,第三层堆焊金属就基本不受基体材料稀释的影响,从而能够充分体现熔敷金属的性能。由图2b、d、f可见,第三层堆焊金属都含有大量的马氏体组织,主要是因为焊条中的合金元素铬、钼、钒、锰影响了马氏体转变开始温度 M_s ,使过冷奥氏体稳定性增强,还提高了淬透性,并且焊后冷却速率较快,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以看到,第三层堆焊金属中的马氏体更加细小且分布更加均匀,并且碳化物硬质相的数量也比第一层多,这将使得第三层堆焊金属硬度得到提高,在一定程度上使堆焊金属的耐磨性增强。

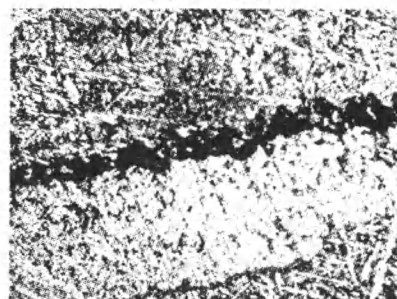
2.2 合金元素对显微组织的影响

由图2可见,第三层堆焊金属晶粒大小差别明显,试样1最细小,试样2次之,而试样3相对较粗大。这主要是由于堆焊焊条的合金元素及含量不同所致:(1)试样1所用焊条中钒的质量分数是试样2的5倍,而钒是强碳化物形成元素,易于和碳形成颗粒细小的VC,它是堆焊层中理想的硬质相;(2)3个试样所用焊条中均含有铬,其中试样2焊条的铬含量为试样1焊条的2倍,是试样3焊条的3倍,而随着铬含量的增加有利于形成抗磨的碳化物并细化晶粒,还能使堆焊合金具有较好的抗氧化性能;(3)试样1,2所用的焊条中含有钼元素,它可以细化晶粒,并降低回火脆性,而试样3焊条则含有锰元素,在一定程度上也能提高淬透性和细化晶粒。总之,由于试样1所用焊条中的合金成分更多,含量更高,所以试样1堆焊金属的晶粒最细小,而试样3的相对较粗大^[6-8]。

另外,在试样1,3的最外层堆焊金属中均发现了裂纹(图3)。这主要是由于:(1)在45钢表面堆焊两层金属之后其化学成分已经发生变化,即含有一定量的合金元素,所以在堆焊第三层时已经需要预热,虽然第二层堆焊完冷却1h之后仍有一定余



(a) 1号试样



(b) 3号试样

图3 堆焊层金属中的裂纹 400×

Fig. 3 Cracks in deposited metal 400×

热,但这个温度可能已经低于金属焊接所需的预热温度;(2)堆焊层金属组织比较脆硬,且有较多的硬质碳化物,分布不均匀而造成应力集中,在焊接后较快冷却速率的情况下会产生裂纹;(3)线能量的大小对裂纹的形成也有一定的影响,在堆焊试样1,3时的线能量均比没有出现裂纹的试样2的大。

3 结论

(1)手工电弧堆焊第一层金属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。

(2)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、性能及分布等有关。焊条中合金元素钼、钒对堆焊金属晶粒的细化作用效果明显。

(3)堆焊线能量较大时(本试验中 >1.04 kJ/mm)在第三层的熔敷金属中出现了裂纹。

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] 陈天佐,李泽高. 金属堆焊技术[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [3] 斯重遥. 焊接金相图谱[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [4] 姜锡山. 特殊钢金相图谱[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [5] 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.

(下转第34页)

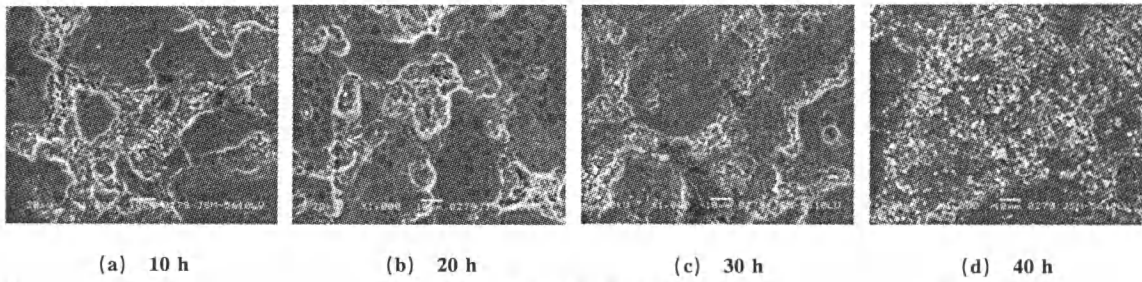


图4 不同粉末热压烧结后试样的SEM形貌

Fig. 4 SEM micrographs of TiAl-based alloys prepared by hot-pressing sintering for different times

子,细化了钛、铝反应组元的层片间距,缩短了反应扩散距离,抑制了 Kirkendall 孔隙^[9]的形成,从而提高了烧结体的致密度。

由于钛、铝粉末在反应合成过程中会伴随体积的大幅度膨胀,采用热压工艺可以限制膨胀,在压力的协助下有效消除孔隙。钛、铝粉末的热压烧结是一个集化学反应和力学变形于一体的复杂过程。当钛、铝混合粉末加热到铝的熔点或更高温度时,会发生剧烈的放热反应,在外力的作用下发生颗粒的位移和重排,可以消除压坯中残余的部分孔隙。但是由于钛、铝元素反应剧烈,持续时间短,铝的瞬时液相很快消失,在原来铝的颗粒位置上留下新的孔隙,因此颗粒重排的致密化阶段时间很短,在外压的持续作用下,由钛颗粒及反应物形成的骨架发生破碎和塑性变形,造成孔隙塌陷。此时,致密化程度主要与材料的屈服强度有关;随着温度升高,材料屈服强度下降,密度大幅提高^[10]。

3 结论

(1) 在球磨过程中,随着球磨的进行,钛、铝粉末颗粒逐渐球化,粒度变小,粒度分布变窄,经 40 h 球磨后,未观察到金属间化合物的形成。

(2) 热压烧结制备的 TiAl 基合金的主要相组成是 TiAl 和 Ti₃Al;合金的显微组织主要由钛、铝粉末反应后的基体相和散布在基体相中的颗粒状物质(1~3 μm)组成;球磨时间越长的粉末原料所制备的合金晶粒越细、分布越均匀。

(3) 以球磨 40 h 的钛、铝粉末为原料,经 1 300

℃热压烧结 1 h,可获得密度高达 3.971 g/cm³ 的 TiAl 基合金。

参考文献:

- [1] Kim Y W. Ordered intermetallic alloys, part III: gamma titanium aluminides[J]. JOM, 1994(7):30-39.
- [2] Lee T K, Mosunov E I, Hwang S K. Consolidation of a gamma TiAl-Mn-Mo alloy by elemental powder metallurgy[J]. Materials Science & Engineering, 1997(4):128-131.
- [3] Hsiung L M, Nieh T G. Microstructures and properties of powder metallurgy TiAl alloys[J]. Materials Science & Engineering, 2004, A364:1-10.
- [4] Hoo N, Goodwin P S, Brydson R M, et al. Microstructural control in a gamma-TiAl alloy by MA and HIPING[J]. Trade & Industry, 1996, 48(7):40-42.
- [5] 王尔德,胡连喜,李小明. 高能球磨 Ti/Al 复合粉体的反应烧结致密行为[J]. 粉末冶金技术, 2003, 21(5):259-263.
- [6] Dutkiewicz J, Maziarz W, Heinrich H, et al. Structure of Ti-Al-Nb intermetallics produced by mechanical alloying and hot-pressing techniques[J]. Materials Chemistry and Physics, 2003 (81):414-416.
- [7] Kim Y W. Wrought TiAl Alloy Design[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 1999, 9(suppl. 1):298-308.
- [8] Prajina B, Pascal B. Nanocrystalline TiAl powders synthesized by high-energy ball milling: effect of milling parameters on yield and contamination[J]. Alloys and Compounds, 2004, 368:187-196.
- [9] Bohm A, Kidback B. Investigation of swelling behaviour of Ti-Al elemental powder mixtures during reaction sintering[J]. Z Metallkd, 1998, 89(2):90-94.
- [10] Wu Y, Hwang S K, Morris J W, et al. Development and elemental powder metallurgy of a Y-containing two-phase TiAl alloy[J]. Metall Trans, 2003, 34A(10):2077-2087.

(上接第 31 页)

- [6] 中国工程学会焊接学会. 焊接手册, 第 2 卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [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] 张清辉. 耐磨堆焊中的两重性[J]. 焊接技术, 2003, 32(4):43-45.