

## 加热时间对高频感应熔覆 Ni45B 合金涂层的影响

刘方强, 林晨, 陶洪伟, 赵兵伟

(青岛理工大学, 青岛 266033)

**[摘要]** 采用高频感应熔覆的方法,制备了两种熔覆加热时间不同的 Ni45B 合金涂层,并分析了涂层的显微组织结构和主要成分。结果表明:延长加热时间,可以增强涂层元素与基体元素的相互扩散,使过渡层宽度增加,还可以使涂层中各种元素的分布更加均匀;加热时间短的涂层中分布着大量白斑,这是铬元素在涂层中发生聚集而形成的,随着加热时间的延长,铬元素均匀地分散到涂层中,白斑消失;加热时间长的涂层,由于杂质和气泡有充足的时间上浮,因此缺陷明显较少。

**[关键词]** 高频感应; 熔覆加热时间; Ni45B 自熔合金; 涂层

**[中图分类号]** TG174.45

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1001-3660(2013)01-0014-03

## The Effect of Heating Time on the High-frequency Induction Cladded Ni45B Alloy Coating

LIU Fang-qiang, LIN Chen, TAO Hong-wei, ZHAO Bing-wei

(Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

**[Abstract]** Two kinds of Ni45B alloy coatings were prepared by high frequency induction cladding in case of different cladding heating time. The microstructure and main ingredient of the coating were observed. The results show that when the heating time increases, mutual diffusion of elements will be increased, so that the buffer layer width increases and the distribution of the various elements in the coating is more uniform. There are a lot of white spots in the coating when the heating time is short, this is due to the aggregation of the chromium elements in the coating. Along with the extension of the heating time, the chromium elements disperse in the coating uniformly and the white spots disappear. The coating with long heating time has a long time in melt state, which make it have enough time to separate the impurity and bubble, so the defects in the coating reduces significantly.

**[Key words]** high-frequency induction; cladding heating time; self-fusing alloy powder Ni45B; coating

高频感应熔覆是一种比较经济的高密度能量表面改性技术,它利用高频感应在工件中形成封闭且数值很高的涡流,产生的热能将涂覆于基体表面的自熔性合金粉末加热,使之达到熔融状态,从而获得与基体呈冶金结合且具有优良耐磨性、耐腐蚀性等的表面功能涂层<sup>[1-4]</sup>。文中主要研究加热时间对熔覆效果的影响。高频感应熔覆的主要特点是加热速度快,在圆柱型基体上制备涂层时,为防止合金粉末熔融后流动,通常刚刚熔融就要立刻停止加热。文中是在平板上制备涂层,合金粉末熔融后在平面上不会流动,延长加热时间不会影响涂层表面的平整性。

## 1 试验

### 1.1 涂层制备

基体试样为 15 mm×15 mm×30 mm 的 Q235-A 钢。熔覆涂层材料为 Ni45B 自熔性合金粉末,其粒度为 48 ~ 106  $\mu\text{m}$ ,化学成分(以质量分数计)如下: C 0.3% ~ 0.6%, Cr 11% ~ 15%, B 2% ~ 3%, Si 2% ~ 3.5%, Fe  $\leq$  5%,余量为 Ni。粘结剂为松节油与松香的饱和溶液。

用砂纸将基体表面打磨干净,并用无水乙醇清洗,以去除表面的氧化膜和油污。将粘结剂与 Ni45B 粉末混合制成膏状物,均匀涂覆在 Q235-A 钢基体上,厚度

**[收稿日期]** 2012-10-26; **[修回日期]** 2012-12-01

**[作者简介]** 刘方强(1984—),男,山东青岛人,硕士生,主攻高频感应加热熔覆涂层。

**[通信作者]** 林晨(1962—),男,江西南昌人,博士,教授,主要研究方向为材料疲劳强度和表面涂层性能。

1.5 ~ 1.8 mm。将试样放入 DF206 电热干燥箱内加热烘干,加热温度为 100 ℃,保温 8 h。加热的目的是使粘结剂中的水分蒸发,同时预热试件,使涂层磁性消失,从而使得高频感应熔覆时,电阻率在涡流加热中起主导作用<sup>[5]</sup>。

高频感应熔覆设备型号为 LH-60。实验中采用了两种熔覆方法:第一种是,将预热好的试样放入自制真空箱中,打开真空泵抽真空至 50 Pa 以下,启动高频感应加热设备,缓慢将电流从 400 A 升到 1600 A(大约 20 s),当合金全部熔融时,将电流缓慢降低至 400 A(大约 10 s),然后停机,待试样冷却后取出;第二种与第一种步骤基本一致,只是在合金全部熔融后,增加一个“保温 10 s”的步骤。

## 1.2 测试方法

用 S-3500N 型扫描电子显微镜(SEM)观察涂层及其与基体结合处的微观组织,观察涂层与基体是否形成了牢固的冶金结合,涂层中是否存在裂纹及缺陷,以分析加热时间对涂层的影响。

用 NORAN System SIX 型 X 射线能谱仪测定涂层中不同深度处的化学成分,以分析加热时间对涂层与基体间各元素扩散量的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 显微组织分析

两种试样涂层与基体结合处的微观组织如图 1 所示,图中下部为基体,上部为 Ni45B 合金涂层,中间是过渡层。在加热过程中,由于电磁感应的集肤效应,基体与涂层的结合面加热速度最快,温度最高,基体界面被熔融的涂层合金浸润时,基体表面薄层中的一些 Fe、C 原子被激活,脱离基体点阵进入涂层,并在液态合金中加速扩散,迅速地改变了固溶区的成分。因此认为,固溶区是涂层合金中的 Ni、B、Si 和 Cr 溶入基体高温奥氏体  $\gamma$  相中,使  $\gamma$  相强烈合金化,稳定性提高,在随后的快速冷却中, $\gamma$  相被保留下来,从而形成的一

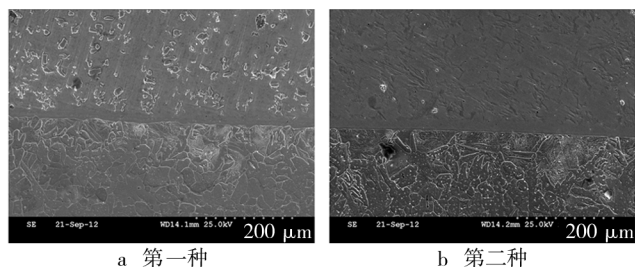


图 1 两种熔覆方法所得试样的过渡层

Fig. 1 Undue region between coating and steel of the samples obtained by two kinds of cladding

种固相扩散产物<sup>[6]</sup>。这种固相扩散产物组织致密,有极高的耐腐蚀性,腐蚀后在显微镜下仍然很光亮,通常成为“亮带”,但在使用扫描电子显微镜观察时,光亮均匀的物体显示为黑色,所以照片中为黑色带状。图 1a 中,因为涂层中存在白斑,可以明显看到带状的过渡层;图 1b 中,涂层组织比较均匀,隐约可见涂层中的斑纹及涂层与基体之间的黑带。此外,由于加热时间长,元素有更多的时间进行扩散,图 1b 中的过渡层要比图 1a 中的宽。

两种试样的涂层微观组织如图 2 所示。可以看出,两种涂层中都没有贯通裂纹,缺陷也比较少,只存在少量圆形气孔。气孔的形成,一方面是由于熔覆金属颗粒之间存在一定的间隙,高温加热时,液态 Ni 基合金不能及时补充;另一方面,残留气体的上浮速度小于液态合金的凝固速度,使得残留气体留在了涂层中。图 2a 中分布着大量的白斑,这是由合金中的 Cr 元素聚集在一起形成的,是一种 Cr 质量分数超过 90% 的铬基化合物。图 2b 中则没有这种白斑,这是由于加热时间延长,合金在熔融状态时,Cr 和 Ni 元素的流动性很大,形成了分布均匀的涂层。第二种涂层比第一种有更高的致密性,还因为第二种试样加热时间长,涂层中的杂质、气泡有更多的时间上浮。

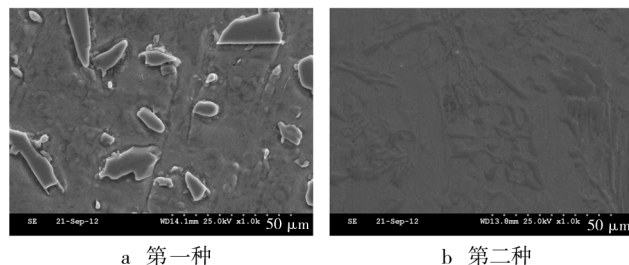


图 2 两种熔覆方法所得试样的组织形貌

Fig. 2 Microstructure of the samples obtained by two kinds of cladding

### 2.2 涂层成分分析

测定涂层中的化学成分时,为了比较过渡层、涂层、基体中化学组成的不同,从过渡层开始向涂层方向采 3 个点,每两个点的距离保持一致,再在基体上采一个点。采点的位置如图 3 所示,测定结果见表 1。

从表 1 数据可以看出,过渡层(位置 1)中含有 Si、Cr、Fe、Ni 等元素,是由基体中的 Fe 元素与涂层合金中的 Si、Cr、Ni 等元素相互扩散而形成。基体(位置 4)中 Fe 的质量分数为 93% 左右,从过渡层到涂层,Fe 的含量呈递减趋势。这是因为感应涡流在基体表面产生的热量最多,温度最高,所以此处的元素扩散最多。对比两种试样的 Fe 元素含量,可以明显看到第二种涂层中的 Fe 元素含量明显增加。这是因为高频感应熔覆靠基体和涂层的共同电磁感应加热而使熔覆材料熔化,

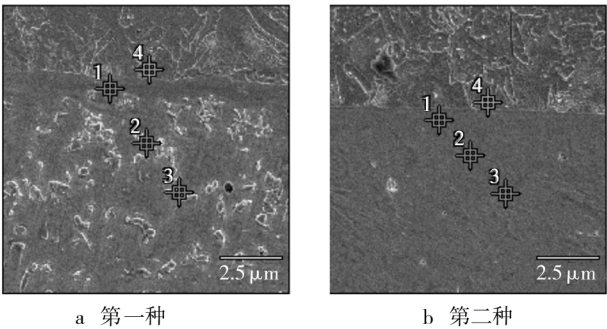


图3 两种熔覆方法所得试样的测量位置  
Fig.3 Measuring position of the samples obtained  
by two kinds of cladding

表1 化学成分测定结果

Tab.1 The determination results of  
chemical composition

试样	位置	质量分数/%				
		O	Si	Cr	Fe	Ni
第一种	1		2.44	3.97	22.49	64.84
	2		0.94	70.26	12.18	15.45
	3		0.84	40.81	10.98	39.01
	4	2.24			93.98	
第二种	1		1.57	4.62	55.73	34.15
	2		1.11	4.96	55.20	34.99
	3		2.26	3.92	48.07	43.08
	4	2.56			92.83	

存在的电磁力作用使液态熔覆材料对流,这种对流增加了元素的扩散速度,加之加热时间延长了10 s,因此扩散到涂层中的Fe元素大大增多。对比两种试样的Cr和Ni元素,第一种试样的两种元素分布很不均匀,位置2在一个亮斑上,所以Cr的含量非常高;第二种试样的两种元素分布非常均匀,从过渡层到涂层,Ni元素含量呈增长趋势。

3 结论

1) 在真空条件下,通过高频感应熔覆技术,得到了表面光滑,内部没有裂纹而只有很少缺陷的高质量Ni45B合金涂层。涂层与基体间存在致密、均匀的过渡层,过渡层腐蚀以后仍然十分光亮,说明其耐腐蚀性能很好。加热时间延长,过渡层的宽度增加。

2) 熔覆加热时间短时,涂层中分布着很多富Cr的白斑;熔覆加热时间延长后,所得涂层中没有白斑出现,Cr和Ni的分布非常均匀。  
3) X射线能谱分析表明,从基体到涂层,Fe元素不断减少,Ni和Cr元素不断增多。加热时间延长,扩散到涂层中的Fe元素随之增多。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 张增志,牛俊杰,付跃文. 感应熔覆镍基合金粉末涂层工艺和性能研究[J]. 材料热处理学报,2004,25(2): 31—34.  
[2] 王振廷,孟君晟,陈丽,等. 感应熔覆原位合成自生TiC/Ni基复合涂层组织和形成机理[J]. 材料热处理学报,2007,28(6):99—103.  
[3] 王继东. 铁基电弧喷涂铝层的高频感应重熔工艺[J]. 电镀与精饰,2005,27(3):15—18.  
[4] 林化春,丁润刚. 镍基合金-碳化铬复合涂层固体界面的结合问题[J]. 钢铁研究学报,1996,8(1):33—36.  
[5] 韩桂泉,周品,胡喜兰,等. 感应熔覆镍基合金粉末涂层研究[J]. 润滑与密封,2006(1):75—80.  
[6] 朱润生. 自熔合金涂层高频感应重熔工艺技术研究[J]. 粉末冶金工业,2001,11(4):12—17.