# Fe-Cr-Ti-Nb-V-C 系堆焊层的组织及耐磨性研究

# 张元彬<sup>1,2</sup>,史耀武<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学 材料学院,北京 100022; 2. 山东建筑大学 材料学院,济南 250101)

摘要:设计了 Fe-Cr-Ti-Nb-V-C 系堆焊层金属,并与 Fe-Cr-W-Mo-C 系进行对比,利用扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)分析了堆焊层的组织,利用 MM200 型磨损试验机进行耐磨性对比,通过磨损面形貌观察,探讨了磨损机理。结果表明,由于形成弥散的 MC 型碳化物第二相及强韧的基体,Fe-Cr-Ti-Nb-V-C 系堆焊层金属具有良好的耐磨性。

关键词: 堆焊;组织; 耐磨性; 碳化物

中图分类号:TG455 文献标识码:A

文章编号:1007-9289(2006)04-0040-03

## Microstructure and Wear Resistance of Welding Surfacing Layer of Fe-Cr-Ti-Nb-V-C Alloy System

ZHANG Yuan-bin<sup>1,2</sup>, SHI Yao-wu<sup>1</sup>

(1. Materials Scinence and Engineering School, Beijing University of Technology, Beijing 100022 China; 2. Materials Scinence and Engineering School, Shandong Architecture University, Jinan 250101 China)

**Abstract:** A welding surface layer of Fe-Cr-Ti-Nb-V-C alloy system was designed, and their microstructure and wear resistance were examined using SEM, TEM and MM200 wear testing machine respectively. Based on the morphologies of wear surface, the wear mechanism was analyzed. It was indicated that the welding deposited metal of Fe-Cr-Ti-Nb-V-C alloy system showed good wear resistance due to the formation of dispersed MC type carbides and tough low carbon martensite matrix.

Key words: surface welding; microstructure; wear resistance; carbide

#### 0 引 言

表面磨损是工程零部件常见的一种失效形式, 为延长零部件使用寿命,常采用表面强化措施提高 其表面耐磨性,堆焊技术是一种在实际工业生产中 得到广泛应用的表面强化方法<sup>[1]</sup>。

一般来说,堆焊金属的硬度越高,耐磨性越好,但硬度高低只能粗略估计材料的耐磨性,耐磨性的好坏主要取决于堆焊金属的成分、组织。含碳及碳化物形成元素高的堆焊合金耐磨性最好<sup>[2]</sup>,其中Fe-Cr-C系合金是一种广泛应用的堆焊合金<sup>[3]</sup>,通过形成Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>碳化物来提高堆焊金属的耐磨性。但是高的含Cr量对焊工健康不利,且其碳化物易沿晶界网状分布,为此,用形成颗粒碳化物的元素部分取代Cr是有效的解决方法<sup>[2]</sup>,常用的有Ti、V、Mo等碳化物形成元素。

文中设计了几种 Fe-Cr-Ti-Nb-V-C 系的堆焊

收稿日期:2006-03-24;修回日期:2006-05-22

作者简介:张元彬(1970-),男(汉),山东济南人,副教授,博士。

合金,并与国内外典型的两种堆焊金属进行对比, 分析了堆焊金属的组织特点及耐磨性。

## 1 试验材料及方法

堆焊金属通过焊条电弧焊方法获得,采用的焊条分别为自行设计的1#、2#焊条,以及国内的D317和美国的MG700焊条。

利用 JXA-840 扫描电镜进行组织观察, H-800 型透射电镜(TEM)进行精细结构分析。

洛氏硬度利用 HR-150D 型洛氏硬度计测试, 每个试样测 5 点,取平均值。

磨损在 MM200 型磨损试验机上进行,磨轮采用高速钢 W18Cr4V 标准磨轮,对试样施加 100~N 的载荷,磨轮转速为 400~r/min,磨损时间为 1~h。

用 JC10 型读数显微镜测磨痕宽度 ,JXA840 扫描电镜观察磨损表面形貌。

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 堆焊金属成分

4 种堆焊金属都是高碳合金钢型,其成分见表 1。1#、2#堆焊金属中碳化物元素主要是 Ti、Nb、V、Cr,而 D317 和 MG700 堆焊金属中主要碳化物元素为 V、Cr、W、Mo。Ti、Nb、V 为强碳化物形成元素,更有利于弥散型碳化物的形成。

### 2.2 堆焊金属的组织特点

由图 1 堆焊金属SEM形貌可以看出,1#、2#堆焊金属中形成了大量颗粒状碳化物,前期对颗粒的电子探针分析及选区电子衍射分析表明,颗粒碳化物主要为(Ti,Nb,V)C,大量碳化物的形成降低了基体中的碳及合金元素含量,基体组织转变为低碳马氏体<sup>[4]</sup>。1#堆焊金属中碳化物颗粒数量多,但由于合金比例不合适,颗粒大小不均匀,存在形状规则的大颗粒碳化物,这种棱角尖锐的颗粒易于脱落;而 2#中颗粒大小均匀且颗粒圆整。D317、MG700堆焊金属中颗粒碳化物很少,主要是Cr、W、Mo的网状碳化物,特别是MG700更加明显,见图 1。由于Cr、W、Mo的碳化物形成倾向较弱,碳化物数量较少,大量的碳及合金元素固溶于基体,易促使基体转变为硬脆的高碳马氏体。

#### 2.3 堆焊金属硬度及耐磨性

4 种堆焊金属硬度及磨损试验后的磨痕宽度 见表 2。若以 MG700 堆焊金属为标准,定义其它试 样磨痕宽度与 MG700 堆焊金属磨痕宽度的比值为 相对耐磨性,用 表示,各堆焊金属的 值也列于表 2 中。可以看出,2#熔敷金属耐磨性最好,1#的耐 磨性最差。

通过对各试样磨损表面形貌进行观察发现,1# 熔敷金属磨损表面有大量细小颗粒及碎屑,看不出明显的划痕,而高放大倍数时发现如图 2(a)所示情况,硬质颗粒被压入基体,并推碾基体材料形成沟槽。其磨损机制可分析如下:熔敷金属

中含有大量的颗粒第二相,但基体硬度并不高,磨损时,首先由于粘着作用,基体材料与磨轮发生粘着,以碎片形式粘着到磨轮上,随后脱落后形成碎屑,造成基体材料的磨损;随着基体的磨损,第二相颗粒显露出来,但由于基体硬度、强度不足,且带棱角的碳化物易于脱落,脱落的碳化物被压入基体并对基体材料进行推碾,也就是说,脱落的碳化物颗粒充当了磨粒,造成了磨粒磨损,通过对基体材料的推碾、显微切削产生磨损碎屑,加速了材料的磨损。其耐磨性低的另一个原因是,熔敷金属中大颗粒第二相棱角尖锐,显微切削作用强,而小颗粒第二相密集,平均自由程小,对基体推碾形成微裂纹时易于使裂纹合并,从而造成磨屑,加速磨损。

2#熔敷金属中第二相数量也较多,但大小、分布均匀,且颗粒较圆整,基体硬度也较高,磨损过程中第二相显露出来后并不会被压入基体,基体足以支撑第二相而不被推碾,另外由于第二相与基体界面有一定的结合强度<sup>[5]</sup>,第二相颗粒也不易脱落,所以第二相颗粒钉扎在强硬的基体上起耐磨质点的作用,从而提高了材料的耐磨性。图 2(b)中的磨损面上磨痕浅而均匀,磨损后大量细小硬质点仍钉扎在基体上。

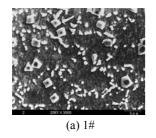
图 2(c)D317A 的堆焊金属磨损表面上堆积了大量磨屑,其原因是熔敷金属基体组织较脆,在摩擦、粘着过程中表面易于产生裂纹,裂纹扩展合并使大量碎屑脱落从而造成磨损。

MG700 堆焊金属硬度最高,并且组织中有大量 网状碳化物可以阻断碎屑对基体的划痕,所以磨损面 上划痕浅(图 2(c)),堆焊金属耐磨性较高。但由于 基体组织为高碳马氏体,含有大量的显微裂纹(见图 1),随着与磨轮的不断挤压、滑动,在疲劳应力作用 下裂纹扩展导致基体上大量碎屑的脱落(如图 2(d)中箭头所指),其耐磨性仍不理想。

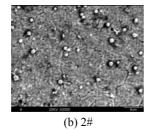
表 1 堆焊金属的成分(%)

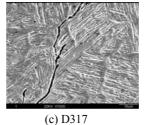
Table 1 Chemical composition of welding metal(mass percent, %)

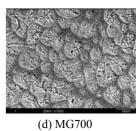
堆焊金属	С	Nb	Ti	V	Cr	Mo	W	Ni
1#	0.84	1.80	0.81	1.78	1.38	0.2		1.32
2#	0.97	1.18	0.64	2.18	1.43	0.2		1.3
D317	>0.7			1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	3.0 ~ 5.0	4.5 ~ 6.0	
MG700	0.89			1.16	3.77	6.44	1.83	0.09



42







2006年

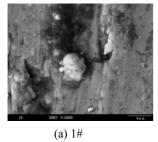
图 1 堆焊金属组织

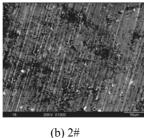
Fig.1 Microstructure of welding metal

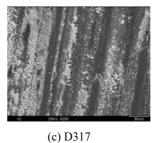
表 2 堆焊金属硬度(HRC)及磨痕宽度(mm)

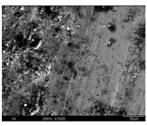
Table 2 Hardness (HRC) and wear track width of the welding metal (mm)

ì	式样	1#	2#	D317	MG700
硬度	₹/HRC	46	56	52	61
磨痕	夏/mm	5.22	3.68	4.65	4.11
		1.27	0.895	1.13	1









(d) MG700

图 2 熔敷金属磨损面形貌

Fig.2 Wear track morphology of welding metal

综上所述,2#堆焊金属耐磨性最好,与其强韧的基体组织及弥散分布的(Ti,Nb,V)C 型颗粒碳化物有关。MC 型碳化物,特别是 Nb、V 的碳化物比Cr 和 W 的碳化物更有利于提高耐磨性,细小的颗粒状碳化物与强韧的低碳马氏体能实现良好结合,磨损过程中不易脱落。

### 3 结 论

高碳的 Fe-Cr-Ti-Nb-V 系堆焊金属,经过精心的合金设计,获得弥散 MC 型碳化物及低碳马氏体基体组织,能够实现堆焊金属硬度、耐磨性的优化,耐磨性优于以 MG700 为代表的 Fe-Cr-W-Mo-C 系堆焊金属。

### 参考文献:

[1] 单际国,董祖珏,徐滨士.我国堆焊技术的发展及 其在基础工业中的应用现状[J].中国表面工程, 2002, 15(4): 19-22.

- [2] Suchanek J, Smrkovsky J, Blaskovic P, et al. Erosive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials [J]. Wear, 1999,233-235,229-236.
- [3] Chatterjee S, Pal T K. Wear behaviour of hardfacing deposits on cast iron [J]. Wear, 2003,(255):417-425.
- [4] Zhang Y.-B, Ren D.-Y. Distribution of strong carbide forming elements in hard facing weld metal [J]. Materials Science and Technology, 2003, 19(8):1029-1032.
- [5] 任登义, 王希保. Nb-Ti-V 系 Fe 基堆焊层中碳化物 与固溶体的界面研究 [J]. 山东大学学报, 2005, 35 (1): 4-8.

作者地址:济南市临港开发区凤鸣路

250101

山东建筑大学材料学院

Tel: 13854112137

E-mail: zhang yuanbin@163.com