

“金属布”硬质复合涂层的微观组织及性能^①

林晨光 楚建新 叶 军

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

摘 要 用X射线衍射仪、扫描电镜、摩擦磨损试验等,研究了粉末冶金“金属布”及其钢表面改性技术在钢表面制备的WC-Ni系合金复合涂层的微观组织和性能。结果表明:该合金涂层中硬质相的体积含量可大于60%;涂层的微观组织有两类:一种是在粘结相中均匀分布的碳化物与弥散分布的球状粘结相富集区构成的非均匀结构;另一种是碳化物和粘结相都均匀分布的均匀结构。碳化物分布区的硬度大于Hv 1076,粘结相富集区的硬度在Hv967~Hv 458之间。涂层与钢基体之间有几~几十微米的界面过渡区,形成剪切结合强度大于400 MPa的冶金结合。复合涂层的耐磨性明显优于调质T8工具钢。

关键词 复合涂层 微观组织 性能

摩擦磨损与腐蚀是各种机械设备中金属工件失效的主要形式,由此导致机械装置工作效率降低、工件维修更换频繁、产品质量降低、能源和材料消耗增加等所造成的经济损失是巨大的。故对金属磨损和耐磨耐蚀材料的研究一直受到国内外的广泛重视。

金属的摩擦磨损与腐蚀主要发生在工件的表面,因而对金属材料的表面进行优化改性比制造新材料有更大的潜力和效益。近年来,一种用粉末冶金方法将所需成份的粉末与成型剂经适当过程制成具有良好柔韧性的“金属布”(“布”的密度通常为理论密度的40%~70%),然后将“布”冲、剪、切成需涂复区域的形状并复合到各种形状钢基体表面的任意选定部位,经液相烧结处理使金属工件表面获得所需耐磨、耐蚀性能而内部保持良好韧性的技术悄然兴起。由于这种合金复合涂层与基体形成完全的冶金结合、涂层孔隙率低、表面平整性好、工艺过程无噪音和粉尘污染以及原材料综合利用率几乎为100%,在国民经济各部门有广阔的应用前景。本文仅对用该技术在钢表面形成的WC-Ni系合金复合涂层及其与钢结合界面

附近的微观组织结构及性能进行了分析和讨论。

1 实验方法

用精密平面磨床将复合在钢表面1.0~1.5 mm的合金涂层磨去0.3 mm后,用APD-10型全自动X射线衍射仪测相组成。将涂层样品的横截面抛光,用JSM-840型扫描电镜(配备视频图象分析系统和TN5500型能谱仪)观察分析合金涂层的微观组织结构及涂层与钢连接界面的成份分布。用MXT-50C型显微维氏硬度计测定样品中各相区的显微硬度。将涂层样品垂直于涂层面线切割并磨光成 d 5 mm×6 mm的圆柱,用工具显微镜测定界面位置后在岛津IS-5000材料试验机上按HB5148-80标准测定涂层与钢基体的室温剪切结合强度。为与硬度HRC55的调质T8工具钢进行耐磨性对比试验,在MM200型磨损试验机上按GB12444.1-91标准测定油润滑状态下的环块式滑动磨损性能;在MLS-23型湿砂橡胶轮磨损试验机上测定耐磨料磨损性能。

^① 收稿日期:1995-02-01;修回日期:1995-05-02

2 实验结果

2.1 合金涂层的物相组成

用 X 射线衍射仪对合金涂层进行相分析的结果如表 1 所示。

表 1 合金涂层的相组成	
样品编号	相组成
WNH~WNF	γ -Ni, WC, Ni ₃ B, CrB, Cr ₂₃ C ₆
WNE~WNB	γ -Ni, WC, Cr ₂₃ C ₆ , M ₆ C

表 1 样品中的硬质相含量由 WNH 至 WNB 增加,使其中的 Ni₃B、CrB 相减少以至消失而出现少量 M₆C 碳化物相。在涂层中未发现 W₂C 相。45# 普通碳素钢、40Cr 低合金钢、1Cr18Ni9Ti 不锈钢不同成份的钢基体对涂层的相结构没有影响。

2.2 合金涂层的微观组织结构

扫描电镜分析发现 WNH~WNF 合金复合涂层的微观组织为非均匀结构,即涂层中的镍粘结相除将白色细小的 WC 等碳化物颗粒粘结在一起形成硬质相均匀分布区外,还以弥散均匀分布的灰色球状镍池的形式存在。Ni 池中往往有从含 W、Cr 的 γ -Ni 中析出的块状、条状 WC、Cr₂₃C₆、Ni₃B、CrB 等析出相(图 1a);而 WNE~WNB 样品中的 γ -Ni 粘结相较均匀地分布在 WC 等碳化物硬质相之间,形成均匀结构(图 1b)。

用 SEM 视屏图象分析系统,对较高碳化物含量的合金涂层中随机选取的三个视场中 γ -Ni 的面积百分比进行统计分析,结果列入表 2。

表 2 合金涂层中 γ -Ni 的面积百分比	
样品编号	平均面积百分比/%
WND	38.8
WNC-1	39.7
WNC-2	35.1
WNC-3	33.8
WNB	32.9

分析数据表明涂层中的硬质耐磨相占 60% 以上。

观察不难看到合金复合涂层相当致密,孔隙率一般小于 1.0%,且孔隙的尺寸为微米数量级。涂层与钢基体则由于扩散作用形成了几~几十微米的界面过渡区。能谱分析显示该过渡区为 Ni 含量较高并含 W、Cr 的铁镍互扩散带。对界面附近区域 W、Ni、Fe、Cr 四元素的浓度分布线扫描和能谱定点成份分析证实:在适当的工艺条件下,钢基体中的铁元素对复合涂层中成份的稀释作用较小(图 2)。

2.3 合金涂层的硬度

合金涂层样品中各相的显微维氏硬度列于表 3。表中数据为 3 点以上测量结果的平均值。

硬度测定结果显示:涂层中碳化物分布区的硬度都在 Hv 1076 以上,而粘结相的硬度随 WC 含量增加从 Hv 967 逐渐降低至 Hv 458。

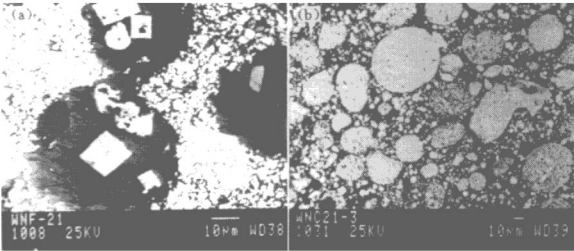


图 1 合金涂层的微观组织

其原因是，在其它工艺参数不变的条件下，涂层中碳化物的增加使烧结温度相应提高，扩散加剧引起成份变化、晶粒长大。

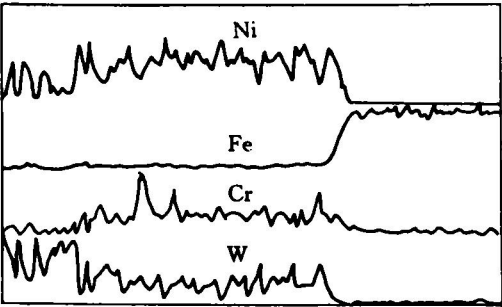


图2 WNE合金涂层与钢基体界面成份分布

表3 合金涂层的显微硬度（载荷：2 N）

样品编号	硬度 Hv				
	粘结相	碳化物弥散区	WC团聚区	界面过渡区	钢基体
WNJ	967	1 090	—	—	—
WNH	757	1 170	—	—	—
WNF	672	1 291	—	397	226
WNE	669	1 147	1 324	310	243
WND	533	1 198	1 388	—	—
WNC	468	1 084	1 304	—	—
WNB	458	1 076	1 413	—	—

2.4 合金涂层与基体的结合强度

用剪切试验测定的合金涂层与基体的结合强度见表4。

表4 合金涂层与基体的剪切结合强度

样品编号	剪切强度/MPa
WND-1	420
WND-2	445
WND-3	415
母材钢	530

从宏观断口形貌看涂层试样界面断口较平直，无明显塑性变形，有的在钢基体一侧的边缘处留有合金涂层的残余；母材钢则为有明显塑性变形和细小凹凸的纤维状断口。

2.5 摩擦磨损试验

湿砂磨料磨损试验在常规试验条件下进

行：试样尺寸为26 mm×57 mm×7 mm，供磨损试验的面是26 mm×57 mm。经金刚石砂轮磨平后的涂层厚度为1 mm。磨料选用广东新会40~70目边角尖锐石英砂(Hv:900~1 100)，砂浆比：砂1.5 kg，水1.0 kg；橡胶轮：直径177 mm，厚度12.80 mm，硬度为邵尔60度；主轴转速：240 r/min；接触正压力：68.6 N；磨程：预磨1 000 r，正式磨2 000 r。试验结果如图3所示，表中数据为3个样品测量结果的平均值。

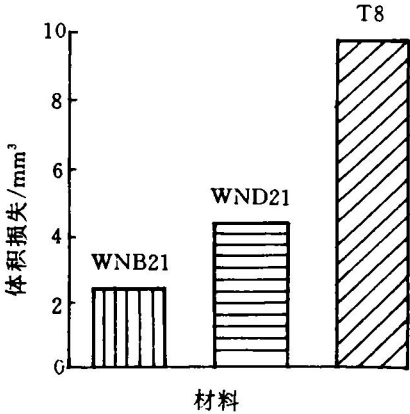


图3 湿砂磨料磨损试验结果

试验结果表明，合金复合涂层与调质T8工具钢的相对耐磨性ε为2~4。磨损实验后，试验所用有尖锐棱角的高硬度石英砂磨料在T8钢表面形成明显的沟槽和犁沟；WND涂层表面未形成沟槽但可观察到由于显微切削作用而形成的划痕；在WNB涂层表面只形成麻点。

边界润滑状态下的环块式滑动磨损试验在大气条件下进行：对磨材料作环；磨光后的涂层试块尺寸为7 mm×7 mm×20 mm，涂层厚度为1 mm。供磨损试验的面是7 mm×20 mm。磨轮尺寸为d 48 mm×10 mm，硬度HRC65。载荷：500 N；磨轮转速：200 r/min；时间：400 min；磨程：12 064 m。润滑状态：5滴/min 20# 机油。

试验结果(见图4)表明，合金复合涂层与调质T8工具钢的相对耐磨性ε为8~22。试验

后在 T8 钢与磨轮接触处形成表面光亮的凹槽。而 WNH 和 WND 涂层试样仅将表面的砂轮磨痕不同程度地磨光, 磨损轻微。

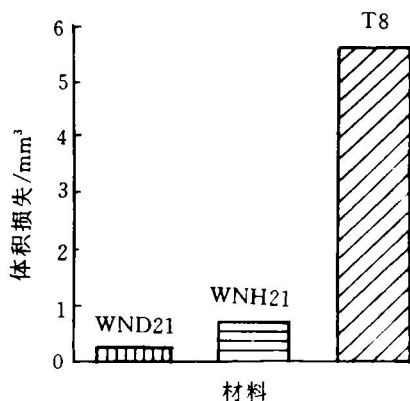


图4 粘着磨损试验结果

3 讨论

综合微观组织结构观察和界面剪切结合强度实验结果, 表明用“金属布”技术制备的致密表面合金涂层与钢基体有良好界面并形成牢固的冶金结合。这是由于用“金属布”技术进行表面涂层过程中的各工艺参数易于控制; 涂层与基体、涂层中的粉末颗粒之间有很好的相容性并可充分地相互作用, 特别是硬质相颗粒(WC 、 $Cr_{23}C_6$...)可被 Ni 基合金粘结相完全润湿, 并通过溶解、析出过程实现液相烧结。WNF 样品中 Ni 池中析出的 WC 和 $Cr_{23}C_6$ 块状颗粒和 WNC 样品中的 M_6C 相就是这一过程的产物^[1]。而用粉末冶金方法制造的“金属布”孔隙率较高(30%~60%), 仅当液相烧结过程中涂层与基体浸润性良好的液相使原子容易迁移、扩散, 加上涂层与基体间存在很大的合金元素浓度梯度, 因而会在涂层与基体间产生较多的表面扩散和短路扩散通道, 并进行液-固相扩散互溶, 在复合涂层与基体界面间形成过渡层。这一过程人为可控。因此在适当工艺条件下, 钢基体与涂层既可形成良好冶金结合, 又可使基体中铁元素对涂层中合金成份的稀释率较小。

镍基合金粘结相本身就有较高的硬度和抗磨耐蚀性, 加入硬质相后使合金复合涂层得到强化、硬化, 具有高耐磨和抗蚀性兼备的特点, 很有开发价值。

研制的合金涂层中硬质相的体积含量可大于 60%。其微观组织有两类: 一种是在粘结相中均匀分布的碳化物与弥散分布的球状粘结相富集区构成的非均匀结构; 另一种是碳化物和粘结相都均匀分布的均匀结构。硬度测量表明: 碳化物分布区的硬度大于 $Hv\ 1076$, 粘结相富集区的硬度随烧结温度的升高由 $Hv\ 967$ 逐渐降低至 $Hv\ 458$ 。据报道, 非均匀结构的合金组织中即使产生裂纹, 裂纹的扩展也会受弥散分布的粘结相富集区的抑制, 因而具有优良的耐冲击性而不影响耐磨性^[2]。而均匀结构中弥散分布的硬质相和粘结合金涂层的硬度高且均匀, 有利于提高涂层的耐磨性。

材料的耐磨性并非其固有属性, 而是与一定的运动条件下的整个摩擦磨损系统有关的特性。但在给定外界条件下, 决定材料磨损特性的还是材料本身的成份与微观结构。由表 2 定量相分析得知 WND 和 WNB 合金涂层中硬质相的百分含量相差不多, 且 WND 在较苛刻的滑动摩擦状态下显示出高的耐磨性, 但在湿砂磨料磨损下, 涂层抵御砂粒对其表面的刨、切、凿的能力不足。其原因在于 WND 合金涂层中硬质耐磨相较细小弥散, 这在滑动磨损时使因应力集中而产生的裂纹形核较困难, 有利于提高耐滑动磨损能力。然而在磨料磨损试验使用的是颗粒较粗大、边角尖锐、硬度高的石英砂。在这种工况下, 磨料形成较大的刻痕或沟槽, 以至在磨料产生的粗大刻痕深达几个晶粒尺寸时, 在一次滑动通过时即可将那些小碳化物颗粒“犁出”表面, 造成磨损。而硬质耐磨相较粗大的 WNB 合金涂层在经受同样磨料磨损条件时, 则需作较大的功将其“犁出”或经多次滑动通过才能将硬质耐磨相破碎使其剥落造成磨损, 因而明显提高了耐磨料磨损性能。

硬度测量和对磨损实验后涂层表面形貌分析结果表明: 在磨料磨损条件下, 石英砂磨料

的硬度比硬质相分布区软,但比镍粘结相基体高。涂层材料的损失主要是通过石英砂颗粒在表面擦伤、磨蚀硬质相周围较软的基体,最终使硬质相剥落而发生的。因此在采取强化粘结相的措施后,可使复合涂层的相对耐磨性 ϵ 提高至20。

4 结论

(1) 用“金属布”涂层技术可制备致密的WC-Ni系合金复合涂层。

(2) 复合涂层的微观组织有两种类型:一种是镍粘结的碳化物分布区和弥散分布的镍池组成的非均匀结构;另一种是碳化物和镍粘结相都均匀分布的均匀结构。

(3) 涂层与钢基体通过富镍的铁镍合金互扩散区形成牢固的冶金结合。在适当的工艺条件下,基体对涂层合金成份的稀释率较低。

(4) WC-Ni系合金复合涂层的耐磨性明显优于硬度为HRC55的调质T8工具钢:在湿砂磨料磨损条件下的相对耐磨性 ϵ 为2~20;在边界润滑环块式滑动摩擦磨损条件下的相对耐磨性 ϵ 为8~22。该涂层可用于有高耐磨要求的金属表面改性。

参考文献

- 1 魏 军. 清华大学学报, 1991: 31(5): 18.
- 2 邹序枚. 稀有金属与硬质合金, 1992: (1): 41.

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF “POWDERED ALLOY SHEET” HARD COATING

Lin Chenguang, Chu Jianxin, Ye Jun

General Research Institute for Non-ferrous Metals, Beijing 100088

ABSTRACT The microstructure and properties of WC-Ni alloy composite coating manufactured by “Powdered Alloy Sheet” and corresponding steel surface hardening technology were studied by XRD, SEM, wear-resistance or abrasion resistance test etc. It is found that the volume percentage of hard phase can be more than 60% in the cladding material. Two type microstructures exist in the surface coating: one is that tungsten carbides homogeneously distributed in nickel alloy binder mix with dispersal spherical binder-rich zone to form unhomogeneous microstructure; the other is that both carbide and binder are mixed homogeneously to form homogeneous microstructure. The hardness for carbide distribution zone is more than Hv 1076; while for binder-rich zone the hardness is between Hv 458~Hv 967. There is an interface region between surface alloy layer and steel matrix to form metallurgical combination. The shear bonding strength is over 400 MPa. The wear resistance of coating is obviously higher than quenching-tempering T8 tool steel(HRC55).

Key words microstructure properties powdered alloy sheet WC-Ni alloy composite coating

(编辑 彭超群)