

钴基合金—碳化钨复合涂层材料耐磨性能的研究

黄新波 贾建援

(西安电子科技大学机电工程学院 西安 710071)

林化春 林晨

(青岛建筑工程学院机电工程学院 青岛 266033)

摘要:采用真空熔烧法制得钴基合金—碳化钨复合涂层材料,借助扫描电子显微镜、X射线衍射仪等先进的测试手段对涂层的组织结构和表面形貌进行观察分析。应用盘销式摩擦磨损试验机对不同碳化钨质量分数的复合涂层材料和淬火态45钢进行了磨损试验。结果表明:在相同试验条件下,复合涂层的耐磨性显著高于淬火钢,且其耐磨性随碳化钨质量分数的增加而提高;淬火钢的耐磨性随着载荷的增加迅速降低,而复合涂层的耐磨性则变化不大。

关键词:复合涂层 磨损 钴基合金 碳化钨

中图分类号:TG146.1 TH117.1

0 前言

随着科学技术的发展,关于材料耐磨性能的研究受到了很大重视。从经济效益上考虑,常常采用硬质涂层技术来提高材料表面的耐磨性能,如等离子喷涂、物理气相沉淀(PVC)、化学气相沉淀(CVD)及高速氧燃烧法(HOVF)等工艺。但采用这些工艺制得的涂层材料成本高,厚度较薄,有的与基体结合也不够牢固。因此在恶劣工矿条件下,其应用受到一定的限制。林化春等^[1]采用真空熔烧法已制得具有良好的耐磨抗蚀性能的Ni基合金—碳化铬复合涂层。

钴基自熔性合金具有优良的耐磨抗蚀性能,这主要是由于钴基合金的组织是由韧性的Co-Cr-W基体和硬质相 M_7C_3 , M_6C 等组成,而且硬质相与基体具有良好的结合^[2]。考虑到碳化钨颗粒硬度高,具有较高的耐磨性能,系统地研究了在钴基合金(SF1)中加入了不同含量的钴包碳化钨复合涂层材料的耐磨性能。

在石油工业中,许多石油钻采机械在使用过程中往往在严重磨损与腐蚀双重作用的恶劣工况下工作,导致关键件的早期失效。在钢铁冶金行业中,要求钢丝拉拔导轮必须具有优良的耐磨、抗高温氧化以及抗热疲劳等性能,国内的材料工艺不易满足其要求。真空熔烧钴基合金—碳化钨复合涂层具有优良的耐磨抗蚀性能,有望应用于这些领域。

1 试验条件和方法

1.1 粉末原料

钴基合金—碳化钨复合涂层材料母材试样选用正火态45钢(45~52 HRC),尺寸为10 mm×10 mm×20 mm,表面粗糙度为1.6 μm。涂层粉末系钴基自熔性合金粉末和钴包碳化钨混合而成,其成分见表。

名称	成分质量分数 w/%	筛号
钴基自熔性合金(SF1)	1.3C, 19.0Cr, 3.0Si, 13.0W, 3.0Fe, 13.0Ni, 2.0B, 其余 Co	-140~+400
钴包碳化钨	82 碳化钨 12Co	-320

复合材料中添加的钴包碳化钨质量分数分别为0, 15%, 30%, 45%, 60%, 相应的涂层试样标号分别为CW0, CW1, CW2, CW3, 和CW4。

1.2 熔烧设备和过程

熔烧设备使用自设计的RZ—24—13真空熔烧炉。均匀混合粉末并添加松香制成膏剂,涂敷于清洗干净的45钢表面上。将试样置于真空炉中,抽炉内的真空度至1.33 Pa,开始由碳棒给涂敷材料加热,加热到1 100 ℃,保温2 min,随炉冷至200 ℃出炉,即获得真空熔烧复合涂层材料,涂层表面呈银灰色。

1.3 磨损试验设备

摩擦磨损试验是在MPX—2000A盘销式摩擦磨损试验机上进行的^[3]。

1.4 磨损试样

盘试样:将熔烧制得的不同碳化钨质量分数的

钴基合金复合涂层材料表面磨削加工至 $1.6\ \mu\text{m}$ 。其具体尺寸见图 1a。同时用淬火态 45 钢(HRC50~55)制得相同尺寸的盘试样若干作对比试验。

销试样：均采用油淬 GCr15 钢(60~62 HRC)，具体尺寸见图 1b。

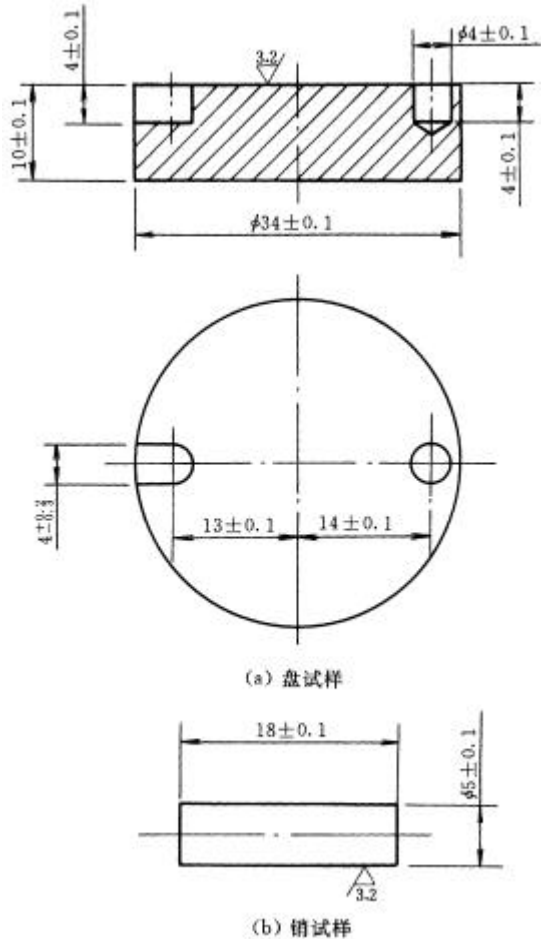


图 1 磨损试样与尺寸示意

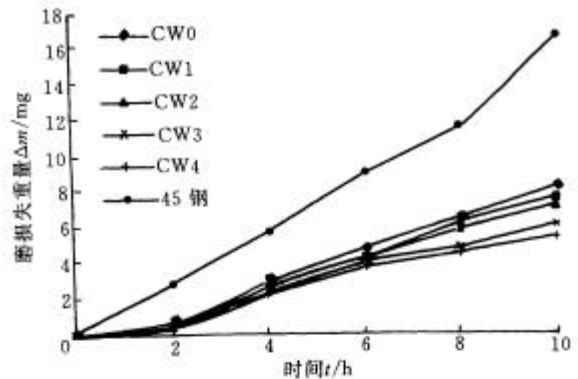
1.5 磨损试验参数及过程

每种摩擦副试验载荷分为油滑 300 N，干磨 50 N 两种情况，试验转速均为 $1\ 102\ \text{r/min}$ ，每隔 2 h 将试样取下，冲洗干净并放在 TG328A 分析天平(精度为万分之一克)上称量，每回测量 5 次，并取平均值，随后计算出每回试样的磨损量。在磨损 10 h 后，结束磨损试验。为了说明耐磨性与施加载荷之间的关系，特对试样 CW2 和 45 钢分别施加五种不同的载荷，即 100~500 N，间隔为 100 N，每种载荷的磨损试验时间均为 10 h，同样计算其磨损损失重量。将已磨损完毕的试样冲洗干净，借助金相显微镜观察其磨损后的表面形貌，并利用扫描电子显微镜拍摄磨损后的表面形貌照片。

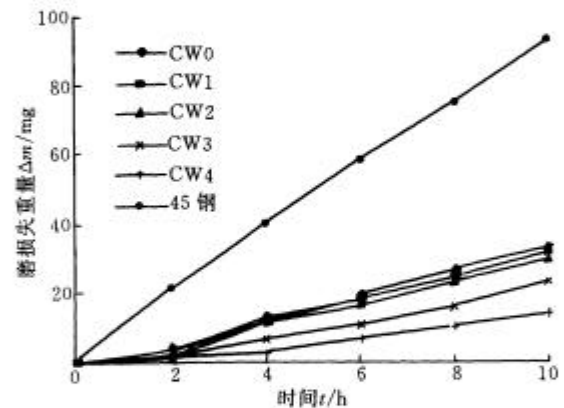
2 试验结果

根据磨损试验结果绘制了试样的磨损特性曲

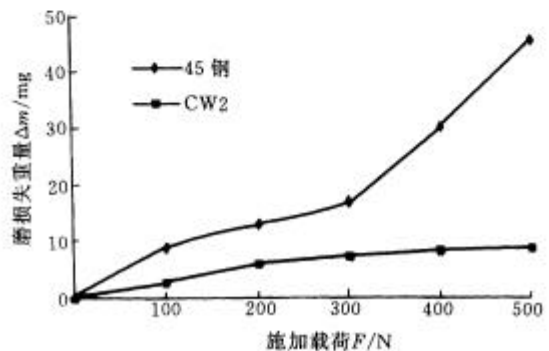
线，见图 2。



(a) 不同碳化钨质量分数涂层及 45 钢的湿磨损失重量 (载荷 300 N, N32 全损耗系统用油润滑)



(b) 不同碳化钨质量分数涂层及 45 钢的干磨损失重量 (载荷 50 N)



(c) CW2(30%WC)和 45 钢在不同载荷下的磨损失重量 (N32 全损耗系统用油润滑, 10 h)

图 2 磨损特性曲线

从图 2a 和 b 可以看出，不论是湿磨损还是干磨损，钴基合金—碳化钨复合涂层的耐磨性均比淬火钢的耐磨性高出多倍以上，显示出优良的耐磨性能，而且碳化钨含量越高，其耐磨性越强。CW4 复合涂层的干摩擦和 N32 全损耗系统用油润滑条件的耐磨性分别比淬火 45 钢提高 8 倍和 4 倍以上。

从图 2c 可以看出，在 100 N 载荷下 CW2 的耐磨性比淬火钢高 4 倍，而在 500 N 载荷下的耐磨性

比淬火钢高 6 倍。随着载荷的增加，淬火钢的耐磨性快速降低，而加入碳化钨制成的复合涂层 CW2 的耐磨性随载荷增加变化不大。这一方面主要是由于涂层中的碳化钨与 Co 基固溶体有很好的结合，而且涂层与金属基体 45 钢之间也有牢固的冶金结合，涂层对载荷的敏感性降低所造成的；另一方面是由于涂层的动态硬度随载荷变化不大^[4]。

3 问题讨论

3.1 复合涂层材料耐磨的原因

(1) 钴基自熔性合金与碳化钨颗粒之间有良好的浸润性，采用真空熔烧法可在钢表面直接制得表面涂层材料，涂层与基体之间形成牢固的冶金结合。涂层的厚度大于 2 mm，这对于有较大接触应力的工况下，涂层可具有足够的厚度来承受在距表面有一定深度处出现的最大切应力及正交切应力；尤其在接近表面的涂层硬度高于较远离表面涂层的硬度(碳化钨质量分数大于 15%的复合涂层更为明显)，这种硬度分布对表面耐磨性能是极其有利的。

(2) 从复合涂层材料的显微组织照片(图 3)及 X 射线衍射图谱(图 4)可以看出，在涂层基体上，弥散分布着许多碳化物和硼化物的硬质相，如 WC，Cr₇C₃，Cr₂B 等，尤其未溶解的 WC 颗粒对抗磨损起关键作用；此外，钴基粉末含大量合金元素，形成 Co-Cr-Fe 固溶液体，使 Co 原子晶格严重畸变，溶质原子对位错运动产生强烈的阻碍作用提高了产生塑性变形的起始应力，导致涂层表面具有较高的磨损抗力；使用的 SF1 合金粉末含有 2%的 B 元素，一方面硼的加入会形成硬度很高的 Cr₂B 和 -WB 硬质相，能够置换碳化物中的碳原子形成碳硼化物 M₂₃(C, B)₆ 和 M₇(C, B)₃，使涂层硬度大大提高，同时还能使共晶点左移，使合金在含碳量较低时就能析出碳化物或大大增加共晶数量，耐磨性得到明显提高。

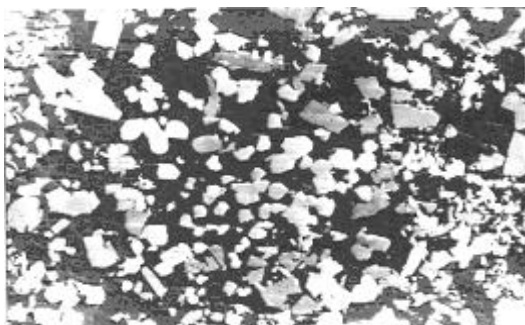


图 3 CW2 涂层材料的 SEM 照片 × 500

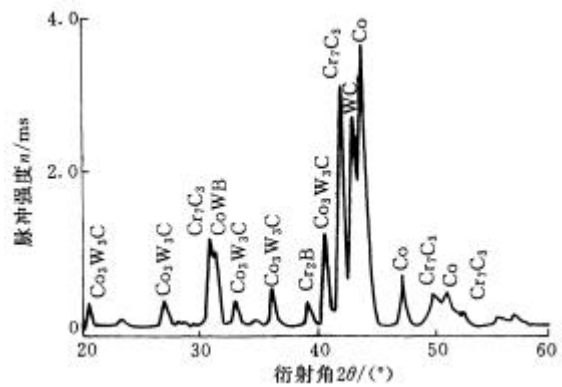


图 4 CW2 涂层材料的 X 射线衍射图

(3) 当碳化钨质量分数小于 60%时，碳化钨质量分数越高，硬质颗粒 WC 之间的平均自由路径就越低，破碎 WC 磨粒就越不容易对钴基合金产生犁削，而是从密排的 WC 颗粒表面滑过，因而总失重量大大减少，耐磨性提高了，试验结果(见图 2a 和 2b)已经验证了这一问题；但当碳化钨质量分数大于 65%时(见图 5)，制得的复合涂层疏松多孔，WC 颗粒不能很好粘固，很容易被磨粒整个掀落，而且复合涂层的韧性大大降低，其耐磨性就很难提高了。

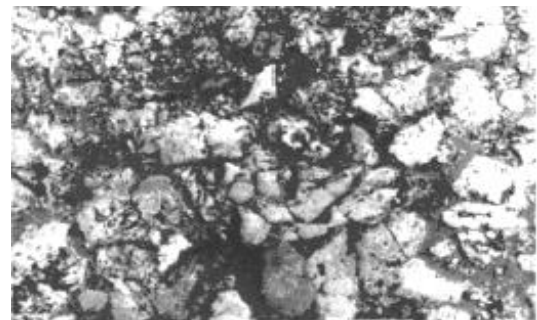
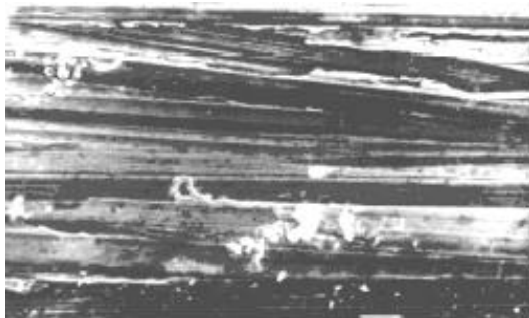


图 5 涂层材料(70%WC)显微组织 × 200

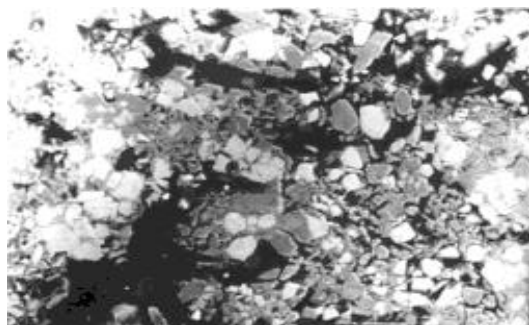
3.2 复合涂层材料磨损的机理

图 6 给出了 CW2 复合涂层试样和 45 钢试样的磨损表面形貌。45 钢试样的磨损表面形貌具有明显的划痕沟、塑性变形沟槽，没有剥落层、剥落坑与微痕迹；而复合涂层表面 WC 颗粒上磨痕浅，没有明显的变形痕迹，但粘结相钴基合金的磨面上则有较深的磨痕。这清楚显示了粘结相与 WC 颗粒耐磨性的差异。复合涂层材料磨损是一个十分复杂的过程。在刚开始磨损时，必先进行选择性的磨损，使粘结相发生塑性变形迁移。碳化钨颗粒则慢慢凸出于磨损表面，形成坚硬的骨架，避免了基体的进一步磨损。此时外力则直接作用在凸起的 WC 颗粒上，其中高硬度的 WC 小质点内位错密度会显著增加，当位错密度增值到一定量时，就会在 WC 小质点上形成微裂纹，在继续磨损中，微裂纹将沿 WC 晶界

或穿过 WC 晶体而扩展,最后产生显微脆断,形成磨屑^[5]。破碎的 WC 颗粒有相当一部分保留在磨损区,转变为磨粒角色。由于基体材料的变形,载荷主要施加在磨粒上,压迫磨粒进入表面引起显微切削,显微切削将会引起新的塑性变形和硬质相的破碎,但此过程主要为磨粒磨损。另外由于磨损后表面形成了凹坑和凸起,由此引起的疲劳磨损也是不容忽视的问题^[6]。



(a) 45 钢 × 1 000



(b) CW2(30% WC) × 1 000

图 6 45 钢与 CW2(30% WC)复合涂层试样的磨损表面形貌(载荷 500 N, 10 h)

4 结 论

(1) 钴基合金—碳化钨复合涂层材料由于碳化钨的加入,其磨损性能不论是湿磨损还是干磨损,不但比淬火钢好,也比钴基自熔性合金涂层好,且随碳化钨含量的增加其耐磨性也增加。

(2) 随着载荷的增加,淬火钢的耐磨性显著降低,而加入碳化钨制得的 CW2(30% WC)复合涂层材料的耐磨性随载荷增加变化不大。

(3) 从摩擦磨损的过程与磨损形貌分析来看,涂层试样磨损机理主要是选择性磨损、磨粒磨损以及疲劳磨损。

参 考 文 献

1 林化春,丁润刚. 镍基合金—碳化钨复合涂层耐磨特性的

研究. 摩擦学报, 1996(3): 277~281

2 Ramnath V, Jayaraman N. Characterization and wear performance of plasma sprayed WC—Co coatings. Materials Science and Technology, 1989(5): 382~388

3 Bull S J. Tribological and micro-tribological phenomena in coatings. Materials Science Forum, 1997(246): 105~152

4 Spurr R T. The wear rate of metals. Wear, 1971(17): 279~283

5 李剑锋,戴玮玮,丁传贤. 等离子喷涂镍铬涂层的摩擦学特性. 摩擦学报, 1996, 16(1): 14~20

6 Zum Gahr K H. How microstructure affects abrasive wear resistance. Metal Progress, 1979, 116(4): 46~52

STUDY ON WEAR RESISTANCE OF VFS COBALT BASED ALLOY TUNGSTEN CARBIDE COMPOSITE COATING MATERIALS

Huang Xinbo Jia Jianyuan

(School of Electro-mechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

Lin Huachun Lin Chen

(School of Electro-mechanical Engineering, Qingdao Institute of Architecture and Engineering, Qingdao 266033)

Abstract: The WC-Co composite coating bonded strongly with steel matrix is made by vacuum fusion sintering (VFS). The constitution structure and the morphology of the composite coating are observed and analyzed by SEM, X-ray diffraction meter and micro-hardness instrument. A series of experiments on the cobalt based composite coatings of the different tungsten carbide percent are fulfilled by a pin-on-disc abrasion machine. The results show that the wear resistance of the cobalt based composite coatings are prior to that of the 45 hardened steel, and that the higher the tungsten carbide percent, the better the wear resistance; The wear resistance of the hardened steel decreases greatly whereas that of the composite coating varies slightly when the load increases.

Key words: Composite coating Wear

Cobalt based alloy Tungsten carbide

作者简介: 黄新波, 男, 1975 年出生, 博士研究生。主要研究方向为材料力学性能和电气绝缘。

E-mail: hxb1998@sina.com.cn