

铸铁表面负压铸渗法 Ni/WC 复合渗层组织和性能

王海棠^{1,2}, 李元东^{1,2}, 杨贵荣^{1,2}, 刘生龙³, 郝远^{1,2}

(1. 兰州理工大学甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学有色金属合金省部共建教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

3. 酒钢机械制造有限公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

[摘要] 以制备表面质量良好, 硬度较高的铸铁材料为目的, 采用负压铸渗法在铸铁表面制备了不同 WC 含量的 Ni 基复合渗层, 用扫描电镜(SEM)、X 射线衍射(XRD)和电子探针(EPMA)等测试手段, 分析了渗层的显微结构、相组成、化学成分分布、宏观、显微硬度等。结果表明: 渗层中 WC 颗粒分布均匀, 渗层组织致密, 界面结合良好; 渗层主要由 Ni 基固溶体、W₂C 颗粒、NiB 和 FeB 等相组成; 显著地提高铸铁表面的硬度。最终在铸铁表面获得了硬度、质量较高的复合渗层, 达到制备目的, 满足使用要求。

[关键词] 复合渗层; 负压铸渗; 组织; 铸铁; 碳化钨

[中图分类号] TG156.8

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)05-0010-03

Microstructure and Properties of Ni/WC Composite Infiltrated Layer on Cast Iron Surface

WANG Hai-tang^{1,2}, LI Yuan-dong^{1,2}, YANG Gui-rong^{1,2}, LIU Sheng-long³, HAO Yuan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys, The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 3. Jiugang Mechanical Manufacturing Corporation, Jiayuguan 735100, China)

[Abstract] In order to obtain the surface of cast iron with higher hardness, better property, lower price, Ni-based surface infiltrated composite layer with different content of WC was fabricated on cast iron substrate through vacuum infiltration casting technology. The microstructure, phase, distribution of elements, macro-hardness and micro-hardness were investigated by SEM, XRD, EPMA and other methods. The results show that the distribution of WC in the layer is uniform. the structure of layer is densification, the interface combines very well. The layer is composed of Ni-based solid solution, W₂C, NiB and FeB, which can enhance the hardness of layer notable. Finally the obtained layer with good metallurgic property and better hardness on cast iron, which achieves the goal of made and meet the demand of application.

[Key words] Composite infiltrated layer; Vacuum infiltration casting technology; Structure; Cast iron; Tungsten carbide

0 引言

材料是物质的基础, 新材料的制备, 表面处理和改性技术已大大提高了材料的使用特性^[1]。目前表面改性的方法很多, 主要有^[2-6]: 电镀、堆焊、化学镀、物理气象沉积、等离子体喷溅、辉光放电渗硫、多元共渗(热处理法)等。铸渗法是 20 世纪末发展起来的新型表面改性方法, 与其他方法相比具有不需要专用的处理设备, 表面处理层厚, 生产周期短, 成本低, 工艺简单等许多优点。铸铁具有成本低廉、铸造性能优良、易于加工、吸震性好等优点, 但由于自身条件的限制, 在需要较高的耐磨性、耐高温疲劳性, 其性能经常不能满足使用要求。复合涂层发展的重

点是根据被加工材料的性质和加工特点来设计涂层成分、厚度的^[7]。本文采用铸渗法在铸铁表面制备 1 层不同 WC 含量的 Ni 基合金, 测定了渗层的结构、成分和组成相, 渗层显著提高了铸铁表面的硬度和强度。

1 试验方法

1.1 试验制备

基体选用普通铸铁 HT150, 渗剂材料为 Ni/WC 合金粉末, 选用 Ni 基自熔性合金粉末(150~300 目)的化学成分见表 1。WC 颗粒为 150~280 目, 在 Ni 基自熔性合金粉末中分别加入 WC 的量为 20%、30%、40%。粘结剂为液态自制粘结剂 NJB。

1.2 试验过程

将 Ni 基自熔性合金粉末分别与质量分数为 20%、30%、40% 的 WC 颗粒混合均匀, 再将复合粉料加入适量的粘结剂, 充分混合制成含不同 WC 比例的料。然后将料浆以一定的厚度涂

[收稿日期] 2008-06-20

[基金项目] 甘肃省中俄国际合作项目(4WS064-A72-053)

[作者简介] 王海棠(1983-), 女, 吉林敦化人, 硕士, 研究方向为金属材料表面改性。

表 1 Ni 基自熔性粉末的成分分析
Table 1 The chemical composition of
Ni-substrate power

元素	元素的质量分数/%
C	0.6 ~ 0.8
Si	4.0 ~ 5.0
Cr	16 ~ 18
Fe	≤5
Ni	余量

覆于需渗铸铁表面对应型腔的内壁或砂芯的外表面,经 300℃, 2h 烘干,使料浆层保持一定的强度,能承受浇注时铁液的冲刷,过程如图 1。

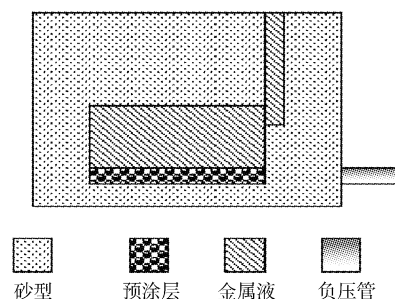


图 1 渗层形成的示意图

Figure 1 The sketch of forming infiltrated layer

浇注前将经过 150℃ 预热好的砂型和砂套放置在金属模具中,抽真空,然后浇注熔炼好的铁液,浇注温度保持在 1 250℃, 负压度保持在 0.04 ~ 0.07MPa。冷却至室温后取出,即可得到具有表面复合渗层的试样。试验结果证明渗层的厚度与料浆层的厚度成正比。实测表明,渗层的厚度略大于料浆层的厚度,本试验料浆层的厚度为 1.0mm。

1.3 测试方法

铸渗后的试样用 JMS-6700F 观察渗层的组织形貌,并用 EPMA-1600 电子探针(EPMA)分析渗层元素的分布变化;用 D/max-2400 型 X 射线衍射仪(XRD)分析渗层的相组成;用 HX-1000TM 显微硬度计,在试验力为 9806.65N,保压 20s 的条件下,测定渗层硬度变化;用 HRS-150 型洛氏硬度计测渗层宏观硬度。

2 结果与分析

2.1 铁基表面复合渗层的显微组织

图 2a、图 2b、图 2c 分别是 WC 的质量分数为 20%、30%、40% 渗层的显微组织,WC 颗粒分布都很均匀,并且与基体的结合良好,在渗层中或在 WC 颗粒的界面处未见明显裂纹。其原因在于 WC 与 Ni 基合金的润湿性较好。在渗层形成过程中,浆料层合金粉末及基体金属保持液态的时间较短,WC 颗粒来不及发生偏聚,Ni 基合金与铸铁就已经凝固,其凝固的温度梯度不大,同整体铸件的凝固过程没有太大的差异,因此不容易产生裂纹。从图中对比可以看出,3 种渗层的组织形貌基本相同,过渡层在图中不是很明显。图 2d 为图 2a 中 A 区域的放大,可见,WC 颗粒与基体融合很好,未出现裂纹,脱落等现象。

图 3 为渗层与基体过渡层的金相照片,从金相照片可以看出,在过渡层中,经过腐蚀,有条块状渗碳体和过冷的点状石墨,

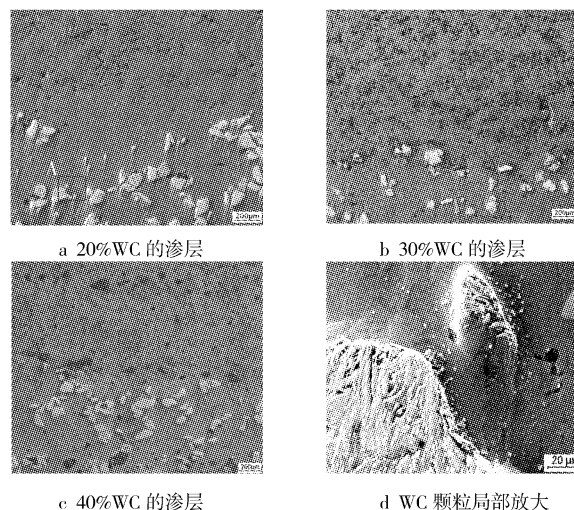


图 2 铸铁表面 Ni/WC 复合渗层的 SEM

Figure 2 The SEM of Ni/WC layer on cast iron

石墨周围为铁素体,呈灰白色。在过渡层中出现了上述组织,也从侧面反映了基体与渗层融合良好,过渡层明显。

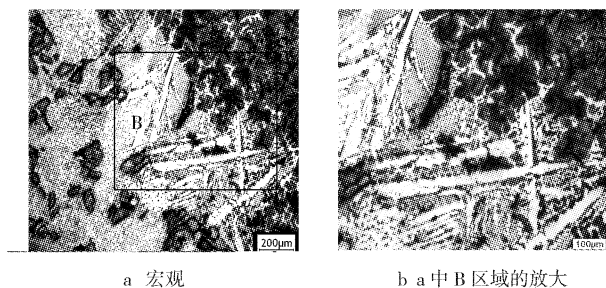


图 3 30% WC 渗层与基体结合处的金相图

Figure 3 Metallographic of combination between layer and substrate

2.2 复合渗层的元素分布及相组成(见图 4、图 5)

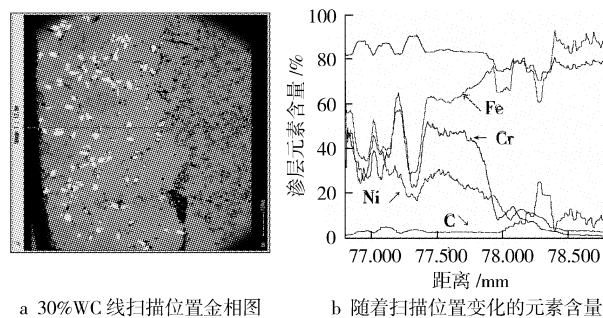


图 4 渗层中 EPMA 元素分布

Figure 4 EPMA distribution of element in infiltrated layer

由图 4 可见,沿着图中直线从渗层到基体金属,Ni 的含量逐渐减少,Fe 的含量逐渐增加,两者呈互补的关系,这主要由于凝固热量不同使元素的扩散能力不同引起的。另外,在过渡层处可见,Ni 的含量变化比 Cr 要慢,这是由于 Ni 在 Fe 中的扩散系数要大于 Cr 在 Fe 中的扩散系数。由图可以看出,Cr 与 Fe 的含量在渗层和过渡层中的变化很相似,这是由于 Cr 与 Fe 很容易形成合金,因此在 Cr 含量较高的地方,Fe 的含量也比较高。由于 Cr 在 Ni 中固溶度较小,因此,Cr 元素的分布并不是很均匀。

图 5 是 WC 的质量分数为 30% 时渗层的电子衍射图谱,由图 5 可以看出,铸铁表面的 Ni/WC 渗层主要有 W_2C 、NiB、FeB

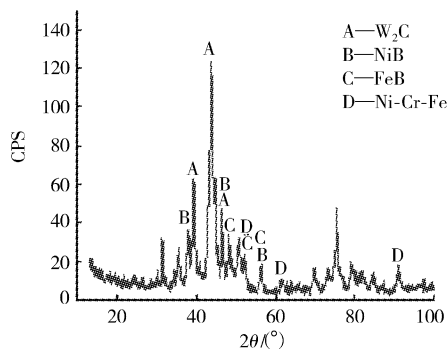


图5 渗层的XRD谱

Figure 5 XRD of infiltrated layer

及Ni-Cr-Fe相等相组成的(B元素来自自制粘结剂NJB)。这些硬质相(W_2C 、NiB、FeB)对于提高渗层的硬度、耐磨性、强度等性能起到了极其重要的作用。结合图3与图4,可以得出渗层的相组成:表面渗层的主要成分为Ni/Cr固溶体、Ni/Fe固溶体、WC颗粒、NiB、Ni-Cr-Fe和Cr/Fe合金,过渡层的主要组成相为Ni/Cr固溶体、Ni/Fe固溶体。Ni基与WC合金粉末在铸铁的凝固潜热的作用下,形成Ni-Cr固溶体和NiB相,渗层中的 W_2C 是由于WC颗粒部分分解的产物。

2.3 硬度测试

2.3.1 宏观硬度

结合图4和图5可见,渗层中存在硬质相 W_2C 颗粒、NiB和FeB等相,可增强渗层硬度。基体的宏观硬度为HRC16.22。而渗层的宏观硬度随着WC含量的增加而下降,具体数值如图6。对比渗层与基体的硬度可见,即使表面硬度最小的渗层WC含量为40%,它的硬度也达到了55.08,是基体的3.4倍。说明Ni/WC渗层显著提高了铸铁的表面硬度。硬度和渗层表面的致密度有关系,硬度越大,越致密,而所能吸收的热疲劳应力越小。因此,渗层最表面的硬度对抗热疲劳性有很大贡献。

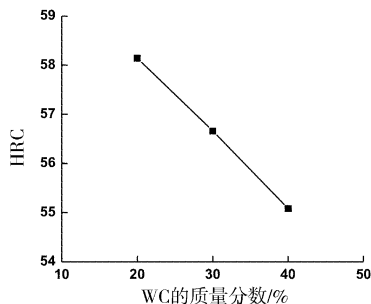


图6 渗层的宏观硬度分布

Figure 6 Distribution of macro-hardness of infiltrated layer

2.3.2 显微硬度

图7为显微硬度曲线,不同WC含量渗层显微硬度差别不大,变化趋势也相同,这是因为硬度测量在WC颗粒之间,渗层显微硬度主要由Ni基金来控制。另外,渗层硬度从表面到基体有低-高-低连续变化。这是渗层形成过程中,渗层组织分布不均匀造成的。渗层的最表面层不是非常致密的,这是由于铸型激冷造成的凝固不致密区,因此,最表层的硬度较低。渗层外层由Ni/Cr基固溶体和各硬质相组成,硬度变大;内层由于基体元素对渗剂元素的稀释作用,主要由固溶体组成,硬度有所下降。

图8为显微硬度的压痕,从C箭头处可以看出在压痕周围

有一些小裂纹,说明渗层存在一定的脆性,这也是在提高渗层耐磨性、热硬性、抗热疲劳性的同时要牺牲一些韧性。

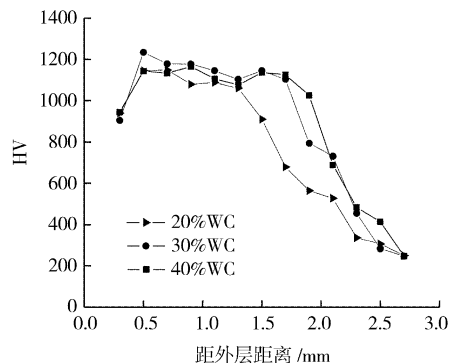


图7 渗层的显微硬度分布

Figure 7 Distribution of micro-hardness

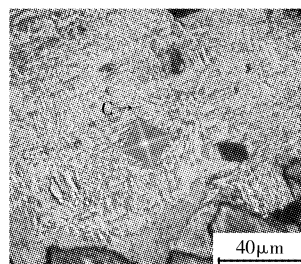


图8 渗层的显微压痕

Figure 8 The scratch in infiltrated layer

3 结论

1) 采用Ni/WC合金粉末为渗剂,通过负压铸渗在铸铁表面制备具有不同WC含量的复合渗层,渗层厚度为0.5~1.5mm,WC颗粒分布均匀,渗层组织致密,界面结合良好,为冶金结合。

2) 渗层中的元素分布呈梯度变化,渗层主要由 W_2C 、NiB、FeB、Ni/Cr固溶体、Ni/Fe固溶体、WC颗粒Cr/Fe合金组成。

3) 渗层显微硬度呈连续梯度变化,从表面到基体,硬度由高到低,最高达HV1 200。

[参考文献]

- [1] 屠振密,胡会利,李宁,等.电沉积纳米晶合金的最新进展[J].表面技术,2008,37(1):67-70
- [2] 庞兆夫.金属铸渗的基本原理及其作用[J].鞍钢技术,1997,(1):43-51
- [3] 张金山.熔铸造制造耐磨复合材料[J].新技术新工艺,1993,(1):11-17
- [4] 罗学涛,吴清良,黄前军.电化学浸渗法制备纤维/铜基复合材料[J].复合材料学报,2003,20(6):151-154
- [5] Fernandez E, Cadenas M, Gonzalez R, et al. Wear behaviour of laser clad NiCrBSi coating [J]. Wear, 2005, 259: 870-875
- [6] Ouyang Jinlin, Niu Shuqin. Study on nickel alloy base self-lubricating composite [J]. Tribology, 1993, 13(1): 33-47
- [7] 康勃,马瑞新,吴中亮,等.现代刀具涂层制备技术的研究现状[J].表面技术,2008,37(1):71-74