

Na 变质剂对铁铬碳堆焊合金组织性能影响*

蒋建敏, 翟东训, 贺定勇, 王智慧, 周 正, 刘 旭

(北京工业大学 材料科学与工程学院, 北京 100124)

摘 要: 采用光学金相、显微硬度计、X 射线衍射仪、冲击试验机等方法研究了 Na 变质剂对铁铬碳堆焊合金组织及性能的影响。结果表明: 随着 Na 变质剂加入量的增加, 合金基体组织逐渐由共晶奥氏体和一定量马氏体全部转化为初生奥氏体且奥氏体显著硬化, 碳化物尺寸逐渐减小, 对基体的割裂作用大大减少且分布更为均匀, 当钠变质剂添加量为 2 % 堆焊合金韧性最好, 继续添加韧性下降。

关键词: 堆焊; Na 变质剂; 韧性

中图分类号: TG455; TG144

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2011)01-0016-04

The Influence of Na Modifier on the Structure and Performance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys

JIANG Jian-min, ZHAI Dong-xun, HE Ding-yong, WANG Zhi-hui, ZHOU Zheng, LIU Xu

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

Abstract: The microstructure and properties were analyzed by means of optical microscopy (OM), microhardness tester, X-ray diffraction (XRD), impact testing machine. The result shows that with the content of Na-modifier increase, the matrix microstructure was changed from eutectic austenite and martensite to hardened austenite. The size of primary carbide became greatly fine, it dissevered matrix less seriously and distributed uniformity. The toughness of hardfacing alloys could be best with 2 % Na alloys. When it was added more, the toughness was decreased.

Key words: hardfacing; Na-modifier; toughness

0 引 言

Fe-Cr-C 系堆焊合金由于硬度高, 综合性能好, 价格低廉而广泛应用于机械、冶金、采矿及矿产品加工等行业^[1,2]。Fe-Cr-C 系耐磨堆焊合金的耐磨粒磨损机制主要是利用 Fe-Cr-C 系过共晶组织中硬度很高的初生碳化物 M_7C_3 作为主要的硬质相和耐磨相, 但脆、硬的碳化物减弱了堆焊合金工件基体抗冲击的能力, 韧性差使其在高冲击载荷下的应用受到限制, 提高 Fe-Cr-C 堆焊合金的韧性一直是研究人员多年来追求的目标^[3]。杨相寿首先研究了碱金属元素对钢铁材料改性作用。杨建华^[4]等人通过添加碱金属钾合金变质剂, 堆焊合金韧性、耐磨性得到了显著提高。

文中系统研究了不同 Na 变质剂添加量的 Fe-Cr-C 堆焊合金, 讨论了钠变质剂对铁铬碳堆焊合金组织性能的影响, 包括各组成相的形态、大小、分布及堆焊合金韧性、耐磨粒磨损性能, 分析了钠变质剂变质机理。

1 试验材料及方法

采用外填粉式摆动埋弧堆焊工艺, 在厚度为 8 mm 的低碳钢试板上, 选用 H08A 焊丝和熔炼型 HJ260 焊剂, 电流 500 A, 电压 40 V, 焊速 300 mm/min 在试板上平行搭接堆焊 100 mm × 25 mm × 6 mm 的单层焊道。金相试样抛光后用 5 % 的三氯化铁溶液腐蚀, OLYMPUS-DEM 金相显微镜观察堆焊合金组织, 用 D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪(XRD)分析堆焊金属的物相组成, 衍射条件为 CoK_{α} 靶, 35 kV 和 35 mA。

采用 HXD-1000 型显微硬度计测试基体显微

收稿日期: 2010-10-15; 修回日期: 2011-01-04

基金项目: *北京市教委服务北京创新人才团队建设项目(00900054R5004)

作者简介: 蒋建敏 (1956—), 男(回), 南京市人, 教授级高工, 硕士。

硬度, 载荷 100 g, 加载时间 15 s, 每个试样打 10 个点后取平均值。

在 Q235 碳钢板上堆焊 15 mm 厚的堆焊合金、取样磨制成 55 mm×10 mm×10 mm 无缺口堆焊金属冲击试样, 采用数显摆锤式冲击试验机 (JB-S3000) 测试冲击韧性。

采用 MLS-225 型湿式橡胶轮磨粒磨损试验机对堆焊层进行磨粒磨损试验, 试样基体为 45 淬火钢, 尺寸 57 mm×25.5 mm×5 mm, 堆焊层厚度 >5 mm。橡胶轮转速 240 r/min, 橡胶轮直径 176 mm, 橡胶轮硬度 60 (邵尔硬度), 试验时加入 1 000 克水, 磨料选择为 212~350 μm (40~70 目) 石英砂 1 500 克, 每个配方选取 3 个试样进行试验取平均值, 采用塞多利斯仪器公司生产的 BS224S 电子天平称量磨损失重来衡量其耐磨性。为了考察变质剂对 Fe-Cr-C 系堆焊合金组织性能的影响, 堆焊合金碳和铬化学成分不变 (碳含量 4.2 %, 铬含量 35 %), 分别添加不同量的钠变质剂, 添加量分别为 0 %, 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, 2.5 % 分别标记为 S0, S1, S2, S3, S4, S5。

2 试验结果与分析

2.1 Na 变质剂对堆焊合金组织的影响

Fe-Cr-C 堆焊合金组织由基体加碳化物组成。图 1(a)是未加变质剂的堆焊合金组织, 图中六边形白块为初生碳化物, 周围是典型的过共晶组织, 碳化物尺寸较大, 个别呈长条状。图(b)是添加 0.5 % Na 变质剂的堆焊合金组织, 堆焊合金组织没有发生变化仍为过共晶组织, 变质剂加入量不足, 未能改变初生相, 但初生碳化物得到细化, 碳化物尺寸较未变质堆焊合金中初生碳化物减小。随着变质剂加入量的增加, 基体组织出现少量初生奥氏体, 碳化物更加细碎^[6]尺寸更为细小。如图(c)与(d), S3 堆焊合金碳化物尺寸大约为 10 μm , 分布十分均匀。

当变质剂添加量为 2 % (S4)时, 堆焊合金组织发生显著变化: 由过共晶组织转变为亚共晶组织, 初生碳化物消失, 初生奥氏体出现, 如图 1(e)(f)变质堆焊合金组织均为亚共晶, 由初生枝晶奥氏体与共晶组织组成, 但 S5 初生奥氏体不如 S4 的细密均匀。从 S2 到 S5 初生奥氏体的数量增多, 由变质剂

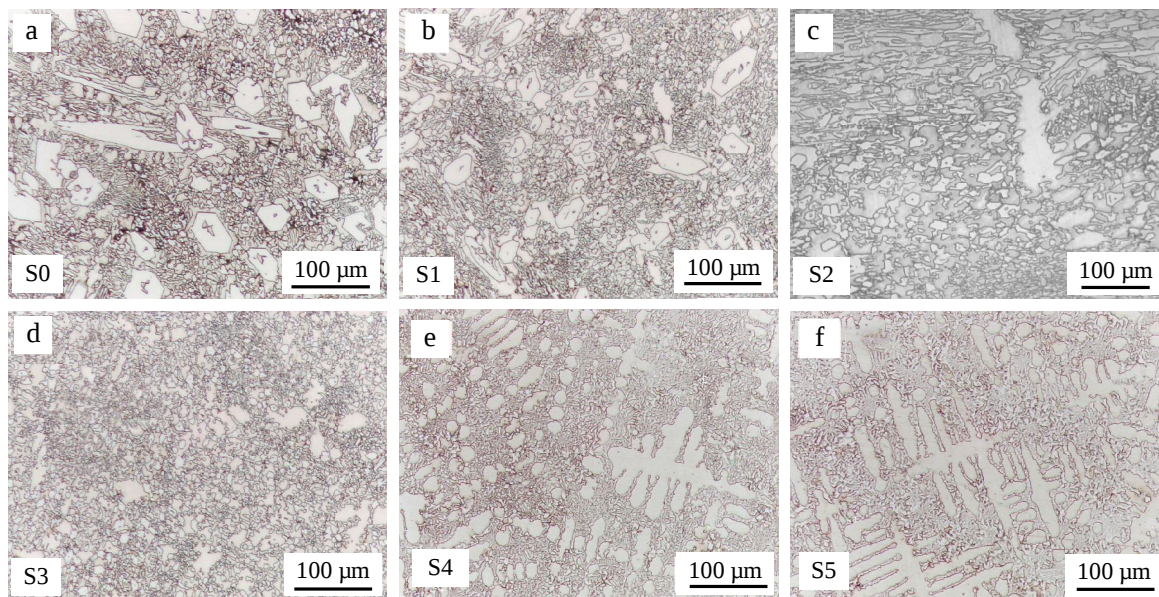


图 1 不同变质剂添加量堆焊合金的金相组织

Fig.1 Metallurgical structure of hardfacing alloys with different content of Na-modifier

对堆焊合金组织的影响可知, Na 变质剂对堆焊合金有着强烈的奥氏体化作用。

2.2 堆焊层物相分析

如图 2 从衍射曲线标定结果看, S0-S3 堆焊合金中的主要相是 γ -(Fe, Cr), (Cr, Fe)₇C₃ 和一定量的

马氏体, 没有其它的碳化物相。从衍射峰的高度可以看出主峰为奥氏体 (111), 随着添加变质剂量的增加堆焊合金中碳化物数量逐渐减少, 200 面初生奥氏体含量逐渐增多, 且马氏体含量逐渐减少, 到 S3 时马氏体完全消失。由图 3 与图 2 对比知: 当增

加变质剂量达到 2 % 时 (即 S4), 奥氏体发生明显的晶面择优取向, 主峰奥氏体由 200 面向 111 面择优生长。此外, 对变质后的堆焊合金显微硬度进行测试, 堆焊合金奥氏体内弥散分布的 M_7C_3 微粒是奥氏体硬化的主要原因^[4], 由表 1 可以看出随着变质剂添加量的增加奥氏体基体显微硬度得到提高, 钠变质剂对铁铬碳堆焊合金具有奥氏体化作用和一定的硬化作用。

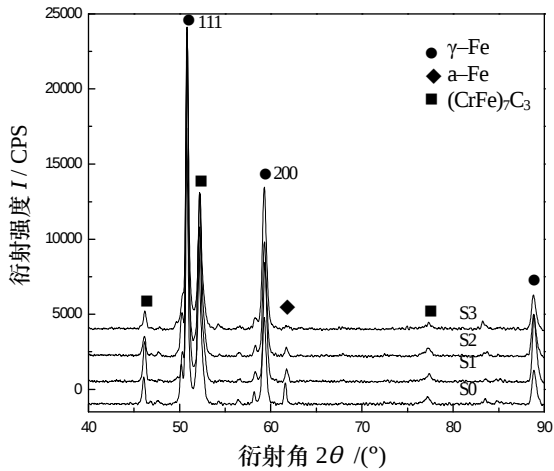


图 2 S0~S3 堆焊金属 XRD 图

Fig.2 XRD result of the number S0, S1 and S2, S3 hardfacing alloy

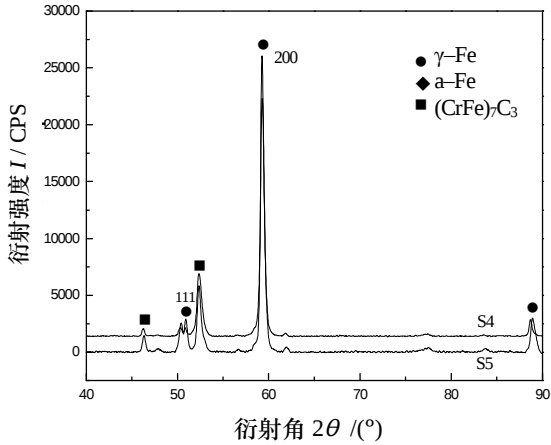


图 3 S4、S5 堆焊金属 XRD 图

Fig.3 XRD result of the number S4 and S5 hardfacing alloy

表 1 不同变质剂添加量堆焊合金基体显微硬度值
Table 1 Micro-hardness of matrix of hardfacing alloy with different content of Na-modifier

标 号	S0	S1	S2	S3	S4	S5
基体显微硬度 / HV _{0.1}	530	534	537	570	636	546

2.3 变质剂对堆焊合金耐磨损性能的影响

Na 变质剂对铁铬碳堆焊合金磨粒磨损性能的影响如表 2 所示, 随着 Na 变质剂含量的增加, 堆焊合金的磨粒磨损损失量呈先逐渐降低后升高。未加 Na 变质剂时 (S0 试样), 精磨 4 000 转后平均磨粒磨损损失量为 242 mg; 当变质剂加入量为 0.5 % 时 (S1 试样), 磨粒磨损损失量为 228 mg, 变质剂添加量较少堆焊合金组织基本未发生变化, 效果不显著; 当变质剂加入量为 1.0 % 时 (S2 试样), 碳化物尺寸显著减小且分布均匀, 磨粒磨损损失量为 193 mg, 耐磨性提高了 19.4 %。S3 试样精磨 4000 转磨粒磨损损失量为 164 mg, 变质剂的进一步增加使得材料耐磨性显著增强, 此时的碳化物尺寸最为细小均匀, 如图 1(d)所示。进一步提高变质剂的添加量 (S5) 耐磨性反而下降。铁铬碳堆焊合金磨损机制主要由其过共晶组织中的 M_7C_3 相作为耐磨骨架和硬质相^[5], 当变质剂添加量为 2 % (S4), 宏观表征金相组织中初生碳化物消失, 失去了耐磨骨架作用, 耐磨性有所下降。随着变质剂的添加量的进一步增加, S5 堆焊合金基体组织如图 1(f)奥氏体枝晶更为粗大, 共晶碳化物数量减少, 耐磨损性能较差。

表 2 磨粒磨损试验结果
Table 2 Results of abrasive wear test

试样标号	S0	S1	S2	S3	S4	S5
预磨 1 000 转后重量/ g	75.406	72.660	76.076	80.643	72.693	76.752
精磨 4 000 转后重量/ g	75.164	72.342	75.883	80.479	72.447	76.440
磨损失重/ g	0.242	0.228	0.193	0.164	0.246	0.312

2.4 变质剂对堆焊合金韧性影响

Na 变质剂对堆焊合金冲击韧性的影响如表 3, 随着变质剂添加量的增加, 冲击韧性得到提高, 在堆焊合金中, 碳化物是脆性相, 相对裂纹扩展阻力小^[9], Na 变质剂加入使碳化物分布更为均匀, 尺寸进一步减小细化, 甚至呈团球化, 减少对基体的割裂作用^[3]。同时 Na 变质剂改变了堆焊合金的基体组织使其由韧性较差的过共晶组织转变为韧性和塑变能力更好的初生奥氏体和共晶碳化物, 使堆焊合金受到冲击时, 基体对应力集中起着缓冲作用, 降低了脆性。加入过量变质剂(S5)会使组织变差^[4]奥氏体枝晶更为粗大, 因而造成韧性的下降。

表 3 不同变质剂添加量冲击韧性值

Table 3 Impact toughness of hardfacing alloy with different content of Na-modifier

标 号	S0	S1	S2	S3	S4	S5
冲击韧性值 (J/cm ²)	7.08	8.21	11.14	14.56	18.26	16.45

3 变质机理分析

钠为活泼性很高的金属元素^[8], 它容易与氧、硫结合, 起到脱氧、脱硫作用, 从而净化液态金属, 提高了液态金属的过冷度^[9]。变质元素通过改变接触角或者改变界面自由能, 降低形核所需的能量起伏, 使得形核过程易于进行, 从而改变结晶过程。对于晶粒长大而言, 变质元素通过吸附富集于固液界面前沿, 阻止晶粒长大, 使得晶粒长大难以进行。碳原子与强碳化物形成元素聚集, 于是产生弥散分布的碳化物颗粒。由于这些弥散碳化物是在过冷度很大的情况下产生的, 并且彼此距离比较接近, 因而生长速度不会很快, 所以这些碳化物不会长成条状, 并且尺寸细小。碳化物形成以后, 其邻近液态金属的碳、铬含量降低, 于是形成奥氏体基体。奥氏体基体中的碳、铬过饱和程度仍然高于未变质基体。能谱分析得到变质基体的铬含量为 17 %, 而未变质基体的铬含量约为 13 %, 如图 4 所示。

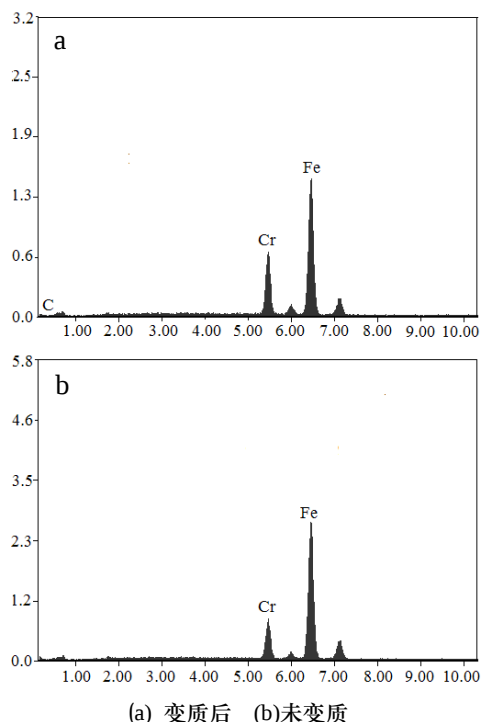


图 4 堆焊合金基体组织能谱分析

Fig.4 EDS of matrix of hardfacing alloy

由于碳、铬都是强烈降低马氏体转变开始温度的元素, 变质合金的马氏体转变开始温度降到了室温以下, 因此变质堆焊金属的室温组织中没有马氏体出现。变质合金的基体组织为弥散碳化物强化的奥氏体。

4 结 论

(1) Na 变质剂的加入强烈的改变了铁铬碳堆焊合金组织, 使其由过共晶组织转化为亚共晶组织, 随着加入量的增加, 马氏体逐渐消失, 初生奥氏体出现且奥氏体显著硬化, 碳化物尺寸逐渐减小。

(2) Na 变质剂能够显著提高铁铬碳堆焊合金的冲击韧性, 同时在一定程度上提高低应力磨粒磨损性能, 当添加量为 1.5 % 时耐磨性提高了 32.2 %。当添加量为 2 % 时冲击韧性达到 18.26 J/cm², 继续添加韧性变差。

参考文献:

- [1] 蒋建敏, 夏立明, 贺定勇, 等. 铈含量对 Fe-Cr-C 熔敷金属组织与性能的影响 [J]. 中国表面工程, 2009, 22(5): 62-64.
- [2] 王智慧, 王清宝. Fe-Cr-C 耐磨堆焊合金中初生碳化物生长方向的控制 [J]. 焊接学报, 2004, 25 (1): 103-106.
- [3] 刘超锋, 孙斌, 刘建秀. 含稀土的复合变质剂对高铬铸铁冲击韧性的改善 [J]. 铸造, 2009, 58(10): 1021-1023.
- [4] 杨建华, 王惜宝. 采用钾变质剂改善铁铬碳堆焊合金性能 [J]. 焊接学报, 1991, 12(1): 20-23.
- [5] 张进孝. 复合变质高铬铸铁 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(4): 82-84.
- [6] 孙晓敏, 杨华. K/Na 变质剂及热处理对高铬铸铁组织性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2007, 36(9): 30-33.
- [7] 刘洋, 李爱农. 高铬铸铁的强韧化探讨 [J]. 江西有色金属, 2007, 21(3): 26-28.
- [8] 祖方遒, 杨相寿. 钾、钠在铁碳铸造合金中作用机理的探讨 [J]. 热加工工艺, 1996, 4(2): 16-19.
- [9] 晁建兵. 钾钠在铸造合金中应用进展 [J]. 金属材料, 2003, 10(5): 83-85.

作者地址: 北京市朝阳区平乐园 100 号

100124

北京工业大学材料科学与工程学院

Tel: 139 1063 9382

E-mail: jmjiang@bjut.edu.cn