

# 合金元素对钢基复合材料组织和性能的影响

卢德宏<sup>1</sup>, 朱凌云<sup>2</sup>, 蒋业华<sup>1</sup>, 周荣<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学机电工程学院, 云南昆明 650093; 2. 金堆城钼业有限公司, 陕西华县 714102)

**摘要:** 研究了 Si, Mn 合金元素加入量对自生 TiC 颗粒增强的钢基复合材料的组织和性能的影响。结果表明, 在自生 TiC 颗粒增强钢基复合材料中, 随着 Si, Mn 合金化元素的升高, 复合材料基体组织将经历从单相珠光体到珠光体马氏体, 再到单相马氏体的变化过程。相应地, 复合材料铸态硬度从单相珠光体的 HRC43.1 变化到单相马氏体的 HRC55。Si, Mn 合金化元素的含量对热处理态复合材料的硬度也有明显影响, 但对冲击韧性影响不大。

**关键词:** 合金元素; 金属基复合材料; TiC; 组织; 性能

**中图分类号:** TH142.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)01-0025-03

## Effect of Alloy Elements on the Structure and Mechanical Properties of TiC Particles Reinforced Steel Matrix Composites

LU De-hong<sup>1</sup>, ZHU Ling-yun<sup>2</sup>, JIANG Ye-hua<sup>1</sup>, ZHOU Rong<sup>1</sup>

(1. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Jinduicheng Molybdenum Mining Co. Ltd., Huaxian, Shanxi 714102, China)

**Abstract:** The effect of Si, Mn alloy elements on the microstructure and mechanical properties of in-situ TiC particles reinforced steel matrix composites was studied. The result showed that with the increase of Si, Mn contents, the microstructure of the composites varied from single-phase pearlite to the mixture of pearlite and martensite, finally to single-phase martensite; accordingly, the hardness of the composites at cast changed from HRC43.1 to HRC55. Also, the Si, Mn contents influenced a little the hardness of the heat-treated composites, but not their impact toughness.

**Key words:** alloy element; metal matrix composites; TiC; structure; mechanical properties

## 0 引言

从耐磨材料的发展来看,传统的单纯依靠获得钢铁材料的马氏体、贝氏体等组织来提高耐磨性的方法已经越来越不能满足需要,而通过在钢铁基体中形成高硬度、大粒度的碳化物等增强相,也就是获得钢铁基复合材料的方法,越来越被证明是更加有效的新型耐磨材料<sup>[1]</sup>。比如,目前在矿山耐磨材料领域普遍使用的含铬铸铁,就是利用自生的碳化物相来通过材料的耐磨性。相比各种铬的碳化物, Ti, V 等强碳化物形成元素的碳化物具有硬度更高,耐磨性更好的优点。所以,国内外已经有部分针对原位自生 TiC 颗粒增强钢铁基复合材料的研究报道<sup>[2~4]</sup>。但是,要作为实用的材料,该复合材料还需要在很多方面进一步发展。比如,在最终得到的复合材料中,除了具有一定数量的高硬度的 TiC 颗粒外,基体也必须是马氏体等较高硬度的组织,才能与增强颗粒配合使整个复合材料发挥出高耐磨性。为此,需要提高基体合金的淬透性。文章研究了不同 Si, Mn 等合金元素加入量对自生 TiC 颗粒增强的钢基复合材料组织和性能的影响。

收稿日期:2004-04-26. 基金项目:云南省自然科学基金(项目编号:2001E008Q).

第一作者简介:卢德宏(1968~),男,副教授. 主要研究方向:复合材料和耐磨材料. E-mail:ldhkust@km169.net

## 1 试验方法

### 1.1 复合材料的设计和制备

C含量的确定:钢基复合材料中C由基体中和TiC中的含碳量共同构成.按照C-Ti二元相图<sup>[5]</sup>,TiC中含C质量分数约为20%.则质量分数5%的Ti全部生成TiC将消耗质量分数1.25%的C,而考虑基体中含C质量分数约0.5%~0.6%(接近共析点),则复合材料中总含碳量质量分数约1.8%.

为了提高复合材料基体的淬透性,一般加入一定量Si,Mn等合金元素.在两种复合材料L1,L2中分别加入不同含量的Si,Mn等合金元素,考察其含量对复合材料的影响.具体配方见表1所示.

表1 TiC颗粒增强的低合金钢基复合材料配方(质量分数)

复合材料	C/ %	Ti/ %	Si/ %	Mn/ %	Fe/ %
L1	1.8	5.0	0.8	1.0	其余
L2	1.8	5.0	2.5	1.8	其余

复合材料制备:原材料采用废钢、钛铁、硅铁、锰铁和碳粉等.按照复合材料的成分配料,先将废钢熔化,加入碳粉,熔化后用铝脱气.然后加入各种铁合金,将铁液升温到1600,保温15 min,出炉浇注成20 mm ×20 mm ×110 mm的试样.铸型为水玻璃砂湿型.最后进行热处理:将试样随炉加热至900,保温2 h,油淬.200 回火2 h.

### 1.2 分析和测试

用Leytz MM6型光学金相显微镜、XL30ESEM扫描电镜分析材料的微观组织.测试了复合材料铸态和热处理态下的硬度和冲击韧性.用洛氏硬度计测定宏观硬度,用JB-30B冲击试验机测定冲击韧性,试样尺寸为20 mm ×20 mm ×110 mm,无缺口.

## 2 试验结果和讨论

### 2.1 复合材料的显微组织

图1和图2分别表示了铸态下复合材料L1和L2的显微组织.在两种复合材料中都分布着很多细小TiC颗粒,粒度大都在8 μm以下.对此颗粒的表征参见文献[6].

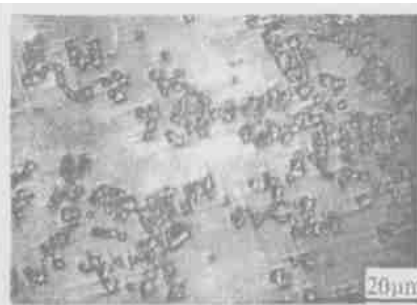


图1 铸态下复合材料L1的组织(未腐蚀)  
Fig.1 Microstructure of L1 composite as cast (not eroded)

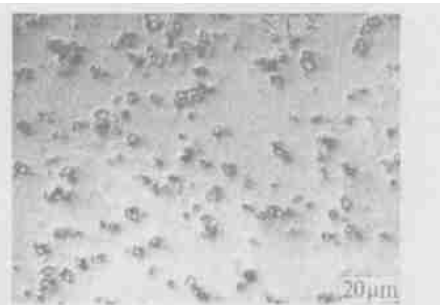


图2 铸态下复合材料L2的组织(未腐蚀)  
Fig.2 Microstructure of L2 composite as cast (not eroded)

图3和图4分别是经过腐蚀后的复合材料L1和L2的铸态组织的扫描电镜照片.图3表

明复合材料L1的基体组织是珠光体.这与其他作者的研究结果相同<sup>[2,4]</sup>,说明在普通碳钢条件下,在相当大的C成分范围内,复合材料的基体都形成珠光体组织.而复合材料L2的基体组织经过详细分析(参见文献[6]),沿浇注底面到顶面逐渐从单一马氏体过渡到珠光体和马氏体的混合组织(见图4,白色组织为珠光体,而黑色针状组织为马氏体).形成这种组织的原因是:一方面,由于复合材料基体中含有较高含量的Mn,Si元素,较大地提高了淬透性,以至于在铸态下都能完全或部分形成马氏体.另一方面,复合材料使用水玻璃砂湿型浇注,试样底部铁液受到的激冷作用大,类似于淬火而形成单相马氏体,越往上,试样凝固冷却越慢,组织中马氏体的量越来越少,珠光体组织越来越多,形成了二者的混合组织.

总之,由于两种复合材料含C,Ti量相同,只是Si,Mn元素含量变化,造成了上述铸态组织的变化,所

以认为,在自生 TiC 颗粒增强钢基复合材料中,随着 Si, Mn 合金化元素的升高,复合材料基体组织将经历从单相珠光体到珠光体马氏体混合组织,再到单相马氏体的变化过程。

经过热处理后,两种复合材料的基体组织都变成单相马氏体。

## 2.2 复合材料的性能

两种复合材料的铸态和热处理态力学性能见表 2。

复合材料的性能由基体和 TiC 颗粒共同决定。文中两种复合材料的 C, Ti 含量相同,所以基本消除了 TiC 的影响。只是由于两者中 Si, Mn 元素不同组成了组织和性能上的差异。就铸态硬度而言,复合材料 L1 比 L2 低很多。正如前面所述,这是由于 L1 中含 Si, Mn 元素低,在铸态只形成珠光体,而 L2 含 Si, Mn 元素较高,淬透性必然提高,形成了含马氏体的组织,所以硬度升高较大。值得注意的是,在 L1 上获得的铸态硬度 HRC43.1 与多数研究者应用铸造法获得的 TiC 增强钢基复合材料接近<sup>[2,4]</sup>。

就热处理硬度来看, L1 的硬度较其铸态硬度提高明显,其原因是基体组织由单一珠光体转变为单一马氏体。但是, L2 的硬度较铸态硬度提高不大,显然是因为 L2 的铸态组织由马氏体和珠光体混合组织转变为单相马氏体组织,变化不如 L1 大。L1 和 L2 两者的热处理硬度相差也比较明显,说明尽管二者的基体都是马氏体,但由于合金化元素有强化基体的作用,其含量差异也对材料的强度有明显影响。就热处理态的冲击韧性而言,两种材料差别很小。这说明在 C, Ti 含量相同,基体组织和 TiC 含量相同的情况下, Si, Mn 元素对复合材料的冲击韧性影响不大。

## 3 结论

1) 在自生 TiC 颗粒增强钢基复合材料中,随着 Si, Mn 合金化元素的升高,复合材料基体组织将经历从单相珠光体到珠光体马氏体,再到单相马氏体的变化过程。相应地,复合材料铸态硬度从单相珠光体的 HRC43.1 变化到单相马氏体的 HRC55。

2) Si, Mn 合金化元素的含量对热处理态复合材料的硬度也有明显影响,但对冲击韧性影响不大。

## 参考文献:

- [1] 李祖来, 蒋业华, 周荣. 铸渗法制备金属基表面耐磨复合材料的发展现状[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2003, 28(5): 56~59.
- [2] 严有为. 原位 TiC 颗粒增强铸造钢基复合材料制备工艺[J]. 特种铸造及有色合金, 2002, (5): 19~21.
- [3] 孙建荣, 孙扬善, 樊泉. TiCp/H13(4Cr5MoV1Si) 复合材料的显微组织和力学性能[J]. 材料科学与工艺, 2001, 9(6): 146~169.
- [4] Parashivamurthy K I, Kumar R K, Seetharamu S, et al. Review on TiC Reinforced Steel Composites[J]. Journal of Materials Science, 2001, 36: 4519~4530.
- [5] 虞觉奇. 二元合金状态图集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 252.
- [6] 卢德宏, 许世忠, 蒋业华, 等. 自生 TiC 颗粒增强低合金钢基复合材料的组织[J]. 铸造技术, 2004, 25(4): 256~258.

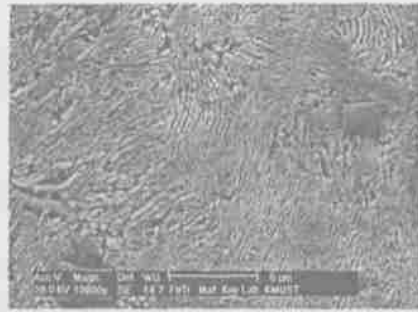


图 3 复合材料 L1 铸态组织(腐蚀态)  
Fig.3 Microstructure of L1 composite as cast (eroded)

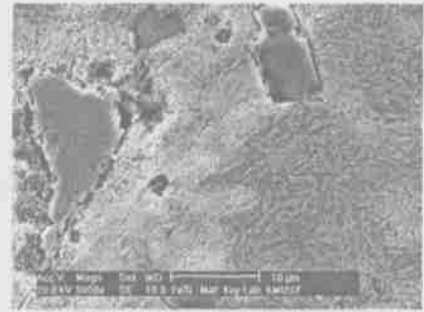


图 4 复合材料 L2 试样顶部附近铸态组织(腐蚀态)  
Fig.4 Microstructure of L1 composite as cast at the top of sample (eroded)

表 2 两种复合材料力学性能对比

Tab.2 Comparison of mechanical properties of two composites			
复合材料	铸态硬度/HRC	热处理态	
		硬度/HRC	冲击韧性/J cm <sup>-2</sup>
L1	43.1	53.9	9.25
L2	53(顶部)~55(底部)	59.9	9.17