

935-938

激光熔覆 TiC_p/Ni 合金复合涂层中 TiC 颗粒的溶解析出行为与分布特征

TG174.4

裴宇韬

孟庆昌 欧阳家虎 雷廷权

(北京工业大学材料科学与工程系, 北京 100022) (哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要 在 45 钢表面激光熔覆 30% TiC_p/Ni 基合金复合耐磨涂层, 其组织由 TiC 颗粒、 $\gamma-Ni$ 固溶体枝状初晶及其晶间的 $M_{23}C_6 + \gamma-Ni$ 共晶组成。 TiC 颗粒既分布在 γ 晶内, 也可被固液界面推移至晶间与共晶共存。 TiC_p 的形貌特征与其在激光熔覆过程中的溶解析出行为密切相关, 其生长机制包括原位析出、桥接生长、独立形核生长和沉淀析出。

关键词 激光熔覆, TiC_p/Ni 合金涂层, 组织, TiC_p 溶解析出, TiC_p 分布特征

碳化钛 颗粒

1 引 言

在碳钢表面激光熔覆硬质碳化物颗粒 MC_p 增强的 Ni 基合金, 可获得与基体结合良好的复合耐磨涂层, 从而显著地改善材料或构件的表面性能。 此类涂层中研究较多的是 WC_p/Ni 合金复合涂层^[1~3]。 与 WC 相比, TiC 比重较轻, 硬度更高, 与 Ni 基合金的浸润性也更好^[4]。 作为 Ni 基合金耐磨涂层的增强相, TiC_p 的效果更为理想。 本文在 45 钢表面激光熔覆 TiC 颗粒增强的 Ni-Cr-B-Si 合金复合耐磨涂层, 用 SEM, TEM 研究了涂层的组织结构和 TiC 颗粒的溶解析出行为。

2 材料与分析方法

采用 30vol.-% TiC 与 70vol.-% Ni-Cr-B-Si 合金的混合粉末作为熔覆材料, 45 钢为基体。 TiC 粉末粒度 2~4 μm ; Ni 合金粉末粒度约 30 μm , 其化学成分为 (wt-%): 15.0Cr, 4.0B, 5.8Si, 0.73C, 12.3Fe, Ni 余量。 将混合粉末用粘结剂均匀涂敷在钢基体表面, 预涂敷厚度 0.5 mm。

用 GJ-I 型横流 CO_2 激光器进行单道熔覆实验, 光斑直径为 3 mm, 使用功率为 1000 W, 扫描速度为 8 mm/s。 熔覆时试样用 Ar 气保护。

激光熔覆后的试样经电化学浸蚀或最后减薄, 分别制备成金相和透镜样品, 用 SEM, TEM 研究复合涂层的组织结构。

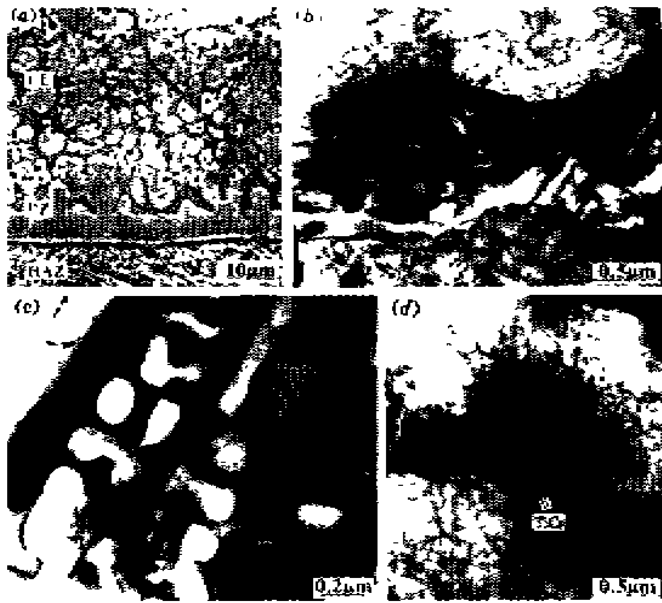


Fig. 1 Microstructure of laser clad 30 vol.-% TiC_p/Ni -alloy composite coating
(a) cross-section of the coating;
(b) TEM morphology of interdendritic eutectics;
(c) stacking faults in eutectic carbide;
(d) TiC particle in primary γ -Ni dendrite

及颗粒与颗粒之间的相互作用、微区的冷却速度和生长方向等因素。就宏观分布而言, TiC 颗粒是均匀分布的〔图 1(a)〕。微观上, TiC 颗粒既分布在 γ 晶内, 也可被固液界面推移至晶间与共晶共存, 如图 2 所示。D. Shangguan 等人在考察固相颗粒与生长着的固液界面之间的相互作用时, 根据颗粒所受作用力的平衡方程推导出了颗粒在固液界面前沿移动的临界速度 V_{cr} 〔5〕

$$V_{cr} = \frac{a_0 \cdot \Delta\sigma_0}{12\eta a R}$$

此式表明, 颗粒移动速度 V_{cr} 与其半径 R 成反比。当固液界面的生长速度 V 大于 V_{cr} 时, 颗粒将被界面捕获而分布在晶内; 反之则被推移至晶间。显然, 颗粒愈粗愈易被捕获, 图 2 中 TiC 颗粒的分布规律与这一论断是吻合的。

Table 1 Composition (wt-%) of the phases presented in the clad layer of 30 vol.-% TiC_p/Ni -alloy coating revealed by EDAX on TEM foils (with C, B excluded)

Phases	Ni	Cr	Fe	Si	Ti
γ -Ni	57.3	13.4	21.5	4.6	3.2
γ_e -Ni	85.1	1.9	3.8	7.7	1.5
M_{23}C_6	1.6	56.3	41.6	0.2	0.3

3.2 TiC 颗粒的溶解析出

熔覆区中 TiC 颗粒的形貌特征与其在激光熔覆过程中的溶解析出行为密切相关。根据

3 结果与分析

3.1 复合涂层的组织

激光熔覆的 TiC_p/Ni 合金复合涂层在横截面上可划分为三层: 含 TiC_p 的熔覆区 (CL)、富 Ni 的中间结合区 (BZ) 及热影响区 (HAZ), 如图 1 (a)。

熔覆区由均匀分布的 TiC 颗粒、初生 γ -Ni 固溶体及其晶间的细小共晶组成。初生 γ -Ni 固溶体由激光熔池底部向中心呈枝晶生长, 内含高密度的位错亚结构〔图 1(b)〕。能谱分析表明, γ -Ni 固溶了大量 Cr, Fe, Si 元素 (表 1)。晶间共晶由 $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ 碳化物与 γ_e -Ni 构成。共晶碳化物中含有大量的层错, 层错的取向沿碳化物的长度方向〔图 1(c)〕。 γ_e -Ni 相中只含有很少量的 Cr, Fe 元素, 这是共晶碳化物形成的结果。

TiC 颗粒在熔覆区中的分布特征主要取决于熔池中的对流传质、 TiC 颗粒与固液界面之间以

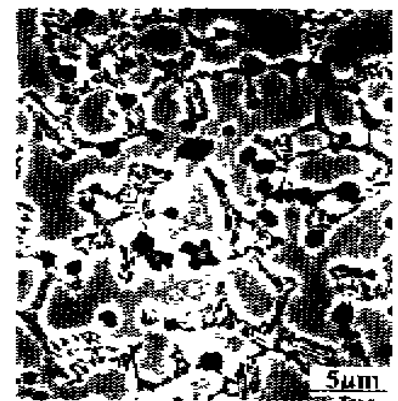


Fig. 2 Distribution of TiC particles in the cladding layer

TiC-Ni 状态图^[6], 共晶反应温度(1307 °C)下, TiC 在液态 Ni 中的平衡溶解度约为 18%。在激光束的快速加热过程中, 由于 TiC 粉末对激光能量的吸收率较 Ni 基合金高得多, TiC₀ 在激光熔池中的溶解度可能更大。因此, 在激光熔覆过程中一些细小的高内能 TiC 颗粒(磨料时有残余变形和畸变缺陷的颗粒)全部被溶解掉, 大的 TiC 颗粒也在其边缘或凸起部位出现了部分溶解。冷却过程中, 这些过饱和的 Ti 和 C 原子从液相中重新以 TiC 形式析出。在涂层中最终见到的 TiC 颗粒除未完全溶解的原始 TiC 颗粒外, 还有从液相中析出的初晶 TiC₀ 以及从 γ_r -Ni 中沉淀析出的弥散 TiC 粒子, 如图 3 所示。

TEM 观察表明, TiC₀ 的形核主要以熔池中大量未完全溶解的原始 TiC 颗粒作为结晶核心, 也可以独立形核生长。TiC₀ 的生长机制包括: (1) 原位析出, 即依附原始 TiC 颗粒边缘向外辐射生长, 或以小面台阶侧向生长〔图 3(a)〕; (2) 桥接生长, 以彼此靠近的几个 TiC 颗粒为核心相向生长并连接〔图 3(b)〕; (3) 独立形核生长, TiC 在液相中的独立形核是基于一些浓度起伏、结构起伏和能量起伏有利的微区位置, 如液相中的 TiC 原子团或单胞等, 然后以台阶侧向堆垛方式长大, 最终以原子密排面包络的多面体形态存在〔图 3(c)〕; (4) 沉淀析出, 在凝固温度以下继续冷却时, γ_r -Ni 相中过饱和的 Ti, C 原子沉淀析出, 形成细小弥散的 TiC 粒子〔图 3(d)〕; 这种沉淀析出主要以 γ_r -Ni 固溶体中的缺陷作为形核位置, 位错线牢固地钉扎住析出物。

4 结 论

(1) 激光熔覆 TiC₀/Ni 合金复合耐磨涂层熔覆区的组织由 TiC 颗粒、 γ -Ni 枝状初晶及其晶间的共晶 γ_r -Ni+M₂₃C₆ 组成。

(2) 熔覆区中 TiC 颗粒的分布在宏观上是均匀的; 微观上, 当固液界面的生长速度 V 大于颗粒移动的临界速度 V_G 时, TiC₀ 被界面捕获而分布在 γ 晶内; 反之, 则被推移至晶间。

(3) TiC 颗粒的形貌特征与其在激光熔覆过程中的溶解析出行为密切相关。TiC₀ 的生长机制有四种, 即原位析出、桥接生长、独立形核生长和沉淀析出。

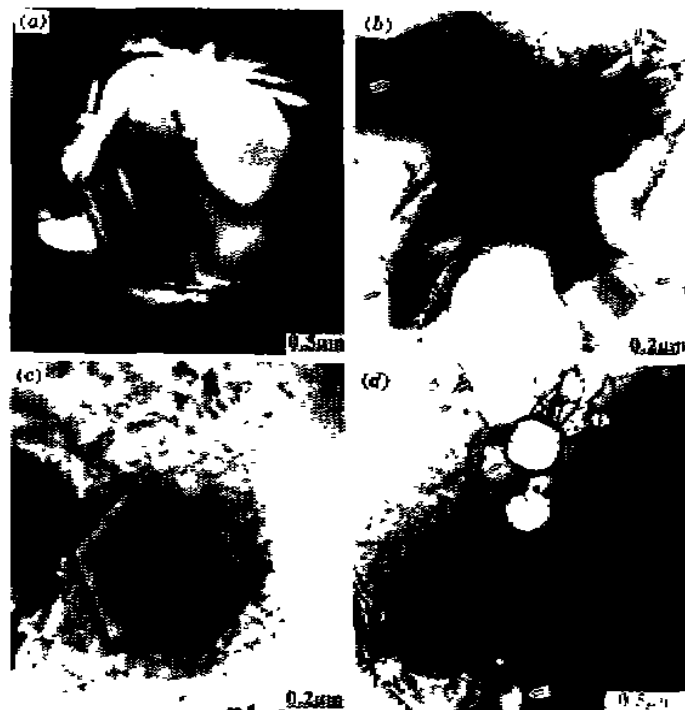


Fig. 3 TEM morphology and growing characteristics of TiC particles in the clad layer

(a) radiated growth of a TiC particle; (b) bridge connection growth in the cluster of 4 TiC particles; (c) independent nucleation and growth of a TiC particle with smooth facets; (d) TiC precipitates from γ_r -Ni solid solution

参 考 文 献

- 1 J. L. Olivares, I. C. Grigorescu. Friction and wear behaviour of thermally sprayed Nichrome-WC coatings. *Surf. Coat. Technol.*, 1987, 32:183~190
- 2 E. Lugscheider, H. Bolender, H. Krappitz. Laser cladding of paste bound hardfacing alloys. *Surf. Eng.*, 1991, 7

(4):341~344

- 3 张 松, 朱荆璞, 谭朝鑫. 激光熔敷 Ni 基 WC 合金. 材料科学进展, 1990, 4(2):168~173
- 4 株洲硬质合金厂. 硬质合金的生产. 北京: 冶金工业出版社, 1974
- 5 D. Shangguan, S. Ahuja, D. M. Stefanescu. An analytical model for the interaction between an insoluble particle and an advancing solid/liquid interface. *Metall. Trans. A*, 1992, 32A:669~680
- 6 马莒生. 精密合金与粉末冶金材料. 北京: 冶金工业出版社, 1982

Dissolution and Precipitation of TiC Particles and Their Distribution in a Laser Clad 30vol. - % TiC_p/Ni-alloy Composite Coating

Pei Yutao

(Department of Materials Science and Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Meng Qingchang Ouyang Jiahu Lei Tingquan

(School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract A 30vol. - % TiC_p/Ni-alloy composite material was cladded on steel 1045 using a 2 kW laser. The clad layer of the coating presents TiC particles, primary γ -Ni dendrites and the eutectics of γ -Ni + (Cr, Fe)₂₃C₆ in the interdendritic regions. Depending mainly on their sizes, TiC particles can not only be trapped by the advancing solid/liquid interface and thus distribute within the γ -Ni dendrites, but also be pushed away by the interface into the interdendritic regions together with the eutectics. The morphology of TiC particles are closely related to their dissolution and precipitation behavior during laser cladding. The growing mechanism of TiC particles are as follows: (1) radiated or stepped lateral growth at the edges of original particles; (2) bridging growth of the particles in cluster; (3) faceted growth of newly independently nucleated TiC particles in the liquid phase and (4) precipitation of TiC in γ -Ni extended solid solution.

Keywords laser cladding, TiC_p/Ni-alloy coating, microstructure, dissolution and precipitation of TiC_p, distribution of TiC_p