

动力学变质剂对激光选择烧结硬化层冷裂纹的抑制作用

胡乾午 刘顺洪 李志远 胡席远
(华中理工大学材料学院 武汉 430074)

提要 从改变结晶状态的角度出发,研究了含硅、含铝等动力学变质剂对耐磨合金激光选择烧结成型的激励增塑作用,探讨了变质剂对烧结合金层化学成分及晶体形态的影响。结果表明,采用合适的动力学变质剂可以细化烧结合金层的组织,消除烧结合金层脆性开裂现象。

关键词 激光选择烧结,冷裂纹,变质剂,激励增塑

激光选择烧结(Selective Laser Sintering)是一种快速成型新技术,它集中采用了材料冶金、激光、数控、CAD/CAM等多种技术,具有加工成型速度快、精度高及适用范围广等特点,在非金属材料原型制造中发挥了突出的作用^[1,2]。对金属材料的激光选择烧结成型,由于难度较大,目前还处于研究阶段。本文以金属模具表面激光选择烧结成型耐磨合金层为背景,研究了高碳高铬合金激光选择烧结技术。在耐磨金属材料的激光选择烧结成型中,烧结硬化层的开裂是一个非常棘手的问题。对于类似的问题,过去曾有人设想通过调节合金粉成分,降低金属线膨胀系数来避免合金层开裂^[3],但研究工作进展不大。从根本上看,采用添加合金元素防止合金层开裂的方法,由于需要顾及到不降低合金层特有性能,实行起来拘束性较大,所以难以奏效。本文采用变质剂技术,研究了动力学变质介质对激光选择烧结硬化层增塑抗裂的作用。

1 实验方法

实验所用激光器为HGL-81型2 kW横流连续CO₂激光器。高碳高铬合金粉化学成分(质量分数)为C3.3~4.3, B1.0~2.0, Si2.5~3.5, Cr23.0~26.0, Ni4.0~6.0, 余Fe, Re微量。试样为100 mm×30 mm×10 mm的A3钢。将不同比例的变质剂加入到FeCrNiSiB合金粉中,在不同工艺参数下进行激光选择烧结,激光选择烧结工艺参数为:光束直径2~4 mm,扫描速度5~15 mm/s,激光功率1.8 kW。氩气保护。用金相显微镜、扫描电镜和电子探针对烧结合金层的显微组织和化学成分进行分析。

2 实验结果

2.1 FeCrNiSiB激光选择烧结合金层组织形貌及脆性开裂现象

FeCrNiSiB 合金粉是在高铬铸铁基础上添加 B, Si 元素制成的合金。由于 Cr, C 含量很高, 结晶组织为含有大量 $(Cr, Fe)_x C_y$ 碳化物硬质相的过共晶组织, 具有优异的耐磨性能。其耐磨性超过钴基以及其他铁基合金, 某些场合甚至高于 WC+ Ni 基合金, 适用于重载弱腐蚀环境工件的表面硬化层。FeCrNiSiB 烧结合金层的断面组织形貌如图1所示, 其烧结成型过程及组织形貌有如下特点:

- (1) 激光烧结成型后, 常常可以听到合金层的脆断声, 表明开裂形式为冷裂纹开裂;
- (2) 裂纹贯穿烧结合金层, 并有气孔存在, 如图1 (a) 所示;
- (3) 烧结合金层为过共晶组织, 渗碳体含量多, 初生碳化物呈块状分布, 其长度约为100 μm , 厚度约为6~ 18 μm , 如图1 (b), (c) 所示。

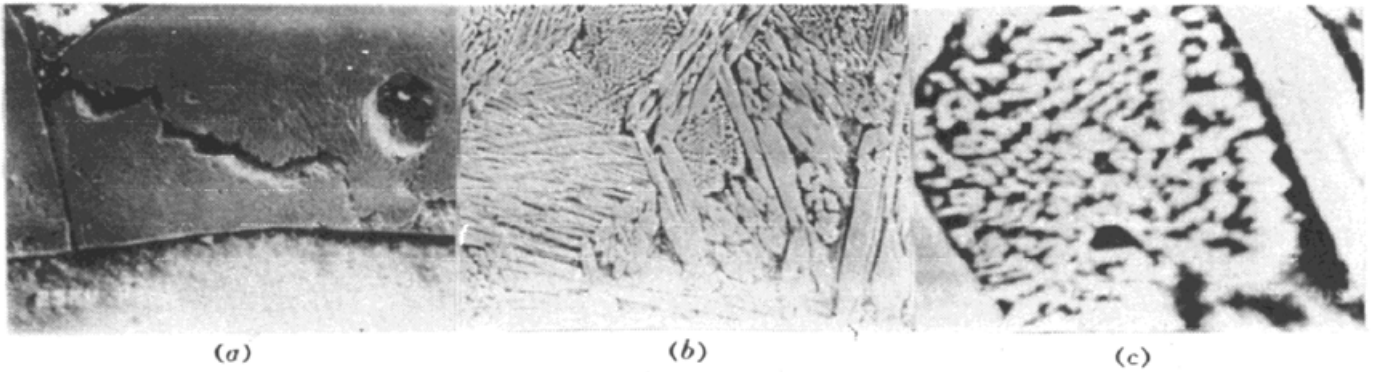


图1 铁基合金激光选择烧结硬化层断面形貌

Fig. 1 Sectional appearance of the iron-base alloy obtained by SLS

(a) 150 \times ; (b) 500 \times ; (c) 3000 \times

激光选择烧结合金层的脆性开裂, 一方面是由于烧结层晶粒粗大, 而且塑性差、收缩率大 (2.3%左右)^[4]的渗碳体含量多; 另一方面是由于急速加热且快速冷却形式的激光选择烧结过程引起的残余拉应力较大。两者的共同作用, 导致了烧结合金层的严重开裂。

2.2 动力学变质剂对激光选择烧结硬化层的增塑作用及物理冶金特点

为了消除激光选择烧结 FeCrNiSiB 合金层中的冷裂纹, 改善一次晶晶态、细化晶粒是一种行之有效的方法。为此, 我们向 FeCrNiSiB 合金粉中加入一定量(5 μm 左右)的动力学变质剂。

2.2.1 含硅变质剂的激励作用

加入含硅变质剂的激光选择烧结层断面组织形貌如图2所示。其激励作用及物理冶金特点如下:

(1) 对烧结合金层断面进行 Si 元素面扫描发现, 在烧结合金层上部 Si 元素富集(图2 (a) 的白亮部分)。这说明激光选择烧结过程中, 变质剂虽上浮至表层, 但并未完全逸出烧结层本体。出现这种现象, 是因为在高温下变质剂与液态金属发生置换氧化反应^[4], 反应的结果, Si 以合金元素的形式存在于烧结合金层中;

(2) 烧结合金层组织浸蚀困难, 表明 Si 的固溶提高了合金层的耐蚀性;

(3) 烧结合金层中有夹渣现象, 夹渣处 Si 元素含量较高;

(4) 烧结合金层中存在微裂纹, 图2 (b) 是放大1500倍的裂纹形貌。裂纹呈叶脉状分布, 裂纹宽度约为0.1~ 0.5 μm 。

从实验结果来看,含硅变质剂对 FeCrNiSiB 烧结合金层的激励作用产生了一定的效果,减轻了烧结合金层的开裂程度,并提高了烧结合金层的耐蚀性。但是,由于合金层组织脆性仍然较大,并有夹渣、微裂纹出现,因此并不能满足工程应用的要求。

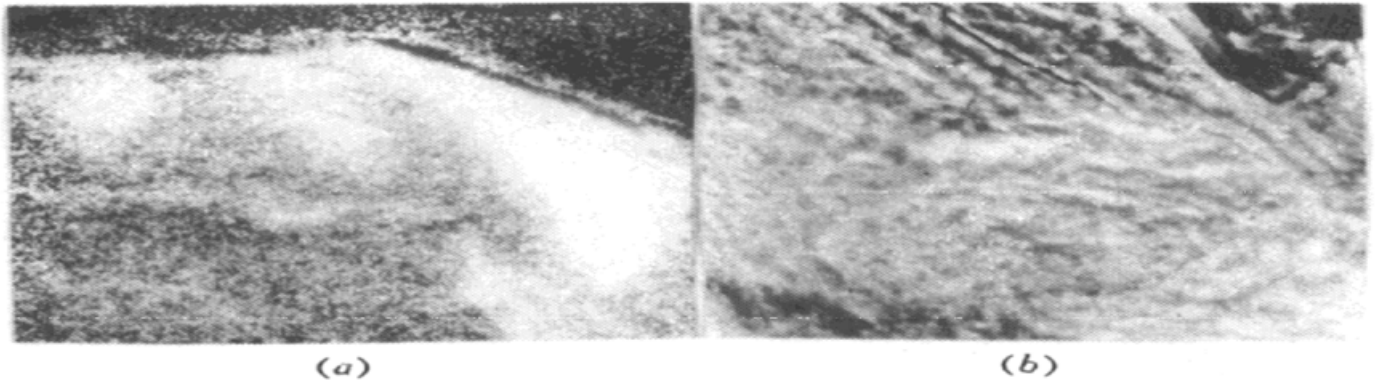


图2 含硅变质剂激励激光选择烧结硬化层断面形貌

Fig. 2 Sectional appearance of the SLS layer excited by metamorphic materials containing silicon
(a) sectional scan of silicon element with electron probe, 360 \times ; (b) appearance, 1500 \times

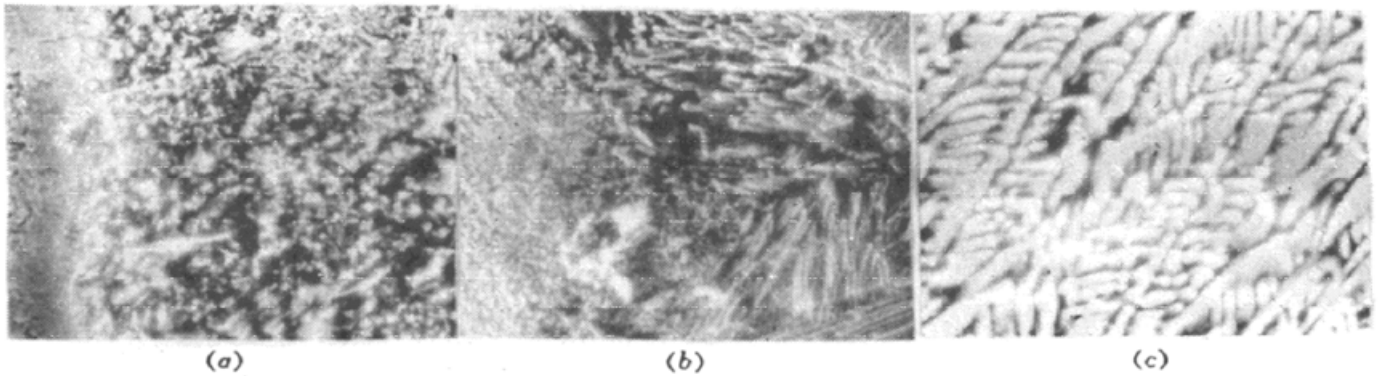


图3 含锆变质剂激励激光选择烧结硬化层断面形貌

Fig. 3 Sectional appearance of the SLS layer excited by metamorphic materials containing zirconium
(a) 600 \times ; (b) 600 \times ; (c) 3000 \times

2.2.2 含锆变质剂的激励增塑效果

含锆变质剂激励的 FeCrNiSiB 烧结合金层,其组织形貌如图3所示,其冶金质量及化学成分有如下特点:

- (1) 激光选择烧结后,烧结合金层表面光滑,成型良好;
- (2) 烧结合金层组织细小,没有裂纹出现。烧结合金层仍然为过共晶白口组织。在与基体交界处,合金层为短杆状(长约10 μm)或粒状组织(图3(a))。合金层的上部,先共晶碳化物为纤维状,纤维长约48 μm ,直径约3 μm (图3(b))。由图3(c)可以看到,纤维组织为枝状结晶体;
- (3) 用 JEOL SUPERPROBE 733型电子探针对烧结合金层断面进行 Zr 元素面扫描,未发现 Zr 局部富集现象;
- (4) 对烧结合金层断面进行波谱线扫描,未发现 Zr 元素的峰值曲线;
- (5) 对烧结合金层的特定微区进行能谱点分析,也未发现 Zr 元素的存在;
- (6) 激光烧结时有飞溅现象。

由实验结果可以得出如下结论:含锆变质剂已完全逸出烧结合金层本体,含锆变质剂的激励作用可以细化 FeCrNiSiB 的初生碳化物及合金层本体,获得无裂纹的激光烧结合金层。这

一结论有较大实用价值。

3 讨 论

在含锆变质剂激励下,激光选择烧结合金层组织明显细化,这对消除诸如 FeCrNiSiB 这类低塑性耐磨蚀硬化层的冷裂纹有十分积极的作用。其细化晶粒、增加塑性的原因,与变质剂在熔融金属中的动力学作用有关,具体表现在以下三个方面:

(1) 变质剂的宏观运动促进晶核的动力学增殖,增加液相金属的形核率。运动物质的冲击作用会将液体中正在生长的晶芽打碎、冲走。一方面,碎裂的晶核分成若干新的核心;另一方面,晶芽冲走以后原位会生成新的晶芽。这种由运动引起的核心增多的现象即为晶核的动力学增殖。形核率的增多使结晶组织细化,塑性增强,抗裂性提高;

(2) 激光烧结后的冷却过程中,从表面逸出的变质剂会带走一部分热能,降低液体金属的温度,从而促进结晶组织细化;

(3) 激光烧结后,液相物质因变质剂逸出作用而流动性增强,有利于液相物质填补非平衡凝固组织的间隙,减少晶间微裂纹,从而减少冷裂纹的萌生源,降低烧结合金层开裂倾向。

参 考 文 献

- 1 Killander Lena Apelskog. Rapid mound: epoxy-infiltrated, laser-sintered inserts. *Rapid Prototyping Journal*, 1996, **21**(1): 34~ 40
- 2 C. L. Atuood, M. C. Maguire, B. T. Pardo. Rapid prototyping applications for manufacturing. *SAMPE Journal*, 1996, **32**(1): 55~ 60
- 3 Shang Lijuan, Zhe Jinpu. Methods & easy producing problems of laser cladding. *Metal Science & Technology* (金属科学与技术), 1992, (3): 3 (in Chinese)
- 4 Zhou Zhenfeng, Zhang Wenyue. *Weld Metallurgical & Metal Weldability*. Beijing: Mechanical Industry Press, 1988. 87, 47 (in Chinese)

Restraining Role of Dynamics Metamorphic Materials to the Cold Crack of Hardened Layers Obtained by Selective Laser Sintering

Hu Qianwu Liu Shunhong Li Zhiyuan Hu Xiyuan

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract Proceeded from the point of view to alter the crystallization state, the effect of excitation plasticization by use of dynamics metamorphic materials containing silicon or containing zirconium etc. for the wear resistant alloy layer obtained by selective laser sintering is studied in this paper. The influence of the metamorphic materials on the sintering layer's chemical composition and on the crystalline state is discussed. The result thows that the structure of the sintering layer can be thinned down and the phenomenon of brittlely cracking in the sintering layer may be eliminated by use of appropriate dynamics metamorphic materials.

Key words selective laser sintering, cold crack, metamorphic material, excitation plasticization