

激光熔覆层结晶方向对覆层裂纹方向和开裂敏感性的影响

宋武林 朱蓓蒂 甘翠华 张 菁 崔 昆

(华中理工大学材料系, 武汉 430074)

摘要 通过调整激光熔覆铁基合金粉末的成分,发现熔覆层裂纹方向和开裂敏感性将随其成分的变化而变化。具体表现为:随着熔覆铁基合金粉末中 Ni 含量的增加,裂纹方向与激光扫描方向的夹角减小,直至裂纹消失。其原因是随 Ni 含量的变化,覆层搭接区结晶方向发生了改变。由此提出了通过控制结晶方向来达到减少熔覆层开裂敏感性的方法。

关键词 激光熔覆,裂纹,结晶方向

1 引言

为解决大面积激光熔覆和在大尺寸零件上的应用等问题,国内外许多研究者做了许多工作^[1~3],从而减少开裂敏感性等。然而对覆层组织特别是结晶方向对覆层开裂的影响并通过控制结晶方向来达到减少覆层开裂的研究很少,本文则从这方面入手开展了一些研究,并提出了控制覆层结晶方向来达到减少覆层开裂敏感性的新方法。

2 试验方法

2.1 试验材料

熔覆材料选用铁基合金粉末,其成分为: Ni 为 8~10%, Cr 为 18%, B 为 2~2.5%, Si 为 2.5~3.5%, C 为小于 0.2%, 其余为 Fe; 基体材料为 45# 钢。基材尺寸为 80×35×10 mm³。

2.2 激光熔覆

将选用的铁基合金粉末和调整成分后的铁基粉末采用预置法涂于基材之上,涂复厚度为 1 mm,然后在 2 kW 连续 CO₂ 激光器上进行多道搭接激光熔覆;搭接率为 50%,道数为 6 道;熔覆工艺参数为:功率 2 kW,扫描速度为 4 mm/s,光斑直径为 5 mm。

2.3 覆层裂纹的检测

采用渗透法检测激光熔覆层裂纹,其原理是利用显像剂对渗透剂的吸附显示裂纹的分布与走向。

2.4 显微组织的观察

利用光学显微镜和扫描电子显微镜(SEM)对熔覆层组织进行观察,特别注意裂纹走向与

结晶方向的关系。

3 试验结果与分析

3.1 Ni 含量对 Fe—Cr—Ni—B—Si 合金粉末激光熔覆层裂纹的影响

在选用熔覆 Fe—Cr—Ni—B—Si 合金粉末成分的基础上调整其中 Ni 含量,然后相应对其进行激光熔覆,并对各自熔覆层进行裂纹检测,结果发现:(1)多道熔覆层裂纹多发源于第一道,然后向其他第几道扩展,在第一道时裂纹基本垂直于激光扫描速度方向,而从第二道开始裂纹将与激光扫描速率成锐角,在随后的几道中裂纹基本按此方向继续扩展,并随覆材中 Ni 含量增加,此夹角有变小的趋势,如图 1 和图 2 曲线 1 所示。(2)裂纹多为横贯整个覆层,同等覆层面积上裂纹条数(或覆层开裂敏感性)将随其 Ni 含量的增加有减少的趋势,如图 2 中曲线 2 所示。多道激光熔覆中,由于各道熔覆时产生的应力在第一道上叠加,故覆层裂纹以第一道起源不足为怪;另外从图 2 可看出裂纹条数的变化和扫描速率与裂纹走向夹角的变化有较强的对应关系。图 2 中夹角 α 的变化规律将在后文中作进一步的分析讨论。(3)随 Ni 含量的增加多道搭接区结晶方向发生明显变化,即在激光熔覆水平面上,搭接区结晶方向与激光扫描方向(或搭接线)间的夹角 β 发生明显变化,如图 2 中曲线 3 所示。

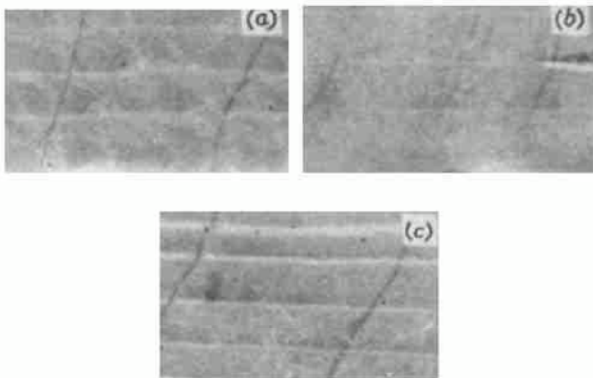


Fig. 1 Effects of Ni content on crack direction
(a) 0 wt-%; (b) 5 wt-%; (c) 10 wt-%

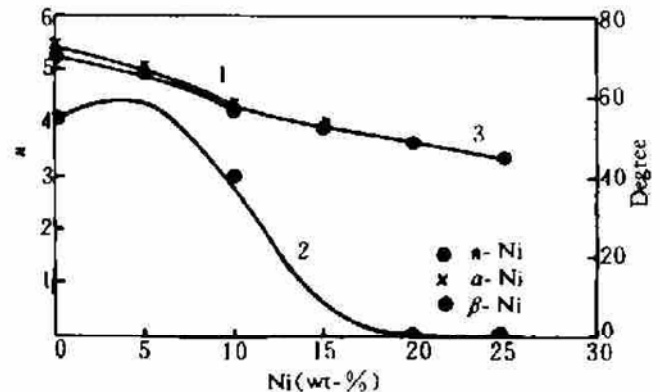


Fig. 2 Effects of Ni content on cracking sensibility
 α , the included angle between cracks and the laser scanning direction; β , the included angle between crystallizing orientation and the laser scanning direction; n , number of cracks in the same cladded zone

3.2 熔覆裂纹与显微组织的关系

3.2.1 裂纹沿枝晶生长方向扩展

将带有裂纹的覆层通过 SEM 观察显微组织,发现 Fe—Cr—Ni—B—Si 合金熔覆层组织为先共晶与共晶组织,如图 3 所示。覆层中裂纹都是沿枝晶方向分布,仔细观察裂纹主要是分布于枝晶间,即裂纹是沿结晶方向扩展。即使裂纹在扩展途中遇到结晶(枝晶)方向不完全平行于裂纹方向,此时裂纹将适当改变扩展方向以图适应于沿结晶方向扩展的规律,如图 3(a) 所示。假若裂纹扩展到某此区域时,其结晶方向几乎垂直于裂纹扩展方向,则此时由于应力大小及其方向的原因,裂纹无法作大角度地改变方向,而只好强行穿过枝晶而沿原方向扩展。但由于要几乎横拉断枝晶,其阻力很大,故裂纹将大都要终止于此类区域,如图 3(b) 所示。

产生以上现象的主要原因是熔覆层裂纹大都属于热裂纹,或称为凝固裂纹。此类裂纹的形成机理主要是由于凝固温度区间内,初生的枝晶会出现相互钩连,于是就形成了一个结聚固态

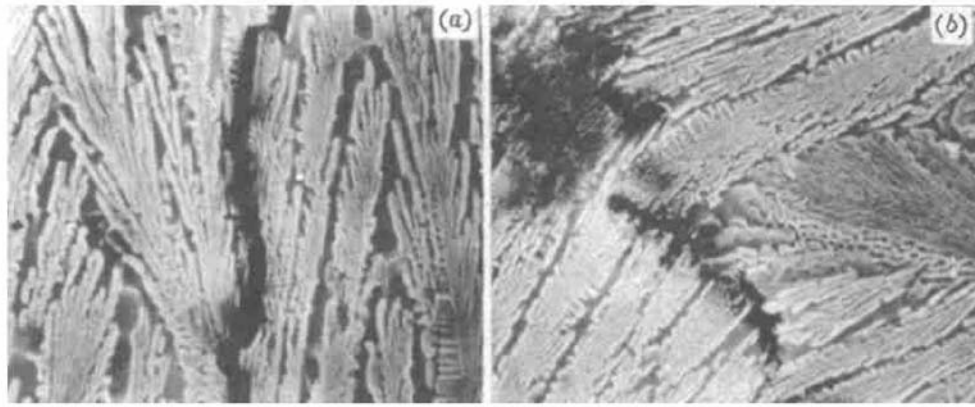


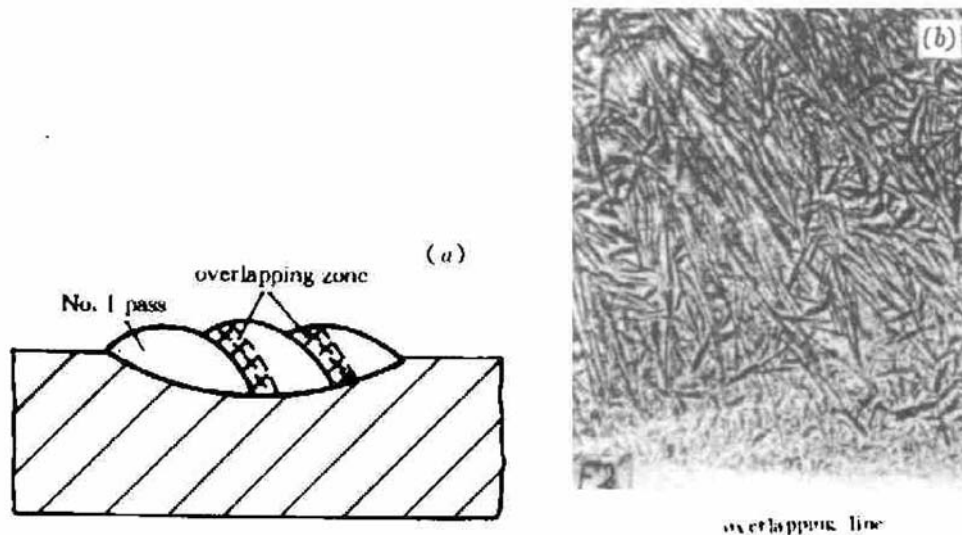
Fig. 3 Crack propagating behaviour

(a) cracks propagating along crystallizing orientation; (b) cracks stopping at some zones ($\times 200$)

网(仍具有一定方向性),图3中即可看出。再继续冷却时,收缩应变就开始发生,初生枝晶的形成,造成枝晶间液体封闭,而在随后冷却中,由于收缩而无足够液体补充,易于在枝晶间形成凝固裂纹源。再加上枝晶间组织是在较低温度下结晶的,一些低熔点杂质极易混入其中,故枝晶间开裂敏感性大。再继续冷却,应力增大,于是枝晶间的裂纹源将会沿枝晶间扩展,从而导致显微组织中裂纹沿枝晶生长方向分布。同时由于激光熔覆中冷却的温度梯度分布复杂,故不同区域可能会出现不同的结晶方向,从而在显微组织中可以看到裂纹扩展中遇到与之近乎垂直的枝晶,此时裂纹要穿过它们,首先则要将其中的初生枝晶拉断。然而初生枝晶组织纯净,缺陷少,强度相对较高,当熔覆层应力有限时,裂纹将难以穿过此结晶区,故裂纹往往终于此处。如图3(b)所示。

3.2.2 Ni 含量对熔覆层结晶方向的影响

在光镜下对覆层组织进行观察时,在激光熔覆水平面上,我们发现熔覆层组织其搭接区(相对被搭接区),结晶方向与激光扫描方向成某一锐角,如图4所示。此角随Ni含量的增加

Fig. 4 The crystallizing orientation in the overlapping zone ($\times 400$)

而减少。其趋势和覆层裂纹方向与激光扫描方向的夹角随Ni含量的变化趋势相同,如图2所示。而前面的实验结果可知裂纹沿覆层组织中枝晶方向扩展,这正是从宏观看到的裂纹扩展方向与激光扫描方向夹角随Ni含量而变化的根本原因。也就是说熔覆层中Ni含量的变化改变了覆层搭接区的结晶方向(或枝晶生长方向)而最终改变了覆层的裂纹走向,甚至改变覆层开

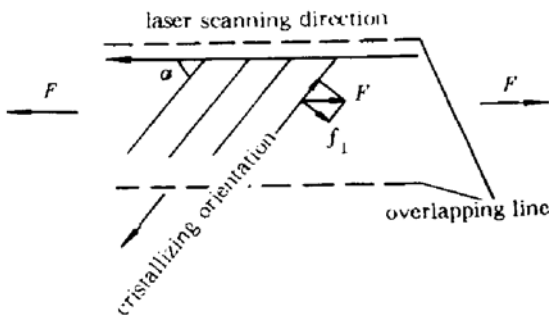


Fig. 5 Relation of crystallizing orientation and stress direction in a laser clad layer

裂敏感性。

4 讨 论

从以往的文献报道^[3]得知激光熔覆层裂纹多为垂直于激光扫描方向,由此不难分析覆层中最大的拉应力方向应为沿激光扫描方向分布。而本文中结果是随 Ni 含量的变化,覆层搭接区结晶方向发生变化,覆层中裂纹扩展方向也发生变化。我们不妨以应力分解的力学模型来进行分析讨论。

如图 5 所示,将沿扫描轴向分布的最大拉应力在激光熔覆水平面上分解为平行搭接区结晶方向和结晶法向的两个分应力,而沿法向的分应力正是引起裂纹沿枝晶方向扩展开裂的原因,沿结晶方向(或沿枝晶方向)的裂纹正是熔覆层的主要裂纹,可见这一分应力的大小直接影响着熔覆层开裂敏感性。由力的分解原理知

$$f_1 = F \sin \alpha \quad (1)$$

f_1 为垂直于结晶方向的分应力, F 为沿激光扫描轴向的最大拉应力, α 为搭接区结晶方向与激光扫描方向的夹角。从式(1)可知 α 变小, f_1 随之而变小,即覆层开裂更困难。而本文的试验结果知,Ni 含量增加, α 减小,开裂敏感性变小,从式(1)就可得到应有的解释。

从以上的讨论可知,通过采用不同的方法,控制熔覆层结晶方向,减小 α ,使 f_1 减小,从而来减小覆层开裂敏感性,这将是可行的。

参 考 文 献

- 1 V. M. Weerasinghe, W. M. Steen. Laser cladding with pneumatic powder delivery. In: E. A. Metzbowser (ed.) *Lasers in Materials processing*. Ohio: American Society for Metals. 1983. 166~174
- 2 A. Frenk, C. F. Marsden, J. D. Wagniere. Influence of an intermediate layer on the residual stress field in a laser clad. *Surface and Coating Technology*, 1991, 45: 435~441
- 3 刘江龙, 韩志壮, 邹至荣. 金属表面激光熔化后的表面开裂研究. *中国激光*, 1990, 17(11): 669

Effects of Crystallizing Orientation on Crack Direction and Cracking Sensitivity in Laser Cladded Layers

Song Wulin Zhu Peidi Gan Cuihua Zhang Qing Cui Kun

(Department of Materials, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract After adjusting components of the Fe-base alloy powder which is used to clad by laser, we find that crack direction and cracking sensitivity in laser cladded layers change with composition of the cladded layers. The included angle between the crack direction and the laser scanning direction decreases as Ni content in the cladded layers is increased. When Ni content is increased to above 15 wt-%, cracks disappear. The reason for these results is that the crystallizing orientation of the overlapping zone is changed with changing of the amount of Ni in the cladded layers. So we think that controlling the crystallizing orientation of laser cladded layers is an effective method to decrease the cracking sensitivity of laser cladded layers.

Key words laser cladding, crack, crystallizing orientation