

# Ni—Cr—B—Si 系合金激光熔覆 ——结合带与热影响区

李雨田 关振中

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 本文探讨了在激光熔覆 Ni—Cr—B—Si 系合金中结合带和热影响区的特征及形成机制, 从而提出了评价激光熔覆工艺参数和减少有害热影响的方法。

**关键词:** 激光熔覆; 结合带; 热影响区

## 1 前言

本文系统地总结了有关覆层与基材间的结合带和基材热影响区的研究结果。这对于改善激光熔覆工艺, 提高熔覆质量无疑是十分重要的。

## 2 覆层与基材间的结合带

激光熔覆层与基材之间存在一条白亮的结合带, 如图 1 所示。这条结合带是以铁为主, 含有较高的 Ni、Cr 等元素的奥氏体组织。其宽度约在  $(2-8)\mu\text{m}$  之间, 随熔覆工艺的改变而变化。

从本质讲, 结合带是熔融的基材表层与覆层合金液相互扩散而成的, 即为熔合带。结合带内存在着很大的成份梯度, 这一方面是由于高能密度快速熔化与凝回, 致使扩散时间极短, 因此限定在靠近基体的很小范围内。另一方面, 这种浓度梯度在结晶过程中会进一步增大。因为结晶首先在基材与液相的交界面开始。按溶质分配理论, 在只有扩散的条件下, 由于溶质在固相中的分配系数均小于 1, 因而在未达到平衡结晶之前, 浓度梯度必然会变得较之液相时更大。

覆层凝固时, 在液固界面处生长速度最小, 难以造成成份过冷。此外该处还存在着较大的温度梯度。这些是促使结合带平面生长的原因。但随着平面向液相推进, 生长速度亦随之加快, 其前沿富集的溶质元素逐渐增多, 最终因成份过冷而导致胞状晶的产生, 形成了图 1 的组织特征。

熔覆层与基材未有共同的晶粒, 即基材未产生外延生长, 其原因在于未熔基材与结合带晶

体结构相异。由于基材为 2Cr13,按相图,靠近熔融液相的固相界面应为一层  $\delta$ -Fe。因而奥氏体的结合带只能在  $\delta$ -Fe 层上形成, $\delta$ -Fe 层也不能外延到奥氏体层中。这样就形成了结合带与基材的平直界面。但是应指出,结合带与基体之间也存在着元素的相互固态扩散。电子探针和辉光光谱分析证实,在基材一侧的薄层内,存在着与结合带和基材界面相平行的富铬和富碳层。这是硼向基材扩散的证据。

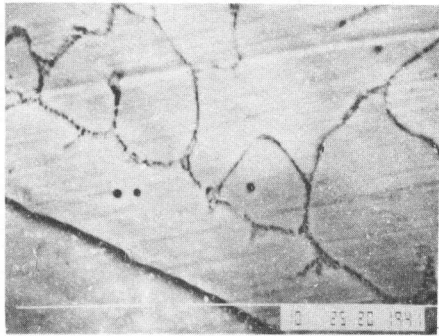


Fig. 1 The bonding area between Niol alloy layer and 2Cr13 base steel,SEM

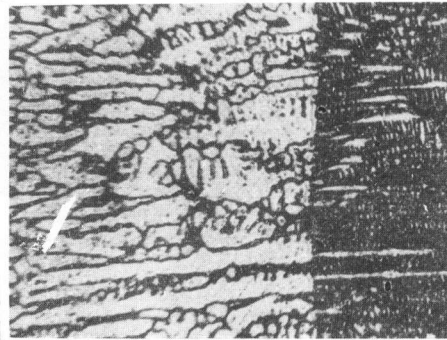


Fig. 2 Cross-section structure of Niol alloy layer melted by laser beam once again 400X

按上述的结合带形成机理,对于同种材料的熔覆是不应存在“白亮”结合带的。这种情况已为多次喷涂重熔所证实,如图 2。

支持这一机理的另一证据是,如覆层与基材结合不好,即基材未有极薄的熔化层时,覆层与基材之间也不产生结合带。

综上所述,可以认为结合带的特点是即有基材的熔化和元素的扩散,又无基材与覆层间的共同晶粒,而结合带的厚度大体上等于基材熔化层的深度。因此,结合带即可做为检验覆层与基材是否形成冶金结合的判据,也可做为评价熔覆工艺参数的依据。一般来讲,结合带过厚,即会因基材过分熔化而“冲淡”覆层合金,也会对基材产生严重的热影响区,反映出工艺参数选择不适当,需要进行调整。

### 3 激光熔覆中对基材的热影响

激光熔覆中会对基材产生一个热影响区,依据其材质的不同,热影响区的组织有所区别,本文仅以 2Cr13 基材为例进行讨论。

图 3 为未经预热和后热处理的 2Cr13 基材的热影响区。由表及里按组织构成大致可分为四部分:

1. 最表层为极薄的  $\delta$ -Fe 层,见图 3(b)。
2. 次表层为粗大的  $\delta$ -Fe+屈氏体层,见图 3(b)。
3. 其次为细小的  $\delta$ -Fe+屈氏体层,细条状  $\delta$ -Fe 大致均匀分布在屈氏体中,如图 3(c)。
4. 最后为极细的低温回火马氏体带,如图 3(d)。

上述的组织构成是由于光束以指数曲线方式穿透加热,致使基材表面产生极大的温度梯度,形成了不同的过热带。按 Fe-Cr-C 变温截面图,与上述组织层相对应的高温组织区为:

1.  $L+\delta$  二相区。

2.  $L+\delta+\gamma$  三相区,为严重过热带,造成了晶间熔化和晶粒粗大,导致大量  $\delta$ -Fe 沿过热的晶界及某些晶面析出。
3.  $\delta+\gamma$  两相区,未引起晶粒粗化,仅少量的  $\delta$ -Fe 沿某些晶面析出。
4.  $\gamma$  单相区。

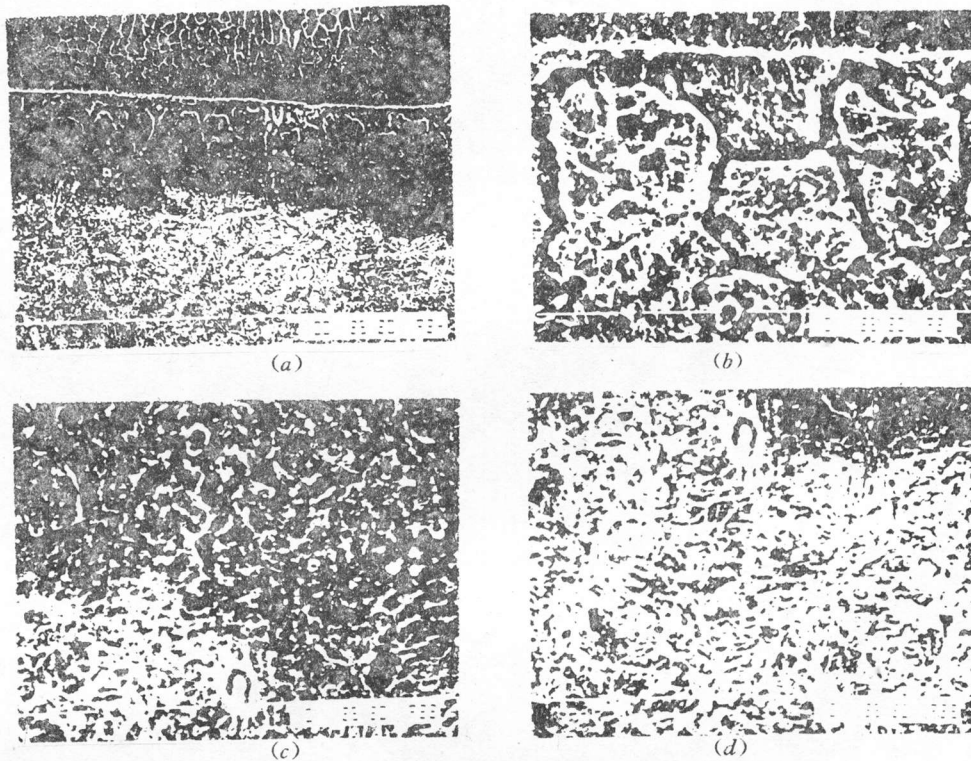


Fig. 3: The heat affected zone in 2Cr13 base steel, produced by laser cladding  
(a)The whole of heat affected zone; (b)The zone of coarsening  $\delta$ -Fe+troosite; (c)The zone of fine  $\delta$ -Fe+troosite; (d)The zone of low tempering martensite SEM

在冷却中,首先将发生  $\gamma-M$  相变,随后由于下次搭接扫描所产生的较低的附加温度场的影响,使得处于屈氏体形成温度的马氏体转变为屈氏体。而此温度区外,则形成了低温回火马氏体。这样就形成了上述常温下的热影响区的组织特征。

上述的热影响区与激光熔覆工艺密切相关,一般来说,覆层愈厚,扫描速度愈低,热影响区愈严重。其与覆层厚度的关系大致如表 1 所示。由于基材表面  $\delta$ -Fe 层不是单独相区,仅为一种析出形式的表现,故表中未予单列。由表可见,在所有的熔覆条件下, $\gamma$  带均远大于两相区或三相区,构成了热影响区的绝大部分。这可能与光束穿透加热特征,相区形成温度及相区温度区间的大小有关。

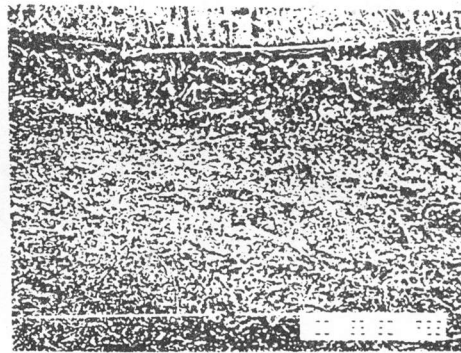
上述的热影响区,就其对材料的影响而论,无疑是有害的。 $\delta+\gamma$  带的转变产物于该处的抗蚀性不利,而低温回火马氏体带的存在则会引起调质基材的抗冲击性严重下降。

为了防止或减轻熔覆对基材的不利影响,可采用预热或后热处理,以制止高温奥氏体转变为屈氏体或马氏体的相变,而代之以等温索氏体。图 4 为经  $700^{\circ}\text{C}$  热处理后的 2Cr13 基材的热影响区组织,可以看出,其热影响区的组织构成较为简单,仅分为三种不同组织带。

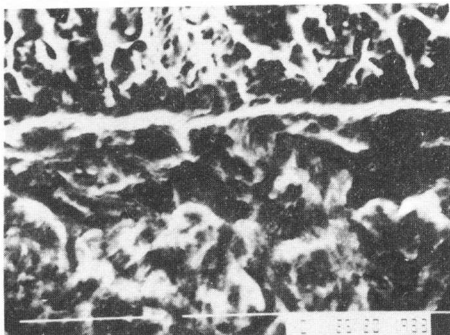
1. 近表层的粗大  $\delta$ -Fe+索氏体见图 4(b)。

表 1 覆层厚度与基材热影响区内高温相区的关系

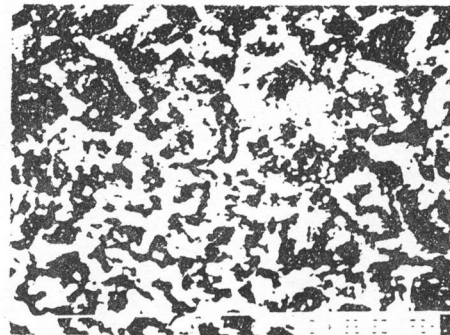
涂层厚度 (mm)	覆层厚度 (mm)	热影响区内不同过 热带的高温组成相	厚度 (mm)	热影响区不同过热 带的晶粒度
0.15	0.12	$\gamma$ 带	15	细小
0.25	0.20	$\gamma$ 带	25	细小
0.50	0.40	$\delta+\gamma$ 带	20	较粗大转细小
		$\gamma$ 带	40	细小
0.75	0.60	$\delta+\gamma$ 带	40	粗大后转细小
		$\gamma$ 带	60	细小
1.0	0.80	$L+\delta+\gamma$ 带	30	十分粗大且晶间熔化
		$\delta+\gamma$ 带	20	细小
		$\gamma$ 带	80	细小



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 The heat treated structure of heat affected zone in 2Cr13 steel. (a)The whole of heat treated structure of heat affected zone; (b)The structure of coarsening  $\delta$ -Fe+sorbite; (c)The structure of fine  $\delta$ -Fe+sorbite SEM

2. 再次为细小的  $\delta$ -Fe+索氏体见图 4(c)。

由于热影响区内最厚的 $\gamma$ 层被消除,因此整个热影响区大大的缩小了。

此外,为了防止危害最大的 $L+\delta+\gamma$ 三相带的出现,相对一定的激光功率,应限制最大的熔覆层厚度。对1.5—2kW二氧化碳激光器而言,熔覆层的厚度以不超过0.6mm为宜。为了获得更厚的覆层而又不对基材产生有害的热影响,最有效的途径就是采用多次熔覆法,即先熔覆一薄层,然后再在其上熔覆较厚的覆层。显然,采用此种熔覆法并配以预热或后热处理,可在极大减少对基材不良热影响条件下,获得所需厚度的覆层。

## 4 结 论

1. 覆层与基体间的结合带是激光熔覆中基材表面极薄的熔化层与熔融的覆层合金短暂液相扩散的产物,为覆层与基材间的相互扩散带。依其形成机制,可作为覆层与基材冶金结合的判据,也可以此带宽度评定熔覆工艺参数的选择是否适宜。

2. 热影响区的结构与覆层厚度、光束穿透加热特性、相区温度及其温度区间的范围有关。

3. 预热或后热处理可极大的减轻基材的有害热影响区。

### 参 考 文 献

[1]李雨田等,Ni—Cr—B—Si系自熔合金激光熔覆层的组成相及其认识方法,光学机械,1988.1

[2]G. J 戴维斯,《凝固与铸造》,机械工业出版社,1981

[3]李雨田,在调质的2Cr13基材上激光熔覆镍基和钴基自熔合金的研究,硕士论文,1983

[4]杜明山,激光熔覆的研究,硕士论文,1988

## The Study on Laser Cladding Ni—Cr—B—Si Alloys ——Bonding Zone and Heat Affected Zone

Li Yutian, Guan Zhenzhong

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

This paper represents the characteristic and the formation mechanism of bonding zone and heat affected zone studied for laser cladding Ni—Cr—B—Si alloys. Also the methods which can be used to evaluate laser cladding parameter and to reduce harmful heat effect on base steel are described in for paper.

Key words: Laser cladding, Bonding zone, Heat affected zone