

Ni—Cr—B—Si 系合金激光熔覆

—激光覆层的组织及性能

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 较系统的研究了 Ni—Cr—B—Si 系合金的激光熔覆层的组织及性能, 并相应地探讨了合金粉末预沉积方式和熔覆工艺参数的影响。

1 前言

Ni—Cr—B—Si 系合金是一种性能优异的表面合金, 也是目前激光熔覆中使用最广泛的一种合金。为此本文系统地总结了该合金的激光熔覆的研究结果。

作为该研究之一, 将首先探讨此类合金的覆层组织及其相关的性能。

2 Ni—Cr—B—Si 系合金激光熔覆层组织

研究表明^[1]在通常的激光功率密度下, 此合金系覆层的结晶过程中的冷速不能抑制相分离或产生彼此相异的非平衡相。即此类合金覆层的相组成不受激光熔覆工艺参数的影响, 均为 γ -Ni、Ni₃B、M₂₃(CB)₆、CrB 和微量的 Cr₂B 所组成。

采用磷酸铜和水玻璃预粘法对覆层的相组成没有任何影响。这主要是因为 γ -Ni 中能溶解大量的 Cu 和 Si 而形成固溶体的缘故。

就目前工业应用的 Ni—Cr—B—Si 系合金的激光覆层组织形态而言, 主要呈亚共晶和过共晶两大类, 未获得共晶组织。

表1 Ni₀₁和 Ni₀₃合金的成份

合金成份	Ni	Cr	B	Si	C	Fe
Ni ₀₁	余	9.0~11.0	1.5~2.2	2.0~3.0	≤0.15	5
Ni ₀₃	余	16.0~20.0	3.8~4.5	4.0~4.5	1.0~1.1	24

成份为表1所示的 Ni₀₁覆层为典型的亚共晶组织, 是由细小的初晶 γ -Ni 与晶间的 Ni₃B、M₂₃(CB)₆ 和 CrB 等多元共晶所组成, 如图1所示。

研究证实^[1], 细小的 γ -Ni 中弥散着 Cr₂B 析出相。晶间为 M₂₃(CB)₆、CrB、Ni₃B 及 γ -Ni

多元共晶。Ni₃B 做为主要的共晶产物,以网状骨架包围着初晶和共晶相,似乎把初晶相与多元共晶部分分割开,如图 2。

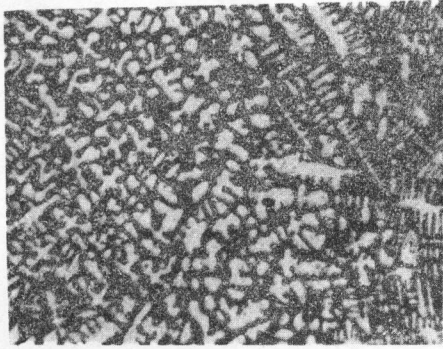


Fig. 1 The microstructure of Ni₀₁ alloy layer
500×

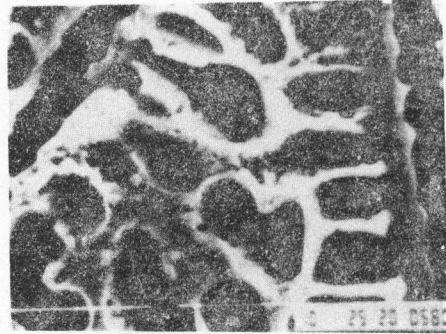


Fig. 2 SEM morphology of Ni₀₁ alloy layer

此类合金的这种组织形态,可能归因于激光熔覆的快速结晶过程。

当熔融的覆层合金结晶时,初晶 γ -Ni 将以枝状析出长大,并把溶质元素推斥到液固界面前。由于结晶速度较快,溶质元素来不及扩散,因而在液固界面富集,其浓度将随初晶长大而增高。当其浓度达到某种程度时,就会阻止 γ -Ni 继续长大,而不管枝晶间剩余的液相成份是否达到共晶成份。

从溶质富集层的成份看,由于硼在 γ -Ni 中的分配系数远小于铬、铁、碳和硅,因而其富集程度相对较大。再则 Ni₃B 可能易于以 γ -Ni 为基非自发形核,这样就促使 Ni₃B 依附初晶 γ -Ni 优先生成,并向枝晶间的液相内生长,形成网状骨架,将剩余液相分割开。

在 Ni₃B 的长大过程中,又将铬、铁和碳等元素排斥到 Ni₃B 所包围的液相中。达到共晶成份后,发生了多元共晶转变,形成了这种组织特征。

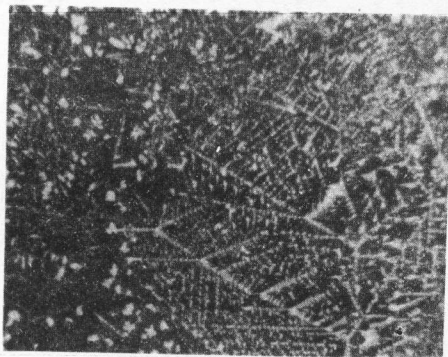


Fig. 3 The microstructure of Ni₀₃ alloy layer
300×

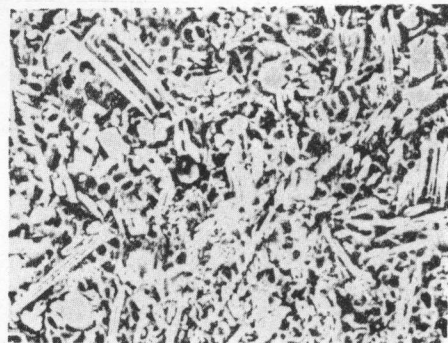


Fig. 4 The microstructure of Ni₀₃ alloy layer
in overlapping area of laser scanning

呈过共晶形态的 Ni₀₃覆层的组织形貌较为复杂。光束扫描带内与搭接带处的组织差异较大。扫描带内组织细小,为 γ -Ni、Ni₃B 及 M₂₃(CB)₆ 的基体上分布着 CrB 初晶相,如图 3。搭接带处,组织粗化。CrB 与 M₂₃(CB)₆ 均呈液相自由成长形态,见图 4。经电解深腐蚀,溶掉 γ -

Ni,在扫描电镜下观察其立体形态,CrB呈肋骨状, $M_{23}(CB)_6$ 则为中空的树干状。分别见图5、6。均显示出明显的初晶形态。



Fig. 5 The morphology of phase CrB in Ni₀₃ alloy layer, SEM

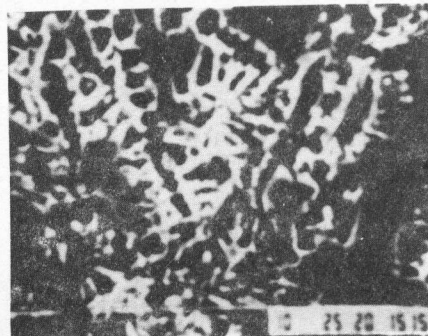


Fig. 6 The morphology of phase M₂₃(CB)₆ in Ni₀₃ alloy layer, SEM

搭接带内 CrB 和 $M_{23}(CB)_6$ 均呈初晶形态,可能是由于前次扫描带内熔点较高的 CrB 和 $M_{23}(CB)_6$ 并未全溶而残留,这些残留相做为晶核,在快速急冷所造成的很大过冷下均可在液相自由成长的缘故。



Fig. 7 The microstructure of cross-section of Ni₀₁ alloy layer 500×

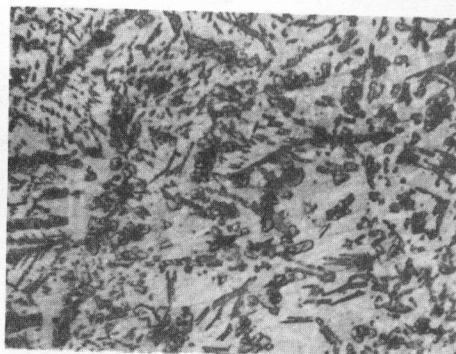


Fig. 8 Chain-like eutectic of Ni₀₃ alloy layer in overlapping area of laser scanning 500×

激光熔覆层组织的另一特点就是受熔覆过程中温度场分布的影响,具有明显的方向性。在呈亚共晶形态的覆层中,初晶的主轴大致垂直熔道壁且倾向光束扫描方向。在搭接带内的半熔化区,因初晶相的残留而造成了组织粗化,见图1和图7。呈过共晶的 Ni₀₃覆层的结晶方向性不如亚共晶覆层那样明显。其方向性主要表现在扫描带内近搭接带处。 $M_{23}(CB)_6$ 、CrB 或它们的链状共晶大致指向扫描中心,如图8。这种方向性是引起 Ni₀₃覆层表面裂纹的主要原因。过共晶覆层组织的初晶为化合物相,其液固界面较为平整。结晶形态主要取决于自身的晶体结构,故受热流的影响较小,方向性不强。

合金粉末在基体上的预附方法,对熔覆层的组织形态具有一定的影响。一般地讲,采用磷酸铜粘接粉末,所获得的组织与火焰喷涂法组织相同,表明残留的铜对组织形态没有明显的影

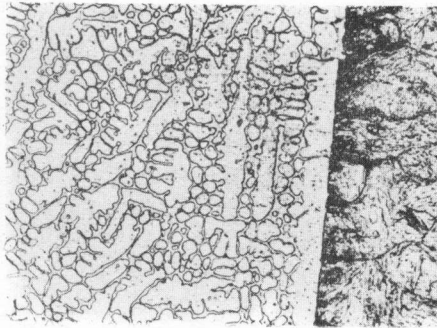


Fig. 9 The microstructure of Ni₀₁ alloy layer used copper phosphate as the powder sticker 500×

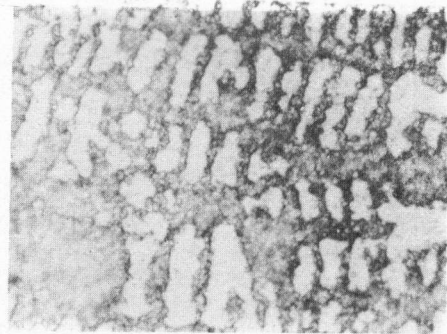


Fig. 10 The microstructure of Ni₀₁ alloy layer used water glass as the powder sticker 500×

响,如图 9 所示。但采用水玻璃粘接粉末时,残留的硅却使覆层的共晶组织明显增加,如图 10。反映出硅在镍基合金中的作用与在铁基合金中相似,存在一个碳当量。

3 Ni—Cr—B—Si 系合金覆层的性能

3.1 硬度

此类合金覆层的硬度,主要取决于合金的成份,其中主要是(B+C)的含量。这是由于 B 和 C 的化合物是主要的硬化相。

此类合金的硬度范围随着(B+C)的含量的增加可在 Hv270—Hv830 之间调整。

可能是由于此类合金无相变硬化现象,而且固溶强化效果和析出强化效果大体相当,所以预热和后热以及组织粗细对覆层的硬度无明显的影响,如图 11 所示。

3.2 耐磨性

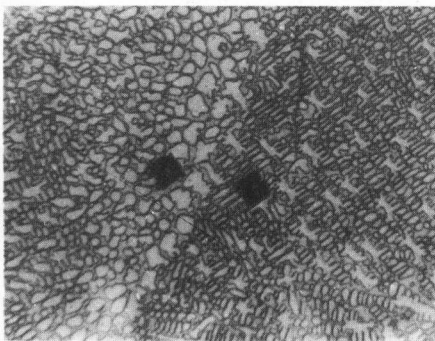


Fig. 11 The hardness indentation comparison in laser scanning area (right) and overlapping area (left), Ni₀₁ alloy layer 400×

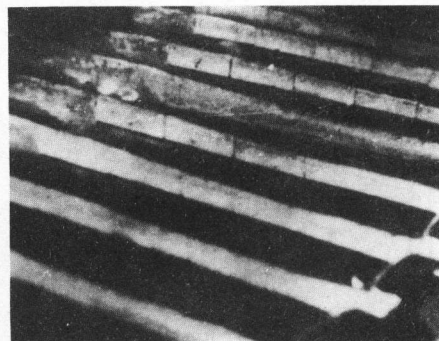


Fig. 12 Result of corrosion resistance test of the turbine vanes with laser coating under service condition for 10 months

采用金属对金属无润滑滑动磨损试验评定表明,预热、后热以及不同粉末沉积工艺对合金覆层的耐磨性无明显的影响,这是因为工艺对覆层的组织形态及硬度无明显影响的缘故。

此类合金覆层的耐磨性随着硬度的提高而增加。在 145N 压力下,磨损 20 分钟,其失重量在 0.0005g—0.0008g 之间。

3.3 抗水蚀性

此类合金中 Ni_{01} 覆层的抗水蚀性较为优异。经大连第三发电厂实际装机运行 10 个月后检测, Ni_{01} 覆层被侵蚀约 0.35mm,而无任何防护的 $2Cr_{13}$ 叶片的水蚀深度为 2—3.5mm,表明了此合金的极高的抗水蚀性,如图 12 所示。从组织形态看,起骨架作用的高硬度化合物相紧紧围绕着微细的枝状初晶,并将初晶和枝晶间多元共晶分开的这种组织形态,具有极高的抗水蚀性。

3.4 抗鼓风磨损性

此类合金的抗粉尘鼓风磨损规律与抗水蚀相似,以 Ni_{01} 一类低硬度合金较为优异。

3.5 激光可熔覆性:

呈亚共晶的此类合金的可熔覆性较为优良,而过共晶中由于存在链状碳化物和铬硼化物共晶易于产生裂纹。

4 结 论

4.1 激光熔覆工艺参数、粉末预粘附工艺以及预热和后热处理对 $Ni-Cr-B-Si$ 系合金的相组成没有影响。

4.2 此类合金覆层的组织形态基本分为两大类;亚共晶组织均为细小的枝状初晶 $\gamma-Ni$ 与枝晶间的 Ni_3B 、 $M_{23}(CB)_6$ 、 CrB 多元共晶所组成,枝晶内弥散着微细的球状化合物,共晶的 Ni_3B 以网状骨架将初晶与共晶部分分开;过共晶组织为 $\gamma-Ni$ 、 Ni_3B 及 $M_{23}(CB)_6$ 的共晶基体上分布着 CrB 初晶相,而在搭接带处 CrB 和 $M_{23}(CB)_6$ 均呈液相自由成长状态。

4.3 Ni_{01} 合金覆层具有更为优异的抗水蚀和抗鼓风磨损性能,其激光熔覆性也优于同类其他合金。

A Study on Laser Cladding Ni—Cr—B—Si Alloys— Structure and Property of Coating Layer

Li Yutian, Guan Zhenzhong

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

Abstract

In this paper, the microstructure and property of Ni—Cr—B—Si alloy coating layer are described, the influence of pre-diposition processing of the alloy powder and laser cladding parameter on them are also discussed.

Key words: Laser cladding, Coating layer, Microstructure, Property