

# Ni-Cr-B-Si 系自熔合金激光熔覆层的组成相及其识别方法

李雨田 关振中 朱荆璞

(长春光机所) (沈阳工业大学)

**摘要:** 本文研究了在通常功率密度下激光熔覆的Ni-Cr-B-Si系自熔合金覆层的组成相及其电化学和化学浸蚀行为, 获得了可对此类合金微细、复杂的激光熔覆组织进行精细结构分析的相识别法。

## 一、前 言

在近年来较为活跃的激光熔覆Ni-Cr-B-Si系自熔合金的研究中, 熔覆层组织的精细结构分析一直是个棘手的问题。这是由于激光熔覆层的组织细小, 其组成相更为微细, 难以采用现有的检测手段予以识别。而Ni-Cr-B-Si系自熔合金的组成相又很复杂, 并缺乏可供参考的详细资料。

深入了解激光熔覆层组织的精细结构, 对于充分认识覆层快凝固过程的特点以及组织、性能与激光熔覆工艺的关系具有极为重要的意义。为此, 本文研究了Ni-Cr-B-Si系自熔合金激光熔覆层的组成相及其识别方法, 并通过具体的应用实例, 证实了此种方法在组织结构研究中的适用性。

## 二、试验方法

### (一) 熔覆层的制备

在尺寸为 $100 \times 45 \times 10\text{mm}^3$ 的 $2\text{Cr}_{13}$ 基材上火焰喷涂Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉末, 其厚度分别为0.15mm及0.75mm, 然后采用2kW  $\text{CO}_2$ 连续激光器进行搭接扫描, 以获得大而平整熔覆层。

#### 1. 熔覆用Ni-Cr-B-Si系自熔合金粉末

选用两种成份相差最大的Ni01和Ni03粉作为熔覆用合金粉末。其标准成份如表1所示。

#### 2. 激光熔覆工艺

喷涂后的试样分别采用下列两种不同的工艺进行激光熔覆。

工艺1: 试样不经预热、熔覆后空冷

工艺2: 试样经700°C预热后熔覆, 然后再经700°C保温3小时后空冷。

本试验所采用的激光熔覆工艺参数如表 2 所示。

表 1 Ni01和Ni03 合金粉末的标准成份

合金	成份 wt%	Ni	Cr	B	Si	C	Fe
Ni01	余	9.0—11.0	1.5—2.2	2.0—3.0	0.15	5	
Ni03	余	16.0—20.0	3.8—4.5	4.0—4.5	0.8—1.0	15	

表 2 激光熔覆工艺参数

涂层 厚度 (mm)	工艺 参数	总功率 (kW)	光斑直径 (mm)	扫描速度 (mm/s)	覆层厚度 (mm)
0.15	工艺 1	2	φ 4	14	0.11
	工艺 2	2	φ 4	17	0.11
0.75	工艺 1	2	φ 2	5	0.60
	工艺 2	2	φ 2	8	0.60

(二) 检测

1. 利用日产 D/max—YA12kW 旋转阳极 X 射线衍射仪确定覆层的组成相。其试验方法如表 3 所示。

表 3 X 射线衍射确定覆层组成相的检测方法

覆层合金	覆层厚度 (mm)	熔覆工艺	覆层表面处理	衍射仪型号	衍射条件
Ni01	0.60	工艺 2	5% HCl + 10% C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub> + CH <sub>3</sub> OH 溶液, 在 -5℃, 50mA/cm <sup>2</sup> 条件下电解深腐蚀 30 分钟。	D/max—YA12kW	CuKα, 40kV, 150mA。
Ni03	0.60	工艺 2			
Ni01	0.11	工艺 1	表面不进行电解处理。		
Ni03	0.11	工艺 1			

被检测试样表面覆层在酸性电解液中深腐蚀, 可使奥氏体基体溶解, 从而减弱基体的影响。

2. 采用电化学恒电位浸蚀和化学浸蚀显示覆层组成相。
3. 采用光学显微镜、扫描电镜电子探针等检测手段确认覆层组成相。

### 三、试验结果与分析

#### (一) Ni-Cr-B-Si系自熔合金覆层组成相的确定及理论分析

X射线衍射谱示于图1，分析表明，Ni01和Ni03覆层具有完全相同的相组成，均为 $\gamma$ -Ni（面心立方），Ni<sub>3</sub>B（四角），Ni<sub>2</sub>Si（Cr<sub>2</sub>B）<sub>0</sub>（复杂面心立方），Cr<sub>2</sub>B（斜方）及少量的Cr<sub>2</sub>B（四角）。

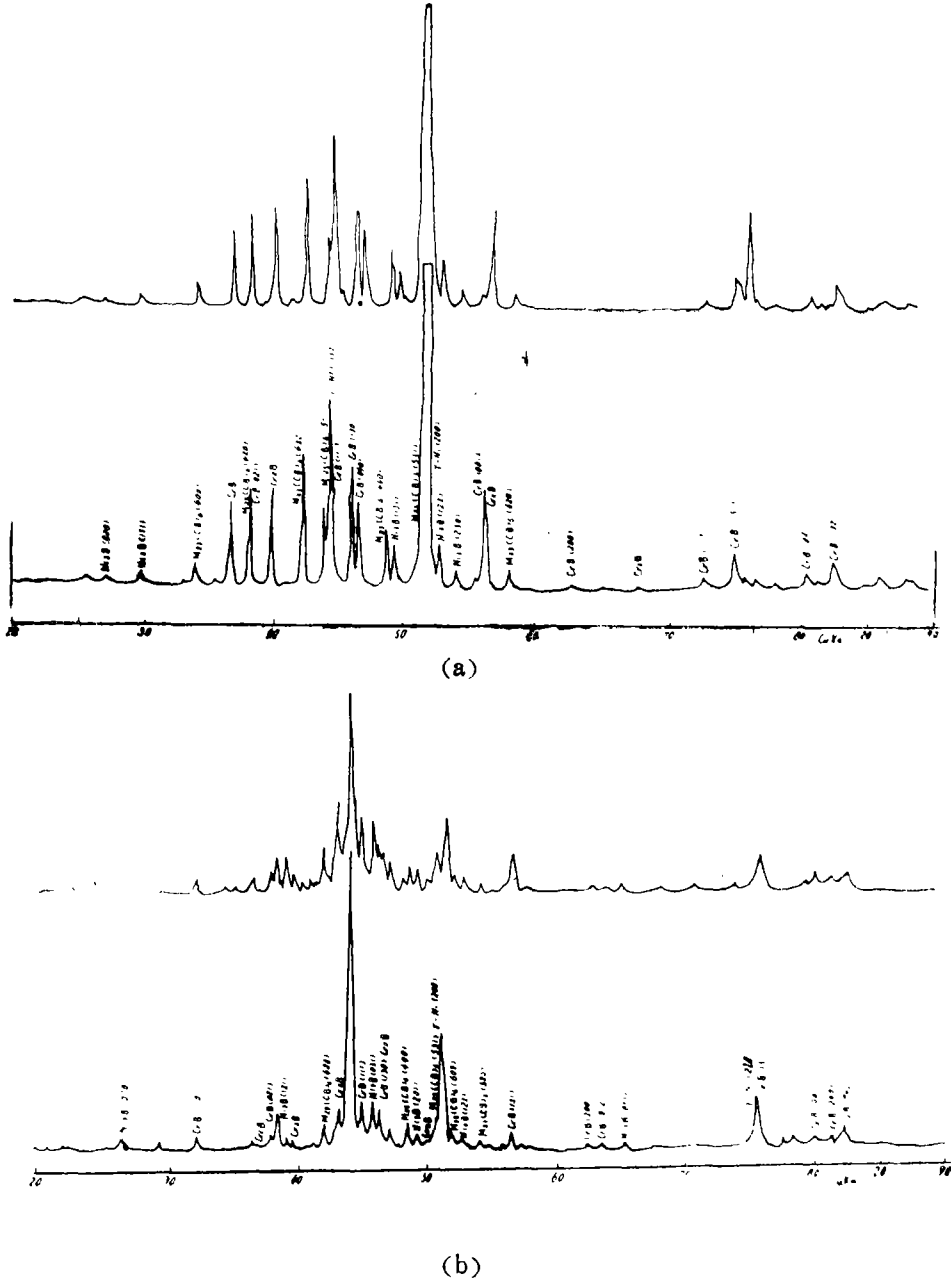


图1 Ni01和Ni03合金覆层的X射线衍射谱  
(a)Ni01覆层。上：表面未处理，下：表面经电解溶去基体  
(b)Ni03覆层。上：表面未处理，下：表面经电解溶去基体。

激光熔覆工艺和涂层厚度对覆层的组成相没有影响，这是由于在本试验条件下，覆层的凝固速度不能抑制凝固层的相分离或产生彼此相异的非平衡相的缘故。

上述激光熔覆层的组成相，可由有关的合金理论及相图予以解释。

镍为面心立方晶格，没有同素异构转变，且可固溶较多的Si（约4.5wt%）和Cr（约30wt%），因此，其覆层的基体应为富Cr、Si的 $\gamma$ -Ni。

由于Si可全部固溶于 $\gamma$ -Ni中，一般不会使Ni-Cr-B-Si系自熔合金的熔化和凝固性质起变化<sup>[1]</sup>，因而可按Ni-Cr-B三元系相图分析其组成相。依图2所示的Ni-Cr-B系1000℃等温截面图，Ni01和Ni03的成份点均落在 $\gamma$ -Ni + Ni<sub>3</sub>B + CrB三相区内，表明了这三相的存在。

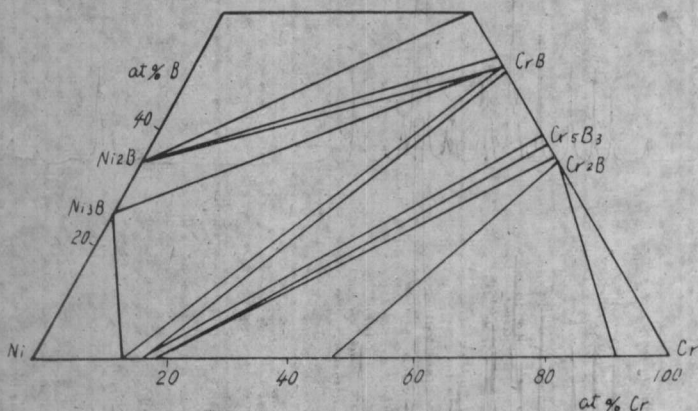


图2 Ni-Cr-B三元系1000℃等温截面图（部分）

按Ni-Cr-B相图，Cr<sub>2</sub>B的生成较难理解，可能是覆层凝固后的冷却过程中固态析出的产物。据资料，Cr<sub>2</sub>B可固溶较多的Fe，其化学式接近CrFeB<sup>[2]</sup>。激光熔覆层的快速凝固可造成硼在富Cr、Fe的 $\gamma$ -Ni中过饱和，这样在成份上就满足了Cr<sub>2</sub>B的析出条件。

至于M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>的生成，显然归因于覆层含有较高的Cr及C、Fe等元素，这些元素促进了M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>的形成，而合金中的硼又可取代M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>中的部分碳，因而生成了M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>。

上述的试验结果，虽然只是在特定的激光熔覆工艺下Ni01和Ni03覆层的组成相，但是考虑到这两种合金的成份范围基本上包括了Ni-Cr-B-Si系有工业意义的全部自熔合金，而所采用的激光熔覆工艺和覆层厚度又使覆层凝固的速度扩大到一个相当大的范围。这样就可将本实验的结果推广。即在目前通常采用的熔覆工艺和不太高的光束功率密度下，Ni-Cr-B-Si系自熔合金覆层均由 $\gamma$ -Ni、Ni<sub>3</sub>B、CrB、M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和少量的Cr<sub>2</sub>B相组成。

### （二）Ni-Cr-B-Si系自熔合金覆层组成相的识别

由于激光束能量呈高斯曲线分布，在采用光束搭接扫描时，Ni03涂层前次扫描带内熔点较高的相并未全熔，这些残存相在快速急冷所造成的过冷下，均可在液相中较快的自由成长，形成初晶形态，而且相对粗大。本文正是利用Ni03覆层扫描搭接带内这一特点，进行了Ni-Cr-B-Si系激光熔覆合金组成相的识别研究。

#### 1. 碱性浸蚀剂恒电位浸蚀

采用10N·NaOH溶液在400mV条件下恒电位浸蚀10—20秒后，在光学显微镜下观察，Ni03覆层的光束扫描搭接带处组织如图3所示

尽管图中所显示的相的形貌十分复杂，但从浸蚀的程度看仅分为两大类，一类浸蚀较重，整体浸蚀着色较深的相和另一类浸蚀较轻，着色较浅的相。

根据相的电化学性质，碳化物及铬硼化物在10 N·NaOH 电解液中恒电位浸蚀，+ 250mV 以上即可浸蚀而着色，而 $\gamma$ -Ni则不受浸蚀<sup>[3]</sup>。依据 X 射线衍射确定的覆层组成相，可以认定 10N·NaOH 仅有选择地显示了两种相，即  $M_{23}(CB)_6$  和一种硼化物相。从相对数量上看，这些硼化物相应为CrB。

采用电子探针对上述试样，分别做Cr、B、C、Fe和Ni的特征X射线面扫描，其结果示于图4。

特征元素分布像表明，整体浸蚀着色较深的那些相均富Cr少Ni，基本不含Fe和C，且B

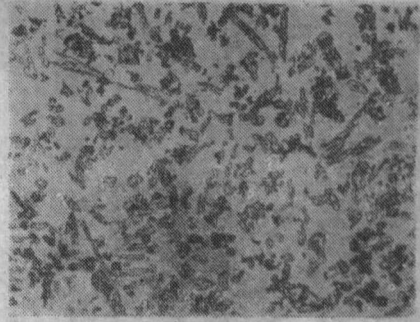
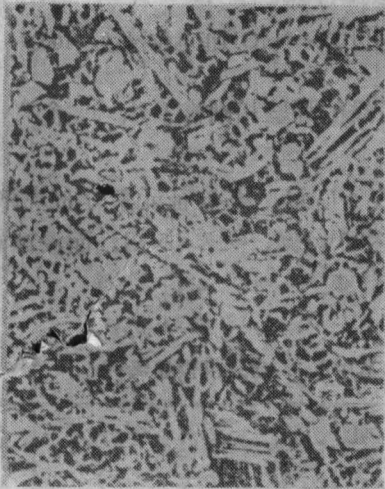
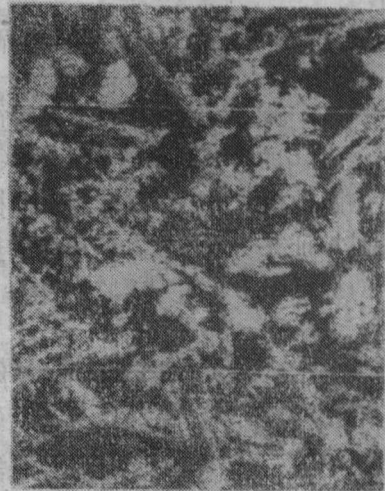


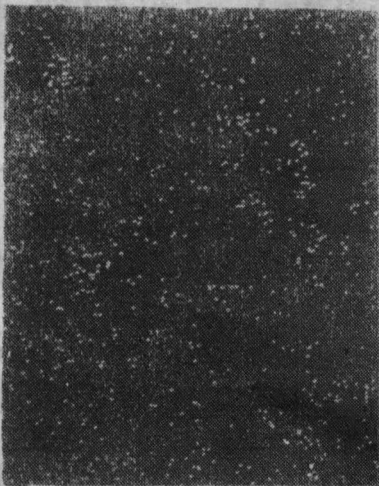
图3 10N·NaOH恒电位浸蚀的Ni03覆层搭接带组织。500×



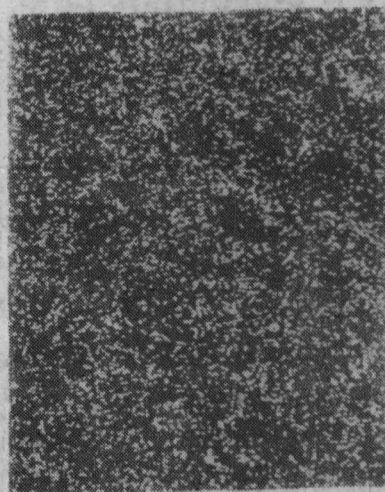
(a) 吸收电子形貌像



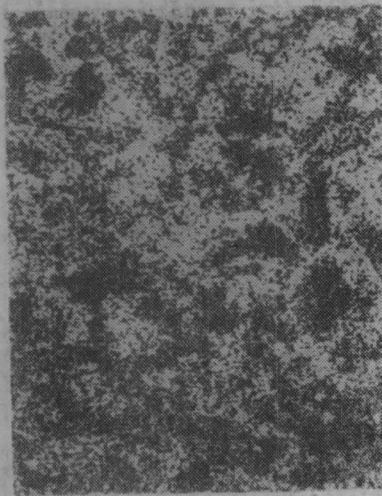
(b) CrK $\alpha$



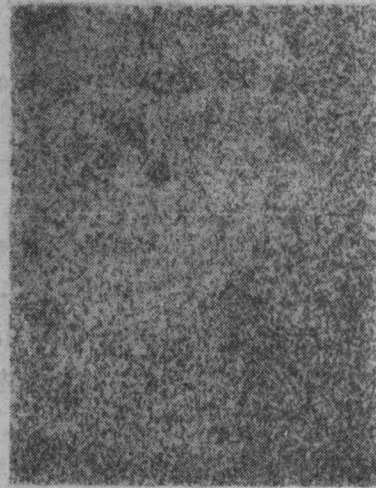
(c) BK $\alpha$



(d) CK $\alpha$



(e) NiKα



(f) FeKα

图4 NiO<sub>3</sub>覆层搭接带处组织的特征元素分布像。10N·NaOH恒电位浸蚀。400×

的含量极高，确实为铬硼化物。而浸蚀较轻，着色较浅的那些相则富Cr、C，含有一定的Fe和Ni，且B的含量极低，应为M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>。

对这两种相采用电子探针定量分析，其结果如表4所示，与特征元素分布规律完全相符。定量地证实了整体浸蚀着色深的那种相含Cr量达80wt%，为CrB相。而浸蚀较轻，着色较浅的那种相为(Cr、Fe、Ni)<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>。

表4 电子探针选点成份定量分析结果 (其中B、C含量仅供参考)

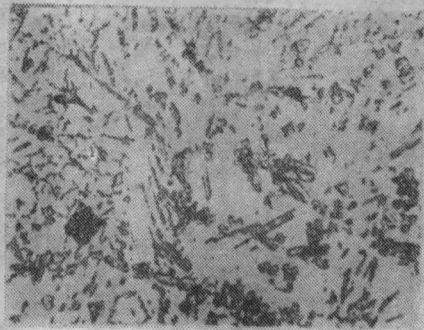
元素 wt%	Si	Ni	Cr	B	C	Fe
点						
浸蚀着色较深的方块	0.01	1.57	74.67	2.73	0.00	余
浸蚀着色较深的枝状	0.01	1.38	79.21	2.51	0.37	余
浸蚀着色较深的长条	0.00	1.13	80.19	2.67	0.07	余
浸蚀着色较浅的扁六角	0.02	8.24	66.21	0.17	3.60	余

Cr<sub>2</sub>B相虽然也可能显示，但由于含量很少，可能弥散分布于γ-Ni相中，难以识别，故不探讨。

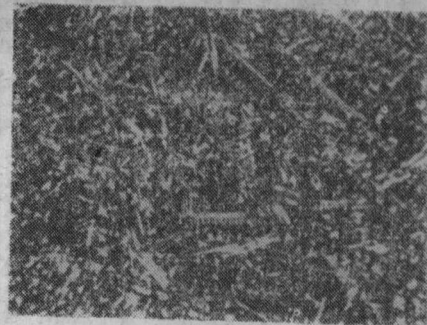
## 2. 化学浸蚀

将10N·NaOH浸蚀后的试样在碱性苦味酸钠(2%苦味酸+20%NaOH+H<sub>2</sub>O)中煮沸5—10分钟，原来显示的M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB相都变成白色，而白色的基底则被染成了深棕色，其上又显示出了10N·NaOH电解时所未显示的白色点，条状新相，见图5(a)、(b)。

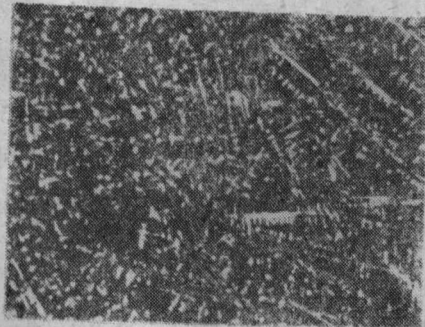
利用能谱法对那些白色点、条状相进行成份分析，其结果示于图6，表明这些相富Ni、Fe，并含较高的Cr和Si，为γ-Ni相。



(a)



(b)



(c)

图5 叠加浸蚀所显示的Ni<sub>3</sub>B覆层搭接处组织同视场照。

- (a) 10N·NaOH恒电位浸蚀组织；
- (b) 在(a)的基础上用碱性苦味酸钠染色后的组织；
- (c) 在(b)的基础上用铁氰化钾进一步染色后的组织。

500×

依据X射线的结果，被碱性苦味酸钠染成深棕色的那种相无疑为Ni<sub>3</sub>B。

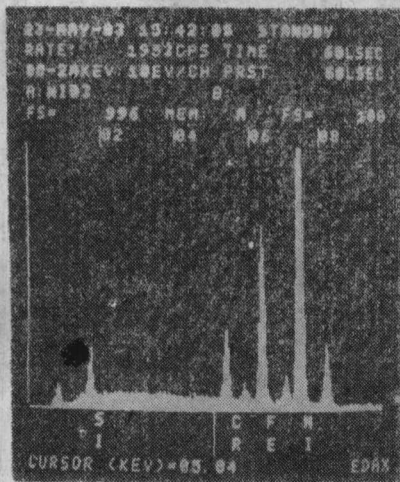


图6 碱性苦味酸钠显示的Ni<sub>3</sub>B覆层白色点条状相能谱分析结果。

碱性苦味酸钠不但能在10N·NaOH浸蚀的基础上使Ni<sub>3</sub>B染色，而且直接用它浸蚀也可获同样的效果，如图7所示，完全与叠加浸蚀染色相同。在实际应用中，如不需要观察M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB的分布，而仅鉴别Ni<sub>3</sub>B时，则不必先经10N·NaOH恒电位浸蚀。

在10N·NaOH电解和碱性苦味酸钠染色的基础上，还可进一步采用铁氰化钾(4% K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>+10%NaOH+H<sub>2</sub>O)溶液浸蚀，使M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB相分别染成深浅不同的灰色，而γ-Ni及CrB颜色不变，如图5(c)所示。因此，为分别显示覆层的组成相。也可采用多重浸蚀法，首先用10N·NaOH恒电位浸蚀法使M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB相显示，

然后用碱性苦味酸钠煮沸法显示Ni<sub>3</sub>B，最后用铁氰化钾溶液浸蚀，使M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB相分别染色予以区分。同时，由于M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB被染色而Ni<sub>3</sub>B保持深棕色不变，使得白亮的γ-Ni十分易于识别。

可能是由于Ni<sub>3</sub>B易溶于含有氧化剂的稀HCl和H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>中，除用上述方法显示外，也可



图7 未经10N·NaOH电蚀而直接采用碱性苦味酸钠染色的NiO3覆层组织。

300×

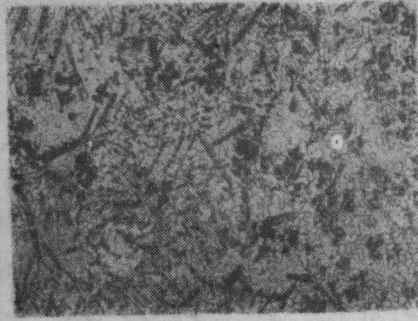


图8 10N·NaOH浸蚀后,经20gCuSO<sub>4</sub>+50mlHCl+15mlH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+100ml溶液染色的NiO3覆层组织。

650×

采用20g CuSO<sub>4</sub>+50ml HCl+5ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+100ml H<sub>2</sub>O腐蚀剂,在室温下浸蚀2—5秒,使其着色显示。图8即为10N·NaOH电解后,用此种方法叠加浸蚀的NiO3覆层组织。可以看出10NaOH浸蚀显示的那些相稍被染成深色, Ni<sub>3</sub>B染成了铜红色,而γ-Ni则不被染色,保持白亮不变,使所显示的组织层次更加分明。

### 3. 电解深浸蚀

采用10N·NaOH水溶液,在室温下以+400mV恒电位电解NiO3覆层1—2分钟,其组织如图9所示,应用前述的相的识别方法可以证实(此处不详述),在此种深腐蚀的条件下,可溶解M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB相,而γ-Ni和Ni<sub>3</sub>B则不溶。

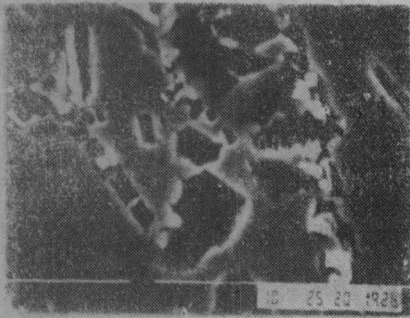


图9 10N·NaOH深腐蚀的NiO3覆层组织。SEM,二次电子像。

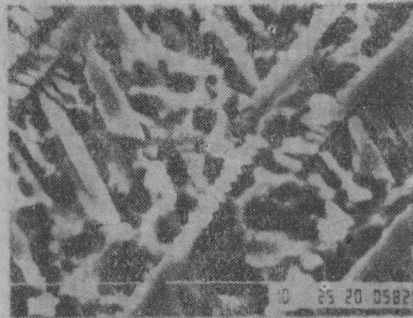


图10 盐酸电解液深腐蚀的NiO3覆层组织。SEM,二次电子像。

若采用5% HCl+10% C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(OH)<sub>3</sub>+CH<sub>3</sub>OH盐酸电解液在-5℃、50mA/cm<sup>2</sup>条件下浸蚀30分钟, NiO3覆层组织如图10所示,表明γ-Ni相已被溶掉。据资料,盐酸电解液可选择性的溶解γ-Ni基体,而把所有的第二相保留下来<sup>[4]</sup>。这一结论与试验结果完全相符。

上述两种电解深浸蚀法配以扫描电镜高位观察,可以准确地确定M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB相分布及第二相的立体形态。

至此,通过NiO3覆层组成相的识别,获得表5所示的,适于所有Ni-Cr-B-Si系自熔合金激光覆层组成相的识别方法。

但是还应指出,当M<sub>23</sub>(CB)<sub>6</sub>和CrB在覆层中呈微细的共晶状或聚集时,采用表5所示的方法将这两相加以区别,还是比较困难的。为此,曾试图使这两相分别显示。然而尽管采用

表5 Ni-Cr-B-Si系自熔合金激光覆层组成相的识别方法

腐蚀剂或电解液	浸蚀条件	浸蚀效果
10N·NaOH水溶液	温度室温 浸蚀电位+400mV 浸蚀时间10—20秒	仅显示 $M_{23}(CB)_6$ 及CrB。其中 $M_{23}(CB)_6$ 浸蚀较轻着色浅, CrB浸蚀较重着色深。
	温度: 室温 浸蚀电位+400mV 浸蚀时间1—2分钟	仅溶解 $M_{23}(CB)_6$ 和CrB相, $\gamma$ -Ni及 $Ni_3B$ 不溶。
苦味酸钠 (2%苦味酸 + 20% NaOH + $H_2O$ )	煮沸5—10分钟	$M_{23}(CB)_6$ 、CrB及 $\gamma$ -Ni显示白色, $Ni_3B$ 染成深棕色。
4% $K_3Fe(CN)_6$ + 10% NaOH + $H_2O$	擦拭	仅使10N·NaOH恒电位浸蚀 + 碱性苦味酸钠染色所显示的组织中的 $M_{23}(CB)_6$ 染成深灰色, CrB染成浅灰色。
5% HCl + 10% $C_3H_5(OH)_3$ + $CH_3OH$ 溶液	温度: $-5^\circ C$ 电流50mA/cm <sup>2</sup> 时间30分钟	奥氏体基体浸蚀掉。
20g $CuSO_4$ + 50ml HCl + 5 ml $H_2SO_4$ + 100ml $H_2O$	在10N·NaOH电解后 浸蚀3—5秒	使10N·NaOH恒电位浸蚀显示的 $M_{23}(CB)_6$ 和CrB颜色稍加深, $Ni_3B$ 染成铜红色, $\gamma$ -Ni为白色。

了各种电解液及电解条件, 如浓氨水、 $Na_2CO_3$  (10%) 等恒电位显示碳化物条件, 但 $M_{23}(CB)_6$ 和CrB总是同时显现, 可能的解释是这两相具有相近的腐蚀电位, 其极化曲线峰相重叠。

#### 四、Ni-Cr-B-Si系自熔合金激光覆层组成相的识别法在组织结构研究中的适用性

本文提出的相识别法在Ni01合金精细结构研究中的应用, 可说明此种方法在组织结构分析中的适用性。

图11为碱性苦味酸钠染色所显示的Ni01覆层的光学显微镜组织。中间的粗化区为光束扫描搭接带。

依前面的相识别方法, 深棕色的 $Ni_3B$ 处于枝晶间, 呈亚共晶形态。

经盐酸电解液深腐蚀, 溶掉 $\gamma$ -Ni后, 在高倍扫描电镜下观察,  $Ni_3B$ 网紧靠着初晶 $\gamma$ -Ni生成, 并将初晶 $\gamma$ -Ni与枝间多元共晶的球状相分割开, 如图12所示。

扫描电镜的能谱分析表明, 图12所示的初晶 $\gamma$ -Ni处的Cr含量极高, Fe和Ni的含量较低, 见图13。显然, 这是由于 $\gamma$ -Ni被溶掉而使析出相表露的缘故。从成份看, 这些析出相应为 $Cr_2B$ 。其Fe含量较低, 是由于Ni01本身含Fe量较低的原因。

按前面分析,  $Cr_2B$ 做为 $\gamma$ -Ni中过饱和B的析出相, 应存在于 $\gamma$ -Ni中, 这一分析在Ni01覆层中得到了进一步验证。

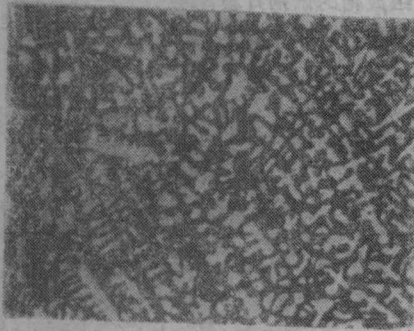


图11 碱性苦味酸钠染色的Ni01覆层组织。

500×



图12 经盐酸电解液恒电位深腐蚀的Ni01组织。  
SEM, 二次电子像

采用10N·NaOH深腐蚀后, 高倍扫描电镜观察证实,  $M_{23}(CB)_6$  和CrB相主要分布在枝晶间, 如图14所示, 呈被溶去后的凹

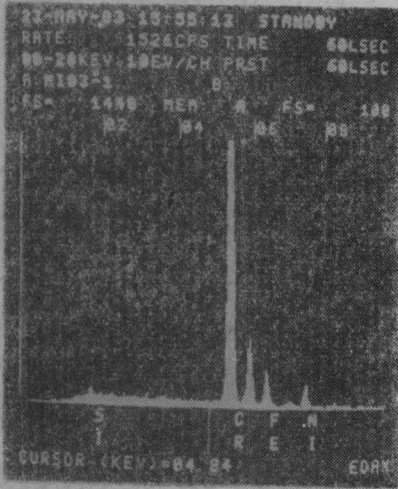


图13 初晶 $\gamma$ -Ni成份的能谱分析结果。

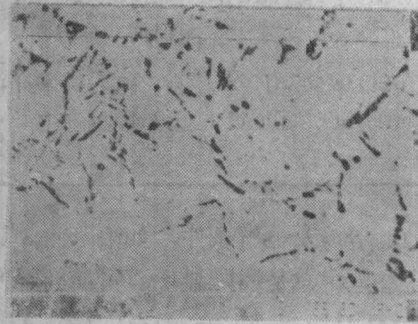


图14 Ni01覆层经10N·NaOH深腐蚀后的组织。

SEM, 二次电子像。

坑。据此推断, 图12中的 $\gamma$ -Ni枝晶间的那些共晶微细球状相以 $M_{23}(CB)_6$ 和CrB相为主。归纳起来, Ni01覆层组织为细小初晶 $\gamma$ -Ni中弥散着极为微细的 $Cr_2B$ 的析出相, 枝晶间为微小的 $M_{23}(CB)_6$ 、CrB、及 $\gamma$ -Ni多元共晶。 $Ni_3B$ 做为网状骨架, 似乎把初晶相与多元共晶部分分割开来。

从覆层快速凝固过程分析, 当熔融的覆层合金冷到液相线某一温度以下时, 初晶 $\gamma$ -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, 因而在液固界面前富集。显然, 在未达到平衡结晶前, 液固界面前溶质富集层的溶质浓度随着初晶长大而增高。当其浓度达到某种程度时, 就会阻止初晶 $\gamma$ -Ni继续长大, 而不管枝晶间剩余的液相的平均成份是否达到共晶。

从溶质富集层的成份看, 由于硼在 $\gamma$ -Ni中的分配系数远小于铬、铁、碳和硅, 因而同其它溶质相比, 硼的富集程度相对较大, 再则,  $Ni_3B$ 可能易于以 $\gamma$ -Ni为基非自发生核。这样致使 $Ni_3B$ 依附初晶 $\gamma$ -Ni优先生成, 并向枝晶间的液相内生长, 形成网状骨架, 将剩余液相分割开来。

在 $\text{Ni}_3\text{B}$ 长大的过程中,又将铬、铁、碳等元素排斥到被 $\text{Ni}_3\text{B}$ 网所包围的液相中,达到共晶成份后,发生了多元共晶转变,因而形成了 $\text{Ni}_3\text{B}$ 网将初晶和多元共晶部分分割开的组织特征。

上述的Ni01覆层组织结构的检测及理论分析表明,应用此法所揭示的组织精细结构,可以满足对激光熔覆中快速凝固过程研究的需要。同样,也能满足探讨组织结构、性能与激光熔覆工艺之间的关系需要(此处不详述)。而这些是目前其他检测方法难以达到的。从这个意义上说,本文提出的相识别法是一个具有实用意义的,简便有效的检测方法,可用于各种组织微细,形貌复杂的Ni-Cr-B-Si自熔合金激光熔覆层的结构分析。

## 五、结 论

1. Ni-Cr-B-Si系自熔合金激光覆层均由 $\gamma\text{-Ni}$ 、 $\text{Ni}_3\text{B}$ 、CrB、 $\text{M}_{23}(\text{CB})_6$ 及少量的 $\text{Cr}_2\text{B}$ 相组成。

2. 上述激光熔覆组织的组成相可应用本文表5所示的方法识别。 $\text{Cr}_2\text{B}$ 做为 $\gamma\text{-Ni}$ 中过饱和B的析出相,可能仅存在于 $\gamma\text{-Ni}$ 中。 $\text{M}_{23}(\text{CB})_6$ 和CrB难以采用电化学法分别显示,可能是由于这两相具有相近的腐蚀电位,其极化曲线峰相重叠。

3. 本文提出的相识别法,可用于研究诸如Ni01合金那样组织细小,形态复杂的各种Ni-Cr-B-Si系自熔合金激光熔覆层的精细结构。

中科院金属所王景楹同志参加并指导了相分析试验工作,我所激光热处理组的同志也对本文的工作给予了大力的支持在此谨致谢意。

## 参 考 文 献

- [1] O. Knotek, E. Jutschider, Journal of Vacuum Science and Technology, 11, No.4, 1974, P.798-801.
- [2] 郭可信; 金属学报, 第14卷第1期, 1978年3月。
- [3] 王景楹、姜晓霞; 理化检验、物理分册, No.6 1-14, 1979
- [4] Zhu Hongde, Wang Jingyun, Prakt Metallurgia, 17, 1980, P.608-618.

## On the Phases in Laser Cladding Coat of Ni-Cr-B-Si Hard Face Alloy System and the Method Examining Them

Li Yutian, Guan Zhenzhong Zhu Jingpu

### Abstract

In this paper, a study has been introduced on the phases in Ni-Cr-B-Si hard face alloy system coat clad by laser with normal power density and their behaviour under the conditions of electrochemical and chemical etching. Theirby, a method examining the phases is obtained which can be used to analyze the fine structure of the very small and complex constitutions in this kind of coat.