

严格。本文使用的方法原则上可以解决 h_i 随 f' 而变化时含热厚透镜腔热稳公式的推导。

4. 由于透镜组都可以等效为一个厚透镜, 或者使用 $g'(g'')$ 参数等价腔可将含有多个透镜的多元件腔(其中有一个或一个以上是热透镜)变换为只含有一个热透镜的腔, 因此本文使用的方法可直接用于讨论含有多个透镜的多元件腔的热稳问题, 并且腔反射镜曲率半径可以是 $\rho_i \neq \infty$ (球面镜) 或 $\rho_i = \infty$ (平面镜), $i=1, 2$ 。

参 考 文 献

[1] A. E. Siegman; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973,

QE-9, No. 2, 247.

[2] 吕百达等;《量子电子学》, (待发表)。

[3] J. Steffen *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, QE-8, No. 2, 239.

[4] 金德运等;《四川激光》, 1982, 3, No. 1, 39.

[5] 王效敬;《中国激光》, 1985, 12, No. 5, 266.

[6] 吕百达;“激光光学”, 四川大学出版社, 1986, 222.

[7] 吕百达等;《四川大学学报》, 1985, No. 4, 48.

(收稿日期: 1986年6月20日)

60号钢表面激光合金化的研究

郑克全 张思玉 方心济

(兰州大学物理系)

刘锡璋 林燕妮

(河北省科学院激光研究所)

Study on laser alloying of 60# steel surface

Zheng Kequan, Zhang Siyu, Fang Xinji

(Department of Physics, Lanzhou University, Lanzhou)

Liu Xizhang, Lin Yanni

(Laser Institute, Academy of Sciences of Hebei, Shijiazhuang)

Abstract: Experimental procedures are presented for laser alloying of 60# steel surface using a transversely excited flow CW CO₂ laser with an output power of about 2 kW. Microstructural and electron spectrum analyses of the treated surface indicate that laser alloying offers the possibility *in situ* alloy synthesis on workpiece surface.

1. 实验条件及方法

实验采用 JL-6 型横向流动 CO₂ 激光器, 其输出功率为 500~2000 W 连续可调。激光光束用焦距 300 mm 的砷化镓透镜聚焦, 依靠调节焦点与试验样品表面之间的距离来改变光斑的大小。处理的机械部分是通过可控硅控制伺服电机带动丝杆构成的机械装置, 调节工件表面激光扫描所需要的动作和速度。

实验样品是以 60 钢为基体材料, 并加工成 20×

20×6 mm 的金属块。合金化元素使用的是 Cr、C、Mn 和 Al 等单元素粉末, 其粒度都在 40 μm 以下。合金元素配制成如下四种比例; ① 100% Cr, ② 85% Cr, 15% C, ③ 25% Cr, 50% C, 25% Mn, ④ 24% Cr, 48% C, 24% Mn, 4% Al。选择铬、碳元素合金化的基本理由是, 在奥氏体基体、珠光体基体或马氏体基体中容易生成如 M₇C₃ 和 M₃O 之类的稳定碳化物。使用锰是因为锰是碳化物的强稳定剂。而铝是一种优越的脱氧剂, 因而在合金化实验中也就不

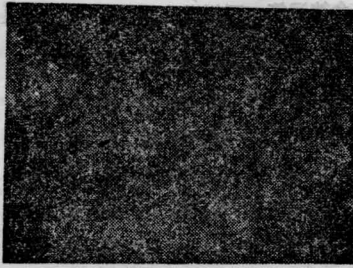


图1 含26.6%铬合金层的剖面图,硝酸乙醇液腐蚀

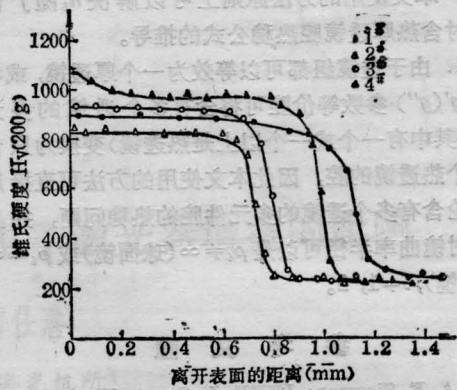
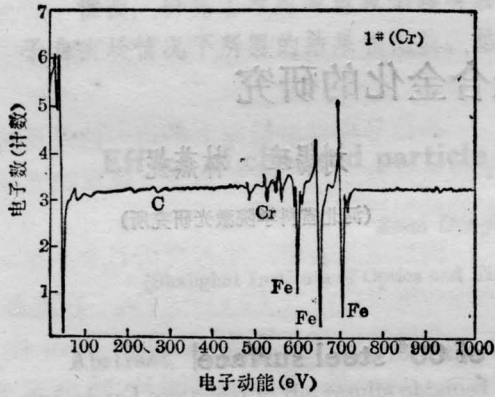
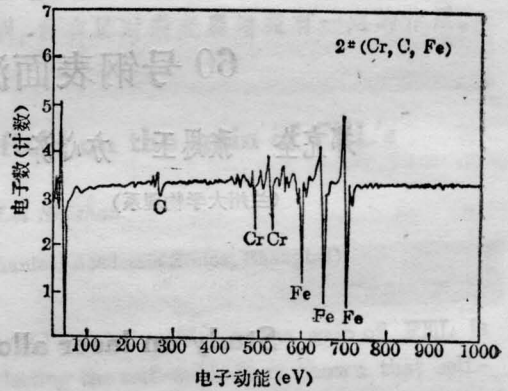


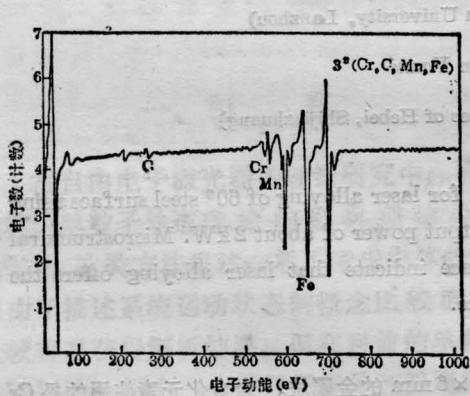
图2 四种合金层显微硬度的分布曲线



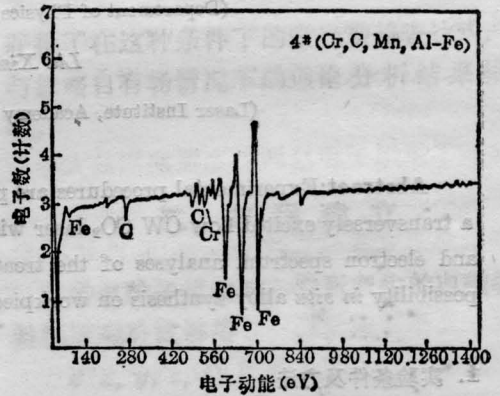
(a)



(b)



(c)



(d)

图3 合金层电子能谱图

有使用惰性气体作保护气体。

将合金元素按上述比例配制好后,用有机溶液作粘合剂,把合金粉浆分别涂敷在四块基体的表面上,涂层厚度均在0.3mm左右。由于金属粉末材料对激光束具有较强的吸收能力,因此,在激光合金化处理过程中,一般不需要再涂敷能量吸收剂。采

用金属粉末元素的原因是粉末在合金化处理过程中工艺简单,而且花费较少,也容易获得。实验已经证实,只要对实验条件和参数作适当的调整,合金化也可以采用配制好了的棒、线、薄带来代替粉末元素,同样能得到较好的结果。

2. 合金层显微硬度的分析

激光处理后得到的合金层典型剖面结构如图1所示。从图中可以清楚地看出,合金层与基体具有不同的显微组织结构。用显微硬度计在负载为200g时对合金层中部由表及里,测得其硬度值随深度的分布曲线如图2所示。从曲线可以看出,合金层的硬度值与合金中含碳量有关,曲线2*表面硬度最大,其含碳量最高(见表1),其他三条曲线表面的硬度也满足这个规律。曲线4*硬度值最小,原因是:(1)这种合金层添加了一定比例的铝元素,而铝是一种较软的金属;(2)这种合金层中碳的含量也比较低,不易生成硬的化合物。

3. 合金层元素成分的电位能谱分析

用美国PERKIN-ELMER公司的PHI595型多功能探针俄歇能谱仪,测量经激光处理过的四种合金样品的俄歇电子能谱图,结果如图3所示。并

表1 合金层各种元素成分(重量百分比)

粉末涂层成份(重量%)	100Cr	85Cr-15C	25Cr-50C-25Mn	24Cr-48C-24Mn-4Al
合金化后合金层成份(重量%)	26.6Cr 0.7C	19.4Cr 2.9C	3.5Cr 6.0Mn 2.4C	3.4Cr 1.0C 1.2Mn 0.4Al

根据俄歇电子能谱图定量地计算了各个样品中各种合金化元素的重量百分比含量,其结果如表1所示。

根据表1结果发现,所生成的各种合金层中,外加合金元素的比例与每种元素在合金化处理过程中添加混合粉末的比例并不恰好相同(对一些微量元素未作分析)。这可能与:(1)由于涂敷是手工操作的,涂层厚度很难达到均匀一致;(2)各种元素在调合成粉浆时也很难使混合均匀;(3)在强激光束照射处理过程中各种元素可能发生飞溅的程度不一样等因素有关。

4. 合金层显微组织结构分析

为了看清楚合金层的典型显微组织形貌,我们

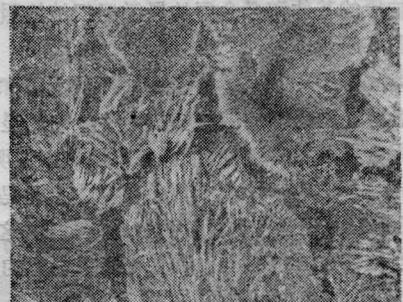
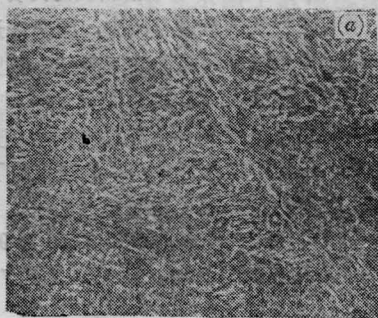
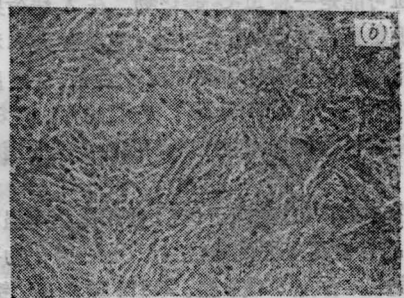


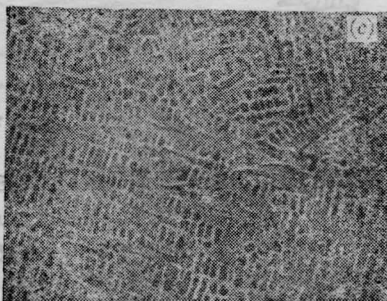
图4 60钢基体、硝酸、乙醇腐蚀(×1000)



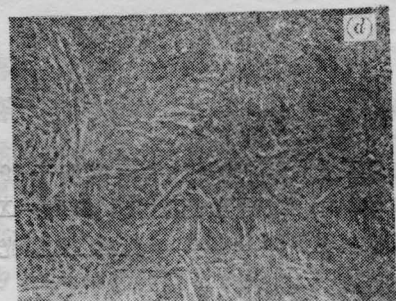
(a) 含26.6%Cr、0.7%C的合金层显微组织照片(×1000)



(b) 含19.4%Cr、2.9%C的合金层显微组织照片(×1000)



(c) 含3.5%Cr、6.0%Mn和2.4%C的合金层显微组织照片(×1000)



(d) 含3.4%Cr、1%C、1.2%Mn和0.4%Al合金层的显微组织照片(×1000)

图5 在60钢表面上激光合金层的显微组织图

表2 激光合金化试样耐腐蚀性测定结果

激光合金化试样		腐蚀速度 (g/m ² ·h)	
编号	合金层中合金元素含量 (Wt%)	5% H ₂ SO ₄ 溶液	5% NaOH 溶液
0	60 钢基底原始材料	9.0693×10 ⁻¹	4.1193×10 ⁻²
1	26.6Cr-0.7C	6.0119×10 ⁻²	7.0903×10 ⁻³
2	19.4Cr-2.9C	趋 于 零	趋 于 零
3	3.5Cr-2.4C-6.0Mn	1.8119	7.6452×10 ⁻²
4	3.4Cr-1.0C-1.2Mn-0.5Al	3.9069	9.7258×10 ⁻²

对基体和每种合金层样品作了扫描电镜和X射线衍射的观察和分析。所用仪器为S-450型扫描电子显微镜,拍摄的基体和合金层的显微组织结构照片如图4和图5所示。

图5(a)、(b)、(c)、(d)是四种不同元素和不同比例合金层显微组织的结构扫描照片,它的显微结构可以用金相图和X射线衍射相对照加以说明。

含铬为26.6%时,其显微结构基本上是马氏体组织,在组织中还含有铁氧体和少量碳化物(这可能是在激光处理过程中其他物质碳化结果引起的)。添加19.4%铬和2.9%碳时,主要析出是马氏体组织,同时在组织中还呈现出均匀分布微小颗粒,这些微小颗粒可能是一种M₇C₃碳化物,在X射线衍射分析中也观察到存在Cr₇C₃碳化物,它们的大小和形状均相同。这些含碳化合物颗粒合金层的硬度在200g的负载下达到1150H_v,它们的存在对于那些需要有抗磨损和抗附着磨损性能的应用将是有益的。

当存在少量(总数低于6%)铬和锰之类强稳定剂时,鉴别合金层表面的显微组织用铁-碳化物平衡图是适宜的。添加3.5%铬、2.4%碳和6%锰时,

呈现鱼骨状莱氏体组成的显微组织,在鱼骨支架中间还存在马氏体和奥氏体组织。添加3.4%铬、1.0%碳、1.2%锰和0.4%铝时,似乎生成由马氏体和残留奥氏体组成的显微组织。

5. 合金层耐腐蚀性能的测定

将激光合金化样品在常温下,在5% H₂SO₄溶液和5% NaOH溶液中分别进行了420小时和530小时的腐蚀试验,以重量法确定耐腐蚀性,实验结果列于表2。

从上表结果可知,在表面添加Cr-C的混合物(2号试样)经激光合金化处理后耐酸、耐碱的效果最佳,经酸、碱腐蚀处理后采用精确度为万分之一的分析天平未能观察到重量有减少,即腐蚀速度趋于零。3号和4号试样耐腐蚀性能欠佳,其腐蚀速度在5% H₂SO₄溶液及5% NaOH溶液中却有所增加。从实验结果还看到2号样品得到耐腐蚀性能的最佳效果,在其中加入了2.9%的碳形成了强碳化物M₇C₃,使不锈钢稳定化也是原因之一。

(收稿日期:1985年10月9日;

修改稿收到日期:1986年4月7日)

光泵 S₂ UV 激光器

哈尔滨工业大学光电子技术研究所于1987年4月用308.1nm准分子激光泵浦S₂(B³Σ_g⁻-X³Σ_g⁻)蒸气,首次实现了270~390nm光谱区的激光振荡

输出,其相对强度比蓝-绿光谱区强56倍左右。

(于俊华 孙高文 唐晨

1987年5月4日收稿)