

激光处理镀铬钢熔渗层的研究*

安世民

纪雅军

(大连理工大学三束材料改性国家重点实验室, 116024)

(哈尔滨汽轮机厂中心试验室, 150040)

提要: 用 1.5kW 连续 CO₂ 激光处理了 45、40Cr、40CrNiMo 三种基体的镀铬钢, 在铬/钢界面钢的一侧得到熔渗层。研究了其组织组成物的形态、相结构、铬浓度分布以及工艺参数、合金元素的影响。

关键词: 激光处理, 镀铬钢, 熔渗层

Study on melt-chromizing layer in laser treated chromium electroplated steel

An Shimin

(National Laboratory of Material Modification, Dalian University of Technology, Dalian)

Ji Yajun

(Haerbin Turbine Factory, Haerbin)

Abstract: A three-based steels (45, 40 Cr, 40 CrNiMo) is chromeplated and processed by a 1.5 kW CO₂ laser beam and a meltchromizing layer is formed on one side of the chrome-steel interface of the steel. The effects of processing parameters, alloy contents on the structural morphology and the distribution of Cr-concentration are investigated.

Key words: laser treatment, chromium electroplated steel, melt-chromizing layer

一、引言

文献 [1, 2] 提出了一种新的激光加热获得合金化层的方法——激光加热带镀层(或包覆层)金属, 固相封闭条件下形成熔渗层的方法。其特点是镀层金属熔点高于基体金属熔点, 在激光处理过程中镀层金属不熔或表面微熔, 而镀层与基体界面附近的基体金属熔融, 镀层金属通过扩散渗入液态金属中, 迅速冷却后形成合金渗层称为熔渗层。由于这种工艺既改善了镀层金属的性能(如增加致密度、减少缺陷、降低内应力), 又使镀层与基体金属实现了冶金结合, 增加了对基体的附着力, 同时在适当的工艺条件下, 还可获得机械、物理、化学性能优于镀层和基体金属的熔渗层。在某些机械构件中, 可显著提高使用寿命。因此研究熔渗层的形态结构、形成过程及其影响因素, 对丰富激光加热表面合金化理论和推进该工艺在生产中应用具有重要意义。

收稿日期: 1988年11月14日。

* 本文是在长春光机学院作的工作。

二、试验方法

试验选用 45、40Cr、40CrNiMo 三种材料, 试样尺寸为 $30 \times 20 \times 10 \text{ mm}^3$, 经 1050°C 盐浴炉加热, 保温 20 min, 油冷, 再 650°C 回火 1h, 在磨光的大平面上镀 $50 \mu\text{m}$ 和 $70 \mu\text{m}$ 的中硬铬。并用输出功率为 1.5 kW、光斑直径为 4 mm 的连续 CO_2 激光束进行直线单道扫描。

三、试验结果和分析

3.1 熔渗层的组织形态和相结构

以基体为 40CrNiMo 的镀铬试样为例, 熔渗层按其形态特征可分为枝晶层和白亮层两层(图 1), 再往里为钢基体的激光淬火层。

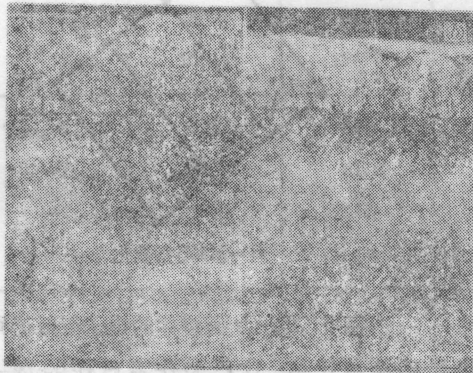


图 1 熔渗层的组织形态

(a) $v=1180 \text{ mm/min}$; (b) $v=600 \text{ mm/min}$

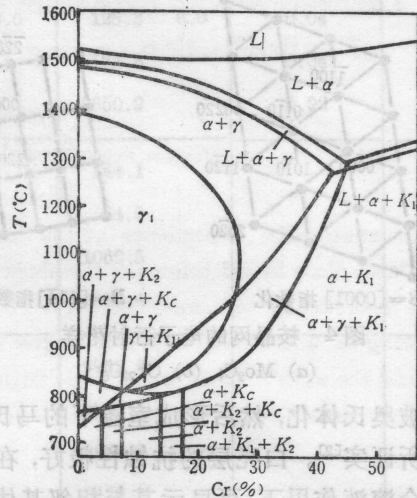


图 2 Fe-0.4C-Cr 状态图

枝晶层是距铬/钢界面附近的高含铬量区。根据 Fe-0.4C-Cr 状态图(图 2)这一层的结晶过程是先结晶出高含铬量的 α 相然后又形成包共晶 $[\alpha + K_1(\text{Cr}_{23}\text{C}_6)]$ 相。图 3 是这种典型的包共晶鱼骨状组织的薄膜透射电镜像。由图可见, 鱼骨状碳化物和“骨”间的 α 相相间排列[图 3(b)]。其电子衍射花样(图 4)经标定, 除 Cr_{23}C_6 外还有 Mo_2C [图 4(b)]。粗大的枝晶晶间为 Fe-Cr 固溶体(图 5)。

白亮层在激光加热时处于熔融状态, 由于激光加热温度场的温度梯度 $\partial T/\partial x$ 沿层深 x 方向的变化 ($\partial^2 T/\partial x^2 \neq 0$) 造成传质滞后于传热。因此不仅使该层铬浓度低于枝晶层, 而且由于加热、冷却速度极快, 使靠近未熔基体的白亮层中铬浓度几乎没有增加, 由高温冷却至图 2 的

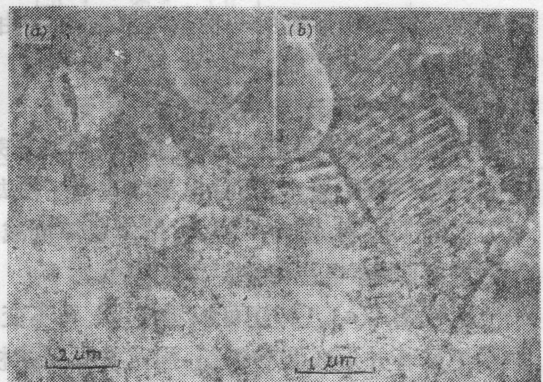


图 3 枝晶网的 TEM 像

(a) 枝晶网; (b) 鱼骨状碳化物

由高温冷却至图 2 的

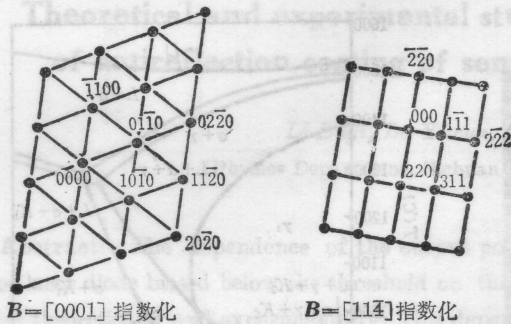
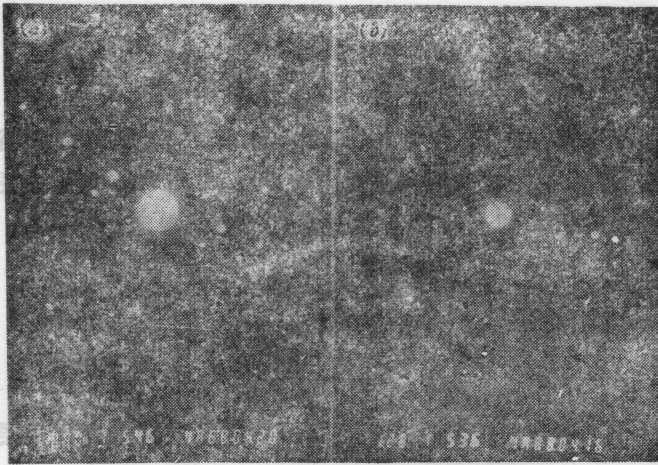


图4 枝晶网的电子衍射花样

(a) Mo₂C; (b) Cr₂₃C₆

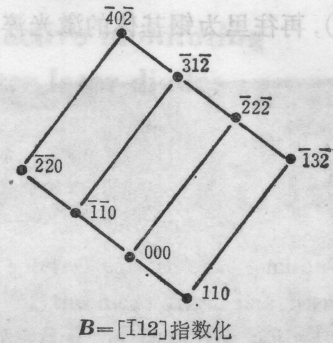


图5 Fe-Cr 固溶体的电子衍射花样

γ 区时被奥氏体化, 然后形成室温下的马氏体和少量残余奥氏体, 这已为作者已作的 X-射线衍射谱所证实^[20]。白亮层的抗蚀性极好, 在硝酸或盐酸酒精溶液中均不受腐蚀, 但在硝酸和盐酸的混合溶液作用下, 可显示其与相邻基体粗大 M 形态相近的组织^[21]。

在扫描速度较低的情况下, 在白亮层中靠近基体的部位形成类似铸态组织中柱状晶的胞状组织(图 1b), 用文献[3]的观点分析, 它是由于成份过冷造成凝固平面前沿不稳定引起碳和杂质原子的堆积形成的一种晶内亚结构。由图 6 可见, 被碳和杂质“墙”隔开的相邻“胞”具有大致相同的结晶位向。

3.2 激光工艺参数对熔渗层的影响

为便于讨论, 选定激光输出功率 P 和光斑直径 d 不变, 仅通过改变扫描速度 v 来改变加热时间和加热到的温度, 同时也相应改变了冷却速度。

如图 7 所示, 随着 v 增大, 熔渗层厚度减小; 若 v 不变, 增加镀铬层的厚度就使熔渗层加热到的温度降低, 也使熔渗层厚度减小。

比较图 1(a)、(b) 还可以看出, P 、 d 不变, 随 v 减小枝晶层与白亮层厚度比变小, 即白亮层加厚更显著并形成胞状组织, 同时枝晶层的枝晶网变密。

对熔渗层中铬浓度沿层深分布的电子探针点分析结果(图 8)表明, 扫描速度较低时, 铬浓度变化率连续一致; 较高时, 曲线出现转折点, 枝晶层铬含量较高, 到白亮层急剧降低, 这是由于处在高温下的时间短, 扩散不充分, 以及变温度梯度温场的影响共同造成的, 也是传质滞后



图6 胞状组织内M板条束的TEM像

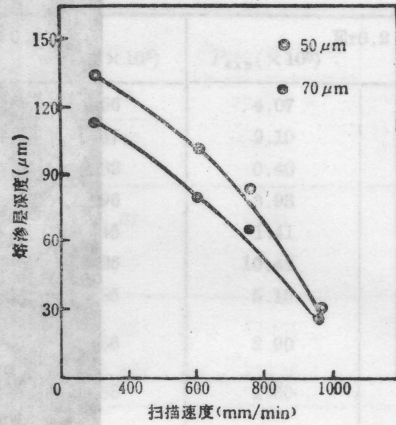


图7 熔渗层深度与激光扫描速度的关系

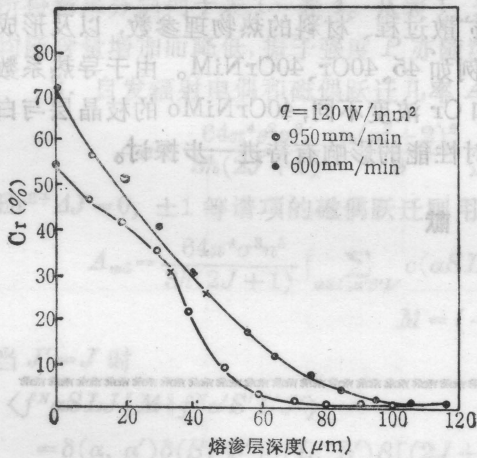


图8 熔渗层中铬浓度变化

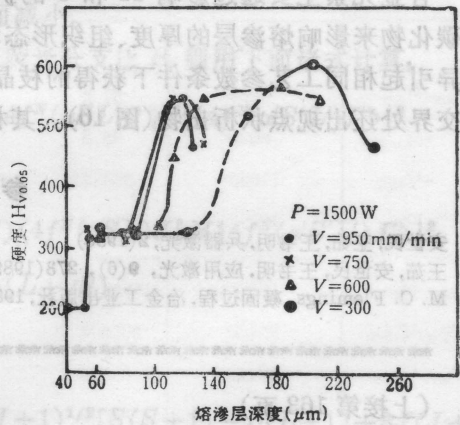


图9 熔渗层中的硬度变化

镀铬层厚 70μm, ×-枝晶层与白亮层交界(电子探针型号: EMX-SM7)

于传热的实验证据。

必须指出,图8的曲线是在熔渗层冷凝后测得的,在熔融状态下的铬分布与此不同:选份结晶使低铬浓度区先结晶出更低铬浓度的α固溶体;而高铬浓度区则先结晶出更高铬浓度的α固溶体。

用不同工艺参数获得的熔渗层的硬度沿层深的变化如图9所示。其中枝晶层的硬度均为HV330左右,似乎不受扫描速度的影响。但采用更高的功率密度和扫描速度,将会提高该层硬度[2]。值得注意的是,在白亮层与基体交界附近,由于结晶过程造成的贫碳,其硬度均低于同层次的正常值。

硬度压痕周边崩裂程度对比表明,提高扫描速度能降低熔渗层的脆性,其原因尚在研究中。



图 10 图 1(b)枝晶底部点状析出物(□处)的 TEM 像

3.3 合金元素对熔渗层的影响

合金元素主要通过影响 Cr 和 C 的扩散系数、扩散过程、材料的热物理参数,以及形成合金碳化物来影响熔渗层的厚度、组织形态和性能。例如 45、40Cr、40CrNiM。由于导热系数的差异引起相同工艺参数条件下获得的枝晶层厚度和 Cr 浓度不同;40CrNiMo 的枝晶层与白亮层交界处还出现点状析出物(图 10)。其相结构及对性能的影响有待进一步探讨。

参 考 文 献

- 1 安世民,王茹,王书明,兵器激光,2(1986)
- 2 王茹,安世民,王书明,应用激光,9(6),273(1989)
- 3 M. C. Flemings, 凝固过程,冶金工业出版社,1981

(上接第 163 页)

四、结 束 语

通过实验装置的建立和计算机闭环采样方法的研究,解决了探测光束和泵浦光束相对位置对测量的影响问题。用本实验装置测量光学薄膜的吸收率分布,其灵敏度为 2.5×10^{-6} ,测量准确度为 18%。进一步的工作是解决激光光束的方向漂移问题以及提高横向分辨率问题。

参 考 文 献

- 1 A. Hordvik, *Appl. Opt.*, **16**(11), 2827(1977)
- 2 W. B. Jackson, *Appl. Opt.*, **20**(8), 1333(1981)
- 3 陈文斌 *et al.*, 浙江大学学报, **23**(4), 532(1989)