

图9 白光透镜系统单狭缝编码图像的相加(a)和相减(b)

展^[4]。我们利用白光源和单狭缝编码,同样在反射镜系统里实现了图像加减和微分,分别如图7、图8(a)所示。图9和图8(b)是用透镜做的对照结果。图8(a)和图8(b)微分的边缘粗细不同是因为相干度不同而导致的。

从实验结果可看到许多透镜系统进行的实验在反射镜系统中也同样可实现。两者具有同等的效果。但反射镜有它自己的一些特点,例如:消色差;使系统的光路可折叠;可使用于其他电磁波段的信息处理;避免高质量透镜对其内部媒质均匀性的苛刻要求;避免透镜表面反射造成的光能损失等等。反射镜今后可望迅速扩大它在光学信息处理领域中的实际应用,成为和透镜一样重要的元件。

参 考 文 献

- 1 何钺,黄乐天,中国激光,16(2),99(1989)
- 2 于美文,光学全息及信息处理(国防工业出版社,北京,1984),255~256
- 3 S. H. Lee *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, 60, 1037(1970)
- 4 S. T. Wu *et al.*, *Appl. Opt.*, 20 (23), 4082 (1981)

(收稿日期:1988年4月4日)

60号钢表面激光碳氮硼合金层的电子显微分析

张思玉 郑克全

(兰州大学物理系)

Electron micro-analysis for C-N-B laser-alloyed layer on 60* steel surfaces

Zhang Siyu, Zheng Kequan

(Department of Physics, Lanzhou University, Lanzhou)

Abstract: The element distribution, the phase structure and the microstructure morphology of C-N-B laser-alloyed layer on 60* steel surface were studied by employing the Auger electron spectrometer, X-ray diffractometer and the scanning electron microscope. The results show that the laser alloying of C-N-B surface will give rise to many strengthening effects on

the base metal, and the fine metallurgical bonding has been achieved on the surface layer with the substrate. The relation between the properties of alloyed layer and the scanning speed have been discussed.

Key words: C-N-B, laser alloyed layer

一 引 言

激光表面合金化是一种局部表面变质处理的新方法^[1~3],用真空蒸镀、电镀、涂敷粉末或薄膜在金属材料的工件表面上,然后用激光束把其表面熔化并控制在要求的深度,使表面产生厚度为 $10\sim 1000\ \mu\text{m}$ 的熔化层,合金元素将扩散进入工件表面的液态薄层,在凝固时熔化层获得的冷却速度可达 $10^4\sim 10^6\ \text{°C/s}$,相当于急冷淬火技术所能达到的冷却速度,故在短时间(一般为 $0.1\sim 10\ \text{s}$)内就可以就地生成一层所希望的一定深度的新的合金层,这种合金层与基体之间的结合力很强,属于冶金结合。

本文用高功率 CO_2 激光束对60号钢进行了表面C-N-B合金化,并对合金层进行了显微组织观察和X射线物相分析。

二、实验条件和方法

用60号钢作基体,加工成为 $20\times 20\times 6\ \text{mm}^3$ 块状,经清洁处理后将粉末状的C、 B_4C 和 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 按一定重量比1:2:4用有机粘合剂混合均匀涂敷在其表面上,达到名义厚度为 $0.2\ \text{mm}$ 的涂层,再经激光辐照处理。

采用JL-6型横向流动连续 CO_2 激光器。本实验所用激光功率为 $1.4\ \text{kW}$,采用圆形光斑的散焦光束,其光斑直径为 $3\ \text{mm}$,激光器相应的输出功率密度约为 $1.98\times 10^4\ \text{W/cm}^2$,激光束斑的扫描速度范围取 $2\sim 10\ \text{mm/s}$,激光与试样表面作用时间可计算得出,估计金属熔液的冷却速度约为 $10^4\sim 10^5\ \text{°C/s}$ 。

三、实验结果与讨论

3.1 合金化元素在合金层中的分布

通过俄歇线扫描,看到三种元素沿合金层深度范围分布及各元素渗入钢材的深度基本相同(见图1)。其机理为:在激光辐照时,大量的碳、氮、硼原子和基材一起熔解于熔池内,由于表层存在着温度梯度,它将引起表面张力梯度,从而引起熔池内液体由中心向边缘的流动,以及熔液中元素的扩散等因素,所以各元素在熔池中将均匀混合。在移去激光束后,在急速冷却的条件下,溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 或 $\alpha\text{-Fe}$ 中处于过饱和状态的碳、氮和硼原子以多种化合物的形式析出。

3.2 激光处理区材料的显微组织

用S-450型扫描电镜拍摄了激光处理区材料的显微组织结构照片(见图2)。由于激光处理过程本身的特点:熔池体积小,冷却速度大,熔池中液体温度高,所以熔池的结晶以及合金层凝固组织具有它的特殊性。从图可见,对不同扫描速度处理的样品,分别呈现出胞状晶,胞状树枝

晶和粗大树枝晶组织结构。因为扫描速度不同,输入到钢材表面的热量不同,结晶后生成的合金层厚度和所含各合金元素的浓度也随之不同,因而相组成和显微结构也有差别。

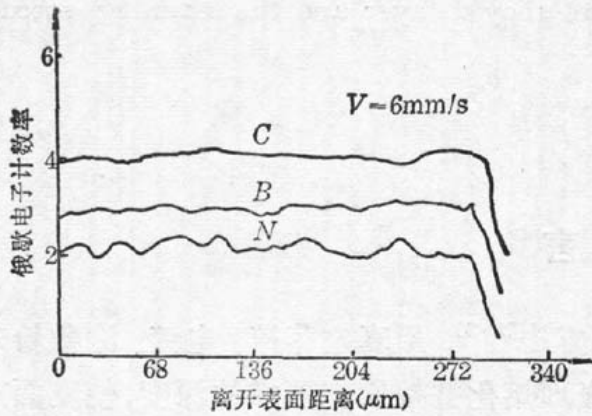


图1 合金层的俄歇线扫描图谱

固溶体合金在凝固过程中,晶体究竟以何种方式长大,主要取决于溶质的浓度 C_B 、液相内的温度梯度 G 和晶体的成长速度 R 。实验中,除了激光扫描速度不同外,其余条件均相同,因此影响固溶体晶体长大形状的因素主要应取决于液相内的温度梯度。图2(a)所示的合金层扫描速度大,此时输入热量少,基体过热程度小,结晶时液相中的温度较大,从而形成胞状晶。随着

扫描速度减小,得到胞状树枝晶组织,如图2(b)所示,这时输入热量将要增加,因而基体过热程度增大,温度梯度减小。当继续减小扫描速度时,将得到粗大的树枝晶组织,如图2(c)所示,因为此时热影响区基体过热程度更大,合金化区冷却速度也将随之减慢,故使晶粒粗化,因而在合金层得到了粗大的树枝晶组织。结合X射线衍射图谱我们从图3还能看到在固溶体枝晶间分布着网状碳化物,氮化物和硼化物,这些硬质相化合物在合金层中的分布从俄歇线扫描图谱得知是均匀的。

图3(a)是热影响区的显微组织,因为激光束扫描时,加热速度很快,相变是在很大的过热度下进行的,形核率很大。另一方面激光加热时间短,晶粒长大受到限制,从而得到不均匀的奥氏体细晶,冷却后为晶粒细化的马氏体组织,其形状为板条型和片状型的混合组织。图3(b)是合金层和热影响区交界处的显微组织,它对于了解两部分材料的结合机理和结合状态提供了依

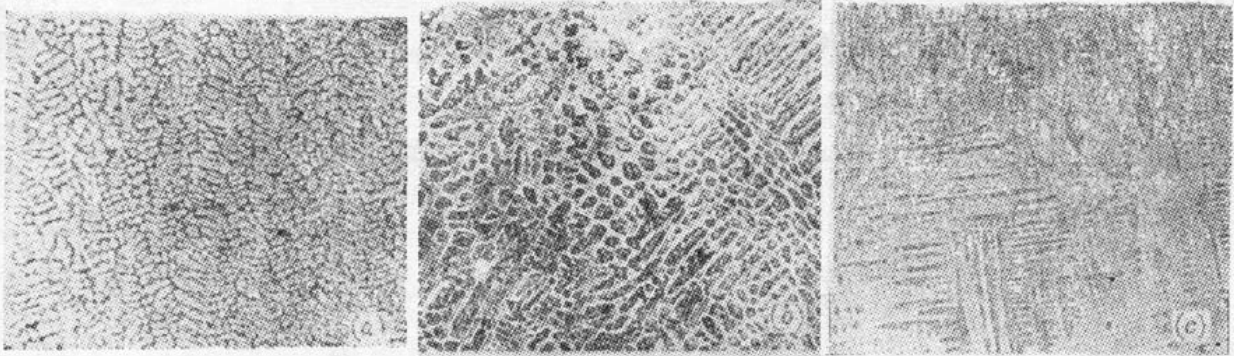


图2 不同扫描速度处理的合金层的显微组织 ($\times 1000$)
腐蚀液: 4% 硝酸酒精溶液。(a) 8mm/s; (b) 6mm/s; (c) 4 mm/s

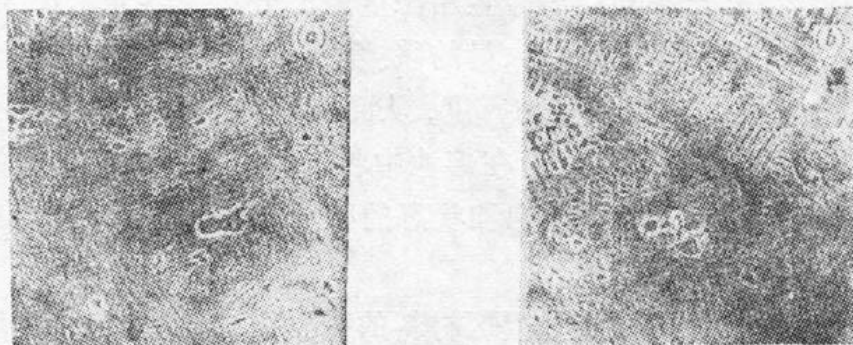


图3 热影响区的显微组织($\times 1000$)
(a) 热影响区; (b) 合金区与热影响区交界

据。从图显而易见, 60 号钢激光碳氮硼合金化后, 其合金层与基体的结合是以合金层的晶粒楔入基体来完成的, 这些晶粒沿未熔化表面长大, 连结成柱状伸向未熔化区内部, 楔入部分不再封闭。根据合金化区的凝固过程理论^[4] 计算认为, 激光熔化区的凝固先是从熔化区和基体交界处开始的, 因为激光束移去后, 只有该处具有最大温度梯度和成份梯度。在图 3(b) 中靠近基体的柱状晶垂直于二区交界生成的特征说明了上述看法的正确, 可以推测, 此合金层的凝固先是从交界处某些有利于成核的部位成核。然后, 这些核向熔化区推进, 成为晶粒, 在这些晶粒之间形成晶界。又因为基体是处于高温状态下的奥氏体, 其晶界是较疏松的, 当合金区晶界与此晶界相接触时, 合金化元素进一步扩散, 因此就形成了合金层的晶粒楔入基体的现象, 即合金层与基体之间形成了良好的冶金结合。

3.3 合金层的厚度与激光束扫描速度的关系

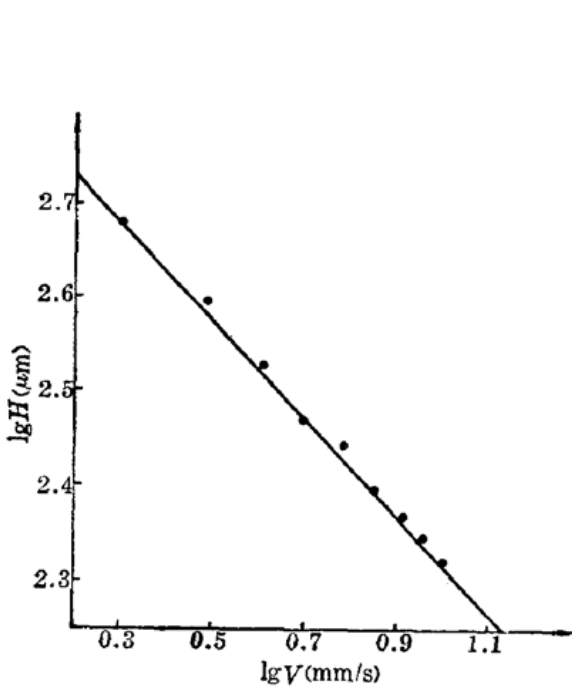


图 4 熔池深度与激光束扫描速度的关系

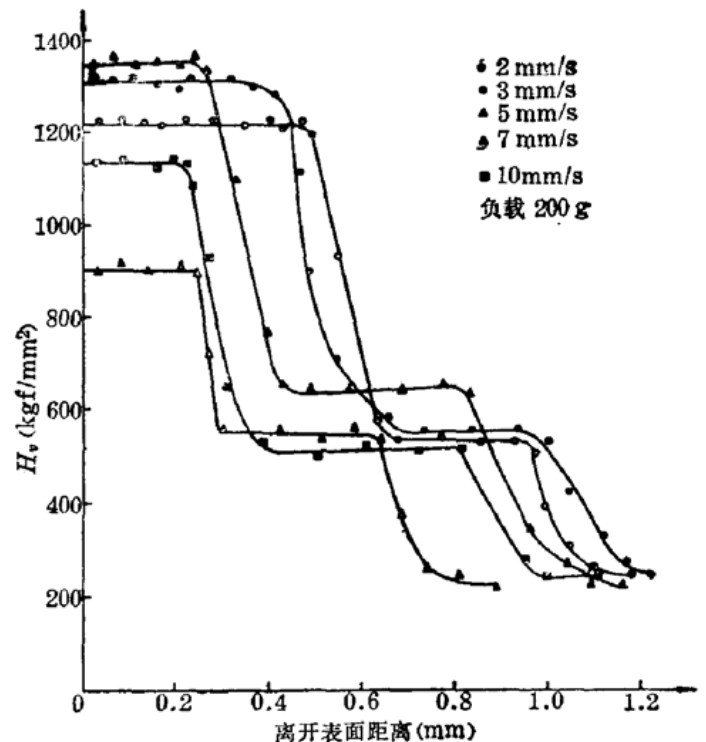


图 5 硬度分布曲线

对于用不同激光扫描速度处理后的样品, 分别测量出其熔池的最大深度 H (即合金层的最大厚度), 结果发现当激光功率和激光束斑直径不变时, 亦即激光功率密度一定时, 熔池的最大深度 H 与激光束扫描速度 V 之间有图 4 所示的关系, 即 $\lg H$ 与 $\lg V$ 之间有直线关系, 从中可定出该直线的斜率 $k = -0.496$, 即近似有 $k \approx -0.5$, 故由此可以说明 $H \sim \frac{1}{\sqrt{V}}$, 即当激光功率密度一定时, 合金层的厚度与激光束扫描速度的平方根成正比。

3.4 硬度分布规律

图 5 表示的硬度分布曲线具有典型的三阶梯形式, 合金化区的硬度比基体的硬度 (HV 230) 有了很大的提高, 选择合适的激光处理条件, 表面硬度可达 HV 1350 以上。这显然是激光快速熔凝使合金层化学成份均匀, 形成细微化组织, 且获得了均匀分布的碳化物、氮化物和硼化物等硬质相使之产生强化的结果。从曲线可知熔化层的硬度是相当均匀的, 当激光束扫描速度不同时, 将使合金层厚度及各合金元素的成份百分比浓度改变, 同时加热速度和冷却速

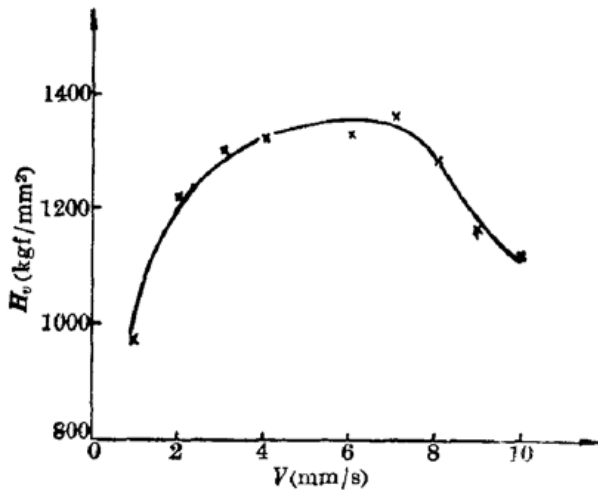


图 6 合金层硬度与扫描速度的关系(负载 200g)

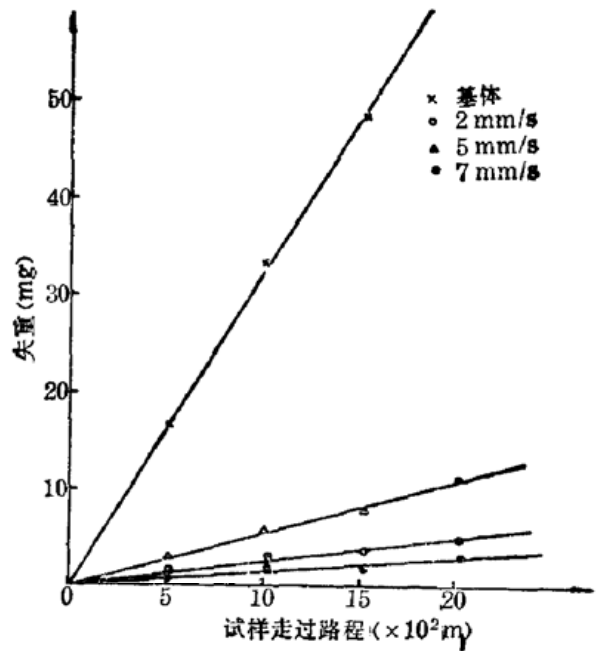


图 7 耐磨损比较曲线

度也随之发生改变,因而所得到的合金层在组织形貌及性能上也有较大差异,所以合金层的硬度也会随之改变。合金层的硬度与激光束扫描速度的关系示于图 6,曲线有一峰值存在,表明在其他处理条件相同时,当扫描速度达到 7 mm/s 时合金层表面具有最大硬度。

3.5 合金层的耐磨损性

将激光处理试样及未经处理的 60 号钢基体材料在一台 DMJ-1 型磨损机上进行了耐磨损比较试验。加载 1000 g,样品经磨损后测量其失重,所绘制的磨损比较曲线见图 7 所示。可以看出,经激光碳氮硼合金化后的试样其耐磨损性能将有显著提高,与基体相比可以提高 20 倍以上,对用不同扫描速度处理的样品其耐磨损性能提高的程度是不相同的。

参 考 文 献

- 1 John. F. Ready, *Proc. IEEE*, **70**(6), 533(1982)
- 2 D. S. Gnanamuthu, *Opt. Eng.*, **19**(5), 783
- 3 郑克全 *et al.*, *中国激光*, **14**(9), 571(1987)
- 4 E. M. Breinan *et al.*, *Laser in Mordern Industry*, Ed. J. F. Ready, 1979, 147~166

(收稿日期: 1988年2月29日)