

钢表面激光快速熔凝的组织特征

刘江龙 邹至荣 叶 宏

(重庆大学, 重庆)

摘要: 本文采用2kW横流二氧化碳激光器进行了CrWMn钢的快速动态熔凝处理。在本实验条件下, 借助光学显微镜、扫描电镜和显微硬度仪, 揭示了钢表层在激光动态凝固之后, 其宏观凝固组织是非均匀的。这种非均匀性表现在两个方面, ①在熔区边缘(B区)内, 白色组织与黑色组织混合共存; ②熔区中心(A区)组织与B区组织的混合共存。研究表明: 白色组织为残余奥氏体, 其显微硬度为 $HV_{0.2} 300 \text{ kgf/mm}^2$, 而黑色组织为回火马氏体和残余奥氏体, 其显微硬度为 $HV_{0.2} 620 \text{ kgf/mm}^2$ 。最后指出形成凝固组织不均匀的原因在于对流运动特征所致。

The structure feature of solidified surface by laser irradiating

Liu Jianglong, Zou Zhirong, Ye Hong

(Chongqing University)

Abstract: The surface structure of the low alloying steel CrWMn after laser solidification, with a 2kW CO_2 laser, was examined by optical microscopy, and scanning electron microscopy. Experimental results showed that the macroscopical solidification structure of the steel surface was heterogeneous. The structure was ① a mixture of the white structure and the black structure in the edge of the melt zone (B zone), and ② a mixture of the center of the melt zone (A zone) structure and the B zone structure. The white structure was residual austenite ($HV_{0.2} 300 \text{ kgf/mm}^2$), but the black structure was tempered martensite and residual austenite ($HV_{0.2} 620 \text{ kgf/mm}^2$). Finally, it is pointed out that the phenomenon is brought about by the nature of convection movement.

一、试验方法

本文的试验材料为CrWMn低合金钢。这种钢在工业生产上用途甚广。其化学成分为C=1.0%，Mn=0.95%，Cr=1.0%，W=1.50%（重量百分数）。材料的原始热处理工艺为常规淬火加400℃回火，以期获得均匀的原始组织。

所采用的激光器件为HGL-3型横流式二氧化碳激光器。其标称输出功率为2000W。CrWMn钢经机加工成长20mm×宽15mm×高15mm的试样。其激光快速熔凝处理的工艺参数为激光功率950W~1100W，扫描速度120mm/min~160mm/min，圆形光斑直径4.0mm~6.0mm（透镜焦距300mm）。

将经激光熔凝处理后的试样表面用金相砂纸磨平，制成标准的金相试样。再经金刚石研磨膏抛光，并用4%~10%的硝酸酒精溶液浸蚀。分别采用了Olympus型光学显微镜和Cambridge Stereoscan250Mk3型扫描电镜分析和研究了激光辐射后的CrWMn的熔化组织特征。借助HXD-1000型数显式显微硬度仪测定了熔化组织。最后，利用定量金相的原理，分析了熔凝组织的不均匀性，并用面积参数来衡量之。

二、试验结果及其讨论

对于经激光辐射后的CrWMn钢而言，其熔化表面存在凹凸不平的现象。

在激光快速熔凝处理之后，在钢的表面产生了熔凝组织的宏观不均匀性，如图1所示。其取样部位如图1a所示。图2是图1b中白色组织（A区）的局部放大组织。图3是图1b中黑色组织（B区）的局部放大组织。图4是熔凝表面的中心区域（A区）的显微组织。比较图2和图3可以发现图1b中的熔凝表面的边缘区域（B区）的显微组织本身也是两种不同的组织，即白色组织和黑色组织两种的混合。

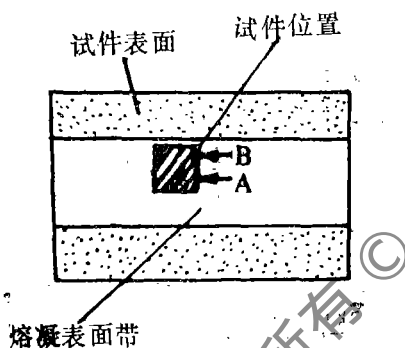


图1a 图1b的取样部位示意

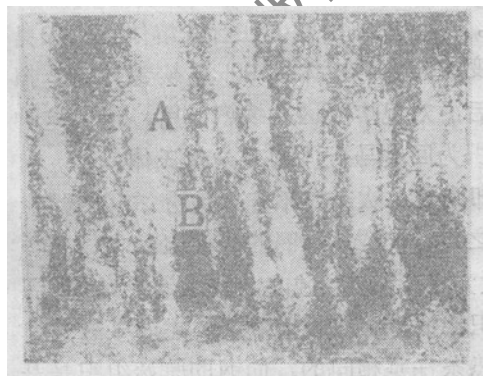


图1b 在激光动态熔凝之后，CrWMn钢表面的组织特征(×40)
A—熔凝表面的中心区域
B—熔凝表面的边缘区域

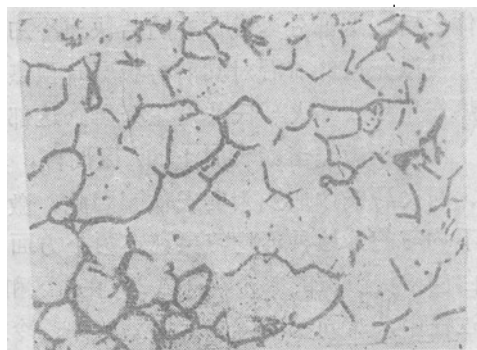


图2 图1b中的A区的局部放大(×800)



图3 图1b中B区的局部放大($\times 300$)



图4 图1b中的A区的显微组织($\times 1125$)

利用HXD-1000型数显式显微硬度计测量了其B区域的白色和黑色组织的显微硬度值。其结果为：白色组织的显微硬度 $HV_{0.02} 300 \text{ kgf/mm}^2$ ；黑色组织的显微硬度 $HV_{0.02} 620 \text{ kgf/mm}^2$ 。采用定量金相的方法，测定了B区内的黑白组织的面积参数，其结果如表1所示。

表1 对B区的定量金相分析结果
(单位： mm^2)

区域参数	平均区域	最大区域	最小区域
白区	1.24	4.32	0.43
黑区	2.56	8.00	0.51

200 kgf/mm^2 。其形成原因在于当CrWMn钢被激光快速加热至其熔点以上时，原始组织中的碳化物相完全溶解，在其随后的快速冷却过程中，合金熔体首先转变成 $\gamma\text{-Fe}$ ，随后，这部分 $\gamma\text{-Fe}$ 并未发生分解和析出碳化物相，所以，这部分 $\gamma\text{-Fe}$ 最终以残余奥氏体的形式保留下来。

另一方面，激光熔凝表面上的B区域的黑色组织应为回火马氏体加残余奥氏体。由于回火组织为两相复合组织，所以在光学显微镜下呈黑色。其形成原因是，在合金熔体转变成奥氏体之后，这部分奥氏体在随后快速冷却中，部分转变成淬火马氏体。由于连续激光的扫描，使激光束的前沿对其前方表层有预热作用，而其后沿对已熔凝区有续热作用，所以这种续热作用导致淬火马氏体发生分解。这部分的最终组织为回火马氏体加残余奥氏体。

而对于激光熔凝表面上的A区而言，其最终组织却为沿一次晶界不连续地分布的碳化物、回火马氏体加残余奥氏体。因此，激光快速熔凝之后，CrWMn钢的表面组织在宏观上是不均匀的。这种不均匀表现在两个方面，(1)在激光熔凝的B区域内，为黑色条状组织和白色条状组织的混合物；(2)在A区和B区，其组织特征也存在较大差别。在同一激光熔凝过程中，对同一试样，其加热条件、冷却条件和传热条件是相同的，而钢的原始组织是基本上微观均匀的，因此，这种组织不均匀只能产生于激光快速熔凝过程之中，这种组织不均匀实质上是激光快速熔凝后的成分不均匀的具体表现。

按照T.R.Anthony^[1]提出的对流模型，激光快速熔化钢表面时，在其表层的熔池内

部存在一个由温度梯度引起的对流运动。显然,在钢的表面上也存在一对流运动。在这种对流作用下,出现了熔区内的传质现象。一般认为:激光熔池内的对流运动能使其合金元素的分布从极不均匀状态变成分布相对均匀状态^[2],例如激光合金化。实质上,这种由表面张力梯度驱动的对流传质在熔池表层的各处是存在差异的,也就是说,在各处,其对流运动的强度与程度是不一致的。C.Chan^[3]和A.Paul^[4]的理论模型证明了这一点。由于熔池表层的A区与B区在其传热和传质上存在差异,另一方面,根据热传导方程计算出其A区的凝固冷速约为 $1.0 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C/s}$,而其B区的凝固冷速约为 $1.3 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C/s}$,即其A区和B区的结晶冷却条件也存在差异,这就最终导致了在本实验条件下,激光熔凝组织存在不均匀性。本实验现象正是一种合金成分从相对均匀分布状态变成相对不均匀分布状态的例证。激光快速熔凝后的成分不均匀导致了其黑白色组织的共存。因此,应当重视这一问题。这种对流特征不仅受到激光束的能量分布均匀与否的影响,而且还受到其它工艺参数和材质的热物理特征的影响。对此,目前尚难以量化。

三、结 论

1.激光快速熔凝处理之后,在本实验条件下,在CrWMn钢熔凝表面出现了组织的不均匀现象。实质上是存在成分不均匀性。

2.这种不均匀性的存在原因可能是在激光与金属表层熔池的交互作用中,由表面温度梯度导致的对流传质特征在熔池各处存在差异所致。

参 考 文 献

- [1] T.R.Anthony, J.A.P., 1977, Vol.48, P.3888~3894.
- [2] American Institute of Physics Conf.Proceeding, American Institute of Physics, NY, USA, 1979, Vol.50, P.161~172.
- [3] C.Chan, Metallurgical Transactions A, 1984, 15A, P.2175~2184.
- [4] A.Paul, Metallurgical Transactions B, 1988, 19B, P.851~858.

* * *

作者简介:刘江龙,男,1956年11月出生。助理研究员。从事强激光与材料,特别是金属材料交互作用理论与技术研究工作。

收稿日期:1989年10月27日。

· 简 讯 ·

激光二极管驱动光纤标记器

1989年7月在日本的国际光电展览会上,索尼公司展示了一种利用偏振耦合到一根直径400 μm 光纤中的两个1W的激光二极管的标记系统。这个小型台式系统通过光纤在工件表面扫描运转,提供1.3W输出功率。

去年,公司还推出了以二极管激光器为基础的焊接系统,据说1989年卖出了几套,价格低于1000万日元(约7万美元)。

译自L.F., World, 1989, Vol.25, No.9, P.11.

张贤义 译 刘建卿 校