

## 激光与纯金属交互作用后的凝固特征

刘江龙

冯兴建

(重庆大学, 重庆)

(四川化工总厂, 成都)

**摘要:** 本文采用2kW横流二氧化碳激光器, 对单元金属铁的表面进行了熔凝处理。借助光学显微镜和电子显微镜观察: 其凝固表面沿试块的长度方向随着距离的增加, 熔化宽度增大, 凝固组织特征表现为团聚状、麦穗状和蜂窝状。

The solidified feature for pure metal Fe by laser irradiating

Liu Jianglong

Feng Xingjian

(Chongqing University)

(Sichuan Chemical General Plant)

**Abstract:** The characteristic of the solidified zone for pure metal Fe after laser solidification was examined by optical microscopy and scanning electron microscopy. Experimental findings showed that the melton width was increased in the length direction of the sample on the pure iron surface. And its solidified characteristics, were showed as grumose formation, wheat head formation and honer-comb formation in the various zones.

## 一、试验方法

本试验采用单元金属纯铁, 化学成分为:  $C_{0.002}$ ,  $Si_{0.000}$ ,  $Mn_{0.000}$ ,  $P_{0.0004}$ ,  $S_{0.0010}$ , 余量为Fe, 单位Wt. %。将纯铁制成 $15 \times 10 \times 20$ mm的长方体试块。

采用的激光器为HGL-3型横流式二氧化碳连续激光器。标称功率2000W。试验工艺规范为: 激光输出功率1400~1600W, 扫描速度100~160mm/min, 透镜焦距300mm, 无离焦量, 焦斑尺寸 $\phi 3.5$ mm。

激光处理后的试样, 用Olypas光学显微镜和Cambridge Stereoscan 250MK3扫描电镜分析和研究了熔化组织特征。用波谱仪对熔化组织的杂质元素进行了初步分析。最后, 借助显微硬度仪测定了显微硬度变化。

## 二、结果与讨论

激光辐射后的纯铁, 熔区表面较为平坦, 不存在凹凸不平的现象, 由于纯铁的导热能力

相对较好(导热系数为 $78.2\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ),激光处理后,试块表面的熔化区呈喇叭状,即沿试块表面长度方向(Y),随距离增加,熔化宽度增加,如表1所示。而碳钢和合金钢却无此现象。显然,这与材料的导热能力有关。导热能力越好,局部区域内的蓄热越困难,这种宽化趋势越明显。

表 1 沿试块表面长度方向(Y)熔化宽度的变化

长度方向Y(mm)	0 起点	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20 终点
熔化宽度(mm) 纯铁	3.5	3.7	4.0	4.6	5.0	5.2	5.4	5.5	5.8	6.0	6.5
熔化宽度(mm) 低碳钢45 <sup>#</sup>	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	5.0
熔化宽度(mm) 低合金钢GCr15	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8

激光功率: 1600W, 扫描速度: 160mm/min, 离焦量: 0mm

在激光处理规范下,激光重熔区内纯铁的显微组织基本上相同。

激光重熔区内纯铁的显微硬度从原始状态的 $\text{HV}_{0.05} 100\sim 110\text{kgf}/\text{mm}^2$ 提高到 $\text{HV}_{0.05} 195\sim 210\text{kgf}/\text{mm}^2$ 。

按Gaussian热源模型评定方法,假定采用Gaussian分布的稳定热源对半无限大物体准稳定加热,忽略相变热效应,可计算出平均冷却速度为 $10^3\text{K}/\text{s}$ 左右。

激光辐照纯铁后,其凝固特性如图1所示。熔化区凝固组织分为三个区域。I区为不规则的团絮状组织,II区为麦穗状组织,III区为蜂窝状组织。观察发现,在每一麦穗上,存在一条微观裂纹。测量表明:麦穗的主干宽度约为 $10\sim 15\mu\text{m}$ 。这些微裂纹起源于I区,主要沿麦穗主干向III区扩展,并在III区消失如图2所示。图3表明有些微裂纹是不连续的。进一步还发现该微裂纹是由若干坑组成的。显微坑有一定的棱角如图所示。对微裂纹附近及其源头,和远离微裂纹的区域进行波谱分析,结果表明这些点的成分相同,均没有N、O、S、P、C等元素的谱线。其机理有待深入研究。

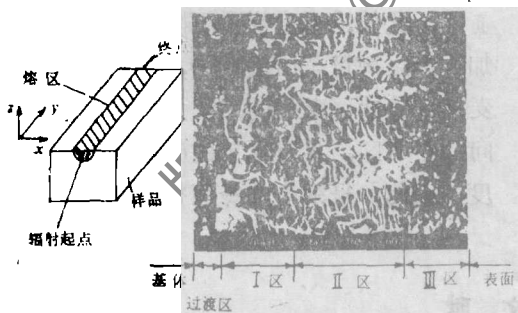


图1 纯铁的熔化特征

对于纯金属,在正的温度梯度下,凝固界面一般为粗糙的,而且是等温的,因而凝固组织不会出现树枝状特征。在激光对纯铁进行熔凝处理时,高温状态下,由于熔体过热,使周围气氛中的微量C或N原子进入金属熔池。仅从波谱分析未能发现这些元素的存在,而实际上微量杂质元素存在的结果,使单元金属改变了其凝固特征。D.Walton曾在Sn-Pb合金<sup>[1]</sup>中证明:只要溶质浓度达到0.005%Wt.,在不同工艺下的凝固,均发现了其液-固界面可能

具有胞状、痘状等界面特征。W.A.Tiller等的工作<sup>[2]</sup>亦证明在溶质的浓度极低( $10^{-2}\%$ )时,也可能改变纯金属的凝固特征。因此,在本实验条件下,出现图1的结果,可以说是微量杂质存在造成的。

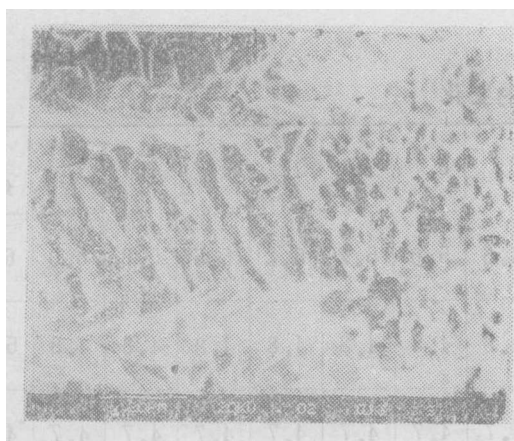


图2 微裂纹在Ⅱ区和Ⅲ区之间的特征

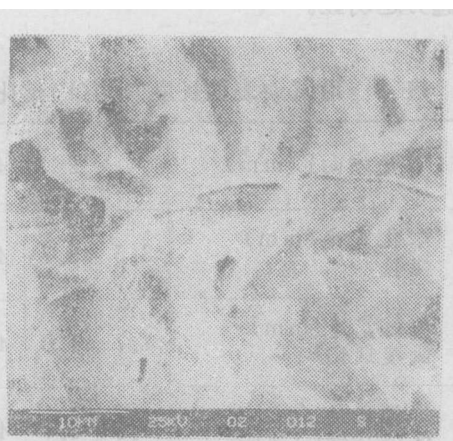


图3 微裂纹呈断续状

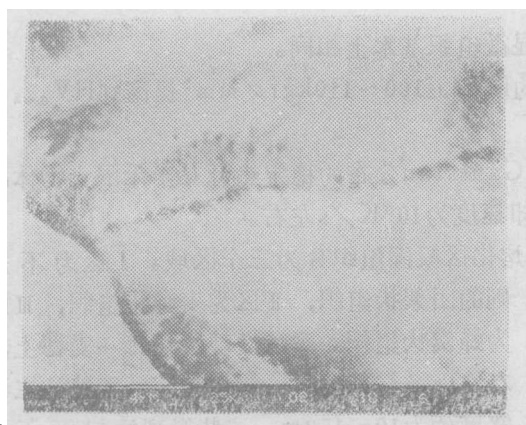


图4 在高倍( $\times 3250$ )放大的情况下,微裂纹由一系列坑组成

激光熔化区的不同部位(图1中的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ),出现不同的显微凝固组织,可以用热流下的温度场分布和凝固速度场的分布结果来加以说明。对于Ⅰ区,由于紧连过渡区,存在较大的温度梯度、较小的液-固界面迁移速度,所以Ⅰ区呈不规则的团絮状特征。随冷却过程的继续,液-固界面迁移至Ⅱ区,此处,温度梯度下降,凝固速度增加,加之微量杂质的作用,导致在Ⅱ区出现麦穗状特征。麦穗的主干为热流的散热主方向。在Ⅲ区,具有较快的凝固速度和冷却速度,因此,呈细小的蜂窝状组织特征。

### 参 考 文 献

- [1] D.Walton, Trans. AIME, 1955, Vol.203, P.1023.
- [2] W.A.Tiller, Canad.J. Phys., 1956, Vol.34, P.96.

收稿日期:1989年10月27日。