

灰铸铁激光表面熔化处理的表面质量分析

谢淑明 刘海珍

(上海第二工业大学)

陈兰英

(中国科学院上海光机所)

提要: 探讨了灰铸铁激光表面熔化处理表面的质量。试验表明:通过调节激光器的输出功率、光斑直径和扫描速度可以方便地控制熔化层深度和表面平整度。采用惰性气体保护可以基本消除表面气孔。适当的选材与低温预热及后热可以抑制表面裂纹的产生。

Analysis of surface quality of grey iron subjected to laser melting treatment

Xie Shuming, Liu Haizhen

(Shanghai Second Polytechnic University)

Chen Lanying

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: This paper deals with the influence of laser beam on the width and depth of melting zone and surface smoothness. The experimental result shows that the depth of hardened zone and smoothness of surface can be controlled conveniently by varying the power output beam diameter and scanning rate of laser light. By means of shielding gases porosity can be reduced greatly. Proper selection of materials, preheating and postheating can help to avoid cracking.

引言

灰铸铁经激光表面熔化处理后能获得机械性能优良的熔凝带,熔区硬度 $\approx H_m 900$,耐磨性可与气体氮化比拟,因此引起了国内外热处理工作者的广泛兴趣。

但是铸铁经激光熔化处理后表面存在严

重的质量问题:①熔凝带表面有凹凸不平的波纹;②熔凝区表面及内部存在有气孔;③熔凝区表面及内部存在有宏观和微观裂纹。后面两点破坏了熔凝带的连续性,影响了表面的美观,且对承受冲击或接触应力高的零件产生不良后果。

本文对激光表面熔化处理后的表面平整

收稿日期:1985年8月22日。

度、气孔及裂纹进行了探讨,通过试验以寻求消除气孔与防止裂纹产生的有效途径,并取得了初步的结果。

试 验

1. 材料: HT30-54,成分见表1。

表1 化学成分

元 素	碳	锰	硅	硫	磷	铬	铜
含量(%)	3.28	0.89	1.53	0.036	0.084	0.22	0.97

试样的几何尺寸是 $75 \times 50 \times 12$ (mm)及 $\phi 35 \times 10$ (mm)两种。作正火预处理(处理后硬度 $H_B 255 \sim 265$)和表面粗磨后磷化处理($T \approx 80^\circ C$)。材料的基体组织是片状珠光体+片状石墨+少量铁素体与磷共晶。

2. 激光束。所用的激光器为输出功率1.2kW的连续 CO_2 激光器,焦点光斑直径2mm,多模。激光束分别在 75×50 mm及 $\phi 35$ mm表面上扫描,熔凝带表面均未进行任何加工。

3. 检测。低倍下观察表面质量,测量气孔与裂纹和观察熔凝带横剖面(用线切割切开),测量熔区深度与宽度;高倍下观察金相组织。

试 验 结 果

1. 激光表面熔化处理后,熔凝带横剖面显示典型的月牙型,且清晰地分出三个不同的区域:白色的熔凝区、灰色的过渡区(未熔

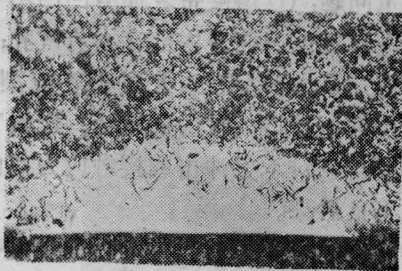


图1 熔凝带横剖面(50 \times)

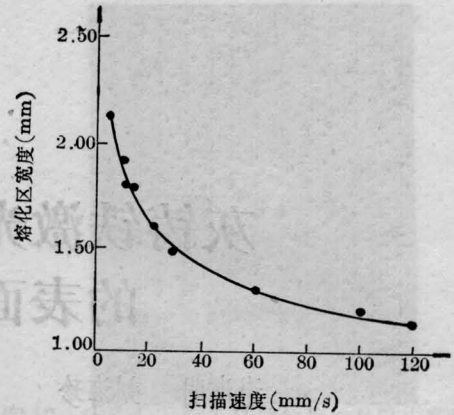


图 2

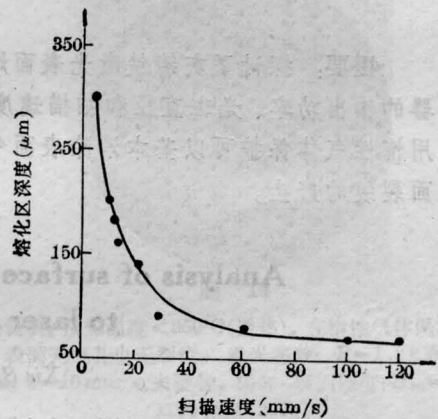


图 3

解的石墨存在)及基体,如图1所示。

2. 用不同扫描速度处理后,测量熔凝区深度及宽度,结果见图2、3。

3. 熔凝带上波纹使表面呈现凹凸不平的景象,影响了表面平整度,使磨加工量增加并降低熔凝区的性能。以本试验条件而言,当保护气体适量(5~15l/min),扫描速度不大(< 22 mm/s)以及材料的共晶度接近于1时,均可获得表面平整的熔凝带,此时表面波纹细而浅(凹凸之差 $< 20 \sim 30 \mu m$),试样横剖面的上部边沿无凸起伏,见图4、5及图1。

4. 熔凝带表面存在的气孔对使用将会造成不利的影响,试验发现:

(1) 在空气中处理的表面存在许多气孔,而惰性气体保护下处理则基本无气孔,见图6、7。

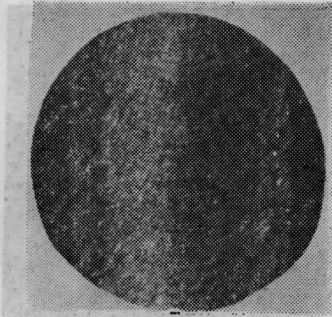


图4 表面波纹细浅
(C=3.57%, Si=2.24%), 未浸蚀(20×)

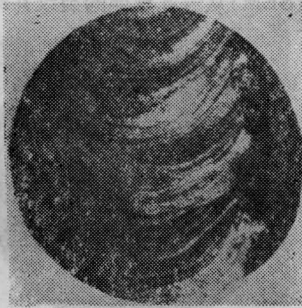


图5 表面波纹粗深
(C=3.08%, Si=1.69%), 未浸蚀(20×)

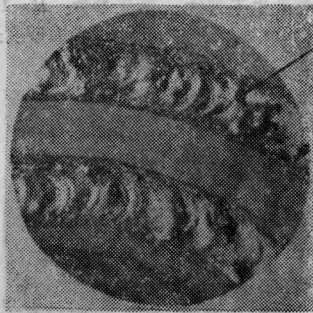


图6 空气中处理的表面
(箭头指处为气孔, 未浸蚀(20×))

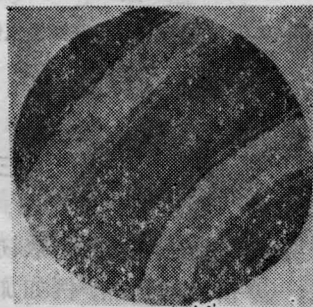


图7 惰性气体保护下处理的表面
未浸蚀(20×)

(2) 当保护气体流量一定时, 不同扫描速度处理后, 单位面积上气孔数随扫描速度降低而减少。如图8曲线所示。当保护气体流量为5l/min, 扫描速度 <12.1 mm/s时, 表面已基本不存在气孔; 而扫描速度过快时, 则在熔化区与过渡区交界处也存在内部气孔。

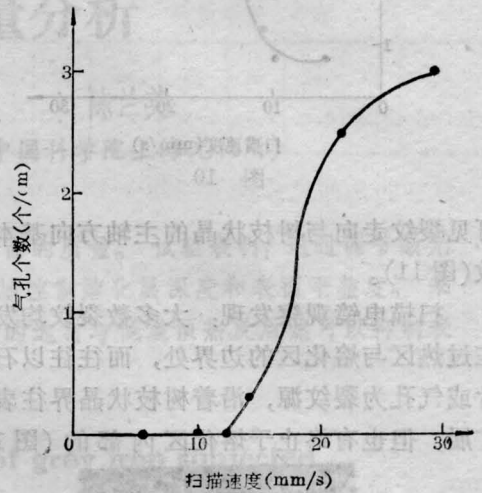


图8

5. 激光器输出功率为800~1200W, 扫描速度为5.3~120mm/s时, 熔凝带表面均存在裂纹。常见的是贯穿熔凝带的横向裂纹, 如图9所示。熔凝带上断续的纵向裂纹极少。不同扫描速度与表面横向裂纹的关系曲线如图10所示。当扫描速度 >12 mm/s时, 裂纹条数急剧增加。

在光镜下观察到裂纹由表面一直延伸到熔化区边界的石墨或气孔处终止, 深腐蚀后

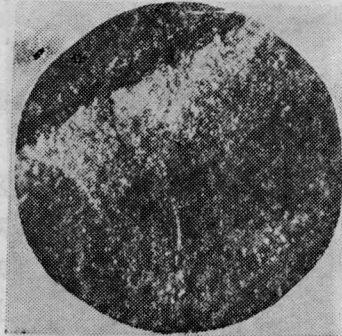


图9 表面的横向裂纹
未浸蚀(20×)

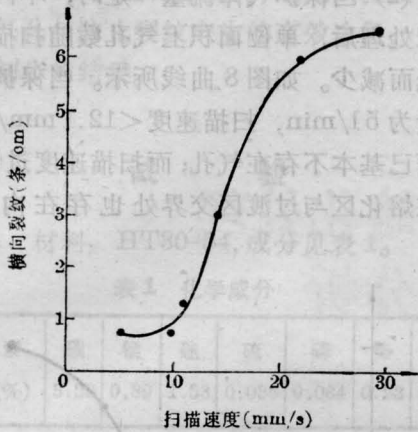


图 10

可见裂纹走向与树枝状晶的主轴方向基本一致(图 11)。

扫描电镜观察发现: 大多数裂纹均发生在过热区与熔化区的边界处, 而往往以石墨片或气孔为裂纹源, 沿着树枝状晶界往表面扩展, 但也有终止于熔化区内部的(图 12、

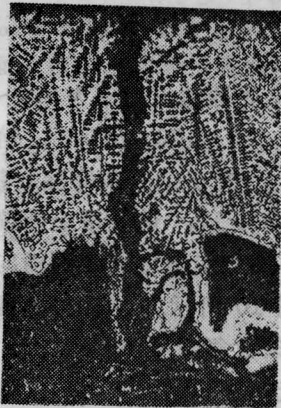


图 11 熔凝带纵剖面上的横向裂纹(400×)

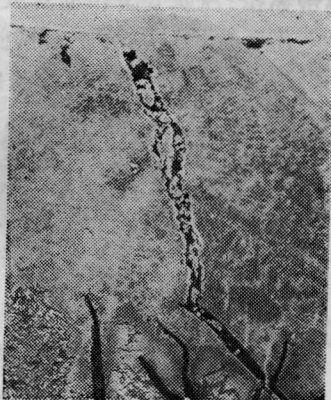


图 12 (SEM)从石墨片一直延伸到表面的裂纹



图 13 (SEM)从气孔延伸的裂纹并终止在内部

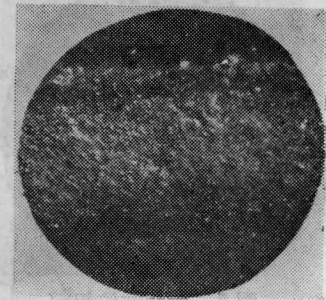


图 14

球墨铸铁, 预热温度 $<250^{\circ}\text{C}$ (透热), 在惰性气体保护下处理, 表面无气孔也无裂纹。激光参数: $P=1.2\text{kW}$, $\phi=2\text{mm}$, $v=10\text{mm/s}$ 。未浸蚀, $15\times$ 表面硬度: $H_m=800\sim 1100$ (荷重 200g)

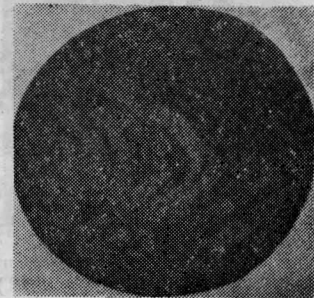


图 15

表面涂镀镍($\delta<0.05\text{mm}$), 未预热, 在惰性气体下处理, 表面无气孔裂纹。未浸蚀, $15\times$

13)。

抑制熔凝带表面产生裂纹有三种方案:

① 提高母材的强度改变组织形态, 比如选择球墨铸铁等; ② 被处理表面涂敷韧性好的金属(如镍); ③ 恰当的预热, 例如加热到小于 350°C 即激光扫描。经以上处理后, 基本可防止表面裂纹的产生, 并且对组织与性能的

影响不大,显微硬度仍可达 $H_m 850$ 左右(图 14、15)

讨 论

1. 关于熔区深度与宽度随扫描速度变化规律。由图 2、图 3 可知,扫描速度快,熔区深度与宽度减小;扫描速度慢则深度与宽度增加。在功率密度恒定时,熔区深度、宽度与扫描速度关系曲线的曲率及位置受材料的热传导率、涂层的吸收率、光束的光学模式等因素影响。当上述因素确定后,通过调节激光器的输出功率、光斑直径和扫描速度,能在一定范围内控制熔区的深度与宽度。而在功率密度及光束模式一定时,可能达到的最大熔深是有限的。

例如: $3\text{kW}/\phi 2\text{mm}$ 多模时最大熔深约为 0.5mm 。

$2\text{kW}/\phi 2\text{mm}$ 多模时最大熔深约为 0.4mm 。

$1\text{kW}/\phi 2\text{mm}$ 多模时最大熔深约为 0.3mm 。

2. 熔凝带表面的平整度

熔化处理后表面的平整度可用表面波纹的凹凸来量度,而材料性质、光束模式、保护气体流量、光束对液态金属的作用及激光参数等,均对波纹的形成产生一定的影响。

材料成分愈接近共晶点,熔化温度愈低,液体流动性愈好。可以共晶度

$$\left(S_c = \frac{C\%}{4.3 - \frac{1}{3}\text{Si}\%}\right)$$

来衡量,对 $S_c \approx 1$ 的材料,熔化处理后表面平整度较好。因此在亚共晶铸铁中,可适当提高硅的含量使共晶度升高,还可通过采用矩形光斑和调整激光参数来获得较平整的表面。

3. 表面气孔

由图 8 可知,当扫描速度过快,单位面积上的气孔个数急剧上升,结晶时排出的气体

来不及从表面逃逸到大气而残留在表面。若扫描速度极快,结晶时排出的气体甚至来不及聚集上浮,故在熔区内部或交界处有时可发现残留的个别气孔。慢速扫描时不仅能让气体聚集上浮并逸出表面,而且惰性气体的保护效果也较好,因此表面气孔少。

激光表面熔化处理如果在空气中进行,金属中的碳与氧的反应将使试样表面气孔剧增。沿层深的硬度检测显示表面有硬度低头现象,电子探针的半定量分析表明表面有脱碳现象,相互作用时间愈长,脱碳愈严重。不同类型的气体其保护效果也不一样,采用氮气时即使扫描速度为 5.3mm/s ,同样存在表面气孔,若采用氩气,则扫描速度即使大到 12mm/s ,表面基本上无气孔。

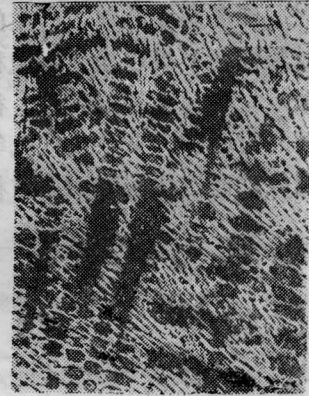


图 16 (SEM) 表面熔化区的共晶莱氏体(渗碳体+奥氏体—先共晶与共晶)+少量马氏体



图 17 (SEM) 过热区的针状马氏体,可见明显中脊,似乎具有爆发式转变的特征

4. 表面裂纹

激光表面熔化处理时, 试样表面是处在不均匀的快速加热与快速冷却的条件下, 当熔区局部积累的残余拉应力超过材料的断裂强度时即产生裂纹。

对铸铁而言, 熔化区快速凝固时, 石墨来不及析出形成了共晶莱氏体的硬化层(图16)。与此熔化区邻近的是一层温度高(近熔点)的过热区, 在冷却中转变为粗针状马氏体, 仅放大到600倍马氏体针叶已清晰可见, 高倍照片上可看到片状马氏体的明显中脊, 故是惯习面为{259}的高碳马氏体(图17)。相变过程带来的体积胀大又因受到熔化区凝固收缩力的作用, 在相邻界面处产生了拉伸应力, 随着熔化区温度的降低及熔化-凝固界面的往前推移, 使残余拉应力愈来愈大, 熔化区快速凝固后硬度高塑性差, 产生的拉应力不可能通过塑性变形得以松弛, 当积累的残余拉应力超过材料的断裂强度时, 往往就在两相邻界面的石墨片、夹杂或气孔等应力集中处形成裂纹, 而熔化区凝固后树枝状晶之

间的结合力弱, 裂纹就沿此晶界快速扩展至熔化区表面, 并使残余拉力完全松弛。由于熔化区熔化-凝固界面是顺着扫描方向呈弧形往前推进的, 应力的积累又需要一定时间, 故常表现为沿扫描方向有一定间隔出现的横向裂纹。如果裂纹扩展中应力得到松弛, 例如遇到石墨、夹杂或气孔, 也可能终止在熔化区的内部而不发展为表面的宏观裂纹。

参 考 文 献

- [1] 张文钺; “金属熔焊原理及工艺”, 天津大学。
- [2] H. H. 雷卡林等(苏); “材料的激光器加工”, 1975年。
- [3] A. H. 柯柯拉等; “用激光连续照射方法使灰口铸铁表面硬化”, 1977年。
- [4] T. R. Anthonng *et al.*; Surface Rippling Induced by Surface-Tension Puring Laser Surface Melting and Alloying, 1977年。
- [5] Hick A. J.; Heat Treatment of Metals (Rapld Surface Heat Treatment), 1983, No. 1.
- [6] P. R. Strutt *et al.*; Rapldly Solidified Amorphous and Crystallins Alloy, Elsevien North-Holland, 1981年。