

# 用扫描电子显微镜研究激光法 制备的非晶态金属

黄德群 王浩炳 苏宝榕

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 用扫描电子显微镜观察分析了铁基 (Fe-Ni-P-B-C、Fe-B-C) 和铝基 (Al-Si、Al-Si-Mg-Mn) 共晶试样在高重复频率 YAG 激光器处理前后的表面形态、金相组织、断口形貌等特征。结果指出经激光处理后的样品表面实现了非晶态转变, 该非晶层具有一定的韧性和热稳定性。

## Study of non-crystalline metals by laser irradiation using SEM

Huang Dequn, Wang Haobing, Su Baorong

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

**Abstract:** The surface morphology, crack section morphology and metallographic structure of Fe-and-Al based eutectics (Fe-Ni-P-B-C, Al-Si, Al-Si-Mg-Mn) before and after treatment with high repetition rate YAG laser light were observed with a scanning electron microscope. The results show that the sample surface irradiated by laser light has been changed into Non-crystalline and the non-crystalline layer possesses higher ductility and better thermal stability.

### 一、引言

由于激光束的高亮度、无污染、易控制等特点, 在激光出现后不久便在材料加工方面得到了应用(如对超硬难熔材料的切割、打孔、焊接等)。以后, 连续高功率激光器的出现(可产生  $10^8$  瓦/厘米<sup>2</sup> 以上的功率密度)又打开了用激光进行材料表面热处理的大门。利用激光熔化急冷法控制材料的显微结构(如超细微结构、亚稳相以及非晶态等), 获得

具有特殊性能的新材料。

用激光熔化急冷法研制非晶态金属(亦称金属玻璃)乃是在近几年迅速发展起来的<sup>[1,2]</sup>。我们选择了在高导磁和低温超导方面有应用前景的铁基 (Fe-Ni-P-B-C, Fe-B-C) 和铝基 (Al-Si, Al-Si-Mg-Mn) 共晶体作激光熔化急冷处理。在实验中使用了 YAG 固体激光器, 工作参数为: 重复频率 5~20 次/秒、波长 1.06 微米、脉宽 200 微秒、光斑尺寸  $\phi 4.5$  毫米、脉冲峰值功率密度  $6.4 \times$

收稿日期: 1982年12月21日。

10<sup>6</sup> 瓦/厘米<sup>2</sup>。下面着重叙述我们在研制上述两类非晶态金属中用扫描电子显微镜(简称扫描电镜)进行观察分析所获得的主要结果。

## 二、扫描电镜观察结果

### 1. 激光处理后的金属表面形态

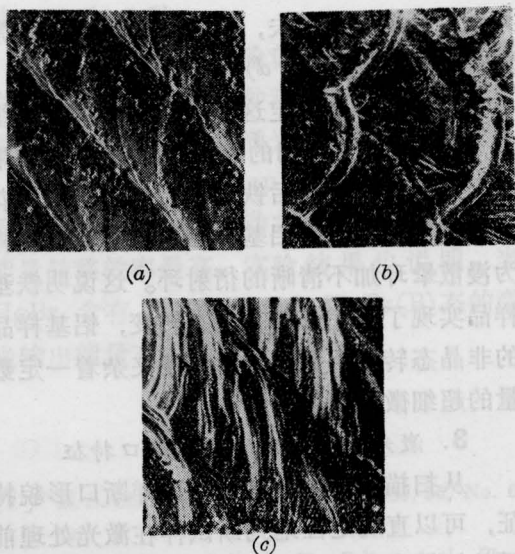
不同组分的金属试样,经激光熔化急冷处理后的表面形态是有差别的。照片1是铁基共晶、铝基共晶和45#钢三种试样经激光熔化急冷处理后表面形态的扫描电镜照片。铁基共晶表面显示出表征液态金属流动痕迹的一系列弧形台阶,并伴有一定数量的微裂缝。铝基共晶表面除了弧形台阶外还出现一些放射状流线。45#钢表面是一系列密集的弧形台阶。

从激光处理后试样表面液流痕迹的形态可以比较它们在凝固点附近熔体粘度的大小。从照片1可知,铁基共晶体在凝固点附近熔体粘度最大,铝基共晶体次之,45#钢最小。由无机玻璃的生成规律可知,在凝固点附近熔体的粘度大小是决定能否生成玻璃态的最主要标志。熔体的粘度小,流动性甚大的一般不形成玻璃态<sup>[3]</sup>。对不同成分金属材料经激光熔化急冷处理后生成玻璃态的难易程度,我们认为在一定条件下(如相同的冷却速率或相同的激光功率密度)可以从金属熔体在凝固点附近所呈现出来的粘度差别作出定性的判断。实验表明这种判断结果与试样的显微组织检查结果相符。

### 2. 激光处理前后金属的显微组织

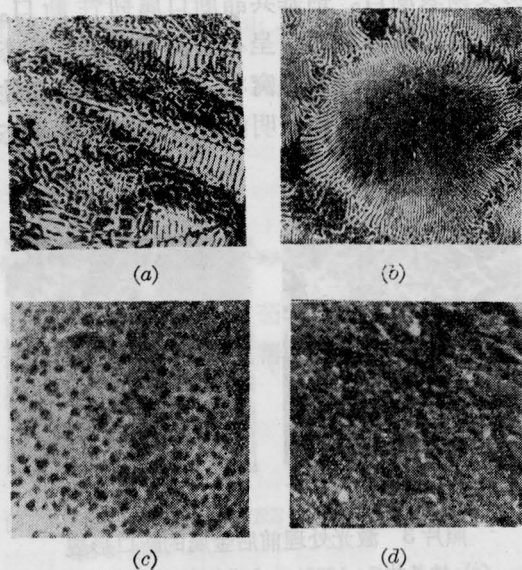
激光处理前的铁基共晶体,在扫描电镜下所观察到的显微组织形态有鱼骨状、菊花状及网络状等(照片2中的a、b)。它们分别由Fe<sub>3</sub>(C, B)、(Fe, Ni)<sub>3</sub>P、Fe<sub>2</sub>B和γ-Fe组成。

激光处理前的铝基共晶体,在扫描电镜下所观察到的显微组织形态是在铝的基体上



照片1 激光处理后的金属表面形态

- (a) 铁基共晶, 100×, 背反电子像
- (b) 铝基共晶, 100×, 背反电子像
- (c) 45#钢, 100×, 背反电子像



照片2 激光处理前后金属的显微组织

- (a) 铁基共晶的鱼骨状组织, 1000×, 二次电子像
- (b) 铁基共晶的菊花状组织, 500×, 二次电子像
- (c) 铁基共晶经激光处理后的显微组织, 5000×, 二次电子像
- (d) 铝基共晶经激光处理后的显微组织, 5000×, 二次电子像

均匀分布着树枝晶硅。

上述两类共晶体经激光熔化急冷处理后在扫描电镜下观察其组织形态,发现原有的

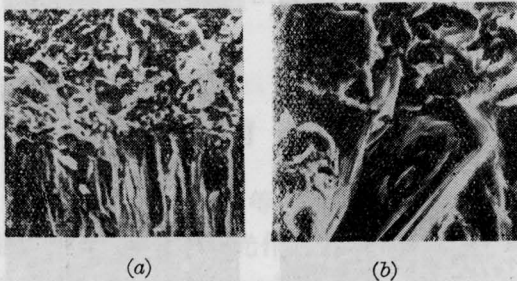
共晶特征已完全消失,变成一遍无定形的微颗粒(照片2中的c、d)。

为了进一步确定这些微颗粒的显微组织,我们拍摄了它们的电子衍射照片。结果指出,经激光处理后铁基样品的电子衍射花样为漫散晕面,而铝基样品的电子衍射花样为漫散晕环加不清晰的衍射环。这说明铁基样品实现了较完全的非晶态转变,铝基样品的非晶态转变不完全,中间还夹杂着一定数量的超细微晶颗粒。

### 3. 激光处理前后的金属断口特征

从扫描电镜所观察到的试样断口形貌特征,可以直观定性判断试样在激光处理前后的韧性变化。

Fe-Ni-P-B-C共晶断口是典型的块状脆性断口,激光处理后的非晶层断口是条状切变撕裂断口。铝基共晶断口属韧性断口。但在激光处理前断口呈小韧窝状,经非晶态转变后的断口呈大韧窝状,并出现舌状韧性断口(照片3)。这表明两种材料实现非晶态转变后韧性增加了。



照片3 激光处理前后金属的断口形貌

- (a) 铁基共晶, 1000 $\times$ , 上半部未经激光处理;  
下半部经激光处理
- (b) 铁基共晶, 600 $\times$ , 上半部未经激光处理;  
下半部经激光处理

### 4. 非晶层的热稳定性

将非晶试样在一定温度下作回火处理,然后用扫描电镜观察其显微结构,由此确定的铁基试样的析晶温度为800 $^{\circ}\text{C}$ 左右,铝基试样的析晶温度为450 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

## 三、讨 论

采用熔化急冷法获得非晶态的首要条件是将熔体的热量高速度地传至冷却介质。这种高的冷却速率导致液体在固化前的过冷却。当冷却速率足够高时,过冷液体的粘性不断增加,最终将阻碍晶核的形成和生长,使熔体“冷冻”成非晶态。而通常的液态淬火法(如喷枪技术、活塞-砧技术)的冷却速率不超过10<sup>8</sup> $^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ,在这样的冷却速率下,有些液态流动性较好的合金和纯金属就不可能获得非晶态。

高功率、超短脉冲激光器的出现,有可能创造出10<sup>10</sup> $^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上的冷却速率。在这种条件下液态金属将成为具有极高过冷度的粘滞液体,最终“冷冻”为非晶态。使用这样的激光源制备金属非晶态,将来就有可能不受材料本身性质(如化学键特性、质点的排列和分子对称性等)的限制。今天看来一些不能形成非晶态的金属材料将来用更有效的激光器处理可能获得非晶态。

## 参 考 文 献

- [1] E. M. Breinan *et al.*; *Phys. Today*, 1976, **27**, No. 11, 44.
- [2] P. Mazzodi *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1980, **44**, No. 2, 88~91.
- [3] 千福熹;《科学通报》, 1963, 2月号, p. 13.