

溶液进行腐蚀。制备好的金相样品在 S-4700 扫描电子显微镜对铜、钢界面及铜层的泛铁区进行观察,分析泛铁形态及分布。

2 泛铁及泛铁量概念

图 1 为泛铁及泛铁量的定义示意图,堆焊过程中,基体元素(重点指 Fe 元素)通过不同的方式进入堆敷铜合金层,并在堆敷铜合金层中呈一定形态的分布,考虑到实际应用的需要,将基体表面以上的合金层称为堆敷层,将堆敷层内所包含的 Fe 元素称为堆敷层中的泛铁,堆焊层内所包含的 Fe 元素在堆敷层内的质量分数称为堆敷层内的泛铁量。

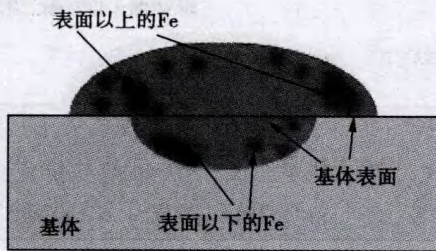


图 1 泛铁量定义示意图

Fig.1 Schematic of the definition of Fe content

3 试验结果及分析

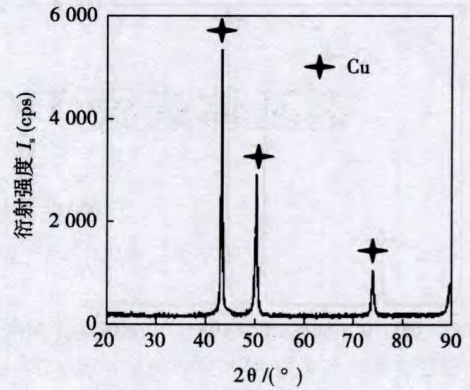
3.1 堆敷层泛铁量变化及分析

图 2 是在堆焊电流为 150, 210, 270 和 330 A、背部不采用水冷进行堆焊所形成的堆敷合金层的 XRD 图。由图中可以看出,在焊接电流 150 A 和 210 A 时只存在 Cu 元素,而在焊接电流 270 A 的 XRD 上出现 Fe 元素峰,在焊接电流 330 A 时 Fe 元素峰进一步加强。

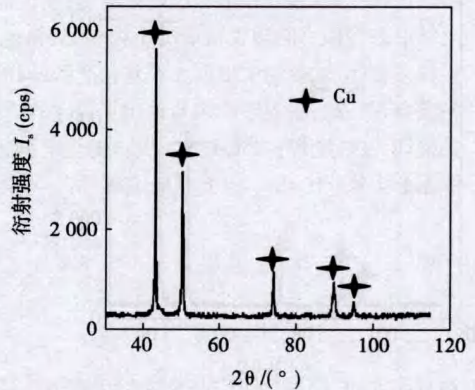
3.2 堆敷层微观分析

图 3 是在堆焊电流为 150, 210, 270, 300 和 330 A 时基体与堆敷层界面组织及成分分布,在 150 A 和 210 A 时堆敷层中铁含量很少,而在 270 A 时堆敷合金层内出现 Fe 元素,300, 330 A 时 Fe 元素含量进一步增多。

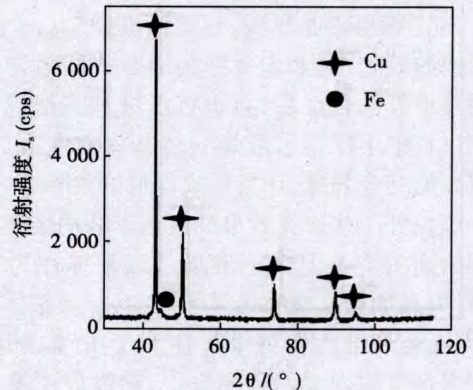
在堆焊电流小于 270 A 时,界面平直,基体元素 (Fe) 进入堆敷层量极少,在堆敷层一侧为干净的铜的图像;在堆焊电流为 270 A 时,界面有所起伏,证明此时界面已出现微熔,在堆敷合金一侧可以看到 Fe 元素以细小颗粒、类树枝状形式分布其中。



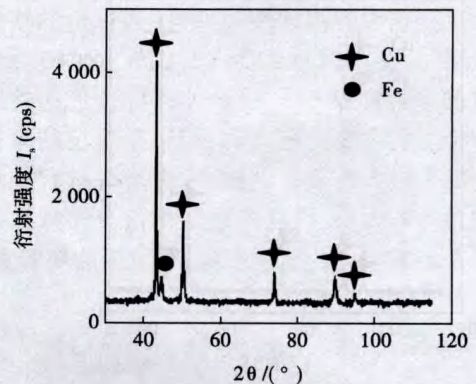
(a) 电流 I=150 A



(b) 电流 I=210 A



(c) 电流 I=270 A



(d) 电流 I=330 A

图 2 铜合金堆敷 XRD 分析

Fig.2 XRD analysis of cladding copper alloy layer

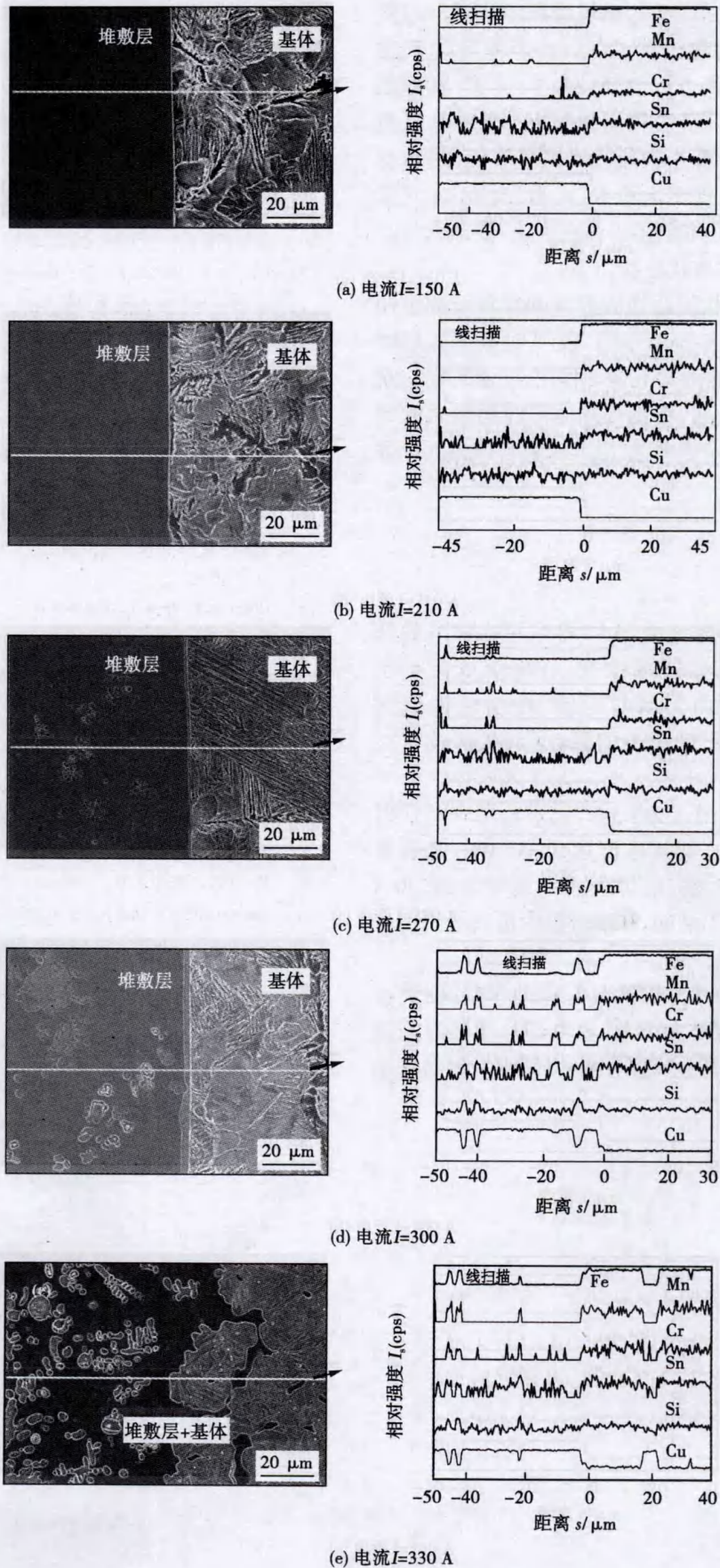


图 3 堆敷层与基体界面组织及成分分布

Fig.3 Microstructure and composition of the interface of the cladding layer and base metal

焊接电流超过300 A时,铜堆覆层中泛铁形态发生较大变化。堆焊电流为300 A时,界面处起伏加大,在堆敷合金一侧可以看到较多 Fe 元素,其形态发展到较大块的圆球状和类树枝状;堆焊电流为330 A时,在 SEM 图像中很难找到明显界面,基体与堆敷合金交接处呈现出大块 Fe 元素、大块 Cu 元素交错分布的情况,在堆敷层中存在大块、圆球状的泛铁以及少量的类树枝状泛铁。

同时,在圆球状的泛铁内部有圆球状及细小颗粒状的 Cu 元素分布,这是由于330 A时基体大量熔化,电弧力对液态熔池具有搅动作用,使液态铜与液态铁机械混合在一起,在堆焊热循环时间很短的情况下,难以充分液固分离,凝固形成铜与铁相互包含的泛铁形态。

4 结 论

(1) 随着堆焊电流的增大,堆敷层内溶解的铁逐渐增多,其形态也逐渐改变,在堆焊电流小于270 A时铜堆敷层内无明显泛铁,堆焊电流达到270 A时堆敷层内出现微小的颗粒状、类树枝状泛铁。

(2) 焊接电流超过300 A时,铜堆覆层中泛铁形态发生较大变化,在焊接电流达到300 A时,堆覆层中出现大块球状泛铁,堆焊电流继续增大到330 A时,基体界面变得不清晰,在堆敷层内可以看到铜与铁相互包含的大块泛铁。

(3) 电弧力对液态熔池具有搅动作用,使液态铜与液态铁机械混合在一起,在堆焊热循环时间很短的情况下,难以充分液固分离,凝固形成铜与铁相互包含的泛铁形态。

参考文献:

- [1] Malin V. Development of mold solidification welding for deposition nonferrous alloys onto steel[J]. *Welding Journal*, 1992, 71(5): 35 - 36.
- [2] 徐晓菱, 朱 伟, 朱凌云. 弹带装配工艺现状及其发展[J]. *兵器材料科学与工程*, 2002, 5(3): 222 - 224.
- [3] Edoardo C, Barbara P. The influence of operator skills, process parameters and materials on clad shape in repair using laser cladding by wire[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 174(1): 223 - 232.
- [4] 王克鸿, 徐越兰, 王建平, 等. 弹带熔敷扩散焊接技术研究[J]. *兵器材料科学与工程*, 2002, 25(2): 34 - 36.
- [5] 王克鸿, 徐越兰, 余 进, 等. 无熔深熔覆铜工艺[J]. *焊接学报*, 2001, 22(6): 69 - 72.
- [6] 吕永辉, 邵世单, 汪 汀, 等. 船用换热器 B30/10CrNi3MoV 封头与法兰焊接工艺研究[J]. *材料开发与应用*, 2001, 16(6): 16 - 19.
- [7] Rendii K I, Zhou Y, Kolcama H, *et al.* Liquid-solid interface migration at grain boundary regions during transient liquid phase brazing [J]. *Metallurgical Transactions*, 1992, 23A(10): 2905 - 2915.
- [8] 赵 晖, 何世海, 董晓强, 等. 16Mn 钢板堆焊 CuNi 合金的渗透裂纹形成分析[J]. *材料热处理学报*. 2005, 26(1): 40 - 43.
- [9] Lu S P, Kwon O Y, Kim T B, *et al.* Microstructure and wear property of Fe-Mn-Cr-Mo-V alloy cladding by submerged arc welding[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, 147(2): 191 - 196.
- [10] Lin Y C, Wang S W. Analysis of microstructure and wear performance of WC-Ti clad layers on steel, produced by gas tungsten arc welding[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2005, 200(7): 2106 - 2113.

作者简介: 吕世雄,男,1957年出生,博士,高级工程师。主要从事有色金属焊接与特种焊接方面的科研工作。发表论文 20 余篇。

Email: lvshixiong_hit@163.com