

核阀零件激光熔覆 Co 基涂层的组织研究

张春良

(中南工学院机械工程系, 衡阳, 421001)

摘要: 应用 5kW 横流 CO₂ 激光器对核阀阀瓣密封面进行 Co 基合金的激光熔覆处理, 用金相显微镜、扫描电镜、能谱分析仪等分析手段对涂层的组织、晶粒度、显微硬度和稀释率进行了分析。结果表明: 激光熔覆层的显微组织、晶粒度、熔层稀释率、热影响区宽度、显微硬度等均显著优于等离子喷焊和堆焊工艺。

关键词: 激光熔覆 核阀 密封面 等离子喷焊 显微组织

Study on microstructure of laser cladding Co-base alloy on nuclear valve parts

Zhang Chunliang

(Department of Mechanical Engineering, Central South Institute of Technology, Hengyang, 421001)

Abstract: Laser cladding of Co-base alloy on the nuclear valve-sealing surface has been performed with a 5kW CO₂ flow transverse laser. Optical microscope, SEM, and EDAX have been used to analyze the microstructure, the grain size, the micro-hardness, and the dilution rate. The results show that the microstructure, the grain size, the dilution rate, the width of heat-effect area, and the micro-hardness of the laser cladding coating are much better than those of the spurt welding and the bead welding processing.

Key words: laser cladding nuclear valve sealing surface plasma spurt welding microstructure

硅单晶片蚀刻而成, 而二元计算全息图的二元透过性质可很容易地把它转变成反射型位相全息图。

从以上几种原因可以得出: 制作适用于 CO₂ 激光成像雷达的 32 台阶的反射式计算全息光栅扫描将成为可能。

参 考 文 献

- 1 Harney R C. SPIE, 1981; 300: 2
- 2 蔡善明, 计世藩. 红外与激光技术, 1991; (2): 13
- 3 杨光耀, 崔凌阁. 光学技术, 1994; (6): 26
- 4 Campbell D K, Sweeney D W. Appl Opt, 1978; 17(23): 3727~ 3737
- 5 Bryngdahl O, Lee W H. Appl Opt, 1976; 15(1): 183~ 194
- 6 周 进, 韩良恺, 高文琦 *et al.* 中国激光, 1996; 23(5): 449~ 452
- 7 Hasman E, Davidson N, Friesens A A. Opt Lett, 1991; 16(6): 423~ 425
- 8 沐应旺, 周 进, 刘建宏 *et al.* 光学学报, 1998; 18(12): 1716~ 1750
- 9 虞祖良, 金国藩. 计算机制全息图. 北京: 清华大学出版社, 1984

* * *

作者简介: 张中华, 男, 1955 年 4 月出生。教授。现从事激光成像雷达及扫描器的研究工作。

引言

阀门是核电站中台件数最多的一种设备,约占整个核电站设备投资的8%~11%。阀门也是给核电站带来事故因素的一种典型设备,据法国统计资料表明,核电站中由阀门引起的事故仅次于导致发生事故最多的蒸气发生器,居第2位^[1]。如果因阀门性能和质量问题引起泄漏、停产等重大事故,将给国民经济和人身安全带来不可估量的损失,造成严重的后果。由于核电站的使用寿命长,环境、介质带有放射性,使一些阀门在核电站寿期内维修和置换极为困难,因此,要求这些阀门具有长的使用寿命和高的可靠性。

激光熔覆技术始于70年代,它是在基体材料表面涂敷一层预设计好的合金层,利用高能激光束作热源,对涂层作熔覆扫描,激冷后形成高性能冶金结合熔层,从而显著改善基体材料表面的耐磨损、耐腐蚀、耐热、抗氧化及电气特性。与传统的表面涂覆技术如喷镀、刷镀、电子束、离子束等比较,激光熔覆显示出许多优异之处,具有广泛的应用前景。我们对20HJ63Y-20P型核阀阀瓣密封面进行了激光熔覆Co基合金的研究,取得了很好的效果。对激光熔覆层进行了组织分析,并与传统的电弧火焰堆焊和等离子喷焊进行了对比研究。

1 试验条件及方法

核阀阀瓣和试样的基体材料为1Cr₁₈Ni₉Ti,化学成分见表1。核阀为20HJ63Y-20P型截止阀,阀瓣密封圆锥面尺寸为 $f 40\text{mm} \times f 14\text{mm} \times 18\text{mm}$;试样为:25mm×20mm×10mm 矩形试样和 $f 38\text{mm} \times 3\text{mm}$ 圆环形试样。

涂层
合金粉末
根据核阀
工况要求

Table 1 The chemical composition of the 1Cr₁₈Ni₉Ti W (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti
≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.03	≤0.035	17.00	8.00	5(C%~0.02%)~0.8

进行设计,采用钴基合金粉末,粒度为200~300目,化学成分见表2。采用预置粉末法,以自行研制的105粘结剂将粉末涂敷于试样表面,预敷层厚度为3mm,并烘干。

Table 2 The chemical composition of the alloy powder W (%)

C	Cr	Si	W	B	Fe	Co
≤0.70	≤26.00	≤2.00	≤5.00	≤0.70	≤5.00	rest

试验采用HGL-90型5kW连续可调横流式CO₂激光器。试样和核阀阀瓣熔覆时夹固

于工作台(或三爪卡盘)上,工作台由MNC801微机系统控制步进电机驱动工作台上的工件沿x-y方向作二维运动,通过单板机汇编语言,按工艺要求控制工件以一定的速度作相对光束的扫描运行,搭接率为50%。工作时导光系统的反射镜和透镜通水冷却。为防止在熔覆过程中熔池的氧化,熔覆时用氩气保护。熔覆工艺参数为:激光功率 $P=3000\sim 4000\text{W}$,扫描速度 $v=10\sim 20\text{mm/s}$,光斑直径 $d=5\text{mm}$ 。此外,采用电弧堆焊和等离子喷焊在其它条件完全相同的情况下处理了一些试样,以便作对比分析。

采用奥地利MeF3大型高精度光学金相显微镜及所附显微硬度计观察熔层显微组织,进行晶粒度评价,测定显微硬度和热影响区宽度,分析熔层缺陷。用日本JSM35C和S650型SEM扫描电镜对试样的熔区、热影响区和基体作高倍金相组织形貌分析;用EDAX-9100型能谱议测定各微区成分,评价熔覆层的稀释率。

2 试验结果与分析

2.1 激光熔覆后的组织

激光熔覆后,垂直于扫描方向的横截面组织可明显分为熔化区、热影响区和基体 3 个区域,如图 1 和图 2 所示。



Fig. 2 Structure of laser cladding coating, Co-base alloy, corroding in aqua regia, 320 \times

(1) 熔化区的组织形貌。对于 Co 基合金熔覆层,在靠近基体部位有 1 层等轴晶激冷层。这是由于在熔化的合金粉末涂层和基体之间存在着很大的温度梯度,使熔体产生较大的过冷度而形成的。

(2) 激光熔覆 Co 基熔覆层的相结构。为了鉴别激光熔覆 Co 基合金层所产生的基体相和析出相的类型结构,经 X

射线对激光熔覆核阀试样表面的 Co 基涂层进行相结构分析,其 Co 基合金激光熔覆层的相结构为: F. C. C. Co 基固熔体+ Cr₇C₃+ Cr₂B。这是由于激光束能量高而集中,扫描作用时间短,熔层有较大的过热、过冷度,因而,熔池中的合金元素能迅速地形成多种碳化物、硼化物等多元共晶化合物。

(3) 热影响区。基体为奥氏体钢(1Cr₁₈Ni₉Ti),受高能激光辐照加热后,没发生相变,仅伴随出现奥氏体晶粒的长大,这一现象产生是由于奥氏体受热影响后,发生晶界移动,移动的结果是大晶粒吞并小晶粒,大晶粒长大,小晶粒消失这一过程在较短的时间内完成。

用 MeF₃ 大型光学金相显微镜及附件测微尺测量激光试样热影响区宽度,发现随激光扫描速度增加,热影响区宽度减小,如图 3 所示。

基体热影响区大小同激光输入基体的能量及热沉积深度密度有关。当增加激光输入功率或降低扫描速度时,激光的比能量增加,而熔化粉末所需的比能量一定,增加的比能量被基体吸收,因此,导致热影响区宽度增大。

激光熔覆工艺中由于固熔结合层极薄(2~ 8 μ m),激光沉积深度浅,输入基体的能量小,因此,激光熔覆的热影响区宽度小。用 MeF₃ 金相显微镜的附件测微尺测量激光熔覆热影响区宽度为 20~ 30 μ m,比等离子喷焊层热影响区宽度小 8~ 12 倍,比火焰堆焊层热影响区宽度小 15~ 20 倍。激光熔覆时,若工艺参数匹配不当,往往容易产生裂纹,危害零件的质量。裂纹是热应力和组织应力作用的结果。本研究通过优化工艺参数匹配,加之激光熔覆热影响区特别小,热应力很小,所以,激光熔覆的裂纹倾向远比等离子喷焊和电弧火焰堆焊小。

2.2 激光熔覆层的晶粒度

激光熔覆过程中预置涂层粉末全熔,基体发生微熔,熔化粉末和基体之间不存在间隙,处

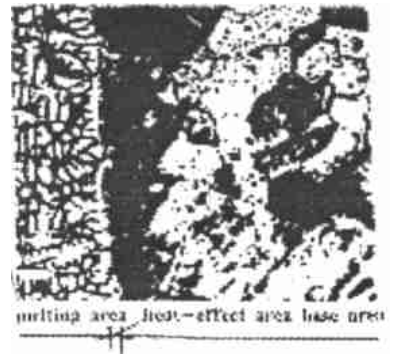


Fig. 1 Structure of laser cladding cross section, Co-base alloy powder, base metal 1Cr₁₈Ni₉Ti, corroding in aqua regia, 320 \times

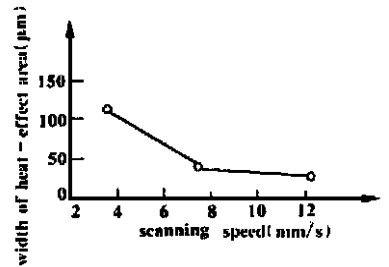


Fig. 3 Effect of scanning speed on width of heat-effect area

于冷态的基体对于熔池金属如同模壁,在熔化的粉末和基体之间存在着很大的温度梯度,使熔体产生较大的过冷度,因此,熔体在近基体的界面部位形成一层细密的等轴晶激冷层。

在激光熔池的中上部,由于冷却速度很高,结晶后可获十分细小的枝晶组织,晶粒度达12级(YB27-77标准)。图4为激光熔覆、火焰堆焊、等离子喷焊的核阀阀瓣密封面取样,进行SEM电镜扫描的晶粒度形貌分析比较。由图4可见,激光熔覆阀瓣的晶粒度比等离子喷焊层晶粒度高3个等级,比火焰堆焊熔层晶粒度高4个等级。

2.3 激光熔覆层显微硬度

激光熔覆层硬度值是保证熔层性能的重要指标,在实验中发现,当扫描速度增加,激光熔层的硬度明显上升;在同一熔层内,从表面到热影响区硬度值相差不大,呈缓降趋势;在热影响区硬度值发生陡降。

用M eF₃大型光学显微镜

及其附件显微硬度计测定激光熔覆、喷焊、堆焊熔层显微硬度(Hm200g)。测试结果见表3。

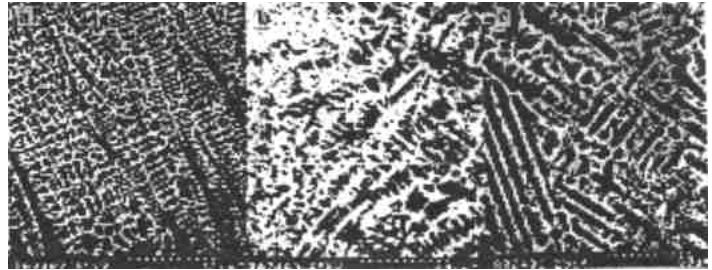


Fig. 4 SEM micrograph of the nuclear valve sealing surface, corroding in aqua regia, 500 \times , Co-base alloy

a—SEM micrograph of the laser cladding coating b—SEM micrograph of the bead welding coating c—SEM micrograph of the spurt welding coating

Table 3 Microhardness

processing sort	sample number	microhardness Hm200g	average value Hm200g	deviation
laser cladding	02-3	780.4, 743.6, 794.8, 857.2	794	14.3%
spurt welding	03-3	584, 593.8, 480.4	551	21%
bead welding	04-3	440.8, 398, 388, 548.8	443.9	36.2%

分析结果表明:激光熔覆层显微硬度比喷焊层高44.1%,比堆焊层高78.9%,硬度横向均匀性分别比和火焰堆焊高40%和250%;硬度纵向均匀性比电弧堆焊高2倍以上。这是由于激光能量密度高,作用时间短,加热和冷却速度很高,基体受热影响极小,从而可以获得十分细密的枝晶组织,同时,激光熔覆层受基体稀释影响极小,可以充分发挥熔层材料的特点,致使其显微硬度性能明显高于喷焊层和堆焊层。

2.4 激光熔覆层稀释率分析

稀释率是评价一种工艺优劣的一项指标。熔覆稀释率低,表明熔层受基体中Fe, Ni, Ti等元素的影响很小,因此,可以有效地充分发挥预设计的合金熔覆材料的固有优良特性。使用日本JSM35C扫描电镜的附件EDAX-9100能谱仪测定阀瓣激光熔覆层,等离子喷焊层、火焰堆焊熔层的成分如表4所示。

由表4可知:激光熔覆层的稀释率明显低于等离子喷焊层和火焰堆焊层。激光熔覆受Fe的稀释率比喷焊层降低2.1倍,比堆焊层降低12倍;激光熔覆层受Ti的稀释率比喷焊层降低10倍,比堆焊层降低29倍;激光熔覆受Ni的稀释比喷焊层降低1.5倍,比堆焊层降低3.7倍。

激光熔覆时,与基体的互熔结合区极薄,沉积深度浅,基体参与熔解甚微,熔层与基体之间

元素的相互扩散小,因此,基体成分对合金熔层成分冲淡稀释影响极小,从而使激光熔覆层的稀释率大大低于喷焊和堆焊层,这是激光熔覆工艺的一个重大优点。

Table 4 Dilution rate and alloy composition measured by EDAX-9100

area	processing sort	Ti	alloy composition %					
			Cr	Fe	Co	Ni	W	
base area	1Cr ₁₈ Ni ₉ Ti	wt%	2.88	18.00	73.4	0.00	7.73	0.00
heat-effect area	laser caldding	wt%	1.27	28.13	36.36	30.22	4.02	2.54
	spurt welding	wt%	2.40	24.38	51.72	20.28	5.60	1.90
	bead welding	wt%	3.53	20.62	67.07	10.34	7.18	1.25
alloy melting area	laser cladding	wt% top	0.09	43.81	7.88	35.92	0.94	11.35
		bottom	0.06	34.76	9.27	45.20	1.83	8.87
		wt%	0.075	38.3	8.58	40.56	1.385	
		dilution rate %	↑ 2.6		↑ 4.9		↑ 15.4	
alloy melting area	spurt welding	wt% top	1.28	39.81	12.49	18.08	1.22	27.13
		bottom	0.37	32.84	19.88	29.67	2.90	14.34
		wt%	0.83	36.33	16.19	23.88	2.06	20.735
		dilution rate%	↑ 28.8		↑ 15.2	↓ 60.3	↑ 22.9	
bead welding	wt%	2.25	29.27	51.66	8.79	6.48	1.55	
	dilution rate%	↑ 78.1		↑ 63.6	↓ 82	↑ 72		

由于激光能量分布的不均匀性,激光熔池的熔体表面温度存在着一定的梯度,在熔池中心,温度最高,随着离熔池中心距离增加,温度递降,而熔体表面张力增大。表面张力差的存在,驱使熔体向熔池边界流动,结果使得熔池边界的熔体高于中心的熔体,出现了熔体的落差。由于落差的作用,使得熔体向熔池中心流动。当表面张力与重力达到平衡状态时,就出现了对流现象。对流的出现,在熔池中起到了传质作用。这种对流传质作用能充分搅拌熔池,有利于熔池中的气体和夹杂物上浮析出,从而获得优质的熔层。

3 结 论

(1) 激光熔覆的热影响区宽度比等离子喷焊层和火焰堆焊层的热影响区宽度小许多。且随激光扫描速度的增加而减小。(2) 激光熔覆阀瓣的晶粒度比火焰堆焊阀瓣的等离子喷焊阀瓣的晶粒度高 3~4 个等级。(3) 激光熔覆层显微硬度高而均匀。(4) 激光熔覆层的稀释率大大低于等离子喷焊层和火焰堆焊层。

参 考 文 献

- 1 王保庆,张聚荣.核动力工程,1987;8(6):91~94
- 2 王家金.激光加工技术.北京:中国计量出版社,1992
- 3 陈天佐,李泽高.金属堆焊技术.北京:机械工业出版社,1991
- 4 王国佑,王万智.钢的化学热处理.北京:中国铁道出版社,1998
- 5 阎毓禾.高功率激光加工及其应用.天津:天津科学技术出版社,1994
- 6 Meijer J.C.IRP,1991;40(1):183~186

作者简介:张春良,男,1964年2月出生。副教授。现主要从事核电机械、机械制造及自动化方面的教学与科研工作。