

工艺参数对激光熔覆层微观形貌的影响

姜伟, 胡芳友, 黄旭仁

(海军航空工程学院青岛分院, 山东 青岛 266041)

[摘要] 为了研究工艺参数对激光熔覆层微观形貌的影响,以CO₂连续激光器为热源,在镍基高温合金基体表面熔覆自配粉末,对不同工艺参数下熔覆层的微观形貌进行了分析。结果表明:在一定范围内,其它工艺参数不变,增加功率,增大扫描速度,晶粒更趋致密细小;工艺参数影响冶金结合带的优劣、胞状晶区的厚薄以及夹杂物的有无和分布。

[关键词] 激光熔覆;镍基高温合金;工艺参数;微观形貌

[中图分类号] TG156.99;TG178

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)04-0057-02

The Influence of Craft Parameter on the Microstructure by CO₂ Laser Cladding

JIANG Wei, HU Fang-you, HUANG Xu-ren

(Qingdao Branch, Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

[Abstract] Regard the Ni-based high-temperature alloy as substrate and the mixed powder by oneself as layer cladding, the microstructure of laser cladding layers under different craft parameters was studied by CW CO₂ laser. The results show that a certain extent, the other parameters constant, increasing power, increasing scanning speed, small grains become more dense; The good and bad of metallurgical belt, the cellular crystal thickness and the availability and distribution of inclusions are affected by the parameters.

[Key words] Laser cladding; Ni-based high-temperature alloy; Craft parameter; Microstructure

0 引言

激光熔覆可在普通材料表面原位制备出性能优良的表面涂层,在航空、航天、化工、机械等领域已被广泛应用。材料参数和工艺参数是影响激光熔覆层质量的主要因素。这两类参数互相影响,但从实际生产的角度讲,可以认为只有后者可控。工艺参数不同,熔覆层的微观形貌也有所差异,进而影响到熔覆层综合性能的优劣。本文着力研究工艺参数对CO₂激光熔覆层微观形貌的影响规律。

1 熔覆试验

1.1 试验条件

采用横流、管板式、多模连续CO₂激光器作为热源,其波长为10.6μm,最大输出功率为2kW。用4XB-TV光学显微镜观察熔覆层的微观形貌。基体为镍基高温合金K418,其化学成分(质量分数)为:0.08%~0.16% C、11.5%~13.5% Cr、0.5%~1.0% Ti、1.0% Fe、0.5% Mn、5.5%~6.4% Al、0.5% Si、1.8%~2.5% Nb、0.06%~0.15% Zr、3.8%~4.8% Mo、0.008%~0.02% B,其余为Ni。熔覆层材料参考GH3044自配,其化学成分(质量分数)为:0.1% C、25% Cr、0.5% Ti、4% Fe、0.5% Mn、0.5% Al、0.8% Si、

15% W、1.5% Mo,余为Ni。试验前,经线切割、打磨去除表层氧化膜、脱脂去除表面油污等预处理工艺,制备试样。

1.2 工艺参数

采用正交试验,试验工艺参数如表1。光斑直径2mm,保护气体为氩气。

表1 试验工艺参数
Table 1 Craft parameters

试样号	激光功率/W	扫描速度/(mm·s ⁻¹)	气流流量/(L·min ⁻¹)
1	610	2	0.5
2	610	4	1
3	610	5	1.5
4	730	2	1
5	730	4	1.5
6	730	5	0.5
7	800	2	1.5
8	800	4	0.5
9	800	5	1

2 试验结果与分析

2.1 熔覆层微观形貌及其成因

熔覆后的试样沿垂直于扫描方向将单道熔覆层(横向)切开作观察面,经耐水砂纸由粗到细打磨后,在抛光机上加氧化铬膏进行抛光,再用浸蚀液(成分为:4g CuSO₄·5H₂O,盐酸和水各20mL)腐蚀1~3min,最后用水冲洗、酒精擦拭、吹干,以备金

[收稿日期] 2007-05-11

[作者简介] 姜伟(1970-),女,山东烟台人,讲师,硕士,主要从事激光加工工艺研究。

相显微镜观察微观组织特征。

总体来讲,如图1所示,熔覆层的组织一般为树枝晶,在靠近冶金结合带的地方常常出现胞状晶区;在熔覆层与基体连接的地方,由于基体元素的渗入,熔覆层和基体形成牢固的冶金结合带(金相图中显示为极薄一层的白亮带);熔覆层上部是无明显方向性的细小枝晶和等轴晶。主要原因是:熔覆过程中,基体具有快速传热的急冷作用,当激光束离开熔池后,底层熔合金即发生快速凝固生成枝晶。在熔覆层上部,虽然固液界面前沿温度梯度减小,但由于保护气体的流动引起的对流散热作用显著,这样,熔覆层在对流散热及熔覆层已凝固合金和基材热传导的双重作用下,结晶为无明显方向的细小枝晶^[1]。

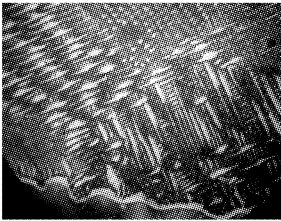


图1 晶粒粗细的差别 800 ×

Figure 1 Difference of coarse and fine grain

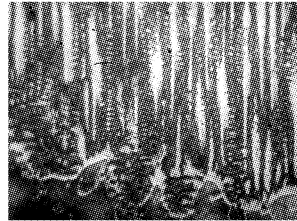


图2 晶粒的方向 800 ×

Figure 2 Grain direction

2.2 工艺参数对熔覆层微观形貌的影响

在其它熔覆条件相同的情况下,比较不同工艺参数对熔覆层微观形貌的影响,得出以下规律:

1) 熔覆层中各区域晶粒粗细不规则,靠近冶金结合带处的晶粒比较粗大,向上逐渐过渡到细晶粒,如图1所示。熔覆层中的枝晶沿冷速方向呈现出明显的方向性,如图2所示。

2) 熔覆层中晶粒大小随功率 P 的变化而变化。在一定范围内,其它工艺参数不变,增加功率,熔覆层中晶粒更趋致密细小。如图3、图4所示的熔覆层,两者扫描速度 U 相同,功率 P 分别为730W和800W。



图3 熔覆层微观形貌

($P=730W$) 400 ×



图4 熔覆层微观形貌

($P=800W$) 400 ×

Figure 3 Microstructure of laser cladding Figure 4 Microstructure of laser cladding

3) 随工艺参数的不同,冶金结合带时断时续,如图5所示。工艺参数不同,激光辐照能量有所不同,造成基体与熔覆层结合的优劣不同,直接表现为冶金结合带时断时续。

4) 熔覆层中晶粒大小随扫描速度 U 的变化而变化。扫描速度很低时,激光束与合金粉末作用时间较长,熔池中熔体吸收较多的能量,冷却速度减小,因而组织颗粒会比适中扫描速度下的组织颗粒有所增大。随扫描速度的增大,熔覆层组织趋向致密,晶粒更加细小。但当扫描速度较高时,作用时间减小,熔池中熔体吸收热量相对减少,熔覆层稀释度小,基材的Fe元素进入熔覆层较少,因此熔覆层中的 $\gamma(Ni Fe)$ 含量较低,而碳化物硬质相含量较高且容易集聚形成较大尺寸的针状和条状硬质

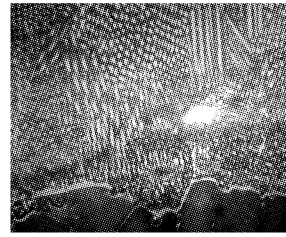


图5 冶金结合带 400 ×

Figure 5 Metallurgical belt

相,其结果也会导致组织晶粒尺寸增大,如图6、图7所示熔覆层,两者功率 P 相同,扫描速度 U 分别为3mm/s和5mm/s。

5) 熔化区界面形态随工艺参数的变化而变化。如图6、图7所示,在其它熔覆条件相同的情况下,扫描速度增大,熔化区界面呈波浪形;反之,熔化区界面趋向平直。这主要是因为其它条件相同的情况下,透光率随扫描速度增大而增大,透光率越大,基体表面加热熔化速度越快,温度越不均匀,越有利于形成波形界面。

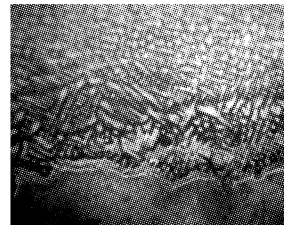


图6 熔覆层微观形貌

($U=3mm/s$) 400 ×

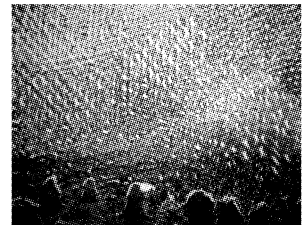


图7 熔覆层微观形貌

($U=5mm/s$) 400 ×

Figure 6 Microstructure of laser cladding Figure 7 Microstructure of laser cladding

6) 靠近冶金结合带有垂直向上生长的胞状晶区,并逐渐过渡到树枝晶区,如图8所示。胞状晶区晶粒粗大,随工艺参数的不同,结合带以上的胞状晶区厚薄不均,参数适当时,胞状晶区很薄以至消失。

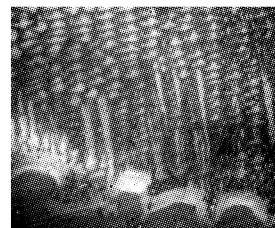


图8 胞状晶区和树枝晶区 800 ×

Figure 8 Alveolar crystal area and dendrite area

7) 工艺参数选取不当时,熔覆层枝晶间可能含有夹杂物,且分布不均匀,在某些区域如晶界处有一定聚集,见图9。夹杂物形状、大小亦有所差别,可呈块状、板条状、蝴蝶状、链条状等多种^[2],见图10。对于熔覆层和基体间的夹杂,可通过调整工艺参数、适当增加能量密度、改善液体流动性来净化熔覆材料^[3]。

3 结论

通过大量的试验表明,工艺参数对熔覆层质量的影响是有

(下转第75页)

- 社,1983.7-9
- [2] 林丽华,陈立功. 残余应力测量技术现状及其发展动向[J]. 机械, 1998,25(5):53-57
- [3] 西拉德. 超声检测新技术[M]. 北京:科学出版社,1991.435-460
- [4] 魏智,徐蔚,曲云霞,等. 表面波声弹性应力检测基础[J]. 河北工业大学学报,2002,31(1):10-13
- [5] Benson R W, Raelson V J. Acoustoelasticity[J]. Product Engineering,1959,30:56-59
- [6] Crecraft D I. The measurement of applied and residual stresses in metals using ultrasonic waves[J]. Journal of Sound Vibration,1967,51(5):173-192
- [7] Murnaghan F G. Finite deformation of an elastic solid [M]. New York:Wiley, 1951. 63-64
- [8] Bach F, Askegaard V. General stress-velocity expressions in acoustoelasticity[J]. Experimental Mechanics,1979,19:69-76
- [9] Hayes M, Rivlin R S. Surface waves in deformed elastic materials[J]. Archive of Rational Mechanics and Analysis,1961,8:359-380
- [10] Iwashimizu Y, Kobori O. The rayleigh wave in a finitely deformed isotropic elastic material[J]. Journal of the Acoustical Society America, 1978,48(3):910-916
- [11] Gerhart G R. Rayleigh wave velocity for a stress-induced slight anisotropic solid[J]. Journal of the Acoustical Society America,1976,46(3):1085-1088
- [12] Hirao M, Fukuoka H, Hori K. Acoustoelastic effect of Rayleigh surface wave in isotropic material[J]. Journal of Applied Mechanics, 1981,48:119-124
- [13] Jassby K, Saltoun D. Use of ultrasonic Rayleigh waves for the measurement of applied biaxial surface stresses in aluminium 2024-T352 alloy[J]. Materials Evaluation,1982,40:198-205
- [14] Husson D. A perturbation theory for the acoustoelastic effect of surface waves[J]. Journal of Applied Physics,1985,57(5):1562-1568
- [15] 王寅观,田冲,姚国民,等. 利用 Rayleigh 表面波无损检测热套圆盘的平面残余应力的研究[J]. 声学学报(中文版),1999,24(1):53-57
- [16] Luthi T. Determination of biaxial and triaxial stress distribution using ultrasonics[J]. NDT International,1990,23(6):351-356
- [17] Duquennoy M, Ouafouh M, Ourak M. Ultrasonic evaluation of stresses in orthotropic materials using Rayleigh waves[J]. NDT & E International, 1999,32:189-199
- [18] 罗瑞灵,陈立功,刘毅萍. 电磁超声换能器在残余应力超声测量中的应用[J]. 无损检测,1998,20(11):316-319
- [19] 潘永东,钱梦麟,徐卫疆,等. 激光超声检测铝合金材料的残余应力分布[J]. 声学学报(中文版),2004,29(3):254-257
- [20] 钱梦麟. 激光超声学的若干进展[J]. 声学技术,2002,21(1/2):19-23
- [21] 钱梦麟. 激光超声检测技术及其应用[J]. 上海计量测试,2003,30(3):4-6
- [22] Tanala E, Bourse G, Fremiot M, et al. Determination of near surface residual stresses on welded joints using ultrasonic methods[J]. NDT & E International, 1995,28(2):83-88
- [23] Bray D E, Tang W. Subsurface stress evaluation in steel plates and bars using the LCR ultrasonic wave[J]. Nuclear Engineering and Design, 2001, 207:231-240
- [24] Hirao M, Fukuoka H, Hori K. Acoustoelastic effect of Rayleigh surface wave in isotropic material[J]. Journal of Applied Mechanics, 1981,48(3):119-124

(上接第58页)

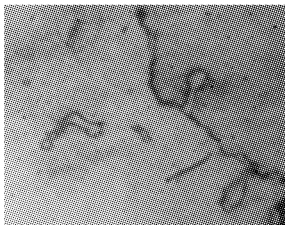


图9 夹杂物 1200 ×

Figure 9 Inclusion accumulation

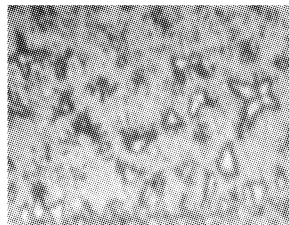


图10 夹杂物的形状 1200 ×

Figure 10 Shape of inclusion

规律可循的。工艺参数的选取,是一个在矛盾中选优的复杂过程。工艺参数选取适当,可以获得高质量的熔覆层。

[参 考 文 献]

(上接第68页)

- [8] 蒋百灵,吴建国,张淑芬. 镁合金微弧氧化陶瓷层生长过程及微观结构的研究[J]. 材料热处理学报,2002,23(1):5-8
- [9] 来永春,陈如意,邓志威. 微弧氧化技术在纺织中的应用[J]. 腐蚀科学与防护技术,1998,10(1):49-52
- [10] 邓志威,来永春,薛文斌. 微弧氧化技术表面陶瓷化机理的探讨[J]. 原子核物理评论,1997,14(3):193-195
- [11] Markov G A, Mironova M K, Potapova O G. Structure of anodic films in the microarc oxidation of Al [J]. Izv Akad Nauk SSSR Neorg Mater, 1983, 19(7):1110-1113
- [12] 曾庆圣,何宏辉,霍天成,等. 镁合金等离子体微弧氧化膜层研究[J]. 表面技术,2005,34(5):26-29
- [13] Barton T F, Johnson C B. The effect of electrolyte on the anodized finish of a magnesium alloy [J]. Plating & surface finishing, 1995, 32(5):138-141
- [14] 蒋百灵,张先锋. 不同电导率溶液中镁合金微弧氧化陶瓷层的生长规律及耐蚀性[J]. 稀有金属材料与工程,2005,34(3):393-396
- [15] Zozulin A J, Bartak D E. Anodized coating for magnesium alloys [J]. Metal Finishing, 1994, 3(5):39-44
- [16] 薛文斌,邓志威,张通和. 铸造镁合金微弧氧化机理[J]. 稀有金属材料与工程, 1999, 28(6):153-156
- [17] 蒋百灵,张淑芬,吴国建. 镁合金微弧氧化陶瓷层耐蚀性的研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2002, 22(5):300-304