

文章编号 :1001-5078(2004)03-0189-03

激光熔覆含碳化钨的镍基合金

蒋振平¹,田乃良²

(1. 天津理工学院材料物理研究所,天津 300191;2. 天津理工学院光电信息与电子工程系,天津 300191)

摘要:在 20Cr2NiSiW 基体上熔覆添加碳化钨的镍基合金,对熔覆层的应力状态进行了分析,基体的熔前预热和熔覆层的熔后保温,可以改善熔覆层的应力分布。在表面层和基体之间熔覆具有良好韧性的“过渡层”,减少了微裂纹。分析了掺碳化钨的镍基合金复合熔覆层的硬度分布和微观结构。改进了激光熔覆工艺,得到了应力分布状态较好的无裂纹的激光熔覆层。

关键词:激光熔覆;镍基合金;过渡层;残余应力

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

Laser Cladding Ni-based Alloy with WC

JIANG Zhen-ping¹, TIAN Nai-liang²

(1. Institute of Materials & Physics, Tianjin Institute of Technology, Tianjin 300191, China;

2. Department of Opto-Electronics Information and Electronics Engineering, Tianjin Institute of technology, Tianjin 300191, China)

Abstract: Laser cladding Ni-based alloy with tungsten carbide are yielded on the surface of 20Cr2NiSiW substrate, and the stress status of cladding layer is analyzed. The stress distribution of cladding layer can ameliorate with before cladding pre heating and after cladding thermal retardation. The microstructure of cladding layer and hardness distribution are discussed. Cracks are decreased between the surface of cladding layer and the substrate building transition layer of good toughness. The cladding technology and non-cracks of cladding layer are improved.

Key words: laser cladding; Ni-based alloy; transition layer; residual stress

1 引言

激光熔覆是近年来发展很快的领域,由于熔覆层材料和熔覆部位可以根据使用需要来选择,甚至可以在原基体上合成新的表面层。它在特殊形状的另件加工中,仿真成型和新材料合成中,应用正在不断的扩大。不仅在工业领域的轧辊和模具上,而且在航空航天的重要另部件上都得到了广泛应用。

研究耐高温激光熔覆层,加入碳化钨硬质相,可以增加熔覆层的高温硬度和耐磨性。但碳化钨韧性差,容易开裂,形成裂纹,并且在熔覆的过程中极易耗损。因此,分析碳化钨在熔覆层的分布和烧损情况,设计“过渡层”对改善熔覆层的韧性,消除微裂纹都有重要意义。特别是熔覆添加部分硬质相 KF15, KF56 等的高温合金。研究其熔覆层止裂,气孔和微

裂纹的分布,熔覆层的耐磨损,抗腐蚀等性能,都和熔覆层的应力分布状态密切相关。

因此,研究熔覆层的热应力,相变应力和残余应力的大小,受力状态等,对消除应力和改善应力状态,就显得更迫切了。

2 实验条件与方法

所用激光器为连续可调 2kW 二氧化碳激光器,用铜反射镜聚焦的光斑 $\phi 3.5\text{mm} \sim \phi 5\text{mm}$,送粉气流量为 $0.2\text{m}^3/\text{h}$,扫描速度为 $5 \sim 12\text{mm/s}$,自动送粉量

基金项目:天津市“材料物理与化学”重点学科资助;天津市自然科学基金重点项目(983800611)

作者简介:蒋振平(1945-),男,副研究员,主要从事光电技术的教学与研究。

收稿日期:2003-09-29

为 3.5 ~ 12g/min, 载粉气流量 0.18m³/h, 氩气保护。基体材质为 20Cr2NiSiW 低碳合金钢, 尺寸为 40mm × 40mm × 18mm, 扫描电子显微镜进行微观相貌测量, 用 XMG-03 显微硬度计, 加载 150g, 进行显微硬度测量。

激光熔覆前基体放到耐火保温材料特制的专用设备中预热到 450 ~ 500, 并在熔覆过程中保温。熔覆后经 4h 的缓冷。未预热基体是基体整体未经

预热, 熔覆后直接在空气中冷却。剥层电测时使用的电解液是磷酸和铬酸的混合液 (H₃PO₄: 88%, H₂CrO₃ 10%, H₂O 2%), 电流密度 0.75 ~ 1.20A/cm²。样品 18mm 的厚度除了 2.8mm 的剥层电测厚度外, 都要贴上介质膜进行保护。GH-01, WFC 等合金粉末都是镍基合金, 粒度平均在 180 ~ 300 目之间, 呈球形颗粒外形, 有极低的氧和硼、硅含量。熔覆合金的成分如表 1 所示。

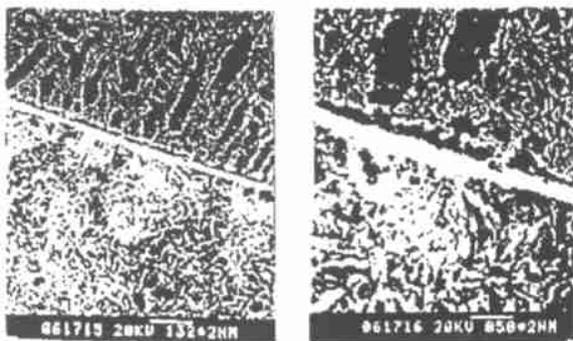
表 1 激光熔覆合金成分表

合金名称	元素含量										粒度 (mesh)	熔点 (°C)	
	C	Cr	Co	Ti	Al	Fe	Ni	W	Mo	WC			
GH-01	1	6	6	1	4	3	余	30	3		200 - 280	1380	
WFC	0.5	5	12	1	4		余			30	250 - 350	1450	
KF15			20								80	150 - 250	1750
KF56							25				75	200	1650

3 熔覆实验结果和讨论

3.1 熔覆过渡层

过渡层是在基体上先熔覆膨胀系数、热导率都接近基体, 韧性较好的镍基合金。形成应力缓冲区, 然后再在过渡层外面熔覆含有碳化钨的 KF56 和 KF15 合金。图 1 为 GH-01 + 25% KF15, GH-01 + 35% KF56 熔有过渡层的扫描电镜照片。过渡层呈一条斜着的白色带。上部为熔覆合金的枝状晶, 交界处为过渡层。图的上部深黑色区为碳化钨颗粒, 呈浅黑色的枝状晶为粘结金属, 包围着碳化钨颗粒。下部的粗大组织为基体, 中间横穿的白色区为过渡层, 枝状晶下也有很多更细小的共晶组织, 包含金属碳化物和 Ni, Cr, Fe 的固溶体。从图上还可以看到接近界面的区域定向性更明显。



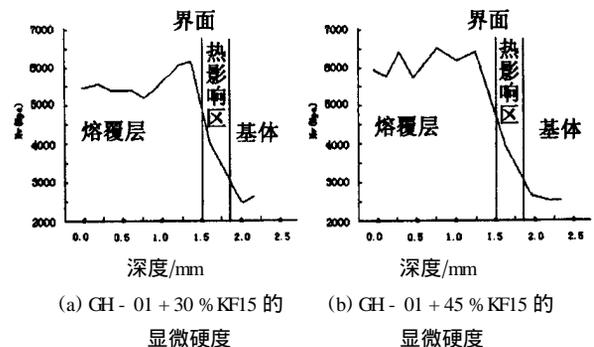
(a) GH-01 + 25% KF15

(b) GH-01 + 35% KF56

图 1 GH-01 合金熔层组织的扫描电镜照片

过渡层的镍基合金的膨胀系数设计在基体和熔覆合金的膨胀系数之间, 它和基体有更好的冶金结合, 从图中可以看出过渡层在基体和熔覆合金之间形成的缓冲带, 消除了微裂纹, 改善了熔覆层的韧性。

图 2 为 GH-01 合金 + KF15 的显微硬度。熔覆层中由于枝晶生长状态、固溶体分布的不均匀、碳化物存在的区域的影响等, 使得粘结金属的显微硬度有一定的波动, 大约在 5.2 ~ 7.5GPa 之间。随着碳化钨含量的增加, 显微硬度也增加, 这是因为碳化钨溶解和烧蚀出的物质, 构成了新的碳化物, 对显微硬度的贡献。熔覆层的显微硬度也可以反映出熔覆层与基体的组织状态。当然在测量显微硬度时, 要躲开碳化钨颗粒, 因碳化钨的硬度高达 15GPa 以上。



(a) GH-01 + 30% KF15 的

(b) GH-01 + 45% KF15 的

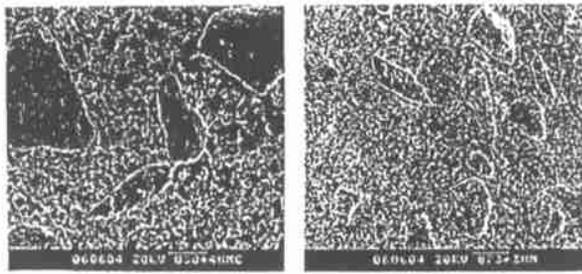
显微硬度

显微硬度

图 2 GH-01 合金的显微硬度

3.2 熔覆层的微观结构

靠近熔覆层表面的区域, 碳化钨颗粒之间的粘结金属为 WFC 合金, 呈现为枝状晶定向性很差。明显可见大颗粒的碳化钨散布于熔覆层中。在靠近基体和熔覆层的界面区域, 是定向生长的长枝晶, 和枝晶间隙的 (FeCrNiCo)₆(W, Ti)₆C 或 (Co, Fe)₃W₃C 与 α-Fe 的共晶组织。在靠近熔覆层表面的区域, 为不定向的细小枝晶与晶间共晶体。基体上熔覆的 WFC 合金的扫描电镜照片如图 3 所示。



(a) WFC + 30 % KF56 (b) WFC + 40 % KF15

图3 熔覆层 WFC 合金的扫描电镜照片

界面附近的温度梯度比较大,导致熔覆层定向结晶。基体预热可以减小界面的温度梯度,也就可以使定向结晶的枝晶区域小。当晶体生长到表面附近时,热量既向试样内传递,也向表面传递,再加上相变潜热的释放,使得此温度梯度较小,结晶定向性不明显。枝晶间弥散着多元共晶体和多种金属(Co, Cr, Ti, Mo, W)碳化物,更加细小,不易分辨。这种复杂的共晶组织,具有很强的耐磨性和抗腐蚀性能。

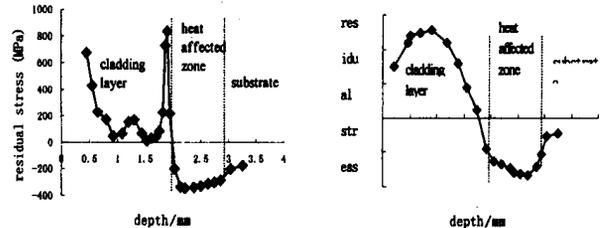
碳化钨的熔点较高,高温硬度也大,显微硬度15 Gpa,在熔层中对高温硬度起主要作用。另外,在碳化钨周围熔有(W, Ti)C_{1-x}和少量未熔的碳化二钨(W₂C),它们都有较高的熔点,极高的硬度,对高温硬度也有一定的贡献。

3.3 熔覆层的应力分析

图4是在未预热和预热的基体上激光熔覆70%WFC + 15%KF15 + 15%KF56合金的残余应力的深度分布。从图上可以看到,经过预热的基体熔覆层残余应力的变化。熔覆区的拉应力峰转移到了熔覆层中间,并且应力值下降。热影响区的压应力值也同样的减小。未经过预热基体的温度梯度较大,熔覆层下的已奥氏体化的热影响区,容易发生马氏体相变,相变应力也较显著。因样品中存在很大的温度梯度,随着自表面向下温度和受热时间的下降,导致马氏体的含量逐渐减少,所以相变应力也是表层最高。而且由于金属高的热导率所决定的由表面向基体的单向传热过程,表面附近最后凝固,因而热应力峰值出现在表面附近。经预热保温处理的熔覆层仍然呈现熔覆层受拉,热影响区受压的状态,但熔覆层内的拉应力数值有所降低,拉应力峰也从表面转移到了中部。

熔覆层与基体界面基体一侧,由于靠熔覆层最近,加热温度最高,受热时间最长,奥氏体化最完全,马氏体相变后体积变化量最大。而在熔覆层一边,由于高温合金是富含Ni, Cr, W, Ti, Al等,其高温相奥氏体在快速冷却时仍然保持稳定,不会发生马氏体相变,体积变化量很小。这一体积变化量的突变导致熔层与硬化层之间强烈的约束作用,在熔层与

接近基体的部分形成一个残余拉应力峰。另一原因是在热影响区发生马氏体相变时,熔层近表面区域温度还很高,容易发生塑性变形。而相变区的体积膨胀对熔层的约束作用,只作用在较窄的一部分温度较低不易塑性变形的区域,因而形成了一个既窄且陡的拉应力峰。



(a) non-preheating substrate (b) preheating substrate

图4 未预热和预热基体上激光熔覆60%WFC + 30%KF15 + 10%KF56合金的残余应力的深度分布

当基体预热后,由于基体在激光熔覆前所处的温度较高,与未经预热的基体相比,激光熔覆时的温度梯度降低了很多,这一点直接导致了热应力数值的降低。预热后熔覆层在冷却凝固时,由于基体温度高,不仅依靠向基体方向热传导散热,通过表面向环境辐射散热也形成了一种主要的散热方式。这一散热方式的变化使得熔覆层凝固次序有了明显的改变,未经预热前,凝固与结晶是单向的,从与基体的界面开始,到表面结束。而预热后变成了从界面和表面两个方面同时开始凝固结晶,到熔覆层中央结束。热应力峰产生在温度梯度大的地方,熔覆层内拉应力峰也转移到熔覆层中间。

4 结论

4.1 在激光熔覆含碳化钨的镍基高温合金中,熔覆一定厚度的过渡层,可以增加熔层的韧性,减少微裂纹,使熔层与基体更好的结合。

4.2 熔覆层表面的区域,为不定向的细小枝晶与晶间共晶体。在基体和熔覆层的界面区域,是定向生长的长枝晶,枝晶间弥散着多元共晶体,这种复杂的共晶组织,具有很强的耐磨性和抗腐蚀性能。

4.3 基体预热和熔覆层的保温可以改善熔覆层的应力分布状态,拉应力峰转移到了熔覆层中间,并且应力值下降。热影响区的压应力值也同样的减小。

参考文献:

- [1] 杨永强,田乃良.激光熔覆高温合金及其应用[J].中国激光,1996,A22(3).
- [2] 田乃良,孙景,王尚志.硬质合金激光增韧的研究[J].中国激光,2000,A27(3).
- [3] P Wu, C Z Zhou, X N Tang. Laser alloying of a gradient metal-ceramic layer to enhance wear properties[J]. Surface and Coatings Technology, 1995, (73): 111 - 114.
- [4] A Frenk, H Henchoz. Laser cladding of a CoTiAl-Based alloy: Processing Parameters and Microstructure[Z]. 1993, 84(12): 886 - 892.