

激光熔覆金属陶瓷复合合金层的组织与性能研究*

刘志勤 张洪欣 王开富 郑克全**
(海军后勤学院, 天津, 300450) (兰州大学物理系, 兰州, 730000)

摘要: 介绍了用大功率 CO₂ 激光束在 45[#] 钢表面进行的金属陶瓷复合合金 TiG-WG-Co 的熔覆处理, 对熔覆样品的显微组织和性能进行了测试和分析, 同时对熔覆层形成的机理作了初步讨论。

关键词: 激光熔覆 显微组织 显微硬度 耐磨性能 金属陶瓷合金

Microstructure and properties of laser cladding metal-ceramic alloy layer

Liu Zhiqin, Zhang Hongxin Wang Kaifu, Zheng Kequan
(Naval Academy of Logistics, Tianjin, 300450) (Dept. of Physics, Lanzhou University, Lanzhou, 730000)

Abstract: This paper presents the experimental research on the TiG-WG-Co metal-ceramic alloy cladded on No. 45 steel surface by using a high power CO₂ laser. The microstructure or hardness of the cladding layer is subjected to the effects of laser energy density and scanning speed. Furthermore, the preliminary discussion on the mechanism of metal-ceramic alloy resulted from laser cladding is also given.

Key words: laser cladding microstructure microhard abrasion metal-ceramic alloy

引 言

激光熔覆是大功率激光束用于金属材料表面强化的手段之一, 近十几年来发展很快^[1~4], 有些已为国内外在生产实际中推广应用。但这些研究者多集中在金属表面上熔覆各类金属粉末合金, 也有一些熔覆陶瓷材料的报道。陶瓷材料具有高的耐酸碱腐蚀性、高抗氧化性、高硬度、耐磨性好、高抗压强度和低导热系数等特性。但是陶瓷材料在激光熔覆中, 由于覆层陶瓷和金属基体的热膨胀系数差别大, 覆层凝固收缩受到基体的阻碍, 因此在覆层内存在拉应力, 这种应力的存在会导致基体变形, 并在覆层中产生与激光熔覆方向正交的裂纹。我们将金属的强韧性和好的工艺性与陶瓷材料的优异特性有机地结合起来, 这就是用陶瓷粉末和低熔点金属钴粉末按一定的比例均匀混合作为陶瓷粉末之间以及陶瓷粉末与基体之间的粘结金属, 然后在低质的碳钢表面进行激光熔覆, 结果得到致密无缺陷的金属陶瓷复合材料覆层^[5,6], 从而大大提高了工件性能, 显示了激光熔覆技术的巨大潜力。它可能会有广泛的应用前景。本文将描述我们在 45[#] 钢表面进行的 TiG-WG-Co 激光熔覆处理。

一、实验条件和方法

本实验采用 45[#] 钢基体材料, 加工成 20mm × 20mm × 8mm 的块状, 对激光将要辐照处理的一面进行研磨, 去油污和适当的清洗。

* 甘肃省自然科学基金资助项目。 ** 通信联系人。

本实验采用涂敷粉末法, 将 TiC, WC 和 Co 三种粉末按重量比为 TiC: WC: Co= 45: 35: 20 配制, 并将其均匀混合后, 研磨成粒度小于 200 目的微细粉末, 用有机粘合剂将混合金属陶瓷 TiC-WC-Co 粉末调合成糊浆状, 均匀涂敷在 45[#] 钢基体的待处理面上, 涂敷层厚度为 0.4mm。

采用 HGL-横流电激励 2kW CO₂ 激光器对其涂敷层作熔覆处理, 激光功率固定在 1.8kW, 用砷化镓透镜聚焦(焦距 370mm), 离焦量 10mm, 光斑直径为 4mm, 能量为高斯分布。在实验中激光扫描速度可任意调节, 以氩气作保护气体。

二、实验结果与分析

1. X 射线衍射物相分析

为了弄清表层金属陶瓷复合合金层的物相组成, 本实验采用一台 XD-3A 型 X 射线衍射仪对熔覆层进行了 X 射线物相分析, 图 1 是熔覆层的 X 射线衍射图谱, 从图中可看出熔覆层有 TiC, WC, CoW₆C, Co₃Ti, Co₄W₄C, Fe₂W₃C 等多种硬质物相组成, 在基体表面形成熔覆层主要由激光加热温度和冷却结晶速度等决定。当激光输出波长一定时, 决定激光束与金属表面相互作用的主要参数为激光功率 P 、光斑直径 D 和激光扫描速度 v 。假设光斑为圆形均匀分布时, 入射到基体表面上单位面积的功率, 即功率密度 F' 可表示为:

$$F' = (4P)/(\pi D^2) \quad (1)$$

而被基体表面涂敷层吸收的激光功率密度由于各种损耗应小于(1)式所示功率密度, 此时的功率密度, 即被表面所吸收的表为:

$$F = [(4P)/(\pi D^2)](1 - \gamma) \quad (2)$$

式中, γ 为总损耗, 因表面涂敷的合金粉末涂层对激光有强烈的吸收, 故总损耗取为 $\gamma = 0.3$ 已足够了。本实验中光斑直径 $D = 4\text{mm}$, 激光功率 $P = 1.8\text{kW}$, 由(2)式计算出功率密度 F 可以达到 $10^4\text{W}/\text{cm}^2$, 光束与基体作用时间 t 可表示为:

$$t = D/v \quad (3)$$

实验中激光扫描速度为 4~10mm/s, 可知光束与

基体表面相互作用时间在 0.4s~0.1s, 在这样短的时间内, 由激光表面处理区中心温度:

$$T = (2F/k) Rt \quad (4)$$

式中, k 为导热系数, R 为热扩散系数, 可以计算出表面在短时间内可将温度升高到 $10^3\text{K} \sim 10^4\text{K}$ 。由于表面温度上升得非常快, 表面涂敷层与基体表面极薄层很快被熔化, 它们在熔池内受到自扩散以及表层温度梯度引起的表面张力梯度和重力作用等效应, 在极短时间内在熔池中相互扩散并达到均匀混合, 并在元素之间的亲和力作用下相互结合。当激光束移去后表面吸收的大量热量由基体迅速传走, 表面急剧冷却, 结合成的化合物微小晶核进一步长大, 这些微细晶粒对表面熔覆层起到极大的强化作用。

2. 显微组织分析

将激光处理后的样品沿横向剖开, 经研磨、抛光、腐蚀后, 用一台 S-450 型扫描电镜观察它的显微组织, 处理后的样品呈现出三个不同结构区域, 即熔覆层区、热影响区和基体区, 三个区域的显微组织如图 2 所示。

基体区: 基体为 45[#] 钢, 如图 2a 所示。它的组织由珠光体和铁素体组成。在处理过程中,

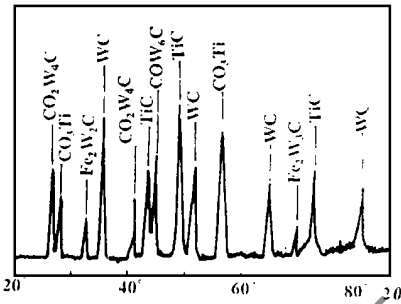


Fig. 1 X-ray diffraction diagram of cladding layer

因它离开表面较远,在激光处理过程中,它起着传导热量的作用。在传热过程中,它本身温度不高,所以它的显微组织未发生任何变化。

热影响区:如图 2b 所示,热影响区在基体 45# 钢的上部,紧挨着涂敷层的部分,这个区域受表层激光能量影响较大。

在各种扫描速度处理中,这个区域的温度都能达到奥氏体化温度以上,当移去加热的激光束后,热量由下面基体迅速传走而急剧冷却,而奥氏体大部分转变为马氏体,因而这个区域的显微组织是由针状马氏体和残余的奥氏体所组成。

熔覆层区:熔覆层是试样的最表层区域,是直接受激光束辐照区,在相同的涂层厚度和激光功率不变条件下,改变激光束的扫描速度,即相当于改变了入射功率密度,也改变了光束与金属表面相互作用时间,也就改变了激光处理表面的中心温度,因而基体表面被熔化深度不同,从而使熔覆层被基体所稀释的稀释率改变,要得到理想熔覆要求稀释率在 5% 以下。图 2c 是扫描速度为 7mm/s 的稀释率的熔覆层组织,此时组织为细小的胞状晶,而晶粒排列紧密。在低稀释率条件下,熔池内对流将进行涂层中微量的铁与涂层均匀混合,促进了成分和组织均匀分布,整个涂层中相组成基本一致。图 2d 是扫描速度为 4mm/s 的熔覆层组织与理想熔覆成分相比。涂层稀释较严重,胞晶较大,晶间排列有重迭现象,好像晶粒间相互接触而构成了骨架状。这时,对流把过多熔化基体带入涂层产生重稀释,由于进行涂层的铁元素多,在它与熔覆材料来不及充分混合就产生凝固,这样引起了成分和组织偏析。

3. 扫描速度对硬度的影响

图 3 是应用一台 71 型显微硬度计测出的样品在两种不同扫描速度下的硬度分布曲线,我们知道激光熔覆层的性能主要取决于其成分,当熔覆成分相同时,显然其硬度及其他性能应与处理条件有关,即性能应决定于显微组织。在低稀释率情况下的理想熔覆层硬度高于重稀释的熔覆层,最高可达 HV 2050 以上,而后者最高硬度仅约 HV 1900。

4. 耐磨性能的测定

图 4 是扫描速度分别为 7mm/s 和 4mm/s 的样品与基体耐磨性能的对比曲线,可以看出熔覆层的耐磨性能较基体有了很大的提高,而低稀释率下,熔覆层组织均匀细化,耐磨性能则更加优越。

以上结果表明:选择适当的激光处理条件,在低质钢材上熔覆具有优异性能的金属陶瓷复合合金熔覆层是可行的,使激光熔覆金属陶瓷涂层技术可望成为改善金属材料表面性能的有效方法之一。



Fig. 2 The microstructure photos(× 1000)

a—45# steel substrate b—heat affected zone c—scanning speed 7mm/s d—scanning speed 4mm/s

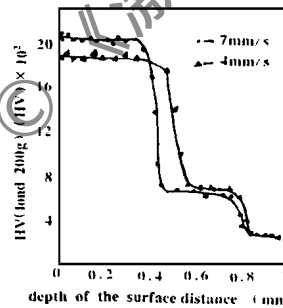


Fig. 3 The hardness distribution of cladding layer

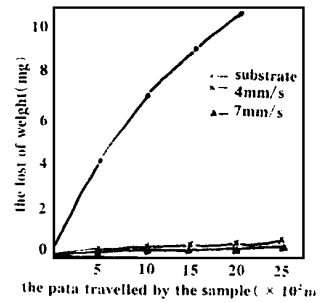


Fig. 4 Abrasion comparison test curves

参 考 文 献

Ce:KNSBN 晶体红光两波耦合特性研究*

吉选芒

安毓英 刘劲松

(山西运城高等专科学校物理系,运城,044000) (西安电子科技大学技术物理系,西安,710071)

摘要: 用红光对掺铈的铌酸钾钠锆钽(KNSBN)单晶样品进行了两波耦合的测量,研究了兩波耦合中样品的增益系数 Γ 与两束入射光夹角 2θ 的关系。用光折变理论拟合了 $\Gamma-2\theta$ 关系的实验结果,求出了该样品的有效光折变电荷密度,有效电光系数和电子-空穴对抗率的数值。

关键词: 光折变晶体 两波耦合

Study of two-wave coupling feature of Ce:KNSBN crystal at red light region

Ji Xuanmang

(Department of Physics, Yuncheng Advanced Training College, Yuncheng, 044000)

An Yuying, Liu Jinsong

(Department of Technical Physics, Xi'an University, Xi'an, 710071)

Abstract: Using 6328nm red light, we have made the experimental studies to two wave light coupling in Ce:KNSBN single crystal and demonstrate that the gain coefficient Γ of two-wave coupling is a function of the crossing angle 2θ of two beams. According to fitting of $\Gamma-2\theta$ experimental data, the effective photorefractive charge density, the effective electro-optical coefficient and the hole-electron competition factor have been derived. These results are useful to optical information processing.

Key words: photorefractive crystals two-wave coupling

引 言

光折变晶体具有在光信息处理,相位共轭技术等方面的应用前景,近年来吸引了许多研究者的注意^[1,2]。两波耦合是光折变效应的一种最基本的过程。有许多文献报道了光折变晶体

* 国防科工委预研基金资助。

- 张思玉,郑克全. 中国激光, 1991; 18(6):466~ 470
- 马咸尧,陶曾毅,王爱华 *et al.* 中国激光, 1993; 20(1): 73~ 77
- Vandelaar E, Molian P A. Surface Engng, 1988; 4(2): 159~ 172
- 张思玉,王必本,郑克全. 物理学报, 1994; 43(4): 678~ 682
- 郑立,张思玉,郑克全. 激光技术, 1994; 18(2): 119~ 122

作者简介:刘志刚,男,1963年4月出生。讲师。现从事教学和激光技术及应用科学研究。

收稿日期:1996-05-19 收到修改稿日期:1997-02-26