

文章编号: 1001-3806(2004)03-0259-03

激光熔覆 Ni-2 涂层在冲击载荷下失效机理研究

彭如恕¹, 石世宏², 欧阳敏玲¹

(1. 南华大学 机械工程学院, 衡阳 421001; 2. 苏州大学, 苏州 215000)

摘要: 采用冲击碰撞载荷, 对奥氏体不锈钢表面激光熔覆镍基合金涂层进行冲击试验, 涂层与基体都产生了微塑性变形, 反复作用可产生累积宏观塑性变形, 从涂层到基体都出现了均匀的形变硬化现象。在涂层覆盖区边缘下部会出现强烈的形变硬化与材料流动现象, 同时此处容易产生裂纹并扩展。

关键词: 激光熔覆涂层; 脉动冲击; 表面力学性能; 显微组织

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Failure mechanism of laser clad Ni-2 coating under fluctuating impact load

PENG Ru-shu¹, SHI Shi-hong², OUYANG Min-ling¹

(1. School of Mechanical Engineering, Nanhua University, Hengyang 421001, China; 2. Suzhou University, Suzhou 215000, China)

Abstract: Austenitic stainless steel treated with laser clad Ni-based alloy is tested under impact load. There is micro plastic deformation in the base and clad coating. Macro plastic deformation is formed after repeated process, and homogeneous hardening comes into being from clad to base. There is intensive deformation hardening and material-flowing phenomena along the brink of clad coating, on which cracks tend to grow and spread.

Key words: laser cladding; fluctuating shock; surface mechanical properties; microstructure

引 言

激光熔覆表面强化是利用激光其快速熔化快速凝固的特点, 在普通金属材料表面原位制造出高合金、高性能的表面涂层强化新技术^[1], 利用该表面强化新技术可以有效提高金属材料的屈服强度、硬度、疲劳强度、疲劳裂纹扩展阻力及微动磨损疲劳寿命等性能。

利用高能束(激光束、电子束、聚焦光束)与材料相互作用可制取 1mm~4mm 的厚涂层, 这是现代先进涂层技术^[2]。其中激光熔覆技术是发展最快, 也是最成熟的^[3~5]。作为一种先进的表面覆层技术, 激光熔覆与各种传统的堆焊、热喷涂、喷焊等制备覆层的技术相比, 其覆层质量和使用性能更优异, 采用激光熔覆涂层替代传统涂层在多次冲击碰撞载荷下服役将有广阔的应用前景。国内外学者对激光熔覆强化技术已进行了大量研究, 而对激光熔覆涂层冲击载荷作用下性能研究较少, 但其在航空航天、机

械、冶金、化工等领域有广泛的应用前景。作者研究了激光熔覆涂层受冲击载荷作用微观组织及性能和显微硬度等。

1 实验方法

1.1 试件与涂层的制备

试件由基体与涂层(带阴影部分)组成。基体为 1Cr18Ni9Ti, Ni-2 涂层在 **TJ-HL-T5000** 型 CO₂ 激光器上进行熔覆加工。涂层采用预置粉末和送粉两种方式, 铺粉厚度为 3.5mm。激光熔覆材料见表 1。

Table 1 Laser cladding material (Ni-2)

130	C	Ni	Cr	Si	B	Co	W	Mb	Fe
Ni-2	0.7/ rest		22/ 25	1.5 /2	0.6/ 0.8	12/ 14		3/4 3/4	140/ 280item

熔覆工艺参数: 激光功率为 4.5kW, 光斑直径为 5mm, 扫描速度为 8mm/s, 激光模式为多模, 退火温度为 600℃。涂层全部经过探伤检验。用线切割方法割取涂层并在材料性能试验机上测定涂层材料的抗静压强度。在平面磨床上精磨涂层表面, 粗糙度 $R_a = 1.6\mu\text{m}$ 。冲击试件如图 1 所示。圆冲(3号位)总高 12.3mm, 工件厚度 10.7mm, 涂层厚 1.60mm ($\delta = 3\text{mm}$), 实际涂层宽度 3.3mm。

作者简介: 彭如恕(1964-), 男, 副教授, 现从事计算机图形学、CAD、激光加工与应用研究。

E-mail: pengrushu505@sina.com

收稿日期: 2003-06-18; 收到修改稿日期: 2003-09-18

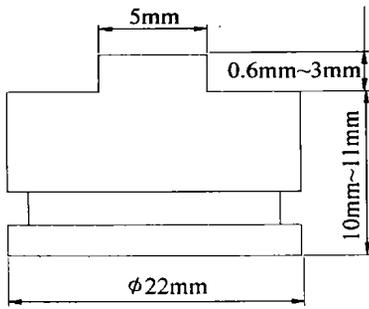


Fig. 1 Laser clad test-piece

1.2 冲击试验与测试

冲击碰撞试验在多冲疲劳实验机上进行如图 2 所示。其冲击频率可在为 4Hz~30Hz 之间调节。冲

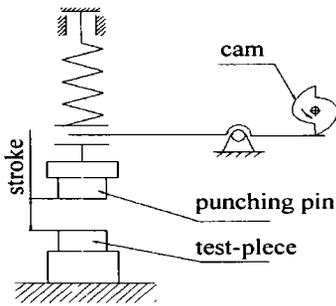


Fig. 2 Shock experiment diagram

击力可在 20MPa~3000MPa 之间调节。通过冲头压缩弹簧调节不同冲击能量或冲击力,对冲一定的次数后取下试件,在 JX6 型大型工具显微镜上测量涂层和基体的变形量,在 HXD-1000B 数字显微硬度计上测试涂层和基体的显微硬度变化。在 XIL-1 电视显微镜下观察试件表面形貌,用 OLYMPUS GX51 型光学显微镜观察试件的腐蚀截面,利用 TEM-H 600-2 透射电镜和 SEM-S-570 扫描电镜(日立 HITACHI)观测截面上的位错、滑移情况,高倍显微组织和形貌。采用 CL-YD 压电晶体冲击力传感器与 YE5852 电荷放大器, TDS3000 型数字式荧光存储示波器测量记录并显示冲击力及波形。

2 试验结果与分析

2.1 冲击力与波形

测试冲击力随时间变化的力波波形如图 3 所示,其中由 1 个组主波和副波组成。可以认为副波表示冲头在撞击后反弹再次撞击下试件产生的冲击力,冲击力越大,反弹次数就越多,即副波个数也越多。由图可看出,1 个力波作用时间约 2.5ms,20 多毫秒后出现第 1 个副波,而后的副波则越来越快,这是冲头反弹的高度越来越低的原因。主波的峰值要高得多,故一般只考虑主波的作用。根据冲头 1 个冲程中冲头与弹簧的势能转化为冲头的动能,冲击

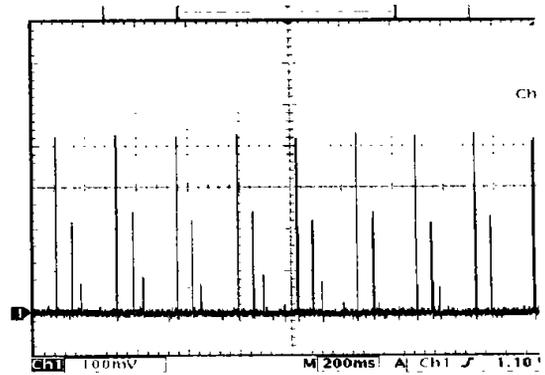


Fig. 3 Shock force wave

中冲头的动量转化为冲量的原理(计算公式为 $kx^2/2 + mgh = mv^2/2$; $Ft = mv$),可计算出冲头接触试件时的速度。本试验中冲头末速度在 0.5m/s~2m/s 之间。本例计算得出的冲击力平均值略小于测定值峰值,说明测定值是基本准确的。力波在金属中传递速度约为 5000m/s,而本试验中试件和夹具的高度在 0.1m 以内,机座波阻较大,所以力波将主要在试体和夹具之间来回产生多次透射和反射,图 3 所示的每一个波实际上已是各种波的叠加值。

2.2 涂层的变形与开裂

在理论上,涂层和基体的极限载荷与变形可应用理想刚塑性体的平面应变问题和滑移线场理论来进行近似分析(忽略材料的弹性变形及塑性变形强化)^[6]。图 4a 所示为部分覆盖情况,涂层的极限载荷与滑移线场见图 4a。设 HBAE 线为基体表面,其

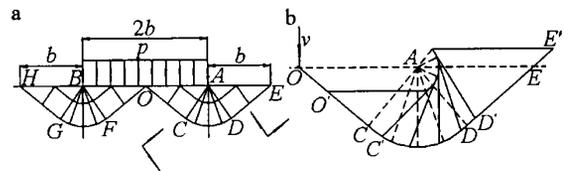


Fig. 4 Slip line field

a—two connective slip line field b—diagram of right-half after flowing(real line)

中 p 为通过涂层作用在基体表面沿 AB 宽度上均布作用的极限状态下的冲击力,这样的问题相当两个分别以 A, B 为顶点,且顶角均为 $2\gamma = \pi$ 的楔体单边受压。因而可在基体表面下构造出图 4a 所示的两个连通滑移线场。以右半为例,滑移线场由均匀应力场 OCA, ADE 和中心扇形应力场 ACD 组成。可解得极限压力为 $p_t = k(2 + \pi)$,故垂直纸面单位长度上的冲击力 $p = 2bk(2 + \pi)$ 。图 4b 所示为右半部流动后的情况(实线)。由图可见, O, C, D, E 各点分别流动到 O', C', D', E' 各点, A 点为一奇点。其中 OCA 区与 ADE 区为刚性平移, ACD 区内沿滑移线发生了内部位移。实际变形见图 5、图 6,与理论一致。

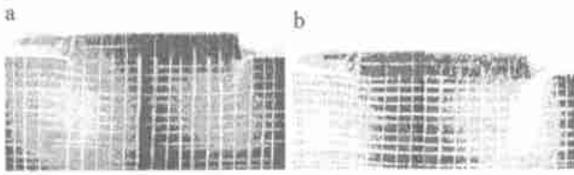


Fig. 5 Impact deformation appearance

a—deformation appearance after 8000 impacts b—deformation appearance after 32000 impacts

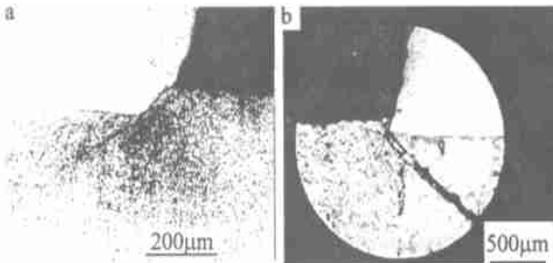


Fig. 6 Cracks in the base and their spreading direction

2.3 试件材料静压强度、微塑性与冲击硬化

在材料性能试验机上测定涂层材料的抗压静强度,发现应力应变曲线无明显的塑性区,通过对曲线的修正,镍基合金的强度极限分别为 $\sigma_b = 2121\text{MPa}$ 。从试验曲线可看出:图 7 中曲线有明显的转折点,可推出条件屈服极限 $\sigma_c = 2001.51\text{MPa}$ 。

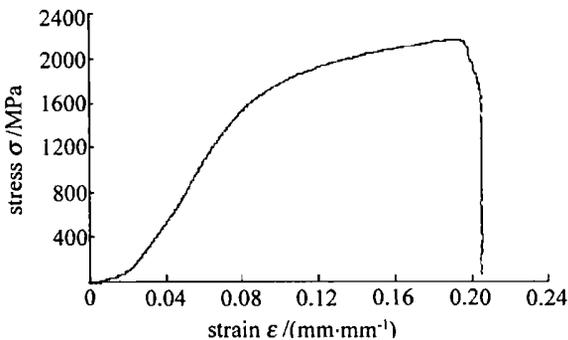


Fig. 7 Stress-strain curve of coating material under static pressure

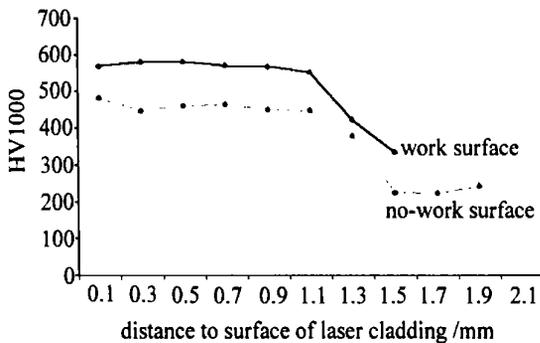


Fig. 8 Hardness variation comparison before and after tests

本试验的冲击峰值应力均在材料条件屈服极限 $\sigma_{0.2} = 201.3\text{MPa}$ 。随冲击次数增加先后出现了不同程度的压缩变形、硬化、开裂、塌陷崩落等现象。涂层和基体都产生了累计塑性变形,其中在失效前的涂层和基体最大相对塑性变形量可达到 20%。如

图 8 所示,显微硬度值最大相对提高了 20%。

一般认为冲击加载方式伴随加载速率的提高,材料的屈服强度会提高,而该试验在远远低于条件屈服极限的峰值应力下出现了宏观屈服现象,这从整个横截面上涂层到基体全面均匀的塑性变形与硬化现象看已不是局部微变形和表面流变所为。从机理上分析可能是:(1)轮廓接触面积 A_c 一般只占名义面积的 5%~10%,而表面间的实际接触面积 A_r 只有名义接触面积 A 的千分之几至万分之几。因此,即使作用在名义接触面的的法向载荷很小,但在实际接触点上的应力却很大,随着法向载荷的增加,实际接触点上的应力逐步增加,当某些接触点上的应力达到材料的屈服极限便产生塑性变形,直至实际接触面积与屈服极限的乘积等于法向载荷时,接触点上的塑性变形才停止下来;(2)表面层的微观塑性变形量极大。因表面层局部应力最高,温度也最高,加上表面层的缺陷最多,特别是位错密度高,且位错易动,位错开动的激活能为心部的 0.5~2.5,故表面层的应变量大,流线几乎与接触面平行^[7]。

3 结论

(1)采用激光熔覆技术制备的厚涂层在冲击载荷作用下其屈服强度远低于材料静屈服极限,涂层与基体都产生了微塑性变形,反复作用可产生累积宏观塑性变形,因此,在受冲击载荷作用下其系数应大于 12。(2)涂层到基体都出现了均匀的形变硬化现象。(3)在多次冲击载荷下,涂层在基体上部分覆盖形式的极限应力低,但寿命长。基体在涂层覆盖区边缘下部会出现极大的应力集中和强烈的形变硬化与材料流动现象,并易产生裂纹及扩展。

参 考 文 献

- [1] PEYRE P, FABBRO R, MERRIEN P *et al.* Laser shock processing aluminum alloys: application to high cycle fatigue behavior [J]. *Materials Science and Engineering*, 1996, A210: 102~113.
- [2] 刘喜明, 关振中. 送粉式激光熔覆过程中透光率的理论推算、测试方法及其影响因素 [J]. *中国激光*, 1999, A26(6): 563~570.
- [3] 查莹, 周昌炽, 唐西南 *et al.* 改善光熔覆镍基合金和陶瓷硬质相复合涂层性能的研究 [J]. *中国激光*, 1999, A26(10): 947~951.
- [4] MOLIEN P A. Engineering applications and analysis of hardening data for laser heat treated ferrous alloys [J]. *SEAIISI Quarterly*, 1986(2): 44~54.
- [5] 石世宏, 傅戈雁. 核阀激光熔覆研究 [M]. 北京: 原子能出版社, 1998. 1~5.
- [6] 严宗达. 塑性力学 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1988. 270~275.
- [7] 张栋. 机械失效的痕迹分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996. 14~20.