

多冲载荷下激光涂层等截面上应力波特性分析

陈从桂¹, 于连玉², 李良栋³

(1. 南华大学机械工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 济南机车车辆厂技术中心, 山东 济南 250022;

3. 湖南飞碟新材料有限责任公司, 湖南 长沙 410007)

[摘要] 根据多冲载荷下激光涂层应力波的传播过程研究了涂层全覆盖基体试样在受冲击载荷下的变形情况。首先分析了多冲载荷下激光涂层等截面上弹性应力波的反射与透射的形成, 并对弹性应力波的反射系数与透射系数、声阻抗比进行了计算和讨论。结果表明: 涂层全覆盖基体的试样在多冲载荷下弹性应力波由激光熔覆涂层到基体的传播周期规律是: 压缩波→拉伸波→压缩波→拉伸波……。

[关键词] 多冲载荷; 激光涂层; 等截面; 弹性应力波; 反射; 透射

[中图分类号] O347.4

[文献标识码] B

[文章编号] 1001-3660(2007)01-0092-02

Characteristic Analysis of Stress Wave which on an Equivalent Section of Laser Coating under Repeated Impact Load

CHEN Cong-gui¹, YU Lian-yu², LI Liang-dong³

(1. School of Mechanical Engineering, Nanhua University, Hengyang 421001, China;

2. Technical Center, Jinan Locomotive Rolling Stock Plant, Jinan 250022, China;

3. Hunan Feidie New Materials Co., Ltd, Changsha 410007, China)

[Abstract] The transformation of basal body with laser melted clad coating was studied according to the transmission of elastic stress wave which on a laser coating under repeated impact load. First the formation of elastic stress wave which on an equivalent section of laser coating under repeated impact load was analyzed. Next, the coefficients of reverberation & transmission and sound resistance ratio of elastic stress were calculated. The results show that the traveling periodic rule of the elastic wave stress under repeated impact load from laser melted clad coating to basal body is: compressing wave→stretching wave→compressing wave→stretching wave.

[Key words] Repeated impact load; Laser coating; Equivalent section; Elastic stress wave; Reverberation; Transmission

0 引言

物体在冲击载荷下往往与静载荷下的力学响应有显著不同。对一金属杆端部施加轴向静载荷, 变形基本上是沿杆均匀分布的, 但施加轴向冲击载荷时(如打钎、打桩等), 则变形分布极不均匀, 残余变形集中于杆端。由于一切固体都具有惯性和可变形性^[1], 当受到随时间变化着的外载荷作用时, 它的运动过程总是一个应力波传播、反射和相互作用的过程。固体静力学理论所研究的对象是处于静力平衡状态下的固体介质, 它着眼于研究达到静力平衡后的结果而已, 忽略了冲击应力波的传播和相互作用过程。在忽略了介质可变形的刚体力学中, 则相当于应力波传播速度趋于无限大, 因而不必再考虑。对于冲击载荷下的可变形固体, 由于在与应力波传过物体特征长度所需

时间相比是同量级的或更低量级的这个尺度上, 载荷已经发生了显著的变化, 甚至已作用完毕, 而这种条件下可变形固体的运动过程常常正是我们关心所在, 因此就本文讨论的多冲载荷下激光涂层必须考虑应力波的传播过程。

1 弹性应力波在涂层与基体结合面上的反射与透射的形成

涂层全覆盖基体(即激光涂层与基体等截面)如图1所示, 当冲头M冲击激光熔覆涂层时, 涂层与基体始终保持接触(既能承压又能承拉而不分离), 弹性波从激光熔覆涂层垂直传向基体, 当弹性波传到涂层与基体的冶金结合面时, 不论对涂层还是基体, 都引起一个扰动, 这个扰动分别向两种介质中传播, 此即反射波和透射波。

2 反射系数、透射系数和声阻抗比的计算

根据牛顿第三定律, 结合面两侧的质点速度应相等, 应力应

[收稿日期] 2006-11-03

[基金项目] 湖南省自然科学基金(02JJY2072)

[作者简介] 陈从桂(1965-), 男, 湖南石门人, 副教授, 学士学位, 主要从事激光熔覆层冲击疲劳破坏研究。

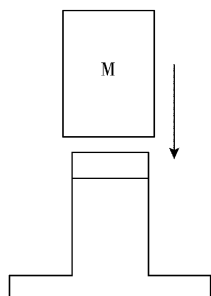


图1 涂层全覆盖基体

Figure 1 The substrate overlaid by the coating completely

相等:

$$V_I + V_R = V_T \quad (1)$$

$$\sigma_I + \sigma_R = \sigma_T \quad (2)$$

此处下标 I、R、T 分别表示入射波、反射波和透射波的各有关量。式中, V_I 为应力波在涂层中的入射速度, V_R 为应力波在涂层中的反射速度, V_T 为应力波在基体中的透射速度, σ_I 涂层中的压缩应力, σ_R 为涂层中的拉伸应力, σ_T 为传入基体的压缩应力。

由波阵面动量守恒条件^[2], 可把式(1)化为:

$$\frac{\sigma_I}{(\rho_0 C_0)_1} - \frac{\sigma_R}{(\rho_0 C_0)_1} = \frac{\sigma_T}{(\rho_0 C_0)_2} \quad (3)$$

此处 ρ_0 、 C_0 分别表示材料介质的密度、波在材料中的传播速度。涂层有关各量都用下标 1 表示, 基体有关各量都用下标 2 表示。

式(3)与式(2)联立求解可得:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_R &= \frac{1 - (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2}{1 + (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2} \sigma_I = \frac{1 - n}{1 + n} \sigma_I = F \sigma_I \\ V_R &= -\frac{1 - (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2}{1 + (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2} V_I = \frac{1 - n}{1 + n} V_I = F V_I \\ \sigma_T &= \frac{2}{1 + (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2} \sigma_I = \frac{2}{1 + n} \sigma_I = T \sigma_I \\ V_T &= \frac{2(\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2}{1 + (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2} V_I = n T V_I \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式(4)中, $n = (\rho_0 C_0)_1 / (\rho_0 C_0)_2$, $F = (1 - n) / (1 + n)$ 和 $T = 2 / (1 + n)$ 分别称为反射系数和透射系数, 完全由涂层和基体两种介质的声阻抗比值 n 所确定, 显然 $1 + F = T$, 而 T 总为正值, 所以透射波和入射波总是同号。 F 的正负取决于涂层和基体两种介质的声阻抗的相对大小。

3 分析与讨论

根据式(4)中 $F = (1 - n) / (1 + n)$ 和 $T = 2 / (1 + n)$, 分两种情况来讨论:

1) 如果 $(\rho_0 C_0)_1 < (\rho_0 C_0)_2$, 即 $n < 1$ 时, 则 $F > 0$ 。这时, 反射波的应力和入射波的应力同号(反射加载), 而透射波从应力幅值上来说强于入射波($T > 1$)。这就是应力波由所谓软材料传入硬材料时的情况。

在特殊情况下, $(\rho_0 C_0)_2 \rightarrow \infty$ 时, 则 $n \rightarrow 0$, 即 $T = 2$, $F = 1$, 就相当于弹性波在刚壁(固定端)的反射。

2) 如果 $(\rho_0 C_0)_1 > (\rho_0 C_0)_2$, 即 $n > 1$ 时, 则 $F < 0$ 。这时, 反射波的应力和入射波的应力异号(反射卸载), 而透射波从应力幅

值上来说弱于入射波($T < 1$)。这就是应力波由所谓硬材料传入软材料时的情况。由此可以理解各种软垫可起到减震缓冲作用。

特殊情况下, 当 $(\rho_0 C_0)_2 \rightarrow 0$ 时, 则 $n \rightarrow \infty$, $T = 0$, $F = -1$, 就相当于弹性波在自由表面(自由端)的反射。

3) 如果 $(\rho_0 C_0)_1 = (\rho_0 C_0)_2$, 即 $n = 1$ 时, 有 $T = 1$, $F = 0$, 则冲击应力波在涂层和基体的结合面不发生反射, 弹性波可视为在同种材质中传播。

4 结论

对激光熔覆涂层和基体分别进行硬度测定, 发现涂层的硬度比基体的硬度大。也就是 $(\rho_0 C_0)_1 > (\rho_0 C_0)_2$, 应力波由涂层传向基体时属于第二种情况, 冲击压缩波在涂层与基体的冶金结合面反射后变成拉伸波。当形成的反射拉伸波传到涂层表面时, $(\rho_0 C_0)_1 > (\rho_0 C_0)_2 \rightarrow 0 (n \rightarrow \infty)$, $T = 0$, $F = -1$ 。拉伸波在涂层表面反射, 形成二次压缩波, 二次压缩波再传到结合面时反射形成二次拉伸波; 冲击应力波在构件中的传播叠加作用随其传播距离增加而减小^[3], 由此可见, 涂层全覆盖基体的试样在多次冲击载荷下应力波由激光熔覆涂层到基体的传播周期规律是: 压缩波与拉伸波交替循环, 并以此规律循环并衰减。

[参考文献]

- [1] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985. 42-47
- [2] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985. 27
- [3] Timoshenko S, Goodier J N. Theory of Elasticity[M]. New York: Second Edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1951. 438-452

(上接第91页)

为快速、准确、安全分析电镀液中稀土元素总量的一种实用方法。

[参考文献]

- [1] 周绍民. 稀土电沉积研究与开发亟待加强[J]. 电镀与精饰, 1994, 16(4): 3
- [2] 李士嘉, 何建平, 孙立. 稀土对电沉积锌层耐腐蚀性的影响[J]. 稀土, 1990, 11(6): 7-11
- [3] 邵光杰, 秦秀娟, 于升学, 等. 稀土对电沉积 Ni-P 合金镀层耐腐蚀性的影响[J]. 中国稀土学报, 1999, 17(3): 231-234
- [4] 江祖成, 蔡汝秀, 张华山. 稀土元素分析化学[M]. 1. 北京: 科学出版社, 1981. 347-350
- [5] 江祖成, 蔡汝秀, 张华山. 稀土元素分析化学[M]. 2. 北京: 科学出版社, 2000. 164-179

专利名称: 介质表面上镀制强附着力电极薄膜的方法

专利申请号: 00127618 公开号: 1309189

申请人: 中国科学院上海光学精密机械研究所

申请人地址: (201800) 上海市 800-211 邮政信箱

一种介质表面上镀制强附着力电极薄膜的方法, 在介质表面上镀制铜的电极薄膜, 首先在介质表面与铜的焊接层之间镀上一层金属铬或镍或钛的第一过渡层, 在第一过渡层与电极焊接层之间镀上一层由第一过渡层的金属与铜混合的材料是铬加铜, 或镍加铜, 或钛加铜的第二过渡层。镀制的电极薄膜具有强的附着力, 抗拉性强, 抗骤冷热性强, 焊接引线难度小。