

# 激光预处理基体对热循环载荷下铬层裂纹的影响

李巧莲<sup>1,2</sup>, 杨班权<sup>1,2,3</sup>, 张坤<sup>1</sup>, 张国祥<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院力学研究所; 2. 中国科学院研究生院;  
3. 中国人民解放军装甲兵工程学院机械工程系工程力学教研室)

**[摘要]** 本文分别对激光预处理基体的和未处理的镀铬层试样进行热循环试验,统计了面均裂纹条数和面均裂纹长度(裂纹总长度/分布面积)与热循环次数的关系,并对统计结果进行了对比。结果表明:激光预处理基体可有效地降低铬层的面均裂纹条数及面均裂纹长度;面均裂纹长度值增长到某一值时增幅明显减小,该值即主裂纹形成时的值。

**[关键词]** 激光预处理; 镀铬层; 热循环次数; 面均裂纹条数; 面均裂纹长度

**[中图分类号]** TG156.99 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-1560(2008)增刊-0054-03

## The influence of laser pretreatment of the substrate to cracks of chromium coating under cyclic heat load

Qiaolian Li<sup>1,2</sup>, Banquan Yang<sup>1,2,3</sup>, Kun Zhang<sup>1</sup>, Guoxiang Zhang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mechanics Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100072, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100072, China;

3. Department of Engineering Mechanics, Armored Force Engineering Institute, Beijing, 100072, China)

**Abstract:** Chromium coating samples with and without laser pretreatment on the substrate are tested under cyclic heat load, the relationship between the statistical date of both cracks and total cracks length per area and thermal cycling times are obtained, and the results are compared in this paper. The results showed that laser pretreatment of the steel substrate can effectively reduce both cracks and total cracks length per area; The increase of the total cracks length per area significantly reduced when it reaches a critical value, which is the value when main crack is formed.

**Key words:** laser treatment chromium coating; thermal cycling times; cracks per area; crack length per area

## 0 前言

随着镀铬层在工业中的广泛应用,其形成工艺及破坏机理也越来越多的被研究<sup>[1-4]</sup>。文献[2~4]对典型的热力耦合作用下的镀铬身管破坏行为进行了研究,其结论是:基体的损伤通常是由铬层中贯穿裂纹形成后基体暴露于环境导致。因此延缓贯穿裂纹的形成及扩展对延长镀铬零部件的寿命是至关重要的。文献[5]研究了镀铬层微裂纹组态及其破坏的关系,特别指出了激光离散预处理可以影响主裂纹的形成。为了进一步探究激光预处理基体对热环境下的铬层裂纹的影响,本文对镀铬层在循环热载荷作用下微裂纹分布的变化进行了统计,探讨在循环热载荷下的贯穿裂纹形

成过程中微裂纹面平均条数及面平均长度的变化规律,对比了激光预处理基体镀铬层的与未处理镀铬层之间数据的差异,旨在实验室确认激光预处理对热循环作用下铬层裂纹延缓过程和结果的影响。

## 1 试验

### 1.1 试样制备

试样基体材料为 30CrNi2MoV 钢,电镀铬采用常规工艺进行。为了保证激光预处理和未处理试样的电镀条件的一致,采用激光离散预处理基体的办法加工试样。先利用功率为 1500W 的 CO<sub>2</sub>激光器对基体表面进行离散淬火预处理,沿试件长度方向,扫描速率为 10mm/s,光斑直径为 3mm,然后进行镀铬,沿图 1(a)中虚线切割后,取边角处激光处理试样(图 1(b))与未处

[收稿日期] 2008-05-25

理试样(图1(c)),尺寸均为5mm×5mm×6mm,相邻两面有铬层,铬层厚度为100μm。

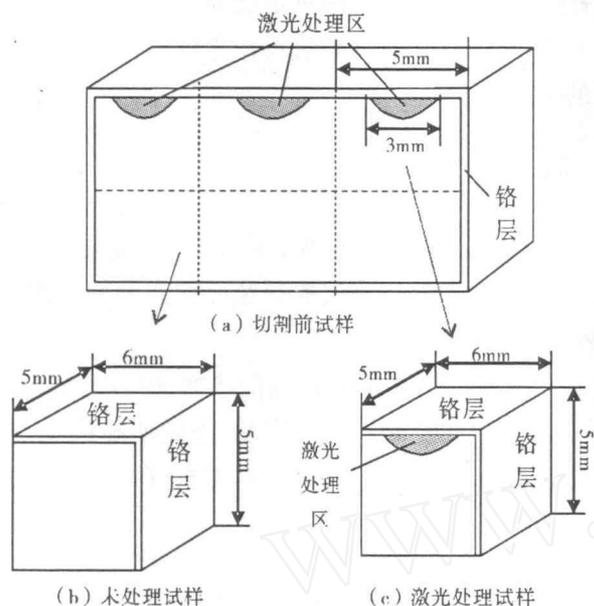


图1

## 1.2 统计方法

### 1.2.1 观察设备

利用MH-6硬度计进行观察,拍摄未处理试样铬层截面和激光处理试样激光区中心对应铬层截面图片进行统计。

### 1.2.2 数理统计方法

由于裂纹宽度的统计受制样条件和拍照条件及测量的影响比较大,因此本文提出以裂纹条数和裂纹长度作为参量,探讨在主裂纹形成过程中微裂纹分布状况的变化规律。定义:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{A}$$

其中  $\bar{L}$ ——面均裂纹长度

$l_i$ ——第*i*条裂纹的长度

$n$ ——统计面积上总裂纹条数

$A$ ——统计面积

### 1.3 实验步骤

试验过程为,将一批试样放至650℃恒温炉中加热4分钟,保证试样内外温度均达到650℃,取出后直接投入水中冷却,之后再投入炉中加热,再冷却,如此循环,当循环次数达到200次、400次、650次、1000次时取出未处理试样和激光处理试样各一个,进行切削、打磨、抛光处理,获得可利用40倍物镜的光学显微镜对微裂纹进行观察的铬层横截面。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 实验结果

对试验所得各循环次数的试样截面进行磨抛处理后,在硬度计下拍摄40×及10×的图片进行面均裂纹条数和面均裂纹长度的统计,每一循环次数的图片选择3~5张,每张大小约100μm×100μm,统计结果如图2和图3。

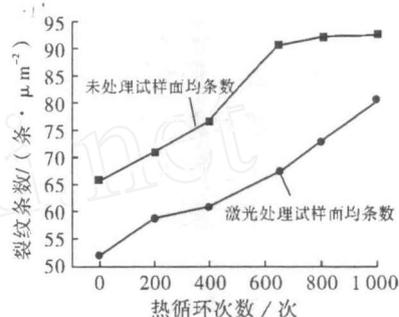


图2 未处理试样与激光处理试样铬层裂纹条数与热循环次数的关系

图2的统计结果表明,随着热循环次数的增加,未处理试样与激光处理试样铬层微裂纹条数都逐渐增加,在这个过程中,未处理试样微裂纹面均条数始终高于激光处理试样。

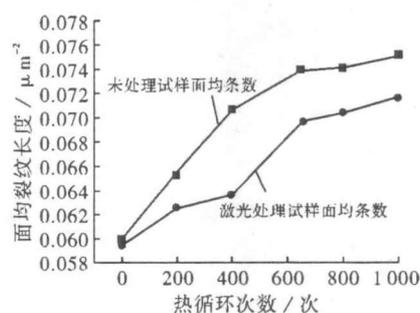


图3 激光区与非激光区面均裂纹长度与热循环次数的关系曲线

由图3的统计结果表明,随着循环次数的增加,未处理试样与激光处理试样的面均裂纹长度都呈增加趋势,热循环650次之后,增幅明显减小。在这个过程中,未处理试样微裂纹面均长度始终高于激光处理试样。

### 2.2 分析

初始镀铬层截面上即有很多裂纹,与无激光处理的试样(图4(a))相比,经过激光处理的试样(图4(b))铬层微裂纹长且稀。

在热循环次数不断增加的过程中,裂纹条数的变化既有多条初始微裂纹扩展交汇,合并为一条长裂纹,

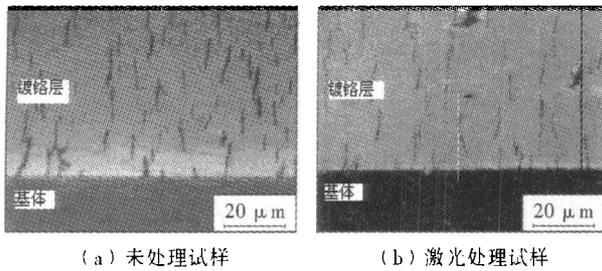


图4 原始态镀铬层截面微裂纹分布

又有新的微裂纹的出现并逐渐扩展,因此总裂纹条数的增减取决于这两种趋势之间的竞争。在多条裂纹扩展交汇作用的结果为逐渐形成了贯穿铬层的主裂纹,如图5所示。面均裂纹长度也都呈增加趋势,虽然激光处理试样单条裂纹的长度大于未处理试样,但由于其裂纹总条数远小于未处理试样,导致其面均裂纹长度小于未处理试样。

实验结果表明,热循环650次时,镀铬层有接近贯穿铬层的裂纹产生,而热循环800次的实验结果显示,已出现明显的贯穿裂纹,因此,估算贯穿裂纹产生时的热循环次数为热循环700次左右,且可以得到结论,贯穿裂纹形成之后,面均裂纹长度增速减小。

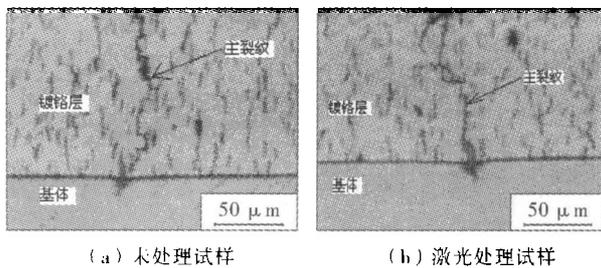


图5 热循环1000次镀铬层截面主裂纹

在主裂纹出现时刻的面均裂纹长度值的大小有待进一步研究,若该时刻的面均裂纹长度值对同一工艺的镀铬层为一稳定值,则可定义为主裂纹出现时的临界面均裂纹长度,该临界值可作为评价镀铬层服役状态的有效参量。

### 3 结论

(1)随着循环热载荷次数的增加,微裂纹面均条数也不断增加;未处理铬层的裂纹面均条数始终高于激光处理的。

(2)随着循环热载荷次数的增加,微裂纹面均长度也不断增加;在主裂纹形成之后,增幅明显减小,在这个过程中,未处理的铬层裂纹面均长度始终高于激光处理试样。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 周重光,杨明江,彭林华等. 先进高重频激光处理对镀铬层结合特性的影响[J]. 兵器材料科学与工程. 2003-09. 26(5):16~18.
- [ 2 ] 张 坤,陈光南,彭玉春. 镀铬枪管的基体初始烧蚀行为. 理化检验物理分册. 2006(42):171~173.
- [ 3 ] 张 坤,罗耕星,陈光南. 镀铬枪管内膛的起始烧蚀行为研究. 理化检验物理分册. 2005(增刊):297~299.
- [ 4 ] 张国祥,张 坤,陈光南,等. 钢基身管内镀铬层下的激光淬火基体界面腐蚀与铬层剥落. 腐蚀科学与防护技术. 2006(06):418~421.
- [ 5 ] 胡 莹,张 坤,陈光南,等. MATLAB在Cr涂层裂纹组态分析中的应用. 金属热处理, 2005, 30(增刊):161~163.