

文章编号: 0258-7025(2006)03-0413-04

激光硬化基体对镀铬层组织和结合的影响

徐向阳^{1,2}, 张 坤², 陈光南², 罗耕星²

(¹ 北京交通大学机电学院材料科学与工程研究所, 北京 100044; ² 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 采用激光相变硬化的方法在电镀前对基体表层预先进行处理, 以改善镀层与基体的结合强度, 提高其承载能力。借助扫描电镜(SEM)分析镀铬层的组织和界面, 对镀层、相变硬化区和基体的硬度变化进行分析, 对镀层抗高温烧蚀能力进行测试。结果表明, 基体经激光相变硬化处理后, 既可以促进镀层外延生长, 又可以在镀层和基体之间实现硬度的梯度过渡, 从而可以改善结合, 缓解应力, 提高承载能力, 镀层的抗剥落能力和使用寿命得到显著提高。激光相变硬化得到细小的淬火马氏体, 位错密度显著增加, 表面活性增强, 是促进镀层外延生长的主要原因。

关键词 激光技术; 激光硬化; 电镀; 外延生长; 界面; 结合

中图分类号 TG 174.4; TN 249 **文献标识码** A

Influence of Laser Hardening Substrate on Microstructure and Bonding of Electroplating Chromium Coating

XU Xiang-yang^{1,2}, ZHANG Kun², CHEN Guang-nan², LUO Geng-xing²

¹ Institute of Materials Science and Engineering, Faculty of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China
² Institute of Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract Under the severe condition of high temperature and heavy load, electroplating chromium coating is extremely easy of premature spallation so that the service lifetime of components is dramatically reduced. Laser phase transformation hardening was used to pretreat the superficial layer of substrate before electroplating in order to improve bonding strength between the electroplating coating and the substrate and enhance the load endurance. The microstructure and interface of electroplating chromium coating were analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The hardness variation of electroplating coating, phase transformation hardening zone, and substrate were analyzed. The ability resisting high temperature ablation was measured. The results showed that laser phase transformation hardening on the substrate could not only effectively promote the epitaxial growth of electroplating chromium coating, but also realize the gradient variation of the hardness from electroplating chromium coating to substrate. Consequently, the bonding was improved, the stress was alleviated, and the load endurance was enhanced. So the spallation resistance and the service lifetime of electroplating chromium coating were evidently enhanced. It was a main reason for the epitaxial growth of electroplating chromium coating that the refined quenching martensite was obtained, the dislocation density was evidently increased, and the surface activity was increased by laser phase transformation hardening.

Key words laser technique; laser hardening; electroplating; epitaxy growth; interface; bonding

1 引 言

电镀硬铬熔点高、硬度高、耐磨损、耐高温, 应用非常广泛^[1,2]。但是在重载和烧蚀条件下, 镀层内

部的固有裂纹容易扩展, 结果导致镀层沿着与基体的界面迅速剥落。镀层一旦剥落, 失去保护的基体在恶劣工况下将迅速失效, 零部件使用寿命严重降低^[3,4], 因此提高镀层与基体的结合性能具有重要

收稿日期: 2005-01-17; 收到修改稿日期: 2005-10-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59836220)和北京交通大学人才基金(2004RC040)资助课题。

作者简介: 徐向阳(1964—), 男, 河北保定人, 北京交通大学机电学院副教授, 博士, 主要从事表面工程、耐磨材料和再制造技术的研究。E-mail: xxy@jdxj.njtu.edu.cn

意义。激光加工在材料制备和表面处理方面已得到广泛的研究,效果良好^[5~8]。预先激光相变硬化基体表层,然后再电镀硬铬,可以显著提高镀层的抗剥落能力,但是对其微观机制尚缺乏深入研究。本文利用扫描电镜(SEM)对镀层的组织和界面进行分析,对激光相变硬化提高镀层与基体结合性能的微观机制进行了探讨。

2 实验方法

基体材料选用经过调质处理的 30CrNiMo 钢。首先采用大功率 YAG 激光对基体表层进行相变硬化处理,使基体表层被迅速加热到临界温度以上完全奥氏体化,然后快速冷却后获得马氏体组织。激光相变硬化后电镀硬铬。镀层的制备工艺见图 1。

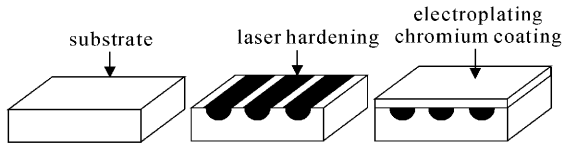


图 1 镀层制备工艺示意图

Fig. 1 Schematic diagram of processing of preparing electroplating coating

镀层制备完成后,用线切割从试板上切取截面样品,分别采用化学腐蚀和离子侵蚀方法制备金相试样。用 HX-200 显微硬度计测试镀层、激光相变硬化区和基体的硬度,实验载荷 300 g。用 FEI Sirion 场发射扫描电镜分析镀层和界面形貌。

3 实验结果及分析

3.1 镀层组织

化学腐蚀得到的镀层及界面附近组织见图 2。可见镀层和基体结合良好,界面无缺陷;激光硬化区由板条马氏体及弥散的粒状碳化物组成;镀层内部存在硬铬固有的微裂纹。因为镀铬层很耐腐蚀,加之其与钢基体在材料性质上差异较大,所以镀层和界面的化学腐蚀较为困难。

图 3 是采用离子侵蚀方法得到的镀层组织。可以看出镀层基本上由两种位向垂直的块体单元组成,每个块体单元内部包含大量的团簇状亚微米结构,这种结构特征符合电沉积的基本原理和工艺特点^[9]。从图 3 还可以发现,镀层内部的微裂纹并不是随机产生的,而是产生在特定的部位,基本上是在两种不同位向块体单元的界面处,这表明块体单元

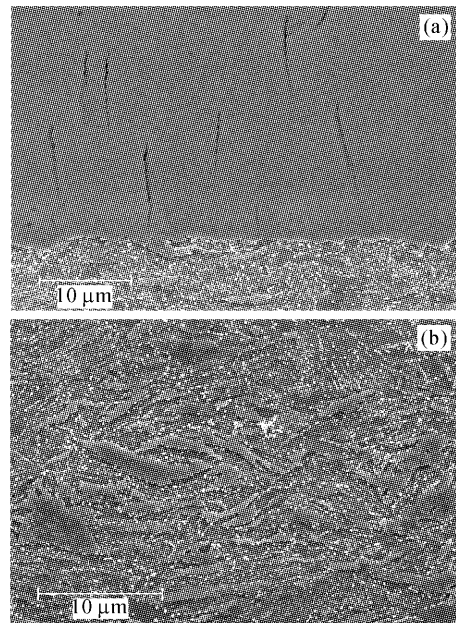


图 2 化学腐蚀得到的镀层和基体组织 (扫描电子显微镜照片)

(a) 带有原始裂纹的镀层及与基体的界面;
(b) 激光硬化区板条马氏体组织

Fig. 2 Microstructures of electroplating coating and substrate by chemical etching (SEM images)
(a) electroplating coating with original cracks and the interface with the substrate; (b) lathing martensite of laser hardening zone

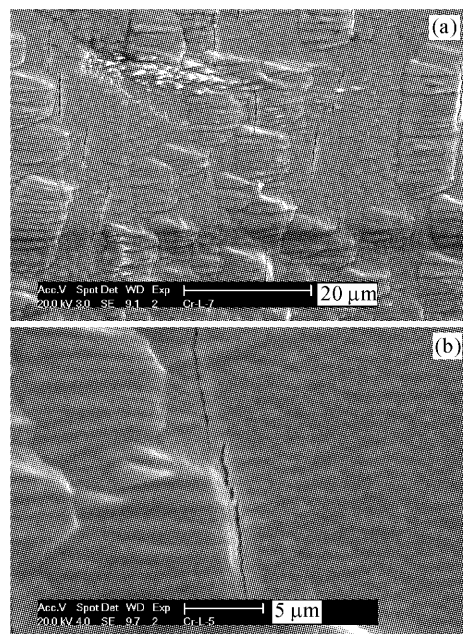


图 3 离子侵蚀得到的镀层组织(扫描电子显微镜照片)

(a) 位向垂直的块体单元及其内部的团簇状亚微米结构;
(b) 沿块体单元界面萌生的固有微裂纹

Fig. 3 Microstructures of electroplating coating by ion beam etching (SEM images)

(a) clustered sub-micron structure within the intercrossed bulk units;
(b) inherent micro-cracks initiated along the boundaries of bulk units

间是弱界面结合,这可能与电镀时夹杂物和添加剂的偏析有关。

3.2 界面形貌

图 4 为采用离子侵蚀方法得到的有激光硬化与无激光硬化镀层界面形貌的比较。可以看出,激光硬化后,镀层以外延方式从基体上形核生长,镀层基体之间没有界面,二者已经成为一个整体。

根据电镀理论,基体表面状况及组织结构对镀

层影响较大。基体材料表面洁净、位错密度高,会促进电沉积原子在基体表面按其晶格结构共格外延生长,增强铬层与基体的结合强度。激光相变处理后的基体表面,其位错密度可高达每平方米 10^{12} 个以上,是普通相变金属位错密度的两个数量级以上。因此,经过激光相变处理的金属表面有利于电镀过程中的电沉积,可以提高沉积速度,提供沉积原子外延生长的条件。

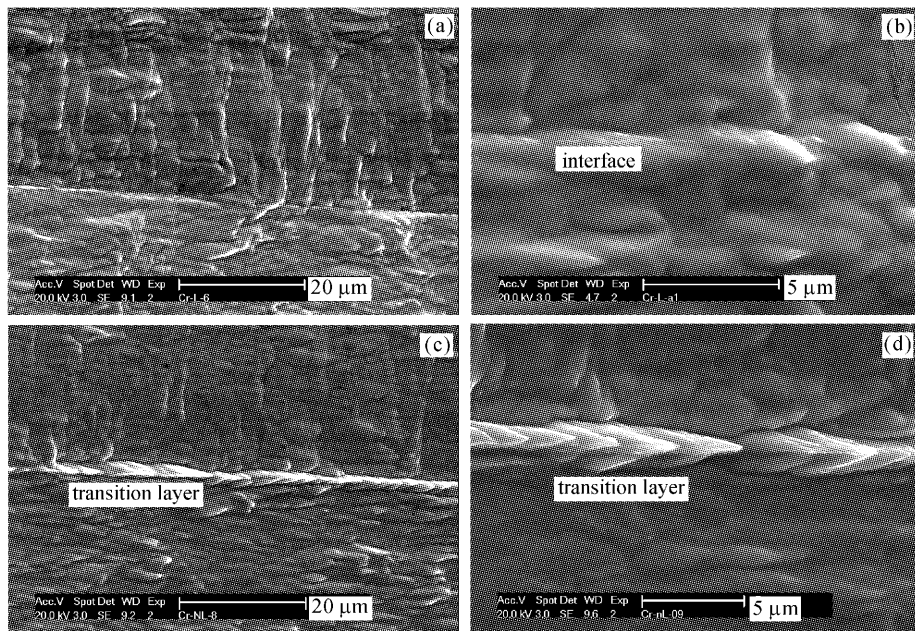


图 4 镀层界面形貌特征(扫描电子显微镜照片)

(a) 激光硬化,低倍形貌;(b) 激光硬化,高倍形貌;(c) 无激光硬化,低倍形貌;(d) 无激光硬化,高倍形貌

Fig. 4 Morphological characters of interface of electroplating coating (SEM images)

(a) low enlarged, with laser hardening; (b) high enlarged, with laser hardening;

(c) low enlarged, without laser hardening; (d) high enlarged, without laser hardening

无激光硬化的基体和镀层间存在 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 宽的中间过渡层,过渡层与镀层以及过渡层与基体之间形成两个新的界面。可以看出,两个新的界面很容易受到离子束的侵蚀,说明其结合较弱。关于过渡层微结构和形成机制还需深入研究。

在高温重载条件下,镀层内部的裂纹垂直扩展到镀层与基体的界面以后,转为沿界面快速扩展是镀铬层剥落的主要形式,因此提高其使用寿命的关键在于提高抗剥落能力。抗剥落能力本质上又取决于结合机制。激光硬化处理后,镀层以外延方式与基体结合。无激光硬化处理,镀层与基体间形成过渡层,界面弱化。因此激光硬化基体表层处理可以显著提高镀层的抗剥落能力。

3.3 硬度变化

基体硬度为 $\text{HV}_{0.3} 340$,激光硬化后提高至 $\text{HV}_{0.3} 605$,镀铬层硬度 $\text{HV}_{0.3} 850$,基体、激光硬化区、镀层在硬度上呈梯度过渡。这种梯度变化有利于缓解应力^[6],特别是作用于界面上的应力,使界面变形更加协调,有利于抑制疲劳裂纹萌生和扩展。

3.4 烧蚀形貌

图 5(a)为经历 3000 次高温烧蚀后激光预先处理基体镀层的截面形貌,可见镀层内部虽然有少量贯通裂纹,但镀层仍是完整的,未发生剥落。图 5(b)为经历 2000 次高温烧蚀后普通镀层的截面形貌,可见镀层已剥落殆尽。结果表明,激光相变硬化基体使镀层寿命显著提高。

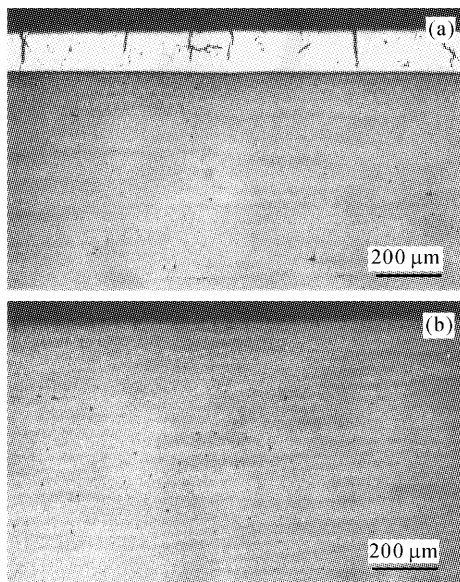


图5 高温烧蚀后镀层的截面形貌
(扫描电子显微镜照片)

(a) 有激光硬化,3000次;(b) 无激光硬化,2000次

Fig. 5 Cross sectional morphology of electroplating coating after high temperature ablation (SEM images)

(a) 3000 times, with laser hardening;

(b) 2000 times, without laser hardening

4 结 论

1) 电镀硬铬由亚微米团簇状微结构组成的具有垂直位向的块体单元组成,固有的微裂纹沿块体单元界面形成。

2) 激光相变硬化基体表层获得细小的淬火马氏体组织,可以增加位错密度,提高表面活性,促进镀层外延生长,同时使镀层和基体在性能上呈梯度过渡。

3) 镀层外延生长和性能梯度过渡,可以缓解界面应力,提高承载能力,从而显著提高镀层的抗剥落能力和使用寿命。

参 考 文 献

- 1 J. Torres-González, P. Benaben. Study of the influence of electrolyte chemical composition on the properties of chromium electrodeposits—microstructure, crystallographic texture, residual stress, and microhardness [J]. *Metal Finishing*, 2003, **101**(6):107~116
- 2 F. Durut, P. Benaben, B. Forest *et al.*. Influence of temperature on the microstructure and properties of chromium electrodeposits [J]. *Metal Finishing*, 1998, **96**(3):52,54~60
- 3 P. J. Cote, G. Kendall, M. E. Todaro. Laser pulse heating of gun bore coatings [J]. *Surface and Coating Technology*, 2001, **146-147**:65~69
- 4 O. Jorgensen, A. Horsewell, B. F. Sorensen *et al.*. The cracking and spalling of multilayered chromium coatings [J]. *Acta Metall. Mater.*, 1995, **43**(11):3991~4000
- 5 Yongqiang Yang, Cuihong Zhang, Yunfei Yang *et al.*. Laser induced self-propagating high-temperature synthesis of TiNi alloy [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(1):35~37
- 6 Cha Ying, Zhou Changchi, Tang Xinan *et al.*. Study of improvement of properties of laser cladding Ni superalloy and WC composite layers [J]. *Chinese J. Lasers*, 1999, **A26**(10):947~950
- 查莹,周昌炽,唐西南等. 改善激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):947~950
- 7 Ye Yunxia, Fu Yonghong, Yang Guocheng *et al.*. Study on laser phase transformation hardening of HT250 by high speed axis flow CO₂ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(10):945~949
- 叶云霞,符永宏,杨国成等. 快速轴流 CO₂ 激光器激光相变硬化处理 HT250 的研究[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(10):945~949
- 8 Wu Ping, Jiang Enyong, Zhou Changchi *et al.*. Microstructure and properties of Ni/WC composite coating prepared by laser cladding [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(4):357~360
- 吴萍,姜恩永,周昌炽等. 激光熔覆 Ni/WC 复合涂层的组织和性能[J]. *中国激光*, 2003, **30**(4):357~360
- 9 F. Ebrahimi, G. R. Bourne, M. S. Kelly *et al.*. Mechanical properties of nanocrystalline nickel produced by electrodeposition [J]. *NanoStructure Materials*, 1999, **11**(3):343~350