

文章编号: 1001-3806(2011)06-0752-04

激光淬火基体对铬层表面形貌的影响

张国祥

(江海职业技术学院 机电工程系, 扬州 225101)

摘要: 为了揭示激光淬火基体对电镀铬层表面形貌的影响, 采用激光离散淬火基体的方法对镀铬层表面形貌进行了研究。铬层表面形成了与离散基体对应的、密实球状组织条带和疏松球状组织条带离散相间的周期性形貌; 密实球状组织条带对应着原始基体区, 而疏松球状组织条带则对应着激光淬火区。借助于高分辨率扫描电镜, 利用化学腐蚀基体和粒子束刻蚀法分别对铬层界面和厚度方向组织形貌的进行了实验分析。结果表明, 铬层表面形成了与其对应的周期性形貌, 其机理是铬层界面周期形貌和铬层不同的生长方式, 将激光离散基体特征传递给了铬层表面。

关键词: 激光技术; 激光淬火; 镀铬层; 表面形貌

中图分类号: TG115.5⁺8; TG156.33 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.06.008

Effect of a laser quenched substrate on the surface morphology of Cr-plating coatings

ZHANG Guo-xiang

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Jianghai Polytechnic College, Yangzhou 225101, China)

Abstract: In order to discover the effect of a laser quenched substrate on the surface morphology of Cr-plating coatings, the substrate was quenched by laser discretely and then Cr-coatings were plated on the surface. There appeared periodical strips alternating with dense and loose ball-like microstructure on the surface morphology in accordance with discrete substrate. The dense and loose strips correspond with original and laser quenched zone respectively. With the help of high resolution scanning electron microscope, the chemically-etching substrate and ion etching methods were used to analyze the microstructure morphologies on the Cr-coating interface and along the thickness direction respectively. The results show that the mechanism of the periodical morphological formation of Cr-coating is that the substrate discrete characteristic is transferred to coating surface by means of the periodical characteristic of coating interface and differential Cr-coating growth mode.

Key words: laser technique; laser quenching; Cr-plating coating; surface morphology

引言

由于铬层具有耐磨性好、摩擦系数低、硬度和熔点高等优异性能, 近几十年来, 电镀铬层在延缓武器身管寿命方面得到了广泛的应用, 但铬层剥落成为影响镀铬身管寿命的关键问题^[1-2]。为了解决我国某种型号镀铬身管寿命长期不达标的难题, CHEN 等人^[3]提出先激光离散淬火预处理基体后再镀铬, 以提高镀铬身管寿命的复合工艺, 并且达到了预期目标。对实际身管解剖表明: 激光离散淬火基体以控制铬层表面主裂纹形成^[3,4]和主裂纹在基体内扩展路径^[5]的方式增强了镀铬层的抗剥落能力。

对激光离散淬火基体/电镀铬层初始试件的界

面研究表明: 激光淬火基体的界面没有形成过渡层^[6]和细化了初始镀铬层界面的组织形貌^[7], 以及与激光离散淬火基体相对应的初始裂纹形貌^[8]。为了进一步揭示激光离散淬火基体提高镀铬身管寿命的机理, 作者就激光离散淬火基体对镀铬层表面形貌的影响进行了实验研究。由于作者仅研究铬层表面形貌, 为此采用低倍体视光学显微镜对其进行分析。为了解释影响机理, 借助于高分辨率扫描电镜, 利用化学腐蚀基体法^[7,8]、离子束刻蚀技术^[6]分别对镀铬层界面和镀铬层厚度方向的组织形貌进行对比实验分析。

1 试验材料

基料为 30CrNi₂MoVA 钢, 激光淬火初始试样的尺寸为 40mm × 40mm × 15mm。先采用额定功率为 500W 的 YAG 固体激光器对试样进行周期性条带状激光离散淬火(工艺参量为: 功率 400W、扫描速率 410mm/

作者简介: 张国祥(1963-), 男, 副教授, 研究方向为激光表面工程与界面力学。

E-mail: zgx20021@sina.com

收稿日期: 2011-03-28; 收到修改稿日期: 2011-04-15

min、光斑直径0.4mm、扫描间距0.4mm),然后将上述试样用线切割机切制成20mm×20mm×15mm的小试样,最后对这些小试样的被镀表面进行研磨、抛光和采用商用镀铬工艺进行电镀,得到厚度为50μm的铬层。离散基体镀铬结构如图1所示。

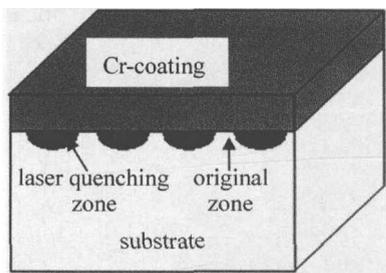


Fig. 1 Schematic of the structure of chromium electroplated on substrate quenched by laser periodically

2 实验结果

对上述试件进行超声波清洗后,利用体视光学显微镜对铬层表面进行观察,得到图2所示的周期性分布组织形貌,其形貌特征是由相互间隔的密实、疏散分布的颗粒组成的条带构成。

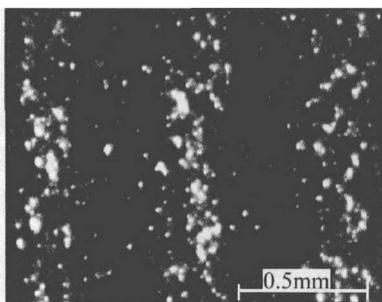


Fig. 2 Cr-coating surface morphology

为了分析铬层表面周期性形貌与激光离散淬火基体之间的关系,利用体积分数为0.03的硝酸酒精溶液对上述试件的基体进行腐蚀,在同样的体视光学显微镜下,将试件旋转一个角度,利用体视显微镜景深好的特点,同时显示铬层和基体表面。图3表明:铬层表面形貌的周期性性与激光离散淬火基体存在对应关系,并且颗粒疏散的区域对应着激光淬火区;反之,颗粒密

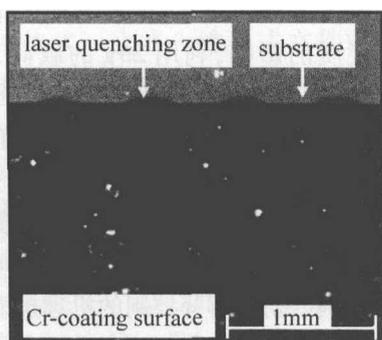


Fig. 3 Corresponding relationship between discrete substrate and surface morphology

实区域对应着原始基体区。这说明铬层表面形貌的周期性取决于激光离散淬火基体,即激光离散淬火基体的特点已经传递给了铬层表面。

利用光学显微镜分别对铬层表面颗粒密实区和疏散区进行分析。如图4所示,图4b中的颗粒实际上是球状组织结构。铬层表面球状组织的形貌与在其它金属基体上电镀铬所观察到的结果相一致,它的形成是铬层中存在氢气所致^[9]。图中球周围的黑色部分是由于球凸起,光线散射所致。

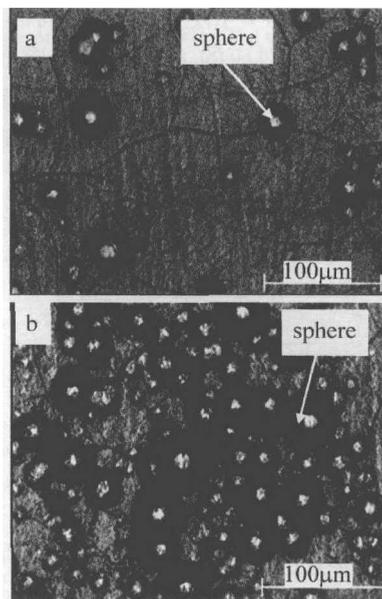


Fig. 4 Comparison of Cr-coating surface morphologies
a—morphology of Cr-coating on laser quenched substrate b—morphology of Cr-coating on original substrate

比较图4a、图4b可知:激光淬火基本上的铬层表面球状组织的数量明显少于原始基体的,后者的球状组织几乎形成了球团,这也进一步证明了低倍体视显微镜观察结果。

通过上述实验表明:激光离散淬火基体上镀铬层的表面形成了与基体离散相对应的周期性球状表面形貌。激光淬火基体的铬层表面表现为疏散分布球状组织的形貌;而与原始基体对应的铬层表面表现为密实,几乎形成球团的形貌。

3 铬层表面形貌形成机理分析

为了分析激光离散淬火基体对铬层表面形貌的影响机理,利用化学腐蚀基体法^[7-8]和型号为S-750的高分辨率扫描电镜,对激光离散淬火基体上的铬层界面进行分析,得到图5。图5中的A区和B区域分别对应着激光淬火区和原始基体区域的铬层界面形貌。图5表明,激光离散淬火基体可以得到与之对应的周期性铬层界面。这个现象也与利用体视光学显微镜得到的图2和图3中所观察到的离散基体与铬层表面周期

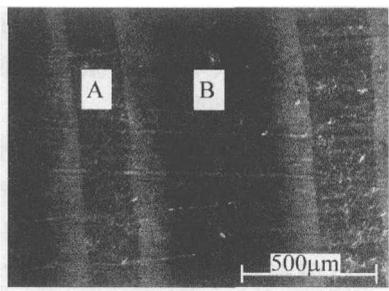


Fig. 5 Morphology of Cr coating interface

性形貌相对应的结果一致。

对图 5 中的 A 和 B 相连部分进行局部放大处理,如图 6 所示,与图 5 对应的 A 和 B 部分存在明显不同的颗粒密度,与激光淬火区对应的铬层界面颗粒密度明显小于原始基体的,对 A 区和 B 区域颗粒特点的进一步研究见参考文献[7]。

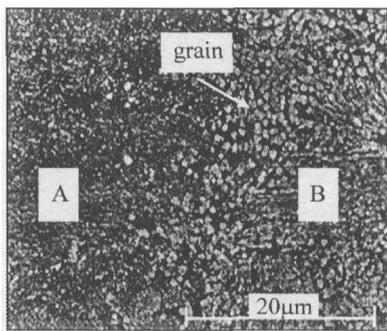


Fig. 6 Enlarging image of morphology of Cr-coating interface

为此,图 6 进一步说明:除了图 5 显示的铬层界面周期性形貌以外,铬层表面的球状组织分布规律也与铬层界面的颗粒分布规律相一致,这也说明基体离散形貌也传递给了铬层界面。

为了进一步分析离散基体对铬层表面形貌影响的机理,利用离子束对铬层进行刻蚀^[6]和同样的扫描电镜对铬层厚度方向的组织形貌进行分析。比较图 7a、图 7b 可知,激光淬火区和原始基体上的铬层组织形貌完全不同,除了激光淬火基体没有形成界面过渡层^[6]以外,前者的组织形貌主要以垂直界面的形式存在;而后者存在大量的平行于界面的微小板状结构,这说明在远离界面的组织形貌也同样受到离散基体的影响,这些微小板状结构可能就演化成了铬层表面的球状组织。另一方面,根据电镀理论^[10]可知,激光淬火基体上的铬层属于垂直界面生长,而原始基体的是平行界面生长,为此这些微小板状结构是由于铬层生长方式决定的。

上述分析表明:在激光离散淬火基体上镀铬,形成了与之对应的周期性分布的铬层表面形貌,其原因是通过改变铬层生长方式和形成周期性界面形貌将离散基体形貌传递到了铬层表面。

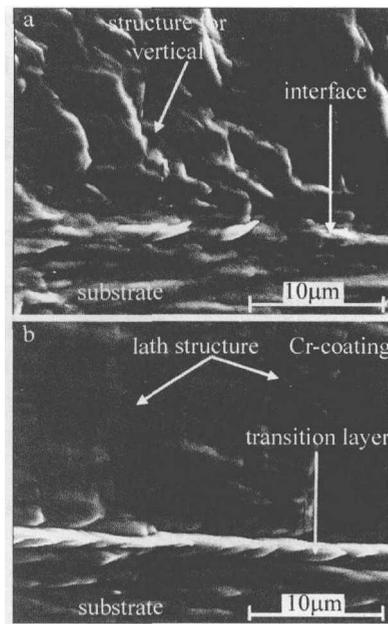


Fig. 7 Morphological comparison of Cr-coating along the thickness direction a—Cr-coating on laser-quenching substrate b—Cr-coating on original substrate

4 讨论

(1) 根据图 7 所示,在激光淬火基体与原始基体上铬层界面和界面以上铬层明显存在着不同的组织形貌,产生的可能原因是:在激光淬火钢基体表面上形成了大量的位错^[11],这些位错的存在影响了铬层生长方式^[10]。但激光淬火基体是否也改变了铬层和基体的结合方式需要作进一步实验分析。

(2) 从电结晶形核机理角度,就激光淬火基体对铬层生长方式产生影响的材料因素进行了讨论。激光淬火基体不但在材料表面形成了大量位错,而且也形成了耐腐蚀的马氏体^[11]。根据电镀工艺要求,在电镀之前,需要对基体表面进行酸洗处理,为此也形成了周期性的基体表面形貌。周期性的几何形貌对界面、表面形貌的影响是要开展的下一步研究工作。

(3) 上述对铬层表面形貌研究表明:激光淬火基体与原始基体对铬层表面形貌影响的主要差别在于球状组织的密度不同。为了分析两者形貌区别对铬层表面力学性质的影响,利用 25g 的载荷,分别对球和没有球的区域进行硬度测量,其硬度压痕形貌见图 8,两者的形貌比较表明:二者的硬度没有明显的区别,实际测量结果分别是:554.6HV(激光淬火基体)和 535.9HV(原始基体),其结果也表明二者硬度没有显著差异。但在使用过程中,激光离散淬火基体可以控制铬层表面主裂纹形貌,初步解释控制的机理是沿基体界面周期性强韧化的结果^[3,4]。但由于激光淬火基体可以细

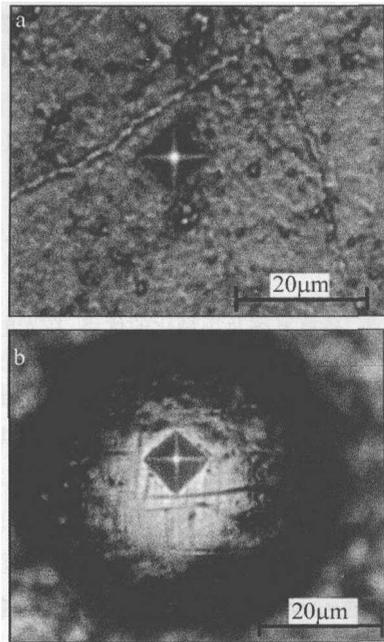


Fig.8 Comparison of indentation morphologies

a—indentation morphology without ball b—indentation morphology of ball

化铬层界面组织晶粒尺寸^[7]和上述分析的激光淬火基体形貌已经延续到了铬层表面,为此对表面组织形貌的进一步细化研究和采用其它力学测试方法对各自区域的铬层表面力学性质进行评价也是解释激光离散淬火基体可以控制铬层表面主裂纹形貌需要开展的工作。

5 结论

激光离散淬火基体/电镀铬层结构的铬层表面形貌实验研究表明:铬层表面也形成了与其对应的密实球状组织条带和疏松球状组织条带离散相间的周期性形貌。密实球状组织区域对应着原始基体,而疏松球状组织区对应着激光淬火区。其机理是通过铬层界

面周期性形貌和铬层不同的生长方式,将激光离散基体特征传递给了铬层表面。

参 考 文 献

- [1] SOPOK S, RICKARD C, DUNN S. Thermal-chemical-mechanical gun bore erosion of an advanced artillery system part one: theories and mechanisms[J]. *Wear*, 2005, 258(1/4): 659-670.
- [2] SOPOK S, RICKARD C, DUNN S. Thermal-chemical-mechanical gun bore erosion of an advanced artillery system part two: modeling and predictions[J]. *Wear*, 2005, 258(1/4): 671-682.
- [3] CHEN G N, LUO G X, ZHANG K, *et al.* A new method for improving service life of chrome-plated gun barrels by laser strengthening [J]. *Acta Armamentaria*, 2003, 24 (s1): 6-10 (in Chinese).
- [4] ZHANG G X, CHEN G N, ZHANG K. Effect of mismatch of yielding strength and residual stresses along substrate interface on interfacial crack propagation [J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2006, 36(3): 294-297 (in Chinese).
- [5] ZHANG G X, ZHANG K. The effect of laser hardened basal body on spread path of main cracks in chromium layer [J]. *New Technology & New Process*, 2006(9): 10-12 (in Chinese).
- [6] XU X Y, ZHANG K, CHEN G N, *et al.* Influence of laser hardening substrate on microstructure and bonding of electroplating chromium coating [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2006, 33(3): 413-416 (in Chinese).
- [7] LI H X, CHEN G N, ZHANG G X, *et al.* Characteristics of the interface of a laser-quenched steel substrate and chromium electroplate [J]. *Surface & Coatings Technology*, 2006, 201(3/4): 902-907.
- [8] ZHANG G X, LI H X, CHEN G N. The study of the micro-crack morphologies on the initial electroplated chromium layer by substrate-chemically etching method [J]. *China Surface Engineering*, 2006, 19(4): 8-12 (in Chinese).
- [9] PINA J, DIDS A, FRANCOIS M, *et al.* Residual stresses and crystallographic texture in hard-chromium electroplated coatings [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1997, 96(2/3): 148-162.
- [10] HUANG Z X, WU Ch S. *The plating theory* [M]. Beijing: Chinese Agricultural Machinery Press, 1982: 76, 26-43 (in Chinese).
- [11] WU G, SONG G M, HUANG W J. Influence of laser processing parameters on the case-depth and the hardness [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(2): 163-165 (in Chinese).
- [12] WANG C. Study on three-dimensional carving technique by laser ablation of hard materials [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2007: 8 (in Chinese).
- [13] NING G Q, ZHU Z Y, ZHU S W, *et al.* Figure and image processing in laser marking [J]. *Laser Technology*, 2002, 26(4): 317 (in Chinese).
- [14] MAO H K, MAO W M, HOU H. Research on non-form 3-D mesh generation based on STL files [J]. *System Simulation Technology*, 2008, 4(3): 9-10 (in Chinese).
- [15] TAO Y R, ZHANG Y J, PEI S, *et al.* Analysis on mobile communication channel modeling based on ray-tracing [J]. *Radio Communications Technology*, 2010, 36(2): 13-14 (in Chinese).
- [16] YAN W M, WU W M. *Data structure* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997: 15-17 (in Chinese).
- [17] YU G H, ZENG X Y. Study on a new three-dimensional laser engraving technology [J]. *China High Technology Enterprises*, 2010(27): 13-14 (in Chinese).

(上接第 737 页)

STL 3 维模型展开了研究,可把算法思想全部或者部分移植到其它 3 维格式的文件,让 3 维深雕系统软件支持更多的格式。这些 3 维格式文件需满足两个条件:(1)在待加工的方向上拥有完备的面或体的信息,如具有封闭的包络面或空间实体;(2)3 维文件的构成元素(点、线、面)整体可以由某种空间方程统一表达,或者分局部有规律的由多个方程联合表达。

参 考 文 献

- [1] YU G H, ZENG X Y. Study on a new three-dimensional laser engraving technology [J]. *China High Technology Enterprises*, 2010(27): 13-14 (in Chinese).