

激光毛化对镀铬层结晶位向及摩擦磨损性能的影响

周重光¹, 刘国孝¹, 苗美润¹, 贺勇¹, 彭林华², 阎洮³, 谢志萍⁴

(1.中国兵器科学研究院 宁波分院,浙江 宁波 315103;2.中科院力学所,北京 100080;3.中科院兰州物化所,甘肃 兰州 730000;4.内蒙古一机集团 包头北方创业股份有限公司,内蒙古 包头 014032)

摘要 针对激光毛化提高镀铬层硬度和耐磨性的现象,采用 X-衍射测试不同状态铬层晶粒位向,利用晶粒密排面的排列位向定性分析铬层织构改变情况。结果表明,基体经毛化处理产生的高密度位错和表面形貌改善了电镀铬层织构,是使铬层硬度、耐磨性能提高的重要原因。

关键词 激光毛化;铬层;摩擦磨损;晶格位向

中图分类号 TG113.11

文献标识码 A

文章编号 1004-244X(2010)04-0082-03

Effect of laser-texturing on crystal orientation and frictional and wearing behavior of Cr-plated coatings

ZHOU Chongguang¹, LIU Guoxiao¹, MIAO Meirun¹, HE Yong¹, PENG Linhua², YAN Yao³, XIE Zhiping⁴

(1.Ningbo Branch of China Academy of Ordnance Science, Ningbo 315103, China; 2.Institute of Mechanics Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3.Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4.Baotou North Chuangye Limited Company, Inner Mongolia First Machinery Group, Baotou 014032, China)

Abstract According to the improvement of the hardness and wear-resistance of the Cr-plated coating by laser-texturing, the crystal orientation of Cr-plated coating with different states was measured by means of X-ray diffraction and the texture evolution of Cr-plated coating were qualitatively analyzed using the orientations of the close-packed plane of the crystal. It show that the structure of the coating is modified by high-density dislocations and surface morphology, resulting from laser-texturing process, which is considered to be the important factor of improving the hardness and wear resistance.

Key words laser texturing; Cr-plated coating; frictional and wearing behavior; crystal orientation

金属材料多晶无序排列结构呈现了金属的各项同性特征,晶粒一旦受到外界条件产生有续定向排列,金属表现出各项异性特征,从组织结构上认为出现了织构。电镀硬铬层以高硬度、良好耐磨损性能特点被用于高载荷磨损防护中。随着铬层厚度增加造成铬层结合力下降,铬层出现开裂、剥落、耐磨损性能显著下降的普遍现象,其原因文献归结为铬层密排面沿表面生长,形成结晶织构^[1]。消除因电沉积形成织构的影响,改善铬层性能的研究报道不多见。

为提高铬层的结合性能,采用激光毛化技术对电

镀基体进行高密度毛化处理,改变表面形貌和组织结构。对铬层硬度、摩擦磨损测试结果表明,基体经毛化处理后,铬层的硬度和摩擦磨损性能都明显提高。用 XRD 衍射晶体结构分析技术,以铬粉为基准样,对处于不同状态的铬层进行了晶粒位向的测量,从金属学角度分析了经激光毛化的镀铬层的物理特性变特征。

1 试验准备

试验用 PCrNi3MoVA 钢锻造板料将经调质处理,用线切割、磨削加工成两块 3.5 mm×60 mm×250 mm

收稿日期:2009-09-20;修回日期:2010-05-14

作者简介:周重光,男,研究员;主要从事金属材料及热处理、表面技术等研究工作。

5 参考文献

- [1] Galdikas A, Mironas A, Setkus A. Copper-doping level effect on sensitivity and selectivity of tin oxide thin gas sensor [J]. Sens Actuators B, 1995, 26/27: 29-32.
- [2] Li G J, Kawi S. High-surface-area SnO₂: a novel semiconductor-oxide gas sensor [J]. Mater Lett, 1998, 34: 99-102.
- [3] Tong M S, Dai G R, Gao D S, et al. Gas-sensing properties of PdO-modified SnO₂-Fe₂O₃ double-layer thin-film sensor pre-

pared by PECVD technique [J]. Sensors and Actuators B, 2000, 59(4): 877-884.

- [4] Eun-Tae, Lee E T, Jang G E, et al. Fabrication and gas sensing properties of α -Fe₂O₃ thin prepared by plasma enhanced chemical vapor deposition [J]. Sensors and Actuators B, 2001, 77(1/2): 221-227.
- [5] Lee D D, Choi C H. Thick-film hydrocarbon gas sensors [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1990, 1(1/6): 231-235.

试样,平面磨床磨光试板,其中一块表面磨光后经高重频脉冲激光毛化处理,两块试板用螺栓紧固叠加为一体,毛化面朝外。在 180 °C 烘箱中进行 3 h 消除应力处理。试样按某产品生产工艺同时双面镀铬,出槽后 270 °C×3 h 去氢回火,铬层厚约 0.12 mm,用线切割方法割下 $\phi 24$ mm 圆片试样。对两种试样进行维氏硬度测量。摩擦磨损试验由中国科学院兰州物理化学研究所固体润滑国家重点实验室承担,球-盘接触干摩擦磨损试验在瑞士产的 THT07-135 型常温、高温摩擦磨损试验机上进行,盘为镀铬试样,球为 Si_3N_4 陶瓷。试验前所有试样均在丙酮中超声清洗。试验条件:速度为 0.73 mm/s、负荷为 10 N、摩擦距离为 1.3 km、摩擦半径为 6 mm。采用表面轮廓仪测量盘(试样)的磨损截面积,计算出磨损率,摩擦因数由试验机自动记录和处理得出。采用 XRD 衍射分析技术,对两种样品的特定晶面进行统计测量,测量晶面是(110)和(211),用(110)/(211)比值结果描述铬层产生织构程度。

2 试验结果及分析

磨痕形貌照片见图 1、2;摩擦磨损试验结果见表 1;镀铬表面 XRD 衍射分析和硬度测试结果见表 2。

电镀金属铬层是电化学结晶的金属多晶体,原子

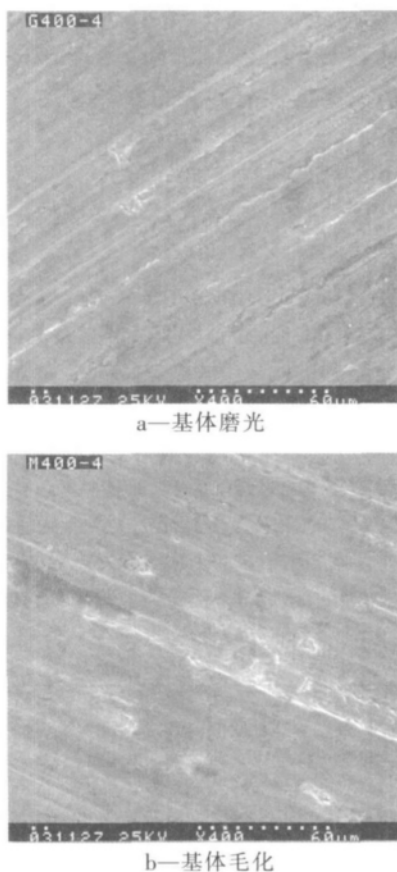


图 1 室温磨损表面形貌

Fig.1 Photographs of worn surface under room temperature

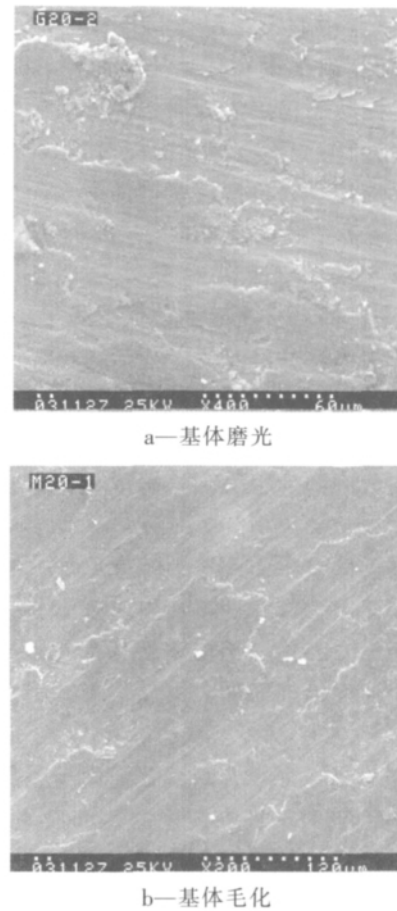


图 2 400 °C 磨损表面形貌

Fig.2 Photographs of worn surface under 400 °C temperature

表 1 摩擦磨损试验性能

Table 1 Testing result of frictional and wearing behavior

试验温度	试样状态	摩擦因数	磨损深度/ μm	磨损体积/ mm^3	耐磨系数
常温	基体磨光	0.655	36	1.336	0.75
	基体毛化	0.642	26.7	0.993	1.01
	影响幅度/%	2	-25.8	-25.7	+34.7
400 °C	基体磨光	0.509	21.5	0.469 5	2.14
	基体毛化	0.504	15.3	0.388	2.61
	影响幅度/%	0.98	-28.8	-17.4	+21.96

注:“-”为减少,“+”为增加;耐磨系数(耐磨性)是磨损体积的倒数。

表 2 XRD 结果和硬度

Table 2 Testing result of XRD and hardness

试样状态	(110)/I(211)%	硬度 HV
铬粉	21.8	—
基体磨光	56.55	823.3
基体毛化	25.8	931.5

按 α -体心立方晶体组成电化学结晶铬层。镀层的结晶形态可归纳为层状、块状、棱锥状、纤维状、脊状、螺旋状等基本类型,在一定条件下,不同晶面的生长条件会改变原有的晶体结构,出现新的结晶取向,当电结晶组织出现择优取向时铬层形成织构。金属铬的(110)为密排面,在一定厚度镀铬层中平行于基体金属生长^[1-2]。

在 X-衍射试验中假设金属铬粉组成的晶面排列是无章的,各晶面衍射强度在任何角度相同,无织构现象。试验检测不同状态铬层沿表面相同衍射角范围内的典型密排晶面(110)与非典型晶面(211)比的百分数同铬粉衍射结果对比,评价镀层密排面沿表面形成织构的程度。基体经激光毛化处理的铬层晶面比值为 25.8%,基体磨光铬层的比值达到 56.55%,说明基体经毛化处理后(110)密排面平行表面的数量下降了一倍,同铬粉比值相当,表明基体经激光毛化后镀铬层的织构得到消除。从电化学结晶过程分析,由于铬原子沉积受表面原子位错能的影响发生变化,如果基体金属表面各晶粒原子排列的取向性很强烈,电沉积的原子就会受基体晶粒位向影响远程排列。基体经激光毛化在表面产生非平衡马氏体组织使位错大幅度增加,基体高密度毛化几何表面因数都有利于镀铬过程中铬原子沉积受钢基体表面原有晶格结构影响外延生长,铬层结晶组织的各向同性层得到增加,推迟了电镀织构组织的出现。

在传统电镀工艺中人们试图把样品表面打磨的十分光滑、平整,目的是提高镀层的表面质量和结合力,经磨光和电抛光的钢基体表面原子缺陷大幅减少,电沉积的铬原子受基体表面原子排列状态影响减小,电沉积原子很快就会达到择优取向的生长条件,密排面原子沿几何表面生长形成织构。而相对粗糙的、高位错的基体表面具有高位能原子表面,电沉积铬原子出现择优取向之前能生成比较厚的无定向镀层。当无定向铬层延续到表面时,电镀铬层的织构就得到抑制或消除,镀层强度和硬度会得到提高^[3-4],这同铬层的硬度测量结果相符。在试验中基体毛化试样的相对的摩擦因数较低,磨损破坏程度大为降低。基体未经毛化处理的电沉积硬铬层在形成时产生的织构,使得晶体取向(原子密排面)在表面增加,铬层出现各项异性,抵抗外力破坏的能力也产生了方向性。图 1、2 中 a 是常温摩擦磨损形貌,磨痕有明显塑性变形特征,基体磨光铬层呈现鳞片状,有被磨损切割片状物脱落。图 2 是 400 °C 摩擦磨损形貌,基体磨光铬层磨损形貌呈犁沟状,基体毛化铬层犁沟状特征不明显,有层状脱落特征,表现高硬度脆性破坏。从磨痕形貌分析,基体毛化铬层强度较

高,耐磨性好,同铬层硬度测试规律性一致。Vingsho 认为材料被磨去的基本现象是显微范围内的断裂,把磨损破坏的过程描述成材料的变形和断裂破坏^[5]。在磨损中磨损量的大小取决于表面突起接触处剪切断裂和显微切削时塑性形变的滑移系统,为了克服晶格对位错运动的阻力,滑移主要发生在原子密度最大的结晶面上,发生在密排方向。在此方向上,两个平衡原子位置之间的距离最短,滑移所需能量最小,容易产生塑性破坏。当铬层表面原子以密排晶面排列结构增加,原子滑动能量减少,铬层显微断裂增多,铬层的结合强度下降,表现出抗磨损的能力下降。

由于激光毛化处理使基体表面位错大幅度增加和表面微观毛化因数增加了电沉积铬层外延生长层,在获得的有效镀层内克服了传统镀铬层的织构组织,提高了镀铬层硬度和耐磨损性能。

3 结 论

1) 基体经激光毛化镀铬层的硬度、摩擦磨损特性能获得了显著提高。

2) 由于基体激光毛化的作用铬层晶面排列发生了变化,(110)密排面沿镀层表面排列的织构组织得到改善。

3) 铬层的多位向晶粒结构减少了沿镀层表面生长的密排面数量,阻止了原子沿密排面的滑移是激光毛化镀铬层耐磨损性能提高的重要因数。

4 参 考 文 献

- [1] 赵文珍. 材料表面工程导论[M]. 西安交通大学出版社, 2001:350-351.
- [2] Sohi H M, Kashi A A, Hadavi M S. Comparative tribological study of hard and crack-free electrodeposited chromium coatings[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 138: 219-222.
- [3] 李怀学, 陈光南, 张国祥, 等. 初始镀铬层的基体溶解法研究[J]. 材料热处理学报, 2006, 27(2): 94-97.
- [4] 周重光, 彭林华. 激光强化对镀铬层结合性能的影响[J]. 兵器科学与工程, 2004(6): 34-37.
- [5] 孙家枢. 金属的磨损[M]. 冶金工业出版社, 1992: 138-213.

《兵器材料科学与工程》采编平台

2010 年编辑部已开通《兵器材料科学与工程》采编平台, 网址: www.bckg.cb.cnki.net. 作者经注册后可进行投稿(请使用 Word 格式上传稿件)、稿件查询。作者如果收不到稿件编号, 请致电编辑部 0574-87902254 查询。