

灭茬刀火焰喷焊 Fe6 涂层组织及耐磨性能

张旭, 马跃进, 赵建国, 李建昌, 刘金生, 郝建军

(河北农业大学 机电工程学院, 河北 保定 071001)

摘要: 目的 解决灭茬刀耐磨性不足, 报废更换频繁的问题。方法 在 Q235 钢基体上采用氧乙炔火焰喷焊技术制备 Fe6 涂层, 分析涂层的硬度及微观组织形貌, 并与原 65Mn 灭茬刀进行摩擦系数、磨损失重对比试验。结果 Fe6 涂层与基体之间形成了良好的冶金结合。涂层组织主要由 Fe-Cr-Ni 固溶体合金相、Cr₇C₃ 相、Cr₂₃C₆ 相和 Cr₂B 相组成, 表面硬度平均值在 56.6HRC 左右, 约为 Q235 钢的 2 倍。Fe6 涂层摩擦系数稳定在 0.65 左右, 约为 65Mn 灭茬刀试样的 2/3; 磨损失重实验进行 3 h 后, Fe6 涂层与 65Mn 试样的磨损失重相差 1 倍左右。结论 经氧乙炔火焰喷焊 Fe6 涂层进行表面强化后的 Q235 钢灭茬刀在硬度、耐磨性等方面得到显著提高, 使用寿命可得到有效延长。该研究为氧乙炔火焰喷焊 Fe6 涂层在灭茬刀耐磨强化与修复上的推广及应用提供了可靠的依据, 同时也为其他农业机械关键易磨损零部件的表面强化提供了一定的参考。

关键词: 灭茬刀; 氧乙炔火焰喷焊; Fe6 涂层; 显微组织; 摩擦系数; 耐磨性

中图分类号: TG174.442 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2015)10-0040-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.10.007

Microstructure and Wear-ability of the Stubble-cleaning Cutter with Flame Spray Welding Fe6 Coating

ZHANG Xu, MA Yue-jin, ZHAO Jian-guo, LI Jian-chang, LIU Jin-sheng, HAO Jian-jun

(College of Mechanical and Electric Engineer, Agriculture University of Hebei, Baoding 071001, China)

ABSTRACT: **Objective** To solve the problem of lack of wear resistance, frequent scrapping and replacement of the stubble-cleaning cutter. **Methods** Fe6 coating was prepared on Q235 steel substrate with flame spray welding technology. The hardness, microstructure and wear resistance were investigated by scanning electron microscope, energy depressive spectroscopy, X-ray diffractometer, microhardness tester and reciprocating friction testing machine, and the contrast test of the coefficient of friction and the wear loss was conducted between the original 65Mn stubble-cleaning cutter and the coating. **Results** The metallurgical bond between coating and matrix was well formed. The microstructure of the coating was mainly composed of Fe-Cr-Ni phase, Cr₇C₃ phase,

收稿日期: 2015-06-19; 修订日期: 2015-07-12

Received: 2015-06-19; Revised: 2015-07-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD06B00); 现代农业装备研发中心建设项目(XD 2015001)

Fund: Supported by National Key Technology Support Program(2014BAD06B00); Modern Agricultural Equipment R & D Center Construction Project(XD 2015001)

作者简介: 张旭(1992—), 男, 河北人, 硕士研究生, 主要研究金属表面强化涂层材料及制备。

Biography: ZHANG Xu(1992—), Male, from Hebei, Master degree candidate, Research focus: materials and preparation of surface strengthening coatings.

通讯作者: 马跃进(1958—), 男, 河北人, 教授, 主要从事表面工程及农业机械设计的相关研究。

Corresponding author: MA Yue-jin(1958—), Male, from Hebei, Professor, Research focus: surface engineering and agricultural machinery design.

Cr₂₃C₆ phase and Cr₂B phase. The average surface hardness of the Fe6 coating was about 56.6HRC and was almost 2 times that of the Q235 steel. The coefficient of friction of the Fe6 coating was about 0.65 and was about 2/3 of that of the 65Mn stubble-cleaning cutter sample. After 3 hours of wear weight loss experiment, the difference of the wear weight loss between Fe6 coating and 65Mn sample was about 1 fold. **Conclusion** After welding, the hardness and wear resistance of the stubble-cleaning cutter were significantly increased and the service life could be effectively extended. This study provides a reliable basis for the popularization and application of the flame spray welding Fe6 coating in wear-resistant strengthening and repairing of stubble-cleaning cutter, and at the same time also provides theoretical and practical basis for the surface strengthening of other easy-wear parts in the agricultural machinery.

KEY WORDS: stubble-cleaning cutter; oxyacetylene flame sprays welding; Fe6 coating; microstructure; coefficient of friction; wear resistance

灭茬刀作为农业机械触土刀具的一种,是灭茬作业中最关键的易磨损工作部件,其所处的工作环境极其恶劣,受到土壤、砾石、农作物秸秆等坚硬物质的强烈磨粒磨损^[1-2]。传统灭茬刀所用的材料多为淬火回火 65Mn,其在田间耕作环境下的工作过程中,磨损严重,失效频繁,而且 65Mn 材料价格较贵,这一现状严重影响了农业生产的效率,提高了成本,同时也造成了不必要的材料损耗和能源浪费^[3-6]。运用适当的表面工程技术对以普通碳钢为材料的低价格灭茬刀进行表面强化处理,可以提高其耐磨性,延长其使用寿命,具有着很好的应用前景和实际意义^[7-8]。

目前,科研人员就等离子喷涂、氩弧熔覆、等离子熔覆、电火花沉积等工艺方法在农机刀具表面制备复合强化涂层的可行性进行了大量研究,取得了一些显著的成果^[9-11],但这些方法普遍存在设备昂贵、工艺复杂、涂层厚度不足等问题,因此在农机刀具表面强化方面的推广和应用受到一定阻碍^[12-14]。文中采用工艺成熟的氧乙炔火焰喷焊技术在 Q235 钢基体上制备了 Fe6 喷焊层,并对涂层的微观组织形貌、硬度、摩擦系数、磨损失重等性能参数进行了测试研究,为灭茬刀具的表面强化与修复提供了一定的理论和实践依据。

1 试验

金属基体为 Q235 钢板,喷焊前先对表面进行喷砂粗化处理,除去油污、氧化皮和铁锈等杂质,直至出现金属光泽,然后用 99.5% 丙酮清洗,并用吹风机吹干。喷焊材料为 Fe6 粉末,其主要成分(以质量分数计)为:C 0.8%,B 4%,Si 2%,Cr 7.5%,Ni 32%,Fe 余量。

采用氧乙炔火焰喷焊装置在 Q235 钢基体表面喷焊 Fe6 强化涂层,喷枪为 P6-2/h 型氧乙炔火焰喷焊枪。喷焊工艺参数为:预热温度 350 ℃,乙炔流量 16

L/min,喷涂距离 30 mm。

对喷焊试样进行取样及金相制样后,采用 TESCAN VEGA3 LMH 型扫描电子显微镜观察涂层微观组织形貌,采用 EDAX-OCTANE PRIME 型能谱分析仪对涂层进行能谱分析,采用 D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪对涂层进行物相分析,采用 MH-6 型硬度计测试涂层的洛氏硬度,采用 HSR-2M 型往复式摩擦磨损试验机测试涂层的摩擦系数,采用自制的土槽磨损试验台进行磨损失重实验。

2 结果与分析

2.1 喷焊层微观形貌

图 1 为 Fe6 喷焊层表面放大 1500 倍后的微观组织形貌,可以看出,涂层主要由灰白色基体、六角形颗粒、板条状颗粒、氧化物和孔隙构成,深灰色的六角形颗粒和板条状颗粒堆积在灰白色基体中,黑色的孔洞为孔隙,部分黑色小点为氧化物杂质。

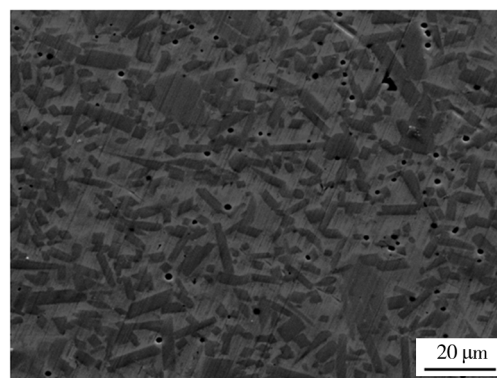


图 1 涂层表面 SEM 形貌

Fig. 1 SEM morphology of the coating surface

图 2 为 Fe6 喷焊层截面放大 1500 倍后的微观组织形貌,左侧为基体区,右侧为喷焊涂层区,中间为结

合带。喷焊涂层区、结合区、基体区分界明显,涂层与基体之间形成了牢固的冶金结合。在预热以及氧乙炔火焰喷焊过程中产生的高温使基体区表面材料部分奥氏体化并形成一层薄薄的熔化层,熔融的合金粉末粒子与基体表面发生碰撞,两者的液相之间发生迁移和扩散,元素之间相互渗透与包覆,发生冶金反应,保证了喷焊层与基体的冶金结合。

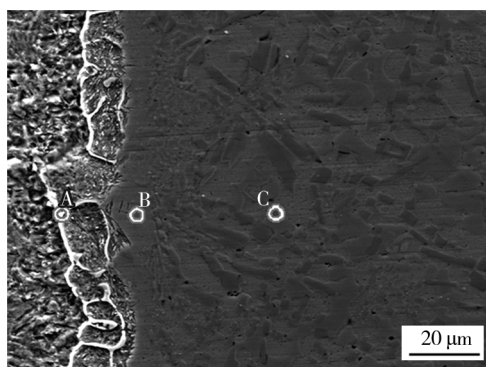


图2 涂层截面 SEM 形貌

Fig. 2 SEM morphology of coating section

2.2 喷焊层组成

对图2中结合带两端的A、B区域和喷焊涂层的C区域进行EDS能谱分析,结果见表1。由数据可知,涂层中化学元素主要为Fe、Ni、Cr、Si和C,不同区域的化学元素种类和含量存在差异。A区域位于结合带白色亮边处,此区域C原子聚集,还存在少量的Cr元素,形成了含有Cr元素与C元素的硬质相。B、C区域的碳元素含量较低,仪器未测出。此外,Cr元素与Ni元素在涂层区域含量较高,在结合带区域含量较低;Fe元素是越靠近基体,含量越高。

根据能谱分析的元素组成及其可能组成的化合物的相应特点,可以推断:涂层区域主要为Fe-Cr-Ni固溶体合金相,六角形及板条状颗粒可能由 Cr_{23}C_6 、 Cr_3C_2 、 Cr_7C_3 等铬碳化物组成。Fe-Cr-Ni固溶体起到了固溶强化作用,铬碳化物硬质相数量较多,均匀弥散在固溶体中,又起到了弥散强化作用,从而使得喷焊层的硬度和耐磨性能大大提高^[15]。

表1 能谱分析结果

Tab. 1 The result of EDS analysis

Zone	Weight percent%					Atom percent/%				
	C	Cr	Si	Ni	Fe	C	Cr	Si	Ni	Fe
A	14.82	1.10	—	2.52	81.41	44.72	0.77	—	1.56	52.85
B	—	2.45	2.14	17.46	77.95	—	2.60	4.19	16.38	76.84
C	—	6.60	—	17.00	76.40	—	7.09	—	17.46	76.44

涂层的X射线衍射物相分析结果见图3。由图3可知,涂层主要由Fe-Cr-Ni固溶体合金相、 Cr_7C_3 相、 Cr_{23}C_6 相、 Cr_2B 相组成。在衍射角 42° 、 50° 附近出现了 Cr_7C_3 衍射峰,表现在(151)、(222)晶面择优生长,在(151)晶面的衍射峰最强,说明其择优取向强于

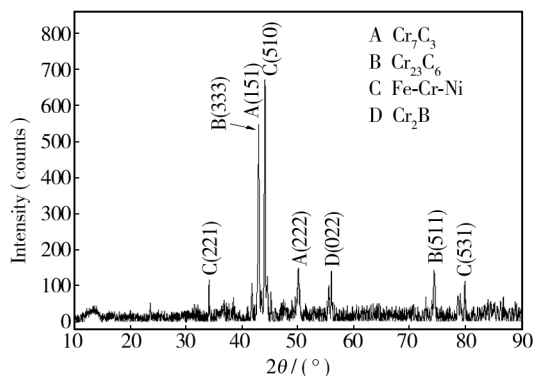


图3 涂层X射线衍射图谱

Fig. 3 X-ray diffraction pattern of the coating

(222)晶面。在衍射角 42° 、 74° 附近出现了 Cr_{23}C_6 衍射峰,表现在(333)、(511)晶面择优生长,在(333)晶面的衍射峰最强,其择优取向强于(511)晶面。在衍射角 55° 附近出现了 Cr_2B 衍射峰,表现在(022)晶面择优生长。氧乙炔火焰喷焊Fe6合金粉末生成了 Cr_7C_3 、 Cr_{23}C_6 、 Cr_2B 等硬质相颗粒,这些硬质相化合物成簇生长,呈板条状或六角形,并均匀弥散在Fe-Cr-Ni固溶体中,起到了弥散强化作用,大大提高了喷焊层的硬度和耐磨性能。X射线衍射分析结果与上面的分析推断基本吻合。

2.3 喷焊层硬度

图4为火焰喷焊试件截面的洛氏硬度分布,测试时,载荷为30 g,加载时间为15 s。如图所示,喷焊层厚度为2 mm左右,最高的硬度值出现在近表区域,达到了59.7HRC,平均洛氏硬度约为56.6HRC。从涂

层表面到结合区,硬度为梯度分布,呈缓慢下降的趋势。在涂层区与基体区之间的过渡区域,由于基体金属的熔入,硬度急剧下降。距离表面大于 2 mm 的区域为基体区,基体区的平均洛氏硬度约为 32.4HRC,约为涂层区的 1/2。

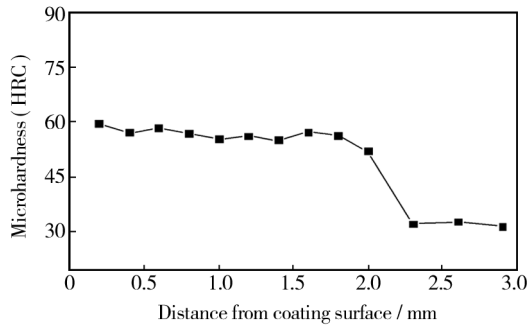


图 4 截面硬度分布

Fig. 4 Hardness distribution of coating section

2.4 喷焊层摩擦学性能

对淬火回火 65Mn 灭茬刀试样和氧乙炔火焰喷焊 Fe6 涂层试样进行摩擦磨损实验,载荷 30 N,运行长度 5 mm,运行时间 30 min,测得的摩擦系数-时间曲线见图 5。可以看出,在摩擦趋于稳定之后,65Mn 灭茬刀试件的摩擦系数稳定在 0.85 左右,氧乙炔火焰喷焊 Fe6 涂层表面的摩擦系数稳定在 0.65 左右,约为 65Mn 试件的 2/3。这在一定程度上说明,火焰喷焊 Fe6 涂层的 Q235 钢试件的耐磨性能优于未经表面处理的 65Mn 灭茬刀。

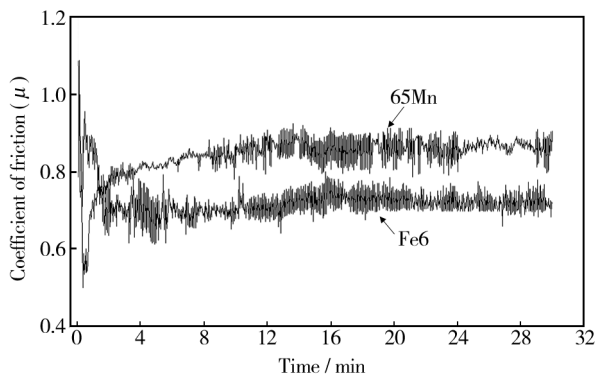


图 5 摩擦系数-时间曲线

Fig. 5 Frictional coefficient-time curve

取 65Mn 灭茬刀试样和氧乙炔火焰喷焊 Fe6 涂层试样共两组,每组各 3 个试样,进行摩擦磨损加速失重实验。实验共进行 5 h,每隔 1 小时拆下各组试样,经过酒精清洗并烘干后进行称量,记录磨损失重(取 3 个试样的平均值)。图 6 为两组试样的磨损失重对

比。可以看出,在磨损初期(1~2 h),Fe6 喷焊层与 65Mn 灭茬刀的磨损失重相近;随着时间的延长,进入磨损中期后,65Mn 灭茬刀的磨损量显著增加,而表面火焰喷焊 Fe6 涂层的试件磨损失重增加相对缓慢;3 h 后,两种试样的磨损失重相差 1 倍左右。由此可见,Fe6 喷焊层相对于 65Mn 材料具有较好的耐磨性能。

进行 5 h 的磨损失重实验后,观察两种试件的磨痕形貌,其 SEM 照片见图 7。如图 7a 所示,65Mn 灭茬刀试件表面有明显的犁沟,犁沟的宽度和深度都较大,局部区域还出现少量剥落坑,甚至还有开裂现象,

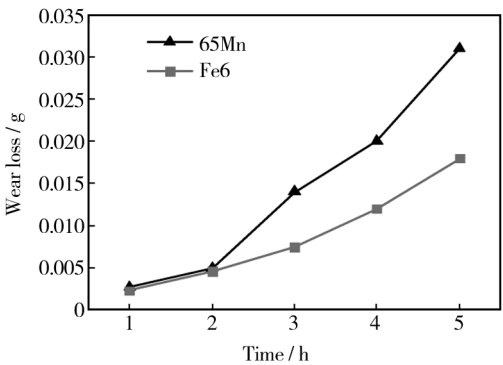
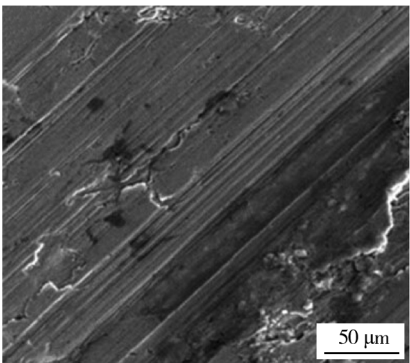
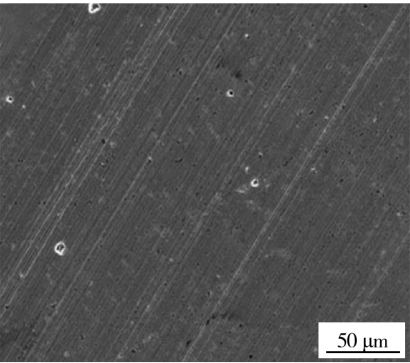


图 6 磨损失重对比

Fig 6 Contrast figure of wear loss



a 65Mn



b 喷焊层

图 7 65Mn 灭茬刀与 Fe6 涂层表面磨痕形貌

Fig. 7 Grinding crack SEM morphology of 65Mn(a) and coating(b)

剥落坑宽度最大达 20 μm 左右,产生的磨屑量大且呈不规则的尖角状,这在摩擦的过程中又作为磨粒加剧了磨粒磨损对灭茬刀表面材料的破坏。如图 7b 所示,Fe6 喷焊层试件表面磨痕比较均匀、平整、光洁,犁沟窄而浅,且有阻断现象,几乎没有剥落坑,少有的几个剥落坑宽度最大仅为 5 μm 左右,其磨屑量少,且多为圆球状,因而参与摩擦的磨屑数量少,在一定程度上对磨粒磨损的破坏起到了延缓作用^[16]。对比可知,Fe6 喷焊层试样的磨痕情况比 65Mn 灭茬刀试件轻微,耐磨性能更佳。

3 结论

1) 采用氧乙炔火焰喷焊技术在 Q235 钢基体上制备了 Fe6 喷焊层。截面微观形貌显示,喷焊试件的涂层区、结合区、基体区分界明显,喷焊层与基体之间形成了牢固的冶金结合。喷焊层主要由 Fe-Cr-Ni 固溶体合金相、 Cr_7C_3 相、 Cr_{23}C_6 相和 Cr_2B 相组成。

2) 火焰喷焊 Fe6 涂层的表面硬度最高可达 59.7 HRC,平均硬度约为 Q235 钢基体材料的 2 倍,摩擦系数和磨损失重分别约为 65Mn 灭茬刀的 2/3, 1/2, 表现出优异的耐磨性能。

3) 氧乙炔火焰喷焊 Fe6 涂层工艺成熟,成本低,涂层耐磨性能高,可应用于灭茬刀等农机刀具的表面修复与强化。

参考文献

- [1] 郝建军,马跃进,刘占良,等. 鞭式刀具的失效及火焰喷焊 NiWC 强化的可行性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 74—77.
HAO Jian-jun, MA Yue-jin, LIU Zhan-liang, et al. Failure of Scourge-type Reamer and Feasibility of Strengthening by Flame Spray Welding NiWC Coatings[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 74—77.
- [2] 马跃进,郝建军,申玉增,等. 根茬粉碎还田机灭茬刀喷焊 NiWC 工艺优化[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 92—95.
MA Yue-jin, HAO Jian-jun, SHEN Yu-zeng, et al. Technology Optimization and Test of the Cutter of Machine for Chopping and Returning Stubble into Soil by Flame Spraying and Remelting NiWC Alloy Coating[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 92—95.
- [3] 杜永英,李成华,马业鹏,等. 旋耕灭茬刀热处理参数对耐磨性影响的试验研究[J]. 农机化研究, 2006(3): 120—122.
- [4] 赵建国,颜海涛,赵晓顺. 根茬还田刀具火焰喷焊耐磨性的研究[J]. 农机化研究, 2006(3): 143—145.
ZHAO Jian-guo, YAN Hai-tao, ZHAO Xiao-shun. Study on Wear-ability of Chopping Stubble Cutters with Flame Spray Welding[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(3): 143—145.
- [5] 张雪华. 金属耐磨材料的发展和研究[J]. 矿山机械, 2004(8): 107—109.
ZHANG Xue-hua. The Research and Development of Metal Wear Resistant Materials[J]. Mining & Processing Equipment, 2004(8): 107—109.
- [6] 孙振宇. 表面强化技术在机械零件中的应用[J]. 煤矿机械, 2008, 29(10): 85—86.
SUN Zhen-yu. Application of Surface Strengthening Technology in Mechanical Parts[J]. Coal Mine Machinery, 2008, 29(10): 85—86.
- [7] 岳芹,李艳,李淑廷,等. 机械旋耕灭茬技术的发展[J]. 农业装备与车辆工程, 2007(5): 10—12.
YUE Qin, LI Yan, LI Shu-ting, et al. Development on Technology of Stubble-cleaning by Mechanized Rotary Cultivation[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2007(5): 10—12.
- [8] 徐滨士,刘世参,史佩京. 再制造工程和表面工程对循环经济贡献分析[J]. 中国表面工程, 2006, 19(1): 1—6.
XU Bin-shi, LIU Shi-can, SHI Pei-jing. Contribution of Remanufacturing Engineering and Surface Engineering to Cycle Economy[J]. China Surface Engineering, 2006, 19(1): 1—6.
- [9] 郝建军,幺永强,李建昌,等. 氩弧反应熔覆 TiC/Ni 复合涂层的组织与性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2007, 36(S2): 520—523.
HAO Jian-jun, YAO Yong-qiang, LI Jian-chang, et al. Study on Microstructure and Performance of TiC/Ni Metal Matrix Composite Coating Produced by Argon-arc Reactive Cladding[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2007, 36(S2): 520—523.
- [10] 胡军,张新洋,李庆达,等. 深松铲尖等离子堆焊涂层的制备与性能研究[J]. 农机化研究, 2014(5): 205—207.
HU Jun, ZHANG Xin-yang, LI Qing-da, et al. Research on Microstructure and Performance of Plasma Arc Overlay Welding Layer on Subsoiler Surface[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(5): 205—207.
- [11] 朱琳,何继宁,阎殿然,等. 利用反应等离子喷涂制备

- Ti(CN)涂层的研究[J]. 材料导报, 2006, 20(S2): 468—470.
- ZHU Lin, HE Ji-ning, YAN Dian-ran, et al. The Study on Ti(CN) Coating Prepared by Reactive Plasma Spraying[J]. Materials Review, 2006, 20(S2): 468—470.
- [12] 赵建国, 李建昌, 郝建军, 等. 氮弧熔覆 TiCN/Fe 金属陶瓷涂层对农业刀具耐磨性的影响[J]. 农业工程学报, 2013(3): 84—89.
- ZHAO Jian-guo, LI Jian-chang, HAO Jian-jun, et al. Influence of TiCN/Fe Metal Ceramic Coating by Reaction Nitrogen Arc Cladding on Wear Resistance of Agricultural Tools[J]. Transactions of the CSAE, 2013(3): 84—89.
- [13] 苏彬彬, 徐杨, 简建明. 农业机械耐磨件发展及研究现状[J]. 热处理技术与装备, 2013, 34(5): 53—58.
- SU Bin-bin, XU Yang, JIAN Jian-ming. The Actuality of Development and Research of Wear Resistant Part for Agricultural Machinery[J]. Heat Treatment Technology and Equipment, 2013, 34(5): 53—58.
- [14] 乔新义, 吕玉芬, 汪瑞军. 热喷涂技术在农机工程材料延寿中的应用现状[J]. 热喷涂技术, 2013, 5(4): 1—5.
- QIAO Xin-yi, LYU Yu-fen, WANG Rui-jun. Application Status of Thermal Spray Technology in Extending Service Lifetime of Materials for Agricultural Machines[J]. Thermal Spray Technology, 2013, 5(4): 1—5.
- [15] GU Y F, HARADA H, RO Y. Chromium and Chromium-based Alloys: Problems and Possibilities for High-temperature Service[J]. JOM, 2004, 56(9): 28—33.
- [16] 凡艳丽, 吕亚非. 摩擦过程中磨屑运动的分析[J]. 润滑与密封, 2010, 35(12): 17—21.
- FAN Yan-li, LYU Ya-fei. Analysis of Wear Debris during Friction[J]. Lubrication Engineering, 2010, 35(12): 17—21.
- ~~~~~
- (上接第 32 页)
- HU Jian-wen, MA Jing, LIU Ming, et al. Study on Pretreatment Process of AZ91HP Magnesium Alloy before Electroless Ni-P Plating[J]. Heat Treatment, 2013, 28(3): 24—27.
- [6] 薛方勤, 韩夏云, 郭忠诚. 镁及镁合金表面化学镀 Ni-P 合金新工艺[J]. 材料保护, 2002(9): 33—34.
- XUE Fang-qin, HAN Xia-yun, GUO Zhong-cheng. Electroless Ni-P Plating Technology for Magnesium and Its Alloy[J]. Materials Protection, 2002(9): 33—34.
- [7] LEI Xi-ping, YU Gang, GAO Xiao-lian, et al. A Study of Chromium-free Pickling Process before Electroless Ni-P Plating on Magnesium Alloys[J]. Surface & Coatings Technology, 2011(205): 4058—4063.
- [8] 卢神保, 曾冬铭, 张其林. AZ91D 镁合金电镀前酸洗工艺的研究[J]. 电镀与环保, 2009, 29(4): 10—11.
- LU Shen-bao, ZENG Dong-ming, ZHANG Qi-lin. Investigation of the Acid-etching Pretreatment Process for Plating on AZ91D Magnesium Alloy[J]. Electroplating Pollution Control, 2009, 29(4): 10—11.
- [9] NWAOGU U C, BLAWERT C, SCHARNAGL N, et al. Influence of Inorganic Acid Pickling on the Corrosion Resistance of Magnesium Alloy AZ31 Sheet[J]. Corrosion Science, 2009(51): 2544—2555.
- [10] 许越, 陈湘, 吕祖舜, 等. 镁合金表面的腐蚀特性及其防护技术[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2001, 33(6): 753—756.
- XU Yue, CHEN Xiang, LV Zu-shun, et al. Corrosion Characteristic and Protection Technique for Mg Alloy[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2001, 33(6): 753—756.
- [11] 吴振宁, 李培杰, 刘树勋, 等. 镁合金腐蚀问题研究现状[J]. 铸造, 2001, 50(10): 583—586.
- WU Zhen-ning, LI Pei-jie, LIU Shu-xun, et al. Present State of Research on Corrosion of Magnesium Alloys[J]. Foundry, 2001, 50(10): 583—586.
- [12] 焦树强, 旷亚非, 陈金华, 等. 镁及其合金的腐蚀与阳极化处理[J]. 电镀与环保, 2002, 22(3): 1—3.
- JIAO Shu-qiang, KUANG Ya-fei, CHEN Jin-hua, et al. Corrosion Behavior and Anodization of Magnesium and Its Alloys[J]. Electroplating Pollution Control, 2002, 22(3): 1—3.
- [13] 高慧. 适用于镁合金的高效缓蚀剂的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- GAO Hui. Study of the High Efficiency Corrosion Inhibitor on Magnesium Alloy[D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [14] 孔纲, 吴双, 卢锦堂, 等. 柠檬酸及其盐在金属防护中的应用研究现状[J]. 电镀与涂饰, 2011, 30(11): 53—55.
- KONG Gang, WU Shuang, LU Jin-tang, et al. Status of Research and Application of Citric Acid and Citrate in Metal Protection[J]. Electroplating & Finishing, 2011, 30(11): 53—55.
- [15] 国栋, 樊占国, 杨中东, 等. 镁合金化学镀中预处理氟化镁膜的特征与作用[J]. 中国有色金属学报, 2007, 17(5): 790—791.
- GUO Dong, FAN Zhan-guo, YANG Zhong-dong, et al. Effects and Characteristics of MgF_2 during Electroless Nickel Plating of Magnesium Alloys[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(5): 790—791.