9 米柱塞杆表面处理过程自动控制系统的研制

强明辉[1]，韩春春[1]，张琳琳[1]，张绍斌[2]

（1. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院，兰州 730050；
2. 兰州理工合金粉末有限责任公司，兰州 730050）

摘 要：目的 提高柱塞杆的耐磨和防腐蚀性能，减少处理系统的人工参与。**方法** 针对氧-乙炔火焰喷焊对 9 米柱塞杆进行表面处理的工艺要求，通过选择控制方法和控制器，研制一种自动控制系统。系统以 PLC 自动控制为核心，通过柱塞杆的移动和旋转、气缸的升降、氧-乙炔火焰喷涂装置以及限位开关等的协调动作实现自熔性合金粉末火焰的喷熔，并利用触摸屏实现表面处理过程的可视化监控和参数设置。最后，通过实际喷涂效果对该自动控制系统进行评价。**结果** 应用表明，该系统运行稳定可靠，参数设置灵活，实现了柱塞杆表面处理过程的自动控制。制备的工件涂层表面均匀，质量高，性能好。**结论** 该系统适用于 9 米以内不同长度柱塞杆和不同喷涂材料的喷焊，能大大提高生产效率，可在相关领域推广。

关键词： 柱塞杆；表面处理；火焰喷焊；自动控制

中图分类号： TG174.442；TP273 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3660(2015)04-0037-05

DOI： 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.04.007

Development of a Automatic Control System for Nine-meter Plunger Rods Surface Treatment Process

QIANG Ming-hui[1], *HAN Chun-chun*[1], *ZHANG Lin-lin*[1], *ZHANG Shao-bin*[2]

(1. School of Electrical Engineering and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Lanzhou Institute of Alloy Powder Co., LTD, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: Objective To improve the wear resistance and corrosion resistance performance of piston rods, and reduce the manual participation in processing system. **Methods** According to the process requirements of the surface treatment on nine-meter plunger rods by adopting oxygen-acetylene flame spray welding, the automatic control system was developed through selecting the control method and controller. With PLC automatic control as the core, the self-fluxing alloy powder flame spray welding was finished through the coordination among the movement and rotation of the plunger rod, the rise and fall of cylinders, the oxygen-acetylene flame spraying device and limit switches, and the touch screen was applied to realize visual monitoring of the surface treatment process and parameter settings. Finally, the automatic control system was evaluated based on the actual spraying result. **Results** Practical application proved that the system was stable and reliable, the parameter setting was flexible, and the automatic control of

收稿日期： 2014-11-18；**修订日期：** 2014-12-08

Received：2014-11-18；**Revised**：2014-12-08

基金项目： 甘肃省发改委战略新兴产业专项资金计划资助（甘发改高级[2012]672 号）

Fund: Supported by Strategic Emerging Industry Special Funds Program of Gansu Province Development and Reform Commission (Gansu DRC Advanced [2012]672)

作者简介： 强明辉(1960—)，男，陕西人，教授级高级工程师，主要从事过程控制、检测技术方面的研究。

Biography: QIANG Ming-hui(1960—), Male, from Shaanxi, Professor-level senior engineer, Research focus: process control and detection technology.

surface treatment process on plunger rods was realized. The workpiece prepared showed high uniformity in surface coating, and had high quality and good performance. **Conclusion** The system was applicable to different lengths of plunger rods shorter than 9 meters and spray welding process with different coating materials, greatly improving the production efficiency, and could be generalized to relevant fields.

KEY WORDS: plunger rods; surface treatment; flame spray welding; automatic control

在石油、化工等行业中,柱塞杆的应用十分广泛,对其表面性能的要求也越来越高。材料的失效,如磨损、腐蚀、氧化等,一般都是从表面开始的,由表面失效带来的破坏和损失最终可导致整个零件失效[1—2]。表面处理技术的应用是提高工件质量、降低成本的有效途径[3—4]。

柱塞杆通常采用45#钢或无缝钢管制作成实心杆或空心杆,使用时受外界环境的影响,容易造成划伤、磨损和腐蚀[5]。目前,为了提高柱塞杆的使用寿命,人们针对不同表面工程技术设计了许多处理系统,但这些处理系统多需要人工的参与,尤其是热喷涂技术的处理系统,其喷粉和重熔工艺均有自己独立的控制系统,需分开执行,而且每个系统多为手动操作。这既浪费时间,又会消耗大量人力,效率低下。为了解决上述问题,克服传统的多系统手动操作的不便,文中针对氧-乙炔火焰喷焊方法设计了一套柱塞杆表面处理过程自动控制系统,将自熔性合金粉末氧-乙炔火焰喷熔工艺的各个步骤综合成一个系统执行。该系统只需少量人工参与,便可同步协调完成工件表面制备、预热、喷粉和重熔等过程,进而提高柱塞杆的耐磨性和耐腐蚀性,节约成本,延长使用寿命。

1 系统组成及表面处理工艺

1.1 系统的组成

本系统采用西门子 S7-200 PLC 作为控制器,结合 Siemens 触摸屏 KTP 1000 Basic DP 和传动系统组成[6—7],如图 1 所示。可编程序控制器(Programmable Logic Controller,PLC)是一种结构简单、通用性好、功能较完备的控制元件,其主要优点是抗干扰能力强,可以提高系统的可靠性、稳定性及生产效率,特别适用于工业控制[8]。触摸屏代替原始的控制台和显示器,可以进行数据显示和参数设置,还可以模拟现场运行环境或使用动态曲线描述系统的控制过程,扩展了 PLC 的功能,减少了按钮、开关、仪表等仪器的使用。

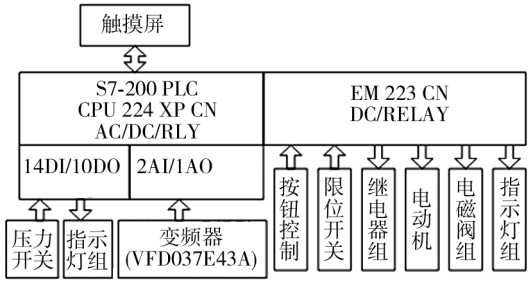
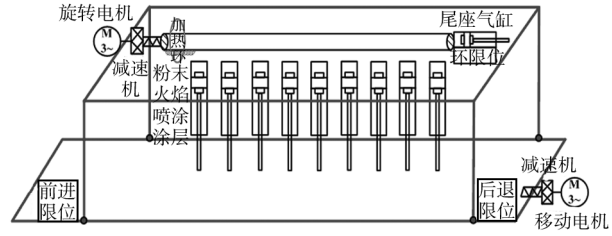


图 1 控制系统组成示意

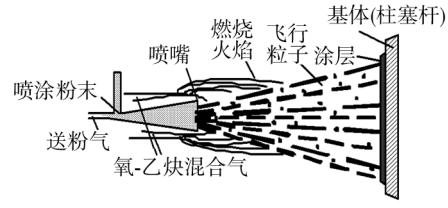
Fig. 1 Composition of the control system

1.2 柱塞杆表面处理工艺

采用热喷涂技术中的自熔性合金粉末火焰喷熔工艺对柱塞杆进行表面处理。该工艺包括工件表面制备、预热、喷粉、重熔和冷却五个步骤,采用氧-乙炔混合气体作为火焰喷涂热源[9—10]。表面处理过程的工艺结构如图 2 所示,其中,图 2b 为图 2a 中粉末火焰喷涂涂层的详细喷涂原理。



a 总体结构



b 粉末火焰喷涂原理

图 2 表面处理过程结构示意

Fig. 2 Structure of the surface treatment process

该系统通过喷枪、氧-乙炔供给装置、粉末供给装置、点火装置、加热环、限位开关和气缸的协调动作完成工件的粉末喷熔。火焰喷涂是轴向喷出三部分物质——氧-乙炔混合气、送粉气和喷涂粉末。氧-乙炔混合气在喷嘴端部燃烧,喷涂粉末随着送粉气从燃烧火焰中喷出,经过高温熔化,在飞行中加热和加速,喷

涂到基材表面[10];然后经过加热环对粉末层重熔,形成与基材表面呈冶金结合的致密涂层。

轨道长 24 米,加热环、氧-乙炔枪和送粉装置等固定安装在轨道的中部,柱塞杆最大长度 9 米。为了防止柱塞杆在喷焊过程中发生变形,在 12 米移动车体上安装了 9 个支撑气缸。车体移动时,应控制气缸升降,避开加热环及余料回收装置。车体移动电机和工件旋转电机采用变频控制,以满足不同喷涂材料对工件喷焊性能的要求。受安装条件限制,气缸升降无法采用接近开关直接控制,文中通过检测移动电机变频器频率计算车体移动速度,由气缸与加热环距离计算升降时间,控制气缸协调升降。当工件小于 9 米时,可根据工件长度决定需要升降的气缸数目,并由触摸屏输入参数,实现表面处理过程的可视化监控和参数设置。

2　程序设计

2.1　主程序设计

柱塞杆表面处理采用手动和自动两种工作方式[6],可通过选择开关进行转换。手动方式时,由控制柜和触摸屏上组态的按钮互相配合实现控制;自动方式时,由梯形图程序结合其中的定时器、计数器等功能块实现控制。自动方式的程序控制流程如图 3 所示。

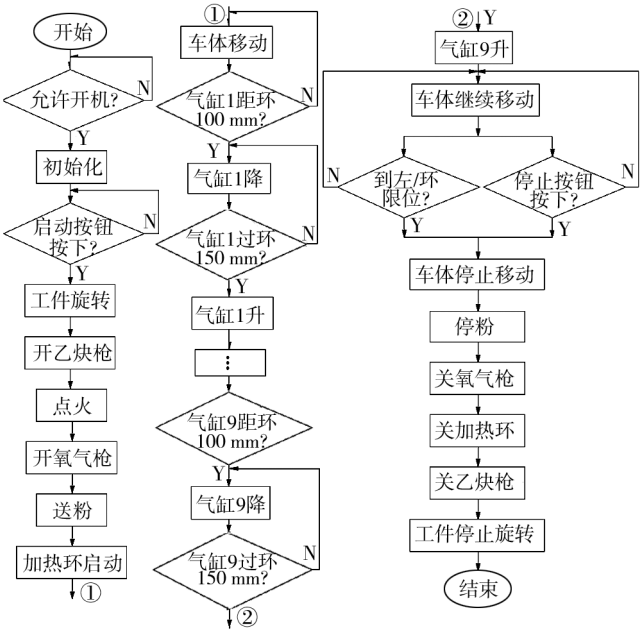


图 3　自动方式控制流程

Fig. 3 Flow chart of automatic control

2.2　车体移动速度计算及程序设计

PLC 的 CPU 只能处理数字量,故对模拟量输入或输出信号,需要经过 A/D 和 D/A 转换,此过程可通过 PLC 的模拟量 I/O 模块来实现。输入信号的变换过程为:物理量—传感器信号—标准电信号—A/D 转换—数值显示[11]。

车体移动速度随着表面处理要求的不同而改变,要准确控制气缸的升降,必须实时计算车体移动速度,由已知距离求得升降时间,通过定时器控制其动作。文中通过 PLC 模拟量输入实时采集变频器频率,计算车体移动速度,并传送到触摸屏实时显示。其计算过程如下。

根据信号线性变换原理,假定物理量范围为 $A_0 \sim A_m$,实时物理量为 X;标准电信号为 $B_0 \sim B_m$,实时电信号为 Y;A/D 转换数值为 $C_0 \sim C_m$,实时数值为 Z。则有:

$$\frac{A_m-A_0}{X-A_0}=\frac{B_m-B_0}{Y-B_0}=\frac{C_m-C_0}{Z-C_0} \tag{1}$$

变频器的模拟量输出端子 AFM 输出 0 ~ 10 V 标准电信号,当设置其参数“03.03”为“0”时,模拟输出电压对应变频器的输出频率 0 ~ 50 Hz,其中 50 Hz 是由“01.00”设置的最大输出频率。

模拟量输入模块的分辨率为 12 位,单极性和双极性全量程输入范围对应的数字量输出分别为 0 ~ 32 000 和 - 32 000 ~ 32 000[11],则 $\frac{10-0}{U}=\frac{50-0}{f}=\frac{32\,000-0}{N}$,可得:

$$f=\frac{50\cdot N}{32\,000} \tag{2}$$

(2)式中:N 为输入到 PLC 的频率所对应 A/D 转换后的数字量输出;f 为变频器输出到电机的频率。

采用的三相交流异步电动机 $p=2$,$s=0.04$,设减速比为 i,则 $i=\frac{n_1}{n_2}=\frac{f\cdot(1-s)/p(s^{-1})}{f'(s^{-1})}=\frac{0.48f}{f'}$,可得:

$$f'=\frac{0.48f}{i} \tag{3}$$

(3)式中:f' 为减速机输出轴频率。由此可以计算车体移动速度 v:

$$v=\omega\cdot r=2\pi f'\cdot r=2\pi r\cdot f'=C\cdot f' \tag{4}$$

(4)式中:r 为减速机皮带轮半径,C 为皮带轮周长。在该系统中,$i=\frac{n_1}{n_2}=\frac{1440.0}{0.868}=1659:1$,$C=2\pi r=$

$2\pi\times60=376.99$ mm，当 $f=50$ Hz 时，算得 $v=C\cdot f'=5.45$ mm/s。

由上可得实时频率采集及计算程序如下，得到的车体移动速度存于 VD256 中，单位 mm/s。

```
LD      SM0.0
LPS
MOVW 采集频率:AIW0, VW218
AENO
ITD     VW218, VD220
AENO
DTR     VD220, VD224
LRD
MOVR 50.0, VD228
AENO
*R      VD224, VD228
AENO
MOVR VD228, 变频器频率:VD232
/R      32000.0, 变频器频率:VD232
LPP
MOVR 变频器频率:VD232, VD236
AENO
*R      0.48, VD236
AENO
MOVR VD236, 减速机轴频率:VD240
AENO
/R      1659.0, 减速机轴频率:VD240
AENO
MOVR 减速机轴频率:VD240, 车体速度:VD256
*R      376.99, 车体速度:VD256
```

3 人机界面

人机界面(Human Machine Interface, HMI)是操作人员与控制系统之间进行对话和相互作用的专用设备。本系统选用西门子触摸屏作为 HMI，在上位机上通过西门子组态软件 WinCC flexible 设计与触摸屏物理分配率相同的用户界面，并组态生成控制系统的监控程序[8]，下载到 HMI 终端。主控界面和参数设置界面分别如图 4 和图 5 所示。

4 喷涂性能检测

本系统处理的柱塞杆为 45#钢冷拔所制，喷焊材料选用高耐磨自熔性合金粉末 Ni65。此合金是按照耐强烈磨损和腐蚀工况要求，采用水雾化工艺制取的一种粉末产品[12]，广泛应用于钢和铁制零件的表面防护或修复，也可用于在酸、碱、盐等腐蚀性介质中工作的零件表面防护或修复[12—15]。

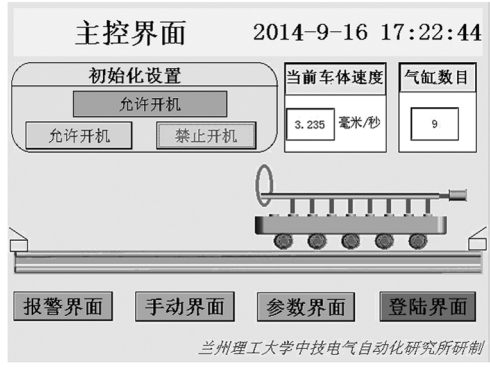


图 4 主控界面

Fig. 4 Master-control interface

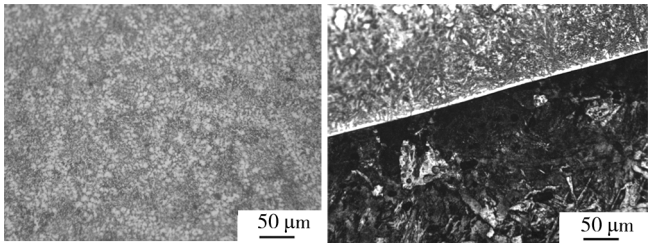


图 5 参数设置界面

Fig. 5 Parameter setting interface

Ni65 粉末粒度范围为 -150 ~ 300 目，熔点较低，自熔性好，适用于氧-乙炔火焰喷焊及高频重熔工艺。其化学成分(以质量分数计)为：C≥1.0%，Cr+MoW≥25%，B 3.0% ~4.5%，Si 3.5% ~5.5%，Fe≤14%，Ni 余量。喷焊在 45#钢基材表面的 Ni65 焊层进行重熔处理后，硬度可达 58 ~ 62HRC，与基体的结合强度在 400 MPa 左右。

采用所研制的系统对柱塞杆进行表面处理后，利用金相检验的手段，对 Ni65 喷焊层进行金相组织分析[5,12,15]。涂层放大 200 倍的金相显微组织如图 6 所示。由图 6a 可见，喷焊层均匀且比较致密，基本无孔隙；由图 6b 可见，Ni65 充分熔融，与基体表面形成冶金结合，并且涂层致密，孔隙率低。



a 表面　　b 横截面

图 6　金相显微组织

Fig. 6 Metallographic microstructure

5　结语

文中在熟悉柱塞杆表面处理工作原理的基础上,根据过程的控制要求,采用 PLC 与触摸屏构成控制系统,实现了柱塞杆表面处理过程的自动控制和可视化监控。系统运行稳定可靠,人机界面友好,参数设置灵活。实际应用表明,采用该表面处理系统能有效地提高柱塞杆的耐磨和耐腐蚀性能,延长使用寿命,提高表面质量,具有很高的应用价值。

同时,还应注意以下问题:1)在粉末火焰喷熔时,要注意喷粉和重熔工序的温度,重熔温度与粉末熔点有关,通常在 1000 ℃左右;2)应该考虑喷涂距离对涂层均匀性和孔隙率的影响[13—15];3)在同一个网络中通讯的所有设备必须以相同的波特率传送数据,即 STEP 7-Micro/WIN、触摸屏和 PLC 的通信波特率必须保持一致,此系统的波特率为 19.2 kbit/s。

参考文献

[1] 李龙,刘会云,张心金,等. 金属复合板表面处理技术的研究现状及发展[J]. 表面技术,2012,41(5):124—128.
LI Long, LIU Hui-yun, ZHANG Xin-jin, et al. Research Status and Progress on Surface Preparation of Clad Metal Plates [J]. Surface Technology, 2012, 41(5): 124—128.

[2] 梁文萍,缪强,张平则,等. 先进表面工程技术的发展前沿[J]. 山西能源与节能,2010(4):72—75.
LIANG Wen-ping, MIAO Qiang, ZHANG Ping-ze, et al. Developing Frontlines of Advanced Surface Engineering Technologies[J]. Shanxi Energy and Conservation, 2010(4): 72—75.

[3] YUN J W. The Effect of Plasma Surface Treatment on a Porous Green Ceramic Film with Polymeric Binder Materials [J]. Plasma Science and Technology, 2013, 15(6): 521—527.

[4] ZHAO Y X, DU P F, JIN W L. Evaluation of the Performance of Surface Treatments on Concrete Durability[J]. J Zhejiang Univ-Sci A (Appl Phys & Eng), 2010, 11(5): 349—355.

[5] 王博,陈秋旭,刘鸿喜,等. 热喷涂技术提高活塞杆耐磨和耐腐蚀的方法[J]. 液压气动与密封,2013,33(10):59—61.
WANG Bo, CHEN Qiu-xu, LIU Hong-xi, et al. Method to Improve the Wear and Corrosion Resistance of Piston Rods by Thermal Spray [J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2013, 33(10): 59—61.

[6] 赵汉雨,姬少龙,刘存祥,等. 新型纸箱包装机 PLC 控制系统设计[J]. 轻工机械,2011,29(3):56—59.
ZHAO Han-yu, JI Shao-long, LIU Cun-xiang, et al. Design of PLC Control System of New Type Carton Packaging Machine[J]. Light Industry Machinery, 2011, 29(3): 56—59.

[7] 王妍玮,于惠力,刘刚. PLC 应用于喷泉控制系统的方案设计[J]. 林业机械与木工设备,2010,38(9):45—47.
WANG Yan-wei, YU Hui-li, LIU Gang. Design of PLC-based Fountain Control System [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2010, 38(9): 45—47.

[8] 吕品. PLC 和触摸屏组合控制系统的应用[J]. 自动化仪表,2010,31(8):45—48.
LV Pin. Application of Control System Composed of PLC and Touch Screen[J]. Process Automation Instrumentation, 2010, 31(8): 45—48.

[9] LI Z W, LIU C S, HUANG J H, et al. Synthesis and Deposition of TIC-Fe Coatings by Oxygen-acetylene Flame Spraying[J]. J Mater Sci Technol, 2003, 19(2): 161—163.

[10] 张燕,张行,刘朝辉,等. 热喷涂技术与热喷涂材料的发展现状[J]. 装备环境工程,2013,10(3):59—62.
ZHANG Yan, ZHANG Hang, LIU Zhao-hui, et al. Development Status of Thermal Spray Technology and Thermal Spray Materials[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(3): 59—62.

[11] 廖常初. S7-200 PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
LIAO Chang-chu. S7-200 PLC Programming and Applications[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007.

[12] 俞国珍. 高耐磨自熔合金粉末 Ni65 的性能及应用[J]. 上海金属,2003,25(2):14—16.
YU Guo-zhen. The Property of Ni65 Self-fusible Alloy Powder with High Wear Resistance and Its Application [J]. Shanghai Metals, 2003, 25(2): 14—16.

[13] 欧献,邓畅光,王日初,等. 超音速等离子喷涂工艺参数对 Cr_2O_3 涂层硬度的影响[J]. 表面技术,2014,43(1):81—85.

(下转第 53 页)

Low-pressure Plasma-sprayed $A1_2O_3$ Coating from Room Temperature to 800 ℃[J]. Tribology International, 2005, 38:49—57.

[15] KIM G, CHOI H, HAN C, et al. Characterization of Atmospheric Plasma Spray NiCr-Cr_2O_3-Ag-CaF_2/BaF_2 Coatings [J]. Surface and Coating Technology, 2005, 195: 107—115.

[16] 毛杰,宋进兵,邓畅光,等. 氧化铝涂层的超音速等离子喷涂参数影响及硬度分析[J]. 表面技术,2014,43(4):110—114.
MAO Jie, SONG Jin-bing, DENG Chang-guang, et al. Parameter Effect and Microhardness Analysis of Al_2O_3 Coatings Prepared by the Supersonic Plasma Spraying Technique[J]. Surface Technology, 2014, 43(4): 110—114.

[17] SIDHU H S, SIDHU B S, PRAKASH S. Wear Characteristics of Cr_3C_2-NiCr and WC-Co Coatings Deposited by LPG Fueled HVOF[J]. Tribology International, 2010, 43: 887—890.

[18] DOMINIC M, BRYAN D G, MATHIEU B. Thermal Stability and Oxidation Behavior of Nanostructured NiCoCrAlY Coatings[J]. Surface and Coating Technology, 2011, 205: 4162—4168.

[19] 徐一,缪强,梁文萍,等. γ-TiAl 表面 NiCrAlY/Al 复合涂层的高温氧化行为[J]. 稀有金属材料与工程,2014,43(6):1407—1411.
XU Yi, MIAO Qiang, LIANG Wen-ping, et al. Oxidation Behavior of γ-TiAl Alloy with NiCrAlY/Al Duplex Coating at 950 ℃[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2014, 43(6): 1407—1411.

[20] 王宏宇. 纳米颗粒增强 NiCoCrAlY 激光熔覆涂层制备及其特性研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
WANG Hong-yu. Research on Preparation and Characteristics of NiCoCrAlY Laser Cladded Coatings Reinforced by Nano-particles[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.

(上接第 41 页)

OU Xian, DENG Chang-guang, WANG Ri-chu, et al. Influences of the Supersonic Plasma Spraying Process on the Hardness Properties of Cr_2O_3 Coating[J]. Surface Technology, 2014, 43(1): 81—85.

[14] 王立生,林涛,郭志猛,等. 热处理对热浸镀镍基涂层磨料磨损的影响[J]. 表面技术,2010,39(6):1—3.
WANG Li-sheng, LIN Tao, GUO Zhi-meng, et al. Effect of Heat Treatment on Abrasive Wear of Hot Dipping Ni-based Coating[J]. Surface Technology, 2010, 39(6): 1—3.

[15] 夏光明,严淑群,贺立,等. TRT 叶片 Co-Cr 粉末防护涂层研究及应用[J]. 粉末冶金技术,2012,30(5):376—380.
XIA Guang-ming, YAN Shu-qun, HE Li, et al. The Research on Co-Cr Protective Coating of TRT Blade and Its Application[J]. Powder Metallurgy Technology, 2012, 30(5): 376—380.

(上接第 47 页)

[28] 杜挺. 稀土元素在金属材料中的一些物理化学作用[J]. 金属学报,1997,33:69—76.
DU T. RE on the Physical and Chemical Role of Metal Materials[J]. Acta Metallurgica Sinica, 1997, 33: 69—76.

[29] BRAMFITT B L. The Effect of Carbide and Nitride Additions on the Heterogeneous Nucleation Behavior of Liquid Iron[J]. Metallurgical and Materials Transactions, 1970, 1: 1987—1995.

[30] KATAGIRI S, ISHIZAWA N. A New High Temperature Modification of Face-centered Cubic Y_2O_3[J]. Powder Diffraction, 1993, 8(1): 60.

[31] DE Mol Van Otterloo J L, DE Hosson J T M. Microstructural Features and Mechanical Properties of a Cobalt-based Laser Coating[J]. Acta Materialia, 1997, 45(3): 1225—1236.