

安全阀阀座与阀瓣研磨修复工艺实验研究

华鹏, 朱海清, 施晓敏, 张茂力, 邓俊秀

(江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 目的 为满足安全阀阀座与阀瓣配合面密封要求, 提高安全阀密封面磨削修复质量和效率, 阀座和阀瓣表面粗糙度 $R_a \leq 0.1 \mu\text{m}$ 。**方法** 在正交实验的基础上, 采用 Al_2O_3 砂纸、白刚玉研磨膏为磨削介质, 研究了磨粒细度、磨削时间、磨削转速、磨削压力对密封表面粗糙度和磨削量的影响, 使用粗糙度测量仪、千分尺、电子显微镜对阀座和阀瓣的表面粗糙度、磨削量、表面形貌进行测量分析。以磨削量和表面粗糙度为评价指标, 得到最佳工艺参数, 并通过多组重复性实验验证实验结果的可靠性。**结果** 在最佳磨削工艺参数下, 砂纸研磨阀座和阀瓣的磨削量为 0.023 mm, 表面粗糙度为 $0.135 \mu\text{m}$, 研磨膏抛光阀座和阀瓣的表面粗糙度为 $0.073 \mu\text{m}$ 。**结论** 砂纸研磨最佳工艺参数: 研磨压力 80 N, 研磨转速 80 r/min, 研磨时间 10 min, 砂纸细度 1000 目。研磨膏抛光最佳工艺参数: 抛光压力 30 N, 抛光转速 100 r/min, 抛光时间 10 min。采用砂纸、研磨膏磨削修复工艺, 可以提高磨削量, 降低表面粗糙度, 提高了安全阀磨削后的密封性能。

关键词: 安全阀; 磨削机理; 正交实验; 磨削量; 表面粗糙度

中图分类号: TG580.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2017)08-0280-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.08.045

Grind and Repair Process Experiment of Safety Valve Seat and Valve Disc

HUA Peng, ZHU Hai-qing, SHI Xiao-min, ZHANG MAO-Li, DENG Jun-xiu

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to meet sealing requirements of safety valve seat and valve disc fitting surface, improve grind repair quality and efficiency of safety valve sealing surface, and make valve seat and disc surface roughness $R_a \leq 0.1 \mu\text{m}$. With Al_2O_3 abrasive paper and white corundum abrasive paste as grinding medium, effects of grain fineness, grinding time, grinding speed and grinding pressure on sealing surface roughness and grinding amount were studied based on orthogonal experiment. Surface roughness, grinding amount and surface morphology of the valve seat and valve disc were measured and analyzed using roughness tester, micrometer and electron microscope. Optimum technological parameters were obtained with grinding amount and surface roughness as evaluation indicators, and reliability of the experiment was verified by multiple repetitive experiments. Provided with optimum grinding technological parameters, the grinding amount of valve seat and valve disc grinded by sandpaper was 0.023 mm, and surface roughness $0.135 \mu\text{m}$, surface roughness of valve seat and valve disc polished with abrasive paste was $0.073 \mu\text{m}$. Optimum technological parameters for sandpaper grinding are: grinding pressure 80 N, grinding speed 80 r/min, grinding time 10 min, sandpaper fineness 1000 mesh; for abrasive paste polishing: polishing pressure 30 N, polishing speed 100 r/min and polishing time 10 min. Sandpaper and grinding paste repair process can improve grinding amount, reduce sur-

收稿日期: 2017-02-20; 修订日期: 2017-03-20

Received: 2017-02-20; **Revised:** 2017-03-20

作者简介: 华鹏 (1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为现代机械设计与制造。

Biography: HUA-Peng (1992—), Male, Master graduated student, Research focus: modern mechanical design and manufacturing.

通讯作者: 朱海清 (1965—), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为承压类设备安全阀维修与校验。

Corresponding author: ZHU Hai-qing (1965—), Male, Master, Associate professor, Research focus: maintenance and calibration of safety valve.

face roughness, and improve sealing performance of grinded safety valve.

KEY WORDS: safety valve; grinding mechanism; orthogonal experiment; grinding amount; surface roughness

安全阀属于自动阀类,当设备内压力超过允许值时,能不借助任何外力而只利用介质本身的力量使系统向外排放流体,对人身安全和设备运行起着重要保护作用^[1]。安全阀在使用过程中,气体、流体等介质侵蚀产生的残留物、水垢和腐蚀性介质存积在密封面。产生沟痕凹坑及颗粒杂质,造成安全阀的泄漏和原料的浪费^[2]。阀座阀瓣作为安全阀的关键零部件,发挥着开启与闭合的作用,其密封面的表面粗糙度直接影响到安全阀的密封性能^[3]。

国内大多采用磨料研磨、车削、堆焊和抛光等方法对安全阀密封面进行修复^[4-6],工作强度大,修复效率低。而国外采用电解修整磨削技术、涂层抛光和电化学微加工中引入超声波和磁场等前沿技术,这些技术由于设备成本和人员素质要求高,未在国内普及^[7-9]。安全阀密封面修复按精细磨削程度分为砂纸研磨和研磨膏抛光^[10-13]。为提高安全阀密封面修复质量与效率,改善磨削后的密封性能,文中以砂纸和研磨膏为磨削介质,研究关键因素对安全阀阀座与阀瓣表面粗糙度和磨削量的影响,制定出一套新标准工艺,为安全阀维修技术和设备研发提供理论和实践依据。

1 磨粒磨削机理

磨粒磨削机理模型如图 1 所示。砂纸研磨属于干式磨削,众多磨粒在研磨压力的作用下进行微量磨削,工件表面与研磨头上的磨粒发生挤压、滑擦和刻划,如图 1a 所示。研磨膏抛光属于湿式磨削,沾有研磨膏的植绒砂纸片上的磨粒脱落,相对工件表面滚动,如图 1b 所示。因此,磨削的实质是磨粒的磨削、研磨表面微小的塑性流动以及研磨头堵塞物与工件表面的滑擦作用^[14-15]。

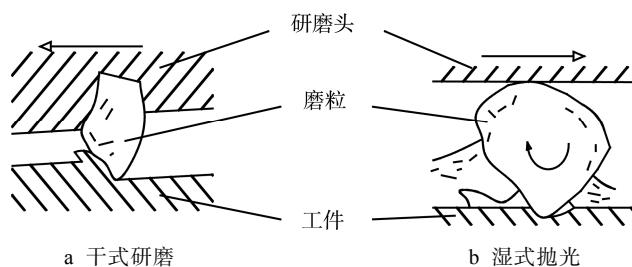


图 1 磨削模型

Fig.1 Grinding model: a) dry grinding, b) wet polishing

图 2 为安全阀密封面磨削实验原理示意图。实验装置主要由研磨头、工件转动夹具、压力调节结构构

成^[16]。以待修阀座阀瓣为实验对象,将砂纸或将沾有研磨膏的植绒砂纸片固定在研磨头上,研磨头完全覆盖工件密封面,工件在动力装置的带动下进行变速正反转运动,研磨头在不同载荷下磨削工件密封面。用 JB-1C 表面粗糙度测量仪检测磨削后的密封面粗糙度,并且用 Nscing Es 217-111 千分尺测量磨削量。

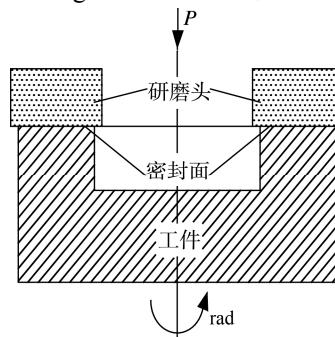


图 2 实验原理示意图
Fig.2 Schematic diagram of the experimental principle

2 砂纸研磨实验及结果分析

2.1 砂纸研磨正交实验及结果

研磨实验以 JNZH-6 型安全阀研磨维修机为平台,采用 500~1500 目砂纸对关闭件进行研磨。正交实验研究 4 个因子,每个因子均有 3 个水平,以磨削量和粗糙度为评定指标,各因子的水平设计见表 1。

表 1 砂纸研磨工艺参数及水平
Tab.1 Sandpaper grinding process parameters and levels

水平	Factor			
	(A) / N	(B) / (r·min ⁻¹)	(C) / min	(D) / 目
1	30	60	5	500
2	80	80	10	1000
3	130	100	15	1500

以 L₉(3⁴)作为正交表,正交实验的砂纸研磨磨削量和粗糙度结果见表 2。

2.2 单因素法分析

图 3 是砂纸细度对磨削量和表面粗糙度的影响趋势图,砂纸细度对工件表面质量影响很大。由图可知,磨削量随着砂纸细度的增大而先增大后减小,呈倒“V”型分布,表面粗糙度随着砂纸细度的增大而减小。原因是磨粒越大,磨削深度增加,工件表面产生较深的沟痕,并伴有切屑,磨削量先增大后减小,没

表2 砂纸研磨正交实验结果
Tab.2 Sandpaper grinding orthogonal test results

编号	各因素水平				评价指标	
	A	B	C	D	磨削量/mm	粗糙度/ μm
1	1	1	1	1	0.016	0.148
2	1	2	2	2	0.021	0.142
3	1	3	3	3	0.009	0.140
4	2	1	2	3	0.026	0.135
5	2	2	3	1	0.040	0.141
6	2	3	1	2	0.016	0.148
7	3	1	3	2	0.005	0.174
8	3	2	1	3	0.002	0.133
9	3	3	2	1	0.010	0.203

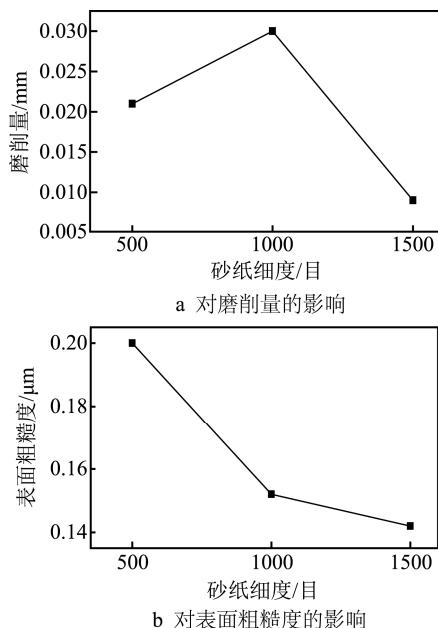


图3 砂纸细度对磨削量和表面粗糙度的影响
Fig.3 The impact of the sandpaper fineness on grinding amount (a) and surface roughness (b)

有及时排出的切屑会损伤工件，导致工件表面粗糙度变大。反之，磨粒越小，与工件接触的磨粒越多，磨削深度较小，切屑量少，表面质量高。

图4是研磨时间对磨削量和表面粗糙度的影响趋势图，由图可知，随着研磨时间的增加，磨粒磨削量逐步增加，表面粗糙度逐渐减小，两者最后均趋于平稳。磨削开始时，磨粒接触表面峰顶，5~10 min内，磨粒与工件表面剧烈磨削。10 min后，工件波峰变光滑，磨粒均匀磨削工件，磨削量减少，表面粗糙度变化趋于平缓。

图5是研磨压力对磨削量和表面粗糙度的影响趋势图，由图可知，随着研磨压力的增大，磨粒对工件表面的切削力增大，磨削量增大，表面粗糙度减小。这是由于一部分磨粒和表面波峰最先接触，工件上凸峰处接触面压力很大，实际将产生塑性变形甚至剪切断裂。随着研磨压力的增加，两粗糙表面的接触点数量和磨粒接触面积增加，磨粒的接触面变大，磨损尤为剧烈，表面粗糙度明显改善。

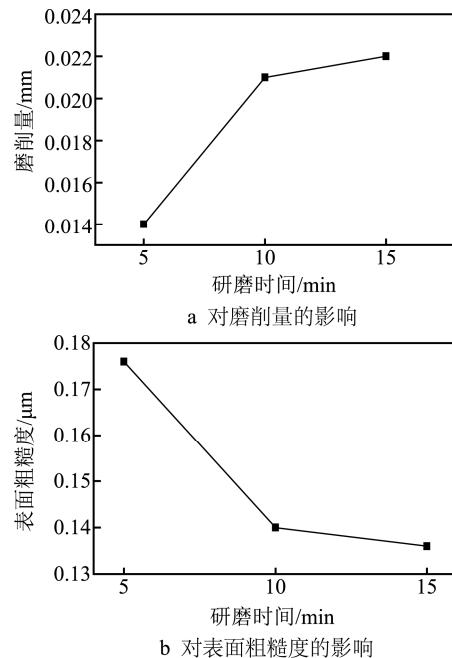


图4 研磨时间对磨削量和表面粗糙度的影响
Fig.4 The impact of grinding time on grinding amount (a) and surface roughness (b)

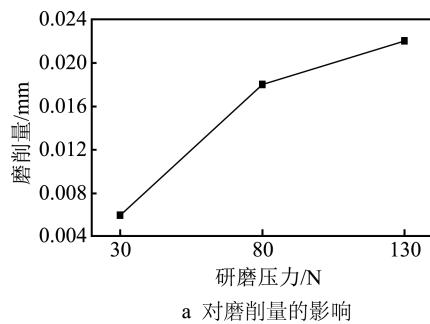


图5 研磨压力对磨削量和表面粗糙度的影响
Fig.5 The impact of grinding pressure on grinding amount (a) and surface roughness (b)

图6为研磨转速对磨削量和表面粗糙度的影响趋势图。由图可知，随着磨削转速增加，磨削量缓慢下降后呈上升趋势，而表面粗糙度一直呈下降趋势。这是由于研磨刚开始时，转速低，研磨速度为60~80 r/min，磨粒与工件表面接触时间长，对工件表面性质影响小，造成轻微磨损。随着转速增加，磨粒快速划擦工件表面，磨削量增大，表面逐渐被磨匀，同时参与磨削的磨粒增多，磨粒无规则滚动加剧，磨削量急剧增大而表面粗糙度快速降低。

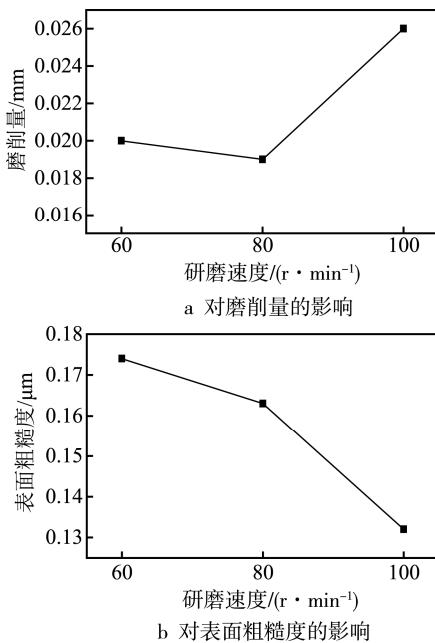


图 6 研磨速度对磨削量和表面粗糙度的影响

Fig.6 The impact of grinding speed on grinding amount (a) and surface roughness (b)

2.3 砂纸研磨的极差分析

表 3 和表 4 是对磨削量与粗糙度进行极差分析处理后的结果。由指标均值 R_2 看出, 对磨削量的影响由大到小依次是研磨压力、砂纸细度、研磨转速、研磨时间, 最好的实验方案是 $A_2B_2C_2D_1$ 。对粗糙度的影响由大到小依次是砂纸细度、研磨压力、研磨转速、研磨时间, 最好的方案是 $A_2B_2C_1D_3$ 。

表 3 密封面磨削量的极差分析

Tab.3 Seal surface grinding volume range analysis
mm

分析项	因素A	因素B	因素C	因素D
K_1	0.015	0.016	0.011	0.022
K_2	0.027	0.021	0.019	0.014
K_3	0.006	0.012	0.018	0.012
R_1	0.021	0.009	0.008	0.010

表 4 密封面粗糙度的极差分析

Tab.4 Seal surface roughness of the range analysis
μm

分析项	因素A	因素B	因素C	因素D
K_1	0.145	0.154	0.145	0.166
K_2	0.141	0.139	0.160	0.155
K_3	0.170	0.164	0.152	0.136
R_2	0.029	0.025	0.015	0.030

由于磨削量和表面粗糙度的着重点不一样, 分析各个因素对评价指标的影响程度与趋势, 综合两组研

磨工艺实验结果, 砂纸细度取折中水平 D_2 。研磨时间属于影响最小的因素, 对磨削量来讲, C_2 属于最好水平, 而对粗糙度来讲, C_1 、 C_2 的值都可接受。由此分析, 最佳实验方案为 $A_2B_2C_2D_2$: 研磨压力 80 N、砂纸细度 1000 目、研磨机转速 80 r/min、研磨时间 10 min。以此最佳研磨参数进行试验, 得出磨削量为 0.023 mm, 粗糙度为 0.135 μm。为了使密封面粗糙度达到密封要求, 去除磨削工序的加工痕迹(磨纹、划印等), 进行抛光工序。

3 研磨膏抛光实验及结果分析

3.1 研磨膏抛光正交实验及结果

抛光实验以 JNZH-6 型安全阀研磨维修机为平台, 采用 W1.5 研磨膏对密封面进行抛光。正交实验研究 3 个因子, 每个因子均有 3 个水平, 以密封面粗糙度为评定指标, 各因子的水平设计见表 5。

表 5 研磨膏抛光工艺参数及水平

Tab.5 Polishing paste polishing process parameters and levels

水平	因素		
	抛光压力 (A) /N	抛光转速 (B) / (r·min⁻¹)	抛光时间 (C) /min
1	30	60	5
2	80	80	10
3	130	100	15

以 $L_9(3^4)$ 作为正交表, 正交实验的表面粗糙度结果见表 6。

表 6 $L_9(3^4)$ 研磨膏抛光正交实验结果

Tab.6 Polishing paste polishing orthogonal test results

编号	各因素水平			评价指标 粗糙度/μm
	A	B	C	
1	1	1	1	0.100
2	1	2	2	0.083
3	1	3	3	0.073
4	2	1	2	0.106
5	2	2	3	0.104
6	2	3	1	0.106
7	3	1	3	0.134
8	3	2	1	0.130
9	3	3	2	0.107

3.2 研磨膏抛光的极差分析

表 7 是对密封面粗糙度进行极差分析处理后的结果, 指标均值 R 的大小用以衡量关键因素对实验结果影响。对粗糙度影响从大到小依次是抛光压力、抛光转速、抛光时间, 最好的实验方案是 $A_1B_3C_2$: 抛

光压力 30 N, 抛光转速 100 r/min, 抛光时间 10 min。按照最佳工艺参数抛光, 阀座表面粗糙度可达 0.073 μm。

表 7 密封面粗糙度的极差分析

Tab.7 Seal surface roughness of the range analysis

μm

分析项	因素A	因素B	因素C
K_1	0.084	0.113	0.112
K_2	0.105	0.104	0.096
K_3	0.123	0.095	0.104
R	0.039	0.018	0.016

图 7、8 分别为磨削前、抛光后阀座密封面在 XTL-100 型电子显微镜下放大 10 倍的微观图。图 7 所示密封面的表面粗糙度为 0.52 μm, 其表面遍布显而易见、深浅不一并且纵横交错的划痕。图 8 所示密封面的表面粗糙度为 0.073 μm, 其表面光滑均匀, 未见划痕。因此, 经过砂纸研磨和研磨膏抛光后, 安全阀密封面表面粗糙度降低, 表面质量明显提高。



图 7 研磨前的微观形态

Fig.7 Microcosmic morphology before grinding



图 8 抛光后的微观形态

Fig.8 Microcosmic morphology after polishing

4 结论

1) 砂纸研磨关闭件密封面, 利用正交实验方法

得到最佳研磨工艺参数, 影响磨削量的由大到小依次是研磨压力、砂纸细度、研磨转速、研磨时间, 影响表面粗糙度的由大到小依次是砂纸细度、研磨压力、研磨转速、研磨时间。采用此工艺条件, 可增加阀座与阀瓣的磨削量, 降低阀座与阀瓣的表面粗糙度。

2) 磨粒细度 W1.5 的研磨膏抛光关闭件密封面, 利用正交实验方法得到最佳抛光工艺参数, 影响表面粗糙度的由大到小依次是抛光压力、抛光转速、抛光时间。采用此工艺条件, 可进一步降低阀座与阀瓣的表面粗糙度, 提高表面质量。

3) 综合优化研磨和抛光的磨削修复工艺, 表面粗糙度为 0.073 μm, 磨削量为 0.023 mm, 大大提高了修复效率和质量。

参考文献:

- [1] TSG ZF001—2006, 安全阀安全技术监察规程[S]. TSG ZF001—2006, Safety Valve Safety Technical Supervision Procedures[S].
- [2] 李翠侠. 安全阀校验与维修中的常见问题与解决措施 [J]. 中国科技投资, 2012(36): 31.
LI Cui-xia. Common Problems and Solutions in the Calibration and Maintenance of Safety Valves[J]. China Venture Capital, 2012(36): 31.
- [3] 杨磊. 电厂电动楔形闸阀的密封及研磨[J]. 科技视野, 2015(28): 238-240.
YANG Lei. Sealing and Grinding of Electric Wedge Gate Valve in Power Plant[J]. Science & Technology Vision, 2015(28): 238-240.
- [4] 曹峰, 黄用科, 汤巍. 安全阀密封面损伤的分析与修复 [J]. 阀门, 2016(5): 42-43.
CAO Feng, HUANG Yong-ke, TANG Wei. Analysis and Repair of the Sealing Surface of the Safety Valve[J]. Valve, 2016(5): 42-43.
- [5] 李枫, 杨松山, 刘彩玉. 机械密封修复中的研磨工艺 [J]. 润滑与密封, 2006(10): 204-205.
LI Feng, YANG Song-shan, LIU Cai-yu. Grinding Technology in Mechanical Seal Repair[J]. Lubrication Engineering, 2006(10): 204-205.
- [6] 王瑾. 安全阀的密封面在维修校验过程中应注意的几个问题[J]. 甘肃冶金, 2010(1): 106-109.
WANG Jin. Several Problems on Repairing and Checking the Sealing Face of Safety Valves[J]. Gansu Metallurgy, 2010(1): 106-109.
- [7] ONWUKA G, ABOU-EL-HOSSEIN K. Surface Roughness in Ultra-high Precision Grinding of BK7[J]. Procedia CIRP, 2016(45): 143-146.
- [8] WANG Gui-lian, ZHOU Xiao-qin, YANG Xu, et al. Material Removal Profile for Large Mould Polishing with Coated Abrasives[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015(80): 625-635.
- [9] ANWAR A A, GORASH Y, DEMPSTER W, et al. Literature Research in Relevant Fields to Understand Pressure

- Relief Valve Leak Tightness in a Static Closed State[J]. Procedia Engineering, 2015(130): 95-103.
- [10] 邓俊秀, 朱海清. 安全阀阀座与阀瓣研磨工艺的实验研究[J]. 表面技术, 2016(4): 198-202.
- DENG Jun-xiu, ZHU Hai-qing. Experimental Study on the Grinding Process of Safe Valve Seat and Disc[J]. Surface Technology, 2016(4): 198-202.
- [11] HUSAIN A H, CAMILLERI J, ÖZCAN M. Effect of Polishing Instruments and Polishing Regimens on Surface Topography and Phase Transformation of Monolithic Zirconia: An Evaluation with XPS and XRD Analysis[J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2016(64): 104-112.
- [12] VAN G A, BIGERELLE M, EI M M, et al. Effects of Working Parameters on the Surface Roughness in Belt Grinding Process: the Size-scale Estimation Influence[J]. International Journal of Materials and Product Technology, 2010(38): 3.
- [13] 张东初, 裴旭明. 加工工艺对表面粗糙度及疲劳寿命的影响[J]. 中国机械工程, 2003, 14(16): 1374-1377.
- ZHANG Dong-chu, PEI Xu-ming. Effect of Processing Technology on Surface Roughness and Fatigue Life[J]. China Mechanical Engineering, 2003, 14(16): 1374-1377.
- [14] 李伯民, 赵波, 李清, 等. 磨料、磨具与磨削技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- LI Bo-min, ZHAO Bo, LI Qing, et al. Abrasive, Abrasive and Grinding Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [15] 李长河, 修世超. 磨粒、磨具加工技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- LI Chang-he, XIU Shi-chao. Abrasive, Abrasive Processing Technology and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012.
- [16] 刘兆东, 戴旭东, 郑晓, 等. 压力容器密封面交叉网纹式研磨技术研究[J]. 核电研发, 2015(2): 110-113.
- LIU Zhao-dong, DAI Xu-dong, ZHENG Xiao, et al. The Study of Cross-textured Grinding on Pressure Vessel Sealing Surface[J]. China Nuclear Power, 2015(2): 110-113.