

# 安全阀阀座与阀瓣研磨工艺的实验研究

邓俊秀, 朱海清

(江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 目的 提高安全阀阀座与阀瓣的研磨维修质量和工作效率。方法 以砂纸为研磨介质, 研究砂纸的细度、研磨压力、研磨机转速、研磨时间、研磨路径对阀座与阀瓣材料去除率与表面粗糙度的影响。通过正交实验, 综合考虑各个工艺参数对材料去除率和表面粗糙度的影响, 选择最佳工艺。结果 最佳工艺下, 安全阀关闭件的材料去除率为  $26.2 \mu\text{m}/\text{min}$ , 表面粗糙度为  $0.028 \mu\text{m}$ , 研磨修复效率提高到90%。结论 研磨维修的最佳工艺为: 砂纸目数1500目, 研磨压力30 N, 研磨机转速50 r/min, 研磨时间20 min, 研磨路径8字形。

**关键词:** 安全阀阀座与阀瓣; 研磨工艺; 正交实验; 综合优化; 材料去除率; 表面粗糙度

中图分类号: TG580.68 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2016)04-0198-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.04.033

## Experimental Study on the Grinding Process of Safe Valve Seat and Disc

DENG Jun-xiu, ZHU Hai-qing

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

**ABSTRACT:** **Objective** To improve surface quality and work efficiency of the safety valve seat and disc. **Methods** A sand paper was used as grinding medium, and the effects of the fineness of the sand paper, the grinding pressure, rotating speed of grinding machine, grinding time, and grinding path on material removal rate and surface roughness of the valve seat and disc were studied. It was supposed to obtain optimal process parameters by the orthogonal experiment analysis and comprehensive consideration on the influence of various process parameters on the material removal rate and surface roughness. **Results** After selecting optimal parameters of key factors in grinding process, the material removal rate reached  $26.2 \mu\text{m}/\text{min}$ , the surface roughness was reduced to  $0.028 \mu\text{m}$ , and the lapping repair efficiency was improved to 90%. **Conclusion** The optimal parameters were Sandpaper fineness 1500 mesh, the grinding pressure 30 N, grinding machine speed 50 r/min, milling time 20 min, figure 8 grinding path.

**KEY WORDS:** safety valve seat and disc; grinding process; orthogonal experiment; integrated optimization; material removal rate; surface roughness

安全阀是一种超压自动泄压防护装置, 通常安装在锅炉、压力容器、压力管道等承压类设备中, 广泛应

用于石油、化工、电力、钢铁等工业和日常生活领域中<sup>[1]</sup>。当设备内达到最高允许工作压力时, 安全阀应

收稿日期: 2015-11-17; 修订日期: 2016-02-17

Received: 2015-11-17; Revised: 2016-02-17

作者简介: 邓俊秀(1990—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为机械设计及理论。

**Biography:** DENG Jun-xiu(1990—), Female, Master graduated student, Research focus: mechanical design and theory.

通讯作者: 朱海清(1965—), 男, 硕士, 副教授, 主要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.

能及时、准确地开启到全开启高度并排放工作介质;在开启状态下,安全阀保持稳定无振荡的排放状态<sup>[2-3]</sup>;安全阀阀座与阀瓣是保证安全阀密封的关键零部件,安全阀在压力降至安全值时,应能及时关闭。在人工操作不当,温度、介质腐蚀长期作用下,安全阀的密封面由于介质泄漏而遭受侵蚀,引发安全阀失效,从而严重影响生产<sup>[4-6]</sup>。

对于安全阀关闭件的修复,国内大多采用磨料磨剂分类研磨、堆焊、车削修复,修复强度大、效率低下<sup>[7-12]</sup>。国外大多采用电化学加工、涂层抛光等高新技术<sup>[13-16]</sup>,人员要求和硬件成本较高,并未在我国推广使用。本文提出以砂纸为研磨介质,通过研究关键因素对关闭件材料去除率与表面粗糙度的影响,得到影响安全阀关闭件研磨的最优工艺参数组合,从而制定出新的研磨标准工艺,为研磨设备开发和维修技术深入研究提供坚实的理论依据。

1 实验

实验的原理如图 1 所示。将砂纸平整固定在研磨机的研磨盘上,阀瓣与阀座放置在研磨盘上,研磨盘以不同速度顺时针或者逆时针旋转,阀瓣和阀座在外载荷作用下进行磨削维修实验。实验的研究对象为在用的待维修的关闭件,其表面粗糙度范围约为 0.5~0.6 μm。研磨修复后的关闭件密封面的粗糙度用 JB-1C 测量仪测定,每个工件测 5~6 个点,取平均值。利用 XTL-100 型体视电子显微镜观察研磨前后工件表面形貌。材料去除率(MRR)利用下列公式计算<sup>[5]</sup>,阀瓣初始厚度为 0.48 mm。

$$MRR=1000\times\frac{\Delta m\times H}{M\times t}$$

式中:MRR 为材料去除率,μm/min;Δm 为阀座与阀瓣分别研磨加工前后的质量差,g;H 为关闭件的初始厚度,mm;M 为加工工件原始质量,g;t 为研磨维修

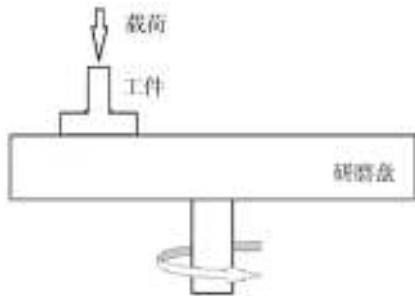


图 1 实验原理  
Fig. 1 Experimental principle

的时间,min。  
本研磨实验以 SFX-150T 型安全阀研磨机为实验平台,采用 46#—80#砂轮对关闭件进行粗磨后,再使用砂纸进行研磨。正交实验研究 5 个因子,每个因子均有 4 个水平,以材料去除率和表面粗糙度为评定指标,各因子的水平设计见表 1,其中 A、B、C、D、E 分别表示砂纸的细度、研磨压力、研磨机转速、研磨时间、研磨路径,选用 L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>)作为正交表。

表 1 安全阀关闭件研磨工艺参数及水平  
Tab. 1 Process parameters and levels for grinding safety valve

水平	因素				
	砂纸的细度 (A)/目	研磨压力 (B)/N	研磨机转速 (C)/(r·min <sup>-1</sup> )	研磨时间 (D)/min	研磨路 径(E)
1	800	5	20	5	直线
2	1000	10	30	10	波浪线
3	1500	20	40	20	椭圆
4	2000	30	50	30	8 字形

2 结果与分析

2.1 实验结果

按照 L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>) 正交表进行实验,正交实验的材料去除率和表面粗糙度结果见表 2。

表 2 L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>) 正交表实验结果  
Tab. 2 Orthogonal list L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>)

编号	各因素水平					评价指标	
	A	B	C	D	E	MRR/ (μm·min <sup>-1</sup> )	Ra/μm
1	1	1	1	1	1	15.2	0.392
2	1	2	2	2	2	18.4	0.284
3	1	3	3	3	3	20.1	0.213
4	1	4	4	4	4	28.3	0.166
5	2	1	4	3	4	18.6	0.138
6	2	2	1	4	3	19.4	0.146
7	2	3	2	1	2	21.8	0.182
8	2	4	3	2	1	26.5	0.063
9	3	1	3	4	2	14.8	0.082
10	3	2	4	3	1	21.7	0.041
11	3	3	1	2	4	16.5	0.067
12	3	4	2	1	3	21.4	0.090
13	4	1	4	2	3	14.3	0.086
14	4	2	3	1	4	15.6	0.092
15	4	3	2	4	1	19.7	0.024
16	4	4	1	3	2	18.2	0.038

## 2.2 工艺参数对安全阀关闭件材料去除率和表面质量的影响

图2是砂纸的细度对材料去除率与表面粗糙度的影响趋势图。从图中可以看出,随着砂纸细度的增大,材料去除率先缓慢增大后减少。这是根据磨粒磨损的规律,在施加相同载荷下,粒度大的磨粒磨削的金属量大于小粒度的金属磨削量。开始研磨一段时间后,磨削量累计增加,材料去除率先增大后减小。表面粗糙度随着砂纸细度的增大而减少,原因在于当砂纸的磨粒尺寸减少时,细颗粒对微观划痕进行重点修复,使表面平整精度进一步提高。

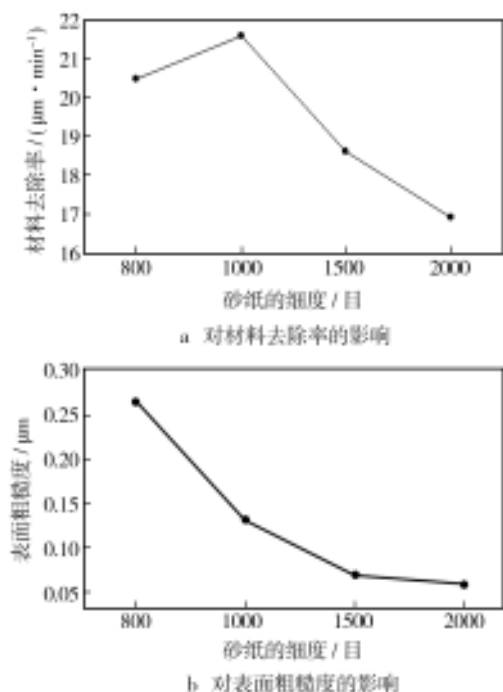


图2 砂纸的细度对材料去除率与表面粗糙度的影响

Fig. 2 The impact of the fineness of sand paper on the MRR and surface roughness

图3a为研磨压力对材料去除率的影响趋势图,从图中可以看出,材料去除率随着研磨压力的增大而呈上升趋势。原因在于研磨初期,研磨压力加载在接触点突出的波峰上,切削较剧烈;随着研磨压力的增加,研磨过程中切削的有效磨粒数量相应增加,磨削研磨程度加深。图4b为研磨压力对表面粗糙度的影响,表面粗糙度随着研磨压力的增大而减小。研磨压力增加,加工件的凹凸平面变得更平整,维修平面的表面质量显著改善, $R_a$ 降到 $0.1 \mu\text{m}$ 以下。

图4a所示为研磨转速对材料去除率的影响趋势图,材料去除率随着研磨转速增加,总体呈上升的趋

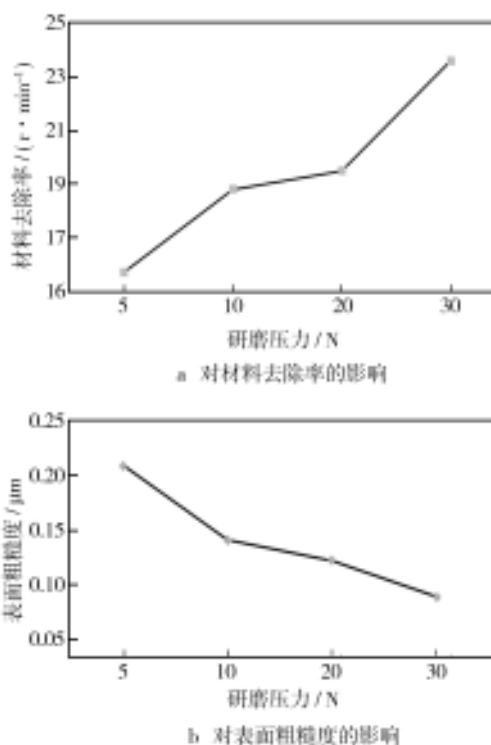


图3 研磨压力对材料去除率和表面粗糙度的影响

Fig. 3 The impact of grinding pressure on the MRR and surface roughness

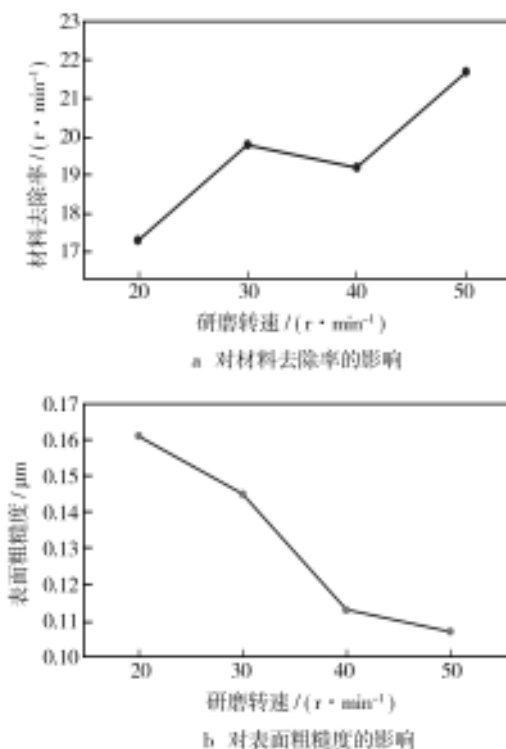


图4 研磨转速对材料去除率和表面粗糙度的影响

Fig. 4 The impact of grinding speed on the MRR and surface roughness

势。这主要是因为最初研磨时,加工平面较凸出,有利于材料去除;随着研磨转速的提高,加工件运转平稳均匀地去除材料,材料去除率有所下降。加大研磨转速,单位时间内作用在加工表面的颗粒数量增加,材料去除率又开始增大。图 4b 是研磨转速对表面粗糙度的影响,表面粗糙度随研磨转速的增加而减少。低速引发磨削的温度变化较小,随着转速增加,增加的有效磨料与表面颗粒充分接触磨削,工件加工平面质量得到提高。

图 5a 为研磨时间对材料去除率的影响,材料去除率随着研磨时间增加呈先增大后减小的趋势。由于开始加工时,加工表面上峰谷微观较突出,磨粒与凸凹不平的颗粒大量磨削。随着磨削时间的增加,微观表面的波峰通过磨粒磨削变得平整。图 5b 为研磨时间对表面粗糙度的影响,表面粗糙度随着研磨时间增加而减少,超过 20 min 时,表面粗糙度呈平稳状态。加工零件表面在起初一定时间内切削量较剧烈,直至均匀磨削。

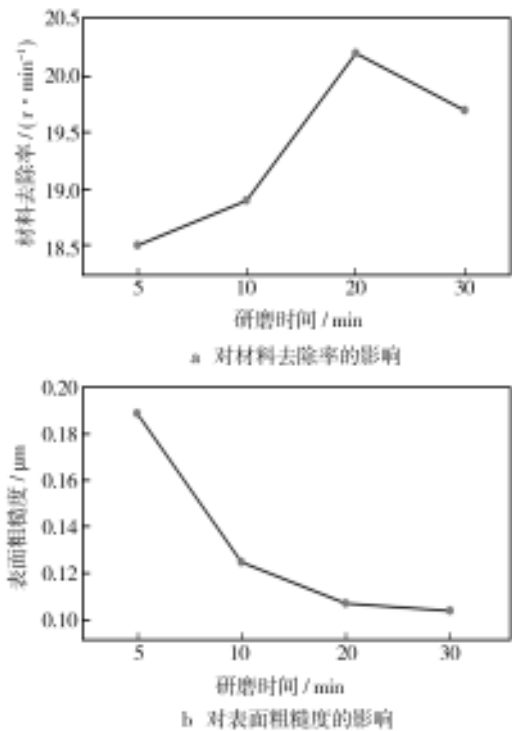


图 5 研磨时间对材料去除率和表面粗糙度的影响  
Fig. 5 The impact of grinding time on the MRR and surface roughness

图 6 所示为研磨路径对材料去除率与表面粗糙度的影响,从图中可以看出,研磨路径对材料去除率和表面粗糙度的影响不是很显著。直线形研磨轨迹,长期研磨会对研磨介质造成严重的磨损。波浪形研

磨不但增加了研磨的难度,研磨效果也不好。所以可以重点考虑椭圆形和 8 字形,8 字形去除率比椭圆形稍高,其加工表面质量也比椭圆形加工好。

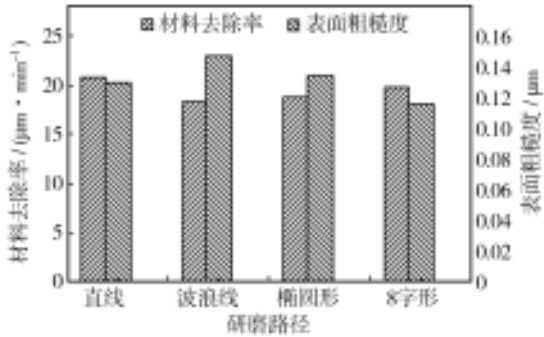


图 6 研磨路径对材料去除率和表面粗糙度的影响  
Fig. 6 The impact of grinding path on the MRR and surface roughness

表 3、表 4 分别为通过正交实验得到材料去除率和表面粗糙度的极差分析结果。从表 3 中可见,对材料去除率影响的各因素主次顺序分别为研磨压力、砂纸的细度、研磨转速、研磨路径、研磨时间,材料去除率的值越大越好,所以材料去除率的最佳实验组合方案是  $A_2B_4C_4D_3E_1$ 。同理可得,各个因素对表面粗糙度影响主次顺序依次为砂纸的细度、研磨压力、研磨时间、研磨机转速、研磨路径,表面粗糙度越小越好,所以最佳实验组合是  $A_4B_4C_4D_4E_4$ 。

表 3 材料去除率的极差分析					
Tab.3 Range analysis of MRR					
					$\mu\text{m}/\text{min}$
水平	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 E
$K_1$	20.5	15.7	17.3	18.5	20.8
$K_2$	21.6	18.8	19.8	18.9	18.3
$K_3$	18.6	19.5	19.2	20.2	18.8
$K_4$	16.9	23.6	21.7	19.7	19.8
$R$	4.7	7.9	4.4	1.7	2.5

表 4 表面粗糙度的极差分析					
Tab.4 Range analysis of surface roughness					
					$\mu\text{m}$
水平	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 E
$K_1$	0.264	0.209	0.161	0.189	0.130
$K_2$	0.132	0.141	0.145	0.125	0.147
$K_3$	0.070	0.122	0.113	0.107	0.134
$K_4$	0.060	0.089	0.107	0.104	0.116
$R$	0.204	0.120	0.054	0.085	0.031



从上述两种最优组合可以看出,由于材料去除率和表面粗糙度的侧重点不一样,工艺参数的优化组合也不相同,所以要综合考虑各个工艺参数对材料去除率和表面粗糙度的影响程度和趋势,选出最优参数组合。

根据上述各因素对材料去除率和表面粗糙度的影响,综合分析得出各研磨工艺参数的最优组合是  $A_3B_4C_4D_3E_4$ , 即:砂纸的细度 1500 目、研磨压力 30 N、研磨转速 50 r/min、研磨时间 20 min、研磨路径为 8 字形。按照优化的工艺参数进行实验验证,安全阀阀座与阀瓣材料去除率为  $26.2 \mu\text{m}/\text{min}$ ,表面粗糙度为  $0.028 \mu\text{m}$ 。图 7 为电子显微镜放大 10 倍观察到的最佳工艺研磨前后阀座与阀瓣的表面形貌,图 7a 为研磨前工件表面形貌,密封面上有明显划痕,划痕错综复杂、深浅不一,表面粗糙度约为  $0.56 \mu\text{m}$ ;图 7b 为研磨后表面形貌,可见表面均匀无划痕,表面粗糙度约为  $0.028 \mu\text{m}$ 。通过对比可得出:经过研磨后,工件的表面质量得到了明显的改善。

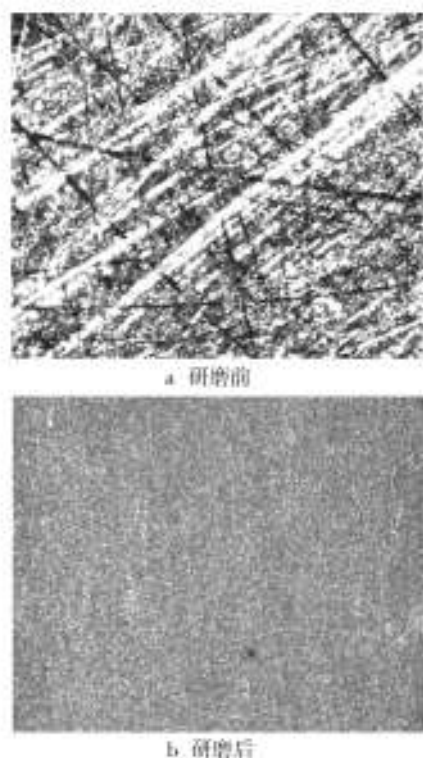


图 7 研磨前后工件表面形貌

Fig. 7 Surface topography of the workpiece before and after grinding

### 3 结论

1) 各因素对材料去除率影响的大小依次为研磨压强、砂纸的细度、研磨机转速、研磨时间、研磨路径,对表面粗糙度影响大小依次为砂纸的细度、研磨压

力、研磨时间、研磨机转速、研磨路径。

2) 综合优化的研磨加工参数为:砂纸的细度 1500 目,研磨压力 30 N,研磨机转速 50 r/min、研磨时间 20 min、研磨路径 8 字形。最佳工艺下,安全阀关闭件的材料去除率为  $26.2 \mu\text{m}/\text{min}$ ,表面粗糙度为  $0.028 \mu\text{m}$ ,研磨修复效率提高到 90%。

### 参考文献

- [1] 周震. 安全阀[M]. 北京:中国标准出版社,2003.  
ZHOU Zhen. Safety Valve[M]. Beijing: China Standardization Press, 2003.
- [2] TSG ZF001—2006, 安全阀安全技术监察规程[S].  
TSG ZF001—2006, The Rules of the Safety Technology Safety Valve[S].
- [3] 苏红梅. 研磨技术在安全阀维修中的应用[J]. 中国锅炉压力容器安全, 1999(5): 23—25.  
SU Hong-mei. Application of Grinding Technology in the Safety Valve Repairing[J]. Journal of Chinese Boiler Pressure Vessel, 1999(5): 23—25.
- [4] 蔡艳. 表面粗糙度参数对密封性能的影响分析[J]. 机械工业标准化与质量, 2009(6): 40—42.  
CAI Yan. The Influence of Surface Roughness Parameters on Sealing Performance[J]. Mechanical Industry Standardization and Quality, 2009(6): 40—42.
- [5] FROMMANN L. Analysis of Safety Valve Chatter Induced by Pressure Waves in Gas Flow[J]. Journal of Loss Prevention in the Industries, 1998(11): 279—290.
- [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(2): 106—109.  
WANG Jin. Several Problems of the Sealing Surface in Safety Valve Paid Attention to in Maintenance and Calibration Process[J]. Journal of Gansu Metallurgy, 2010(2): 106—109.
- [7] 李法武. 用废旧玻璃研磨修理锅炉安全阀的方法[J]. 青海科技, 2001(4): 49.  
LI Fa-wu. Method of Repairing by Waste Glass Grinding in Boiler Safety Valve[J]. Journal of Qinghai Province Science and Technology, 2001(4): 49.
- [8] 韩敏. 电厂安全阀阀座就地车削修复技术的实践[J]. 广东电力, 2005(9): 72—74.  
HAN Min. The Practice of Turning Repair Technology on the Spot in Safety Valve Seat[J]. Journal of Guangdong Electric Power, 2005(9): 72—74.
- [9] 侯世勇. 安全阀阀瓣堆焊修复[J]. 内蒙古电力技术, 2000(3): 22—23.

(下转第 212 页)

- Detecting Method[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2004(5):56—61.
- [7] 陈会丽, 钟毅, 王华昆. 残余应力测试方法的研究进展[J]. 云南冶金, 2005, 34(3):52—54.
- CHEN Hui-li, ZHONG Yi, WANG Hua-kun. Research Progress of the Method for Residual Stress Measurement[J]. Yunnan Metallurgy, 2005, 34(3):52—54.
- [8] 高玉魁. TC18 超高强度钛合金喷丸残余压应力场的研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2004, 39(11):1209—1212.
- GAO Yu-kui. Residual Compressive Stress Field in TC18 Ultra-high Strength Titanium Alloy by Shot Peening[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2004, 39(11):1209—1212.
- [9] 李瑞鸿, 刘道新, 张伟, 等. 喷丸强化与表面完整性对 300M 钢疲劳性能的影响[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(9):1418—1423.
- LI Rui-hong, LIU Dao-xin, ZHANG Wei, et al. Influence of Shot Peening and Surface Integrity on the Fatigue Properties of 300M Steel[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2011, 30(9):1418—1423.
- [10] 汝继刚, 李超, 王亮, 等. 喷丸强化对 7A12 铝合金微观组织和疲劳性能的影响[J]. 航空材料学报, 2013, 33(6):51—56.
- RU Ji-gang, LI Chao, WANG Liang, et al. Effect of Shot Peening on Microstructure and Fatigue Life of 7A12 Aluminum[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2013, 33(6):51—56.
- [11] 王仁智. 金属材料的喷丸强化原理及其强化机理综述[J]. 中国表面工程, 2012, 25(6):1—9.
- WANG Ren-zhi. Overview on the Shot Peening Principle and Its Strengthening Mechanisms for Metallic Materials[J]. China Surface Engineering, 2012, 25(6):1—9.
- [12] 高玉魁. 超高强度钢喷丸表面残余压应力在疲劳过程中的松弛规律[J]. 材料热处理学报, 2007, 28(8):102—105.
- GAO Yu-kui. Shot-peened Surface Residual Stress Relaxation during Fatigue for Ultra-high Strength Steel[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2007, 28(8):102—105.
- [13] 邹家生, 潘浩, 刘川, 等. 大型核电厚壁结构 X 射线衍射法残余应力测试[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2013, 27(6):532—535.
- ZOU Jia-sheng, PAN Hao, LIU Chuan, et al. Detection of Residual Stress in Large Nuclear Thick-walled Structure using X-Ray Diffraction Technology[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2013, 27(6):532—535.
- [14] 陈玉安, 周上祺. 残余应力 X 射线测定方法的研究现状[J]. 无损检测, 2001, 23(1):19—22.
- CHEN Yu-an, ZHOU Shang-qi. The State of the Art of the Study on Residual Stress Measurement by X-Ray Analysis[J]. NDT, 2001, 23(1):19—22.
- [15] 张定铨, 何家文. 材料中残余应力的 X 射线衍射分析和作用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1999.
- ZHANG Ding-shuan, HE Jia-wen. X Ray Diffraction Analysis and Effect of Residual Stress in Materials[M]. Xi'an: Xi'an Jiao Tong University Press, 1999.
- [16] 冯昌瑾. AISI403 钢电站汽轮机叶片喷丸残余应力分布[J]. 理化检验—物理分册, 2013, 49:526—527.
- FENG Chang-jin. Residual Stress Distribution of AISI403 Steel Power Station Turbine after Shot Peening Treatment[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing), 2013, 49:526—527.

~~~~~

(上接第 202 页)

- HOU Shi-yong. Welding Repair of the Safety Valve Disc[J]. Journal of Inner Mongolia Electric Power Technology, 2000(3):22—23.
- [10] 章华. 带热补偿和弹性补偿密封面的高温高压弹簧安全阀:CN,104482261A[P]. 2015-04-01.
- ZHANG Hua. Sealing Surface with Thermal Compensation and Elastic Compensation of High Temperature and High Pressure Relief Valve Spring:CN,104482261A[P]. 2015-04-01.
- [11] 万永康, 张素英. 阀门磨削维修机床:CN,102615568A[P]. 2012-08-01.
- WAN Yong-kang, ZHANG Su-ying. Valve Grinding Maintain by Machine Tool:CN,102615568A[P]. 2012-08-01.
- [12] 孔令新. 新型安全阀阀座研磨机构研制[J]. 石油化工设备, 2012(S1):42—45.
- KONG Ling-xin. Mechanism Research of New Type Safety Valve Seat Grinding[J]. Journal of Petrochemical Equipment, 2012(S1):42—45.
- [13] MARADIA A. Super-finished Surfaces Using Meso-micro EDM[J]. Procedia CIRP, 2013(62):157—162.
- [14] NECHACHE P S. Finishing with Ultrasonic and Magnetic Assistance in Electrochemical Micro-machining[J]. Electrochimica Acta, 2009(54):6022—6027.
- [15] OHMORI H T. Mirror Surface Grinding of Silicon Wafers with Electrolytic Inprocess Dressing[J]. Ann CIRP, 1990, 39(1):329—332.
- [16] CREMERS J. Validated Sizing Rule Against Chatter of Relief Valves during Gas Service[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2001, 14(6):261—265.