

金刚石研磨液抛光高硬度不锈钢工艺研究

王志强¹, 豁国燕¹, 方伟¹, 王沛², 刘弟鑫¹
(1. 郑州磨料磨具磨削研究所有限公司, 郑州 450001)
(2. 河南工业大学, 郑州 450001)

摘要 研究了 11Cr17 不锈钢的抛光工艺。通过考察抛光液理化指标参数以及抛光工艺条件对不锈钢去除速率、反射率、表面粗糙度值 R_a 的影响, 确定了合适的抛光工艺: 抛光时间 60 min、系统压力 150 N、磨盘转速 50 r/min。经此条件抛光后的不锈钢表面平整光亮, 去除速率 0.047 7 mm/min, 反射率为 47%, 表面粗糙度值 R_a 为 21 nm。
关键词 不锈钢; 抛光; 反射率; 表面粗糙度
中图分类号 TG74; TQ164 **文献标志码** A **文章编号** 1006-852X(2014)06-0076-04
DOI 码 10.13394/j.cnki.jgszz.2014.6.0016

CMP of stainless steel 11Cr17 with diamond slurry

WANG Zhi-qiang¹, HUO Guo-yan¹, FANG Wei¹, WANG Pei², LIU Di-xin¹
(1. Zhengzhou Research Institute for Abrasives & Grinding Co. Ltd., Zhengzhou 450001, China)
(2. Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract The polishing process of 11Cr17 stainless steel was studied. The effects of slurry characteristics and polishing conditions on removal rate, reflectivity and roughness (R_a) of the stainless steel were examined. Optimized polishing process conditions were as follows: polishing time 60 min, system pressure 150 N, and disc rotation speed 50 r/min. The stainless steel surface was smooth and bright after polishing on these conditions. The removal rate was 0.047 7 mm/min and the reflectivity 47%, as well as the surface roughness R_a 21 nm.
Key words stainless steel; polishing; reflectivity; surface roughness

不锈钢材料具有强度好、耐磨性高、防腐性能优越及不易生锈等优良特性。因此, 其被广泛应用于建筑业、汽车制造、加工制造等行业^[1]。在所有不锈钢、耐热钢中, 11Cr17 硬度最高, 用途较广, 特别适合于作喷嘴、轴承使用。但不锈钢在热加工、机械加工等条件处理后, 其表面会形成一层主要成分为 Cr_2O_3 、NiO 以及十分难溶的 FeO 、 Cr_2O_3 黑灰色的氧化皮, 它们的存在一方面影响外观质量, 另一方面也影响产品的使用性能, 因此需要对其进行研磨和抛光^[2]。传统的不锈钢表面抛光一般都单一采用机械抛光、化学抛光或电解抛光等方法^[3-5]。本实验通过使用不同粒径的金刚石研磨液对不锈钢进行抛光, 既包含研磨粒子的机械作用, 又包含了酸腐蚀的化学作用, 得到了较好的抛光效果, 并且工艺简单、操作方便、环境污染极小。

1 实验条件与过程

1.1 实验材料

1.1.1 抛光工件
选用 11Cr17 不锈钢片作为抛光工件, 规格为 30 mm×30 mm×5 mm; 具体成分如表 1 所示:

表 1 11Cr17 不锈钢化学成分

成分	质量分数/%	成分	质量分数/%
C	0.95~1.20	Si	≤1.00
Mn	≤1.00	S	≤0.03
P	≤0.035	Cr	16.00~18.00
Ni	≤0.60	Mo	≤0.75

1.1.2 抛光耗材

微米级金刚石研磨液, 粒度 $2\text{ }\mu\text{m}$ 和 $10\text{ }\mu\text{m}$; 纳米级金刚石抛光液, 粒度 $60\sim 80\text{ nm}$ 。

1.2 实验流程与实验条件

1.2.1 实验流程

不锈钢片粘接→水洗→酒精擦拭→粗研磨→精研磨→抛光→水洗→酒精擦拭→吹干。

首先, 分别采用磨料粒度为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 和 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的金刚石研磨液对 11Cr17 不锈钢进行粗磨和精磨; 然后采用 $60\sim 80\text{ nm}$ 的纳米金刚石抛光液对工件进行精抛。

1.2.2 实验条件

抛光液理化指标参数如表 2 所示, 抛光工艺参数如表 3 所示。

表 2 抛光液理化指标参数

pH 值	黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)
1.5	12
4.0	14
6.0	16
8.0	18
10.0	20

表 3 抛光工艺参数

抛光时间/min	砑码质量/kg	磨盘转速/(r/min)
15	10	20
30	15	30
40	20	40
50	25	50
60	—	60
70	—	—
80	—	—

1.3 测试与表征方法

1.3.1 去除速率

使用千分尺测试不锈钢片在抛光前后的厚度变化, 使用下列公式计算不锈钢的去除率:

$$v=(T_1-T_2)/\Delta t$$

其中: V 为去除率, T_1 为原始厚度, T_2 为抛光后不锈钢片的厚度, Δt 为抛光时间。

1.3.2 反射率

采用 CU8-III 反射率测试仪测试研磨抛光后样品的反射率, 来表征抛光效果, 以反射率为 100% 的镜面

作为参考。

1.3.3 表面粗糙度值 R_a

使用日本三丰粗糙度仪 (SJ-210) 测试试样抛光前后的粗糙度值 R_a 。

1.3.4 表面形貌

采用 MA2003 型号的工业显微镜测试抛光前后试样的表面形貌。

1.3.5 微观表面形貌

采用美国 Bruker 公司生产的 dimension edge 原子力显微镜测试抛光前后试样的微观表面形貌。

2 结果与讨论

纳米抛光作为工艺加工的最后一个环节, 抛光液的材料性能和抛光工艺的选用直接影响抛光效率以及最终工件的表面质量, 下面做了重点研究。

2.1 抛光液理化指标参数对抛光效果的影响

2.1.1 抛光液 pH 值对表面粗糙度和去除率的影响

实验采用磷酸和氨水做 pH 值调节剂, 磷酸和氨水无强氧化性和强腐蚀性, 对环境危害较小^[6]。并且, 磷酸是中等强度三元无机酸, 黏度大、酸度低, 在抛光过程中既能起到溶解不锈钢的作用, 又可以在不锈钢表面形成磷酸盐保护膜, 减缓腐蚀速度^[7]。如图 1 所示。



图 1 不锈钢表面形成致密的氧化膜

考察不同 pH 值下, 抛光液对工件表面粗糙度和去除率的影响见图 2。

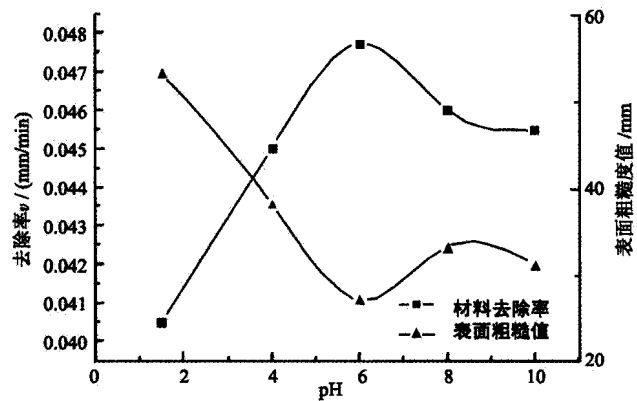


图 2 pH 值对表面粗糙度和去除率的影响

从图 2 可以看出: 当 pH 值小于 3 时, 表面粗糙度

值在 50 nm 以上,材料去除率较低。这是由于在强酸环境下,不锈钢 11Cr17 表面形成了一种致密的氧化膜,氧化膜的存在阻碍了抛光的顺利进行。随着 pH 值的升高,材料去除率逐渐增加,表面粗糙度也急剧降低;当 pH 值达到 6 时,材料去除率最高,表面粗糙度达到最低。这可能是由于 pH 值接近于中性时,不锈钢表面氧化膜减少,促进了抛光的顺利进行。随着 pH 值的继续升高,接近中性或变为碱性时,材料去除率略微有所降低,表面粗糙度升高。

2.1.2 抛光液黏度对表面粗糙度和去除速率的影响

抛光液的黏度对不锈钢表面材料去除速率和粗糙度有着显著的影响^[8]。从图 3 中可以看出:随着抛光液黏度的不断增加,11Cr17 不锈钢的材料去除率不断降低,这是由于随着黏度增加,在不锈钢表面形成了一层致密的保护膜,这种保护膜可以防止不锈钢的过度腐蚀,同时也使材料去除速率有所降低。粗糙度方面,随着抛光液黏度的不断升高,不锈钢表面粗糙度逐渐降低;在黏度为 16 mPa·s 时,表面粗糙度最低;但随着黏度的继续增大,表面粗糙度开始上升。这是因为随着黏度的增大,研抛过程中产生的铁屑杂质等无法随抛光液顺利排出,从而造成杂质对工件表面产生划伤,使粗糙度增大。

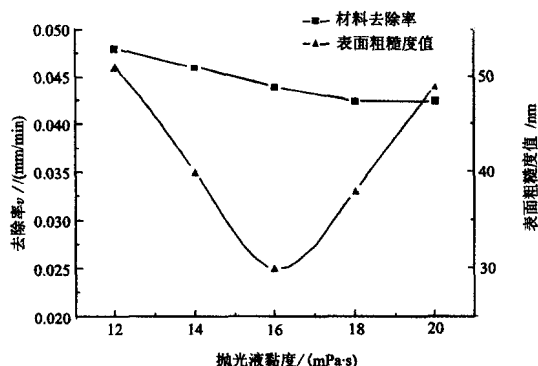


图 3 黏度对表面粗糙度 R_a 和去除速率的影响

2.2 工艺条件对抛光效果的影响

2.2.1 抛光时间对表面粗糙度和反射率的影响

在一定时间范围内,不锈钢工件表面的光亮程度与抛光时间成正比。如果抛光时间过长,工件的表面粗糙度 R_a 和反射率基本会保持不变。图 4 为在砝码质量 15 kg,转速为 50 r/min,使用纳米金刚石抛光液的情况下,抛光时间对工件反射率和表面粗糙度的影响。

从图 4 中可以看出:随着抛光时间的增加,不锈钢

11Cr17 的表面粗糙度逐渐降低,当超过 60 min 时,表面粗糙度值趋于稳定,即使再增加抛光时间也无法达到更低的粗糙度。反射率在抛光时间达到 60 min 时,也达到最高值。延长抛光时间也无法将反射率继续升高。综合分析,不锈钢 11Cr17 的最佳抛光时间为 60 min。

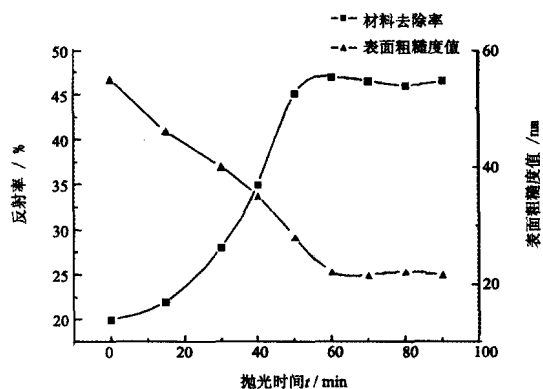


图 4 抛光时间对表面粗糙度和反射率的影响

2.2.2 抛光压力对表面粗糙度和反射率的影响

抛光压力决定着工件磨削面上的摩擦力大小,从而会影响抛光效果。图 5 为在转速为 50 r/min,抛光时间为 60 min,使用纳米金刚石抛光液的情况下,系统压力对工件表面反射率和表面粗糙度的影响。从图 5 中可以看出:系统压力为 150 N 时,不锈钢 11Cr17 表面粗糙度降到最低,反射率达到最高。故系统的最佳压力为 150 N。

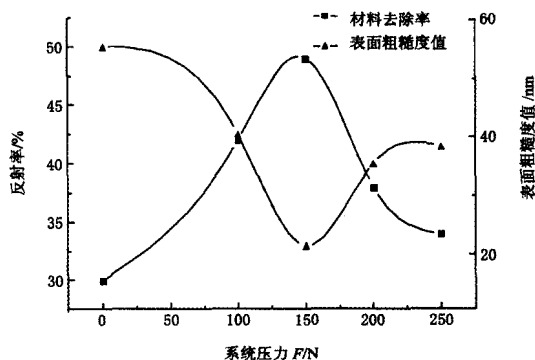


图 5 压力对表面粗糙度和反射率的影响

2.2.3 磨盘转速对表面粗糙度和反射率的影响

在系统压力为 150 N、抛光时间为 60 min 时,使用纳米金刚石抛光液,考察磨盘转速对工件表面粗糙度和反射率的影响,如图 6 所示。当磨盘转速为 50 r/min 时,不锈钢 11Cr17 表面粗糙度达到了最低,反射率最高。由此确定,抛光不锈钢 11Cr17 的最佳磨盘转速为 50 r/min。

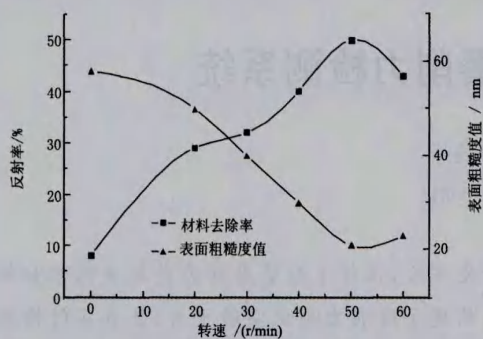


图6 磨盘转速对表面粗糙度和反射率的影响

2.3 工件加工后的表面形貌分析

图7为研磨抛光前后不锈钢11Cr17表面形貌对比图。由图7a肉眼观察,抛光前的不锈钢表面暗淡、无光泽。抛光后的不锈钢表面光亮、平整。由图7b显微镜观察结果可知:抛光前不锈钢工件表面存在很厚的氧化膜,而且表面还有压铸痕迹,而抛光后的表面形貌有了极大的改观,工件表面形貌非常均匀。图7c为使用原子力显微镜观察抛光前后的工件表面状态图。对比可见,抛光后表面质量有了很大的改观,几乎很少有深划痕的存在。

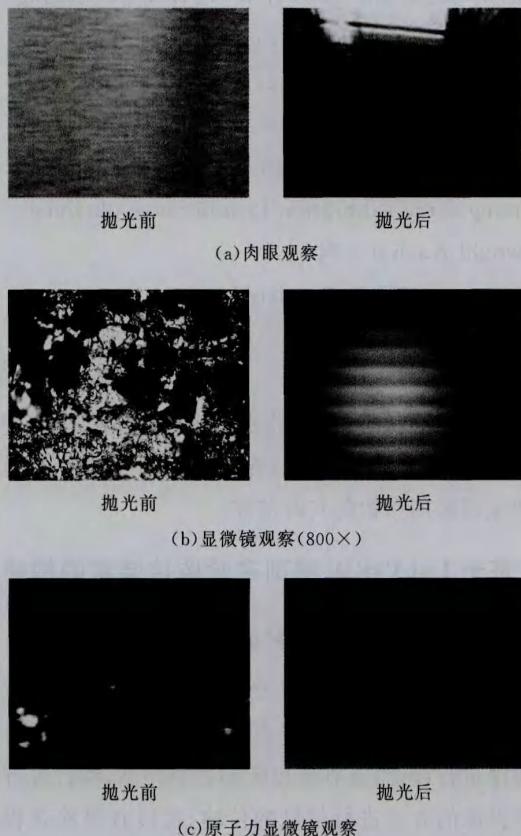


图7 不同条件下观察不锈钢11Cr17抛光前后表面形貌图

3 结论

(1)当纳米金刚石抛光液的pH值为6时,材料去除率会达到最高,表面粗糙度最低。继续增大pH值,会使表面粗糙度值增大。另一方面,黏度的升高会使材料去除率降低,黏度为16 mPa·s时获得最低粗糙度值。综合考虑,pH值最佳为6、黏度最佳为16 mPa·s。

(2)抛光11Cr17不锈钢的最佳的工艺参数为:抛光时间60 min、系统压力150 N、磨盘转速50 r/min。经此条件下抛光的不锈钢表面平整光亮,去除率为0.047 7 mm/min,反射率为47%,表面粗糙度值 R_a 为21 nm。

参考文献:

- [1] 王元清,袁焕鑫,石永久,等. 不锈钢结构的应用和研究现状[J]. 工业建筑, 2010, 25(2): 1-14.
WANG Yuanqing, YUAN Huanxin, SHI Yongjiu, et al. A review of current applications and research of stainless steel structure [J]. Steel Construction, 2010, 25(2): 1-12.
- [2] TSUI H P, YAN B H, WU W T, et al. A study on stainless steel mirror surface polishing by using the electrophoretic deposition method [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, 47(12-13): 1965-1970.
- [3] 朱永华,潘国顺,刘岩. 不锈钢超精抛光蜡的研制[J]. 材料保护, 2011, 44(7): 47-49.
ZHU Yonghua, PAN Guoshun, LIU Yan. Development of ultra precision polishing wax stainless steel [J]. Journal of Materials Protection, 2011, 44(7): 47-49.
- [4] 姚颖悟,邱立,赵春梅,等. 不锈钢化学抛光工艺的研究[J]. 电镀与精饰, 2010, 32(9): 5-8.
YAO Yingwu, QIU Li, ZHAO Chunmei, et al. Chemical polishing technology of stainless steel [J]. Plating & Finishing, 2010, 32(9): 5-8.
- [5] 曾祥德. 新型环保型不锈钢抛光工艺[J]. 电镀与涂饰, 2006, 25(10): 23-25.
ZENG Xiangde. A new environmental protection polishing process for stainless steel [J]. Electroplating & Finishing, 2006, 25(10): 23-25.
- [6] HU X, SONG Z, LIU W, et al. Chemical mechanical polishing of stainless steel foil as flexible substrate [J]. Applied Surface Science, 2012, 258: 5798.
- [7] LEE S J, CHEN Y H, HU S C, et al. Improved performance of

(下转第83页)

实验对比分析结果显示,通过平滑滤波后实验数据显示的结果与实际结果非常接近,中值误差大约在 0.58 左右,表明该系统能够很好地进行砂带磨削力实验测试研究,说明设计的程序可以达到预期的目的,并可以延伸到磨削温度的研究领域。该程序编程简单,便于调试,可以根据不同的需求灵活调整程序的运行过程,具有广泛的应用和开发价值。

3 结论

介绍了砂带磨削监控系统的构建过程以及编程分析,以 LabVIEW 为编程开发平台,完成了砂带磨削监控装置的构建。通过实验结果分析可以看出,该系统能够完成磨削力采集,信号处理,失效报警,超大内存的数据记录等任务,进一步完善可以综合进行磨削力和磨削温度的同时采集。由于实验环境的限制,测试结果受外界干扰,系统精度存在一定误差,可以通过改进实验装置进一步提高。

为了更加完善该系统的使用功能和监控效果,下一步可以增加磨削温度的监控系统设计,同时进行磨削力、磨削温度的综合测试。进一步分析砂带的磨削性能,提高砂带的生产质量和使用寿命。

参考文献:

- [1] 陈方泉,李建周,马思文,等. 基于 LabVIEW 的步进电机驱动设计及其应用 [J]. 上海大学学报(自然科学版), 2007, 17: 89-92.
CHEN Fangquan, LI Jianzhou, MA Siwen, et al. Based on the LabVIEW of stepper motor driver design and application [J]. Journal of Shanghai University (Natural Science Edition), 2007, 17: 89-92.
- [2] 崔巍. 磨削力计算机检测系统的试制 [J]. 郑州工业高等专科学校学报, 1999, 15(2): 27-29.
CUI Wei. Computer test system for manufacture of grinding force [J]. Journal of Zhengzhou Polytechnic College, 1999, 15(2): 27-29.
- [3] 耿朝,崔建昆. 基于 Labview 的齿轮泵振动采集分析系统设计 [J]. 制造业自动化, 2014, 36(1): 26-29.
GENG Chao, CUI Jiankun. Gear pump vibration collection and analysis system design based on Labview [J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(1): 26-29.
- [4] 魏飞. 基于 LabVIEW 的多通道数据采集系统软件设计 [J]. 通讯世界, 2014(2): 29-30.
WEI Fei. The multi-channel data acquisition system based on LabVIEW software design [J]. Communication World, 2014(2): 29-30.
- [5] COR J, KALKMAN. A software system for data acquisition, data analysis, and instrument control [J]. Journal of Clinical Monitoring, 1995, 11(1): 51-58.
- [6] WANG W L, LI C Y, ERNEST W, et al. Rains [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012(84): 68-75.
- [7] CHRISTOPH W, SERGIO A, BERNHARD L. Developing automated analytical methods for scientific environments using LabVIEW [J]. Talanta, 2010(80): 1081 - 1087.
- [8] RREDERICK B, REITZ, GERALD H, et al. Labview virtual instruments for calcium buffer calculations [J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2003(70): 61-69.
- [9] GIANNONE L, CERNA M, COLE R, et al. Data acquisition and real-time signal processing of plasma diagnostics on ASDEX Upgrade using LabVIEW RT [J]. Fusion Engineering and Design, 2010, 85(3): 303-307.
- [10] ANDREW A, BETTIOL, Van KAN J A, et al. A LabVIEW-based scanning and control system for proton beam micromachining [J]. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research (B), 2001, 181(1): 49-53.

作者简介

崔巍,男,1966 年生,副教授。研究领域:磨料磨具及超硬材料专用工艺装备,材料加工过程检测与控制。

(修回日期:2014-10-30)

(上接第 79 页)

- amorphous Si thin-film solar cells on 430 stainless steel substrate by an electrochemical mechanical polishing process [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2013, 558:95.
- [8] 邹微波,魏昕,杨向东,等. 不锈钢基板的化学抛光研究[J]. 机械设计与制造, 2013(1): 258-260.
ZOU Weibo, WEI Xin, YANG Xiangdong, et al. Research on chemical polishing method for stainless steel substrate [J].

Machinery Design & Manufacture, 2013(1): 258-260.

作者简介

王志强,男,1980 年生,工程师。主要研究方向:精密研磨抛光。
E-mail: andywangzhiquiang@126.com

(修回日期:2014-10-27)