

# Application of Fuzzy Reasoning in the Robot Partial Grinding and Polishing

Tongying GUO<sup>1,2,3</sup>, Daokui QU<sup>1</sup>, Fang XU<sup>1</sup>, Xiao LI<sup>1</sup>

<sup>1)</sup>Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016

<sup>2)</sup>Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168

<sup>3)</sup>Graduate of School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

(E-mail: tyhchguo@126.com)

**Abstract** — During production and usage of plexiglass, the partial nicks often appear on the surface. If grinding and polishing technology is not suitable, the margins of partial processing fields are uneven after grinding and polishing. Thus, optical aberration phenomenon maybe emerge, which influences vision effect. Taking the partial nicks on the surface of plexiglass as research objects, this paper proposes a method to grind and polish partial nicks using fuzzy reasoning. Experiment results show that this method is effective on dealing with the optical aberration produced after partial grinding and polishing.

**Keywords** — robot, grinding and polishing, fuzzy reasoning, partial, application

## 模糊推理在机器人局部研磨抛光中的应用

郭彤颖<sup>1, 2, 3</sup> 曲道奎<sup>1</sup> 徐方<sup>1</sup> 李晓<sup>1</sup>

<sup>1)</sup>中国科学院沈阳自动化所 沈阳 110016

<sup>2)</sup>沈阳建筑大学 沈阳 110168

<sup>3)</sup>中国科学院研究生院 北京 100039

**摘要** 在有机玻璃的生产和使用过程中, 其表面往往会出现局部划痕。如果磨抛工艺选取不适当, 磨抛后的玻璃局部区域边缘处过渡不平滑, 就会产生光学畸变现象, 从而影响视觉效果。本研究以有机玻璃表面的局部划痕为研磨抛光对象, 提出了应用模糊推理对其表面局部划痕进行磨抛的方法。实验结果表明该方法能够有效解决局部磨抛后的玻璃易产生光学畸变的问题。

**关键词** 机器人, 研磨抛光, 模糊推理, 局部, 应用

### 1. 引言

在产品精加工过程中, 常常对产品尺寸和表面质量有较高的要求, 因此研磨抛光是必不可少的加工工序。传统的磨抛过程主要是依靠人工进行的, 它不仅费时费力、效率低下, 而且产品均一性差, 精度不高。另外, 工业现场环境恶劣, 噪声、粉尘严重影响工人的健康。所以, 研磨抛光机器人的研究得到了广泛的关注<sup>[1-5]</sup>。

然而, 在某些工件的生产和使用过程中, 往往会使其表面出现局部划痕。这时, 磨抛加工的目的, 将不仅是为了获得所要求的产品尺寸和表面质量, 而且要去掉工件表

面的局部划痕。此外, 对于玻璃材质的局部磨抛, 还要求磨抛区域边缘处过渡平滑, 且无光学畸变。但目前尚无有机玻璃局部划痕研磨抛光研究的相关报导。

对局部划痕进行磨抛, 需要根据划痕的长度、深度和划痕所在处工件允许磨抛的厚度值, 确定磨抛范围和复杂程度。然而, 对于不同的划痕, 其长度、深度和允许磨抛的厚度值都是不同的, 如何确定磨抛的范围和复杂程度, 使磨抛后表面光滑且边缘处过渡平滑, 防止光学畸变是局部划痕处理的关键。

传统的局部研磨抛光方法是根据玻璃允许磨抛的厚度

值，确定磨抛的复杂程度；根据划痕的长度，确定磨抛范围。这样，就没有考虑磨抛范围和允许磨抛厚度值对磨抛策略的综合影响因素，往往会造成磨抛边缘处出现明显的凹痕，从而产生光学畸变现象。

由于模糊推理接近于人的思维，不需要建立研究对象的精确数学模型，而且对研究对象参数的变化具有较强的鲁棒性和抗干扰能力，是解决不确定性系统的一种有效途径。因此，在本研究中采用模糊推理方法确定局部划痕的加工范围和复杂程度。

## 2. 系统组成

本研究在 SIASUN-06B 型六自由度关节型机器人基础上建立磨抛实验平台，如图 1 所示。

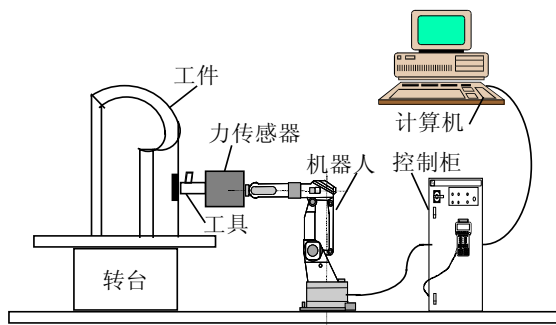


图 1 机器人研磨抛光实验系统示意图

该系统包括：上位机、SIASUN-06B 机器人、机器人控制柜、转台、六维腕力传感器、ARGOFILE 型研磨抛光工具和玻璃工件。

六维腕力传感器选用中国科学院合肥智能机械研究所的 SAFMS-N 型产品，安装在机器人腕部，通过它可以实时获取机器人研磨抛光过程中的力信号；磨抛工具选用日本的 ARGOFILE 型系列产品，最大转速为 15000r/min；磨抛轨迹由计算机生成，上位机通过 CAN 总线与机器人控制柜连接。在磨抛过程中，由机器人控制器实时控制机器人的磨抛轨迹和接触力。

## 3. 问题描述

设  $\Delta z$  为划痕处工件最大允许磨抛的厚度， $l$  为划痕的长度， $h$  为划痕的深度。由于划痕的深度很难精确获得，所以总假设  $h \leq \Delta z$ 。

针对玻璃材质的研磨抛光工艺要求，为了保证磨抛边缘处过渡平滑，且无光学畸变，在磨抛过程中，需要根据  $l$  和  $\Delta z$  的值，确定磨抛范围增加的长度  $d$  和磨抛的复杂程度  $n$  的值。则  $l+d$  为磨抛区域的长度，如图 2 所示，其中阴

影部分为划痕。 $n$  用如下的表达式描述：

$$n = \begin{cases} 1 & \text{只进行抛光一道工序} \\ 2 & \text{进行细磨和抛光两道工序} \\ 3 & \text{进行粗磨、细磨和抛光三道工序} \end{cases}$$

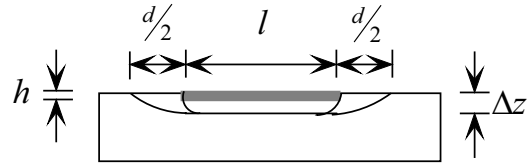


图 2 研磨抛光变量说明

## 4. 模糊推理的应用

### 4.1 模糊推理

模糊推理的数学描述形式是：

假设一个决策系统输入  $x$  有  $m$  个分量，即  $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_m)$ ， $i = 1, 2, \dots, m$ ；输出  $u$  有  $n$  个分量，即  $u = (u_1, \dots, u_j, \dots, u_n)$ ， $j = 1, 2, \dots, n$ 。

同时假设该决策系统的决策行为可以通过以下  $R$  个 IF-THEN 规则描述：

规则 1: IF  $x_1 = x_1^{11}, \dots, x_m = x_m^{m1}$

THEN  $u_1 = u_1^{11}, \dots, u_n = u_n^{n1}$

...

规则 R: IF  $x_1 = x_1^{1R}, \dots, x_m = x_m^{mR}$

THEN  $u_1 = u_1^{1R}, \dots, u_n = u_n^{nR}$

### 4.2 模糊推理应用

在本研究中，模糊推理的输入输出关系如图 3 所示，系统输入参数为  $\Delta z$  和  $l$ ，系统输出参数为  $d$  和  $n$ 。

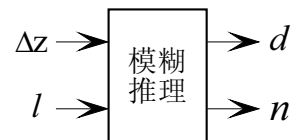


图 3 模糊推理输入输出关系图

输入量  $\Delta z$  的模糊词集：N, Z, P；  
词集的隶属度（见图 4a）：

$$N=1/0.1+0.5/0.15$$

$$Z=0.5/0.15+1/0.2+0.5/0.25$$

$$P=0.5/0.25+1/0.3$$

其中，N为“负”，Z为“零”，P为“正”。

输入量  $l$  的模糊词集：NB, NS, Z, PS, PB;

词集的隶属度（见图 4b）：

$$NB=1/10+0.5/20$$

$$NS=0.5/20+1/30+0.5/40$$

$$Z=0.5/40+1/50+0.5/60$$

$$PS=0.5/60+1/70+0.5/80$$

$$PB=0.5/80+1/90$$

其中，NB为“负大”，NS为“负小”，Z为“零”，PS为“正小”，PB为“正大”。

输出量  $d$  的模糊词集：NB, NS, Z, PS, PB;

词集的隶属度（见图 4c）：

$$NB=1/15+0.5/22.5$$

$$NS=0.5/22.5+1/30+0.5/37.5$$

$$Z=0.5/37.5+1/45+0.5/52.5$$

$$PS=0.5/52.5+1/60+0.5/67.5$$

$$PB=0.5/67.5+1/75$$

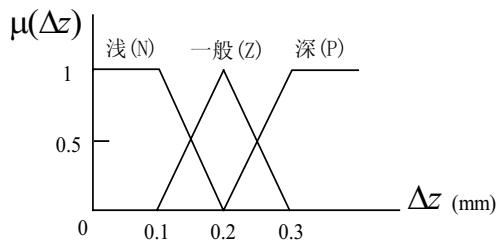
输入量  $n$  的模糊词集：N, Z, P;

词集的隶属度（见图 4d）：

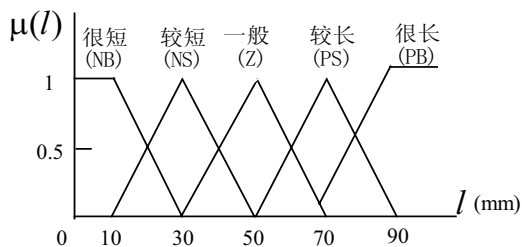
$$N=1/1+0.5/1.5$$

$$Z=0.5/1.5+1/2+0.5/2.5$$

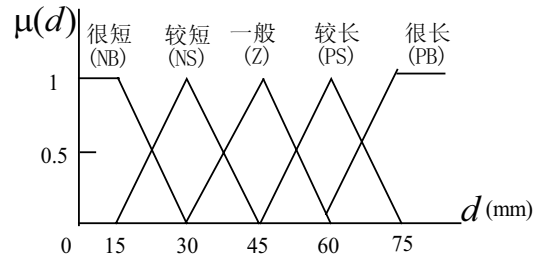
$$P=0.5/2.5+1/3$$



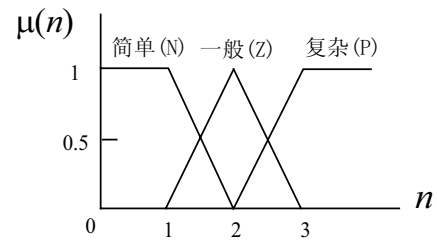
a



b



c



d

图 4 输入输出模糊语言变量的隶属函数

表 1  $d$  的模糊推理规则表

$\Delta z \setminus l$	NB	NS	Z	PS	PB
N	PS	Z	NS	NB	NB
Z	PS	Z	Z	NS	NS
P	PB	PB	Z	Z	NS

表 2  $n$  的模糊推理规则表

$\Delta z \setminus l$	NB	NS	Z	PS	PB
N	N	N	N	N	N
Z	Z	Z	Z	P	P
P	P	P	P	P	P

采用模糊推理规则为：if x is A and y is B, then z is C。

$d$  和  $n$  的模糊推理规则如表 1 和表 2 所示。输出量  $d$  和  $n$  的去模糊化运算，采用 Mamdani 推理法求出。

## 5. 磨抛实验

已知待磨抛的产品具有局部划痕，且划痕的长度  $l$  为  $30\text{ mm}$ ，最大允许去除厚度  $\Delta z$  为  $0.2\text{ mm}$ ，要求磨抛后的产品符合尺寸要求，磨抛区域边缘处过渡平滑，无光学畸变现象。

在磨抛过程中，选取参数：磨抛工具主轴转速 $\omega=150r/s$ 、切线速度 $v=15mm/s$ 、法向接触力 $\Delta F=2N$ 。采用模糊推理方法，得到磨抛范围增加的长度 $d$ 等于 $45mm$ ，磨抛工序的复杂程度 $n$ 等于 $2$ 。首先采用粒度为 $30\mu$ 的砂纸进行细磨，然后采用羊毛垫进行抛光。图5为采用传统方法，磨抛区域扩大固定比例值 $1/31$ ，磨抛后的工件区域效果图。图6为采用模糊推理方法，磨抛后的工件区域效果图，图中斜线标注的区域为磨抛后的玻璃工件。从图5可见，由于采用传统方法生成的磨抛范围较小，造成磨抛区域边缘处有明显的凹痕，而图6采用模糊推理生成的磨抛范围适当，能够使磨抛区域的边缘处过渡平滑。

利用 $10\times 10$ 黑白相间的网格对磨抛后的玻璃工件进行光学畸变情况检测。从实验效果来看，采用模糊推理算法，磨抛后的玻璃光学畸变很小，而采用传统方法磨抛后的玻璃光学畸变情况明显，已影响正常的视觉效果。

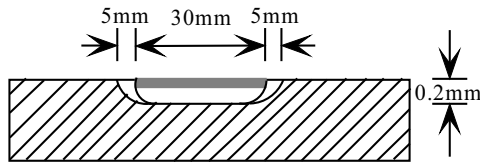


图5 采用传统方法磨抛的玻璃效果图

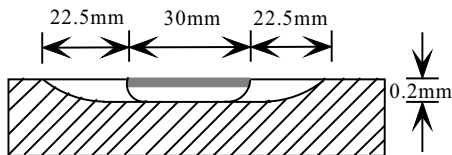


图6 采用模糊推理方法磨抛的玻璃效果图

## 6. 结论

本文总结了基于模糊推理的局部划痕处理方法，并进行了磨抛实验。实验结果表明，采用基于模糊推理的局部划痕处理方法进行机器人研磨抛光，工件尺寸达到了产品要求，磨抛边缘处过渡平滑，能够有效解决磨抛后的玻璃易产生光学畸变的问题，且提高了磨抛效率。

本研究成果的主要应用领域有机器人的研磨抛光、工业产品的自动抛光等领域。

## 参考文献

[1] J. Schmidt, "Finishing of dies and moulds—an approach to quality-oriented automation with the help of

industrial robots," *Indu. Robot*, vol. 21, no. 1, pp. 28-31, 1994.

[2] T.Y. Guo and D.K. Qu, "Research on path planning for polishing robot based on improved genetic algorithm," *Proc. of the ROBIO conference*, pp. 300-305, 2004.

[3] L. Liu, "Robotic grinding force regulation: design, implementation and benefits," *Proceeding of the IEEE Int. Con. on Robotics and Automation*, pp. 258-265, 1990.

[4] D. E. Whitney, "Robot grinding and finishing of cast iron stamping dies," *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 114, no. 1, pp. 132-140, 1992.

[5] J.T. Ming, "Development of automatic mold polishing system," *Proceeding of the IEEE Int. Con. on Robotic & Automation*, pp. 14-19, 2003.