

低温加工过程模糊控制系统的设计

赵红雁 于敏之 (燕山大学机械工程学院, 秦皇岛 066004)

Design on fuzzy intelligence control system of low- temperature working process

ZHAO Hong- yan, YU Min- zhi

(Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

【摘要】针对低温加工过程的复杂性、精确数学模型难以建立的特点,建立了低温加工模糊控制系统,设计了自寻优模糊控制器。试验仿真结果表明,这种控制器具有快速、准确和超调量小的特点,获得了满意的控制效果。

关键词: 低温加工; 模糊控制系统; 模糊控制器

【Abstract】Because of the complexity of low- temperature cut working and difficulties of setting up an accurate mathematics model, a fuzzy intelligence control system is set up and an automatic optimum fuzzy control set is designed. Through experiment and simulation, the system has shown the characteristics of efficiency, accuracy and low ultra- regulating and has obtained a satisfactory control effect.

Key words: low- temperature working; fuzzy intelligence control system; fuzzy control set

中图分类号: O159

文献标识码: A

低温加工过程,因其太复杂、难以建立起比较精确的数学模型,所以用常规的控制方法来实现其加工过程的自动控制,很难得到良好的控制效果。模糊控制的最大特点就是不需要对所要控制的过程进行数学描述,而是直接根据过程的输入条件—测量值与设定值的偏差及其偏差变化率,便能得到最优(或次优)控制输出值,因此模糊控制在机械加工过程控制中已得到广泛的应用[1, 2]。

低温加工过程模糊控制系统结构可用图1描述。控制系统是通过控制低温液体流量(控制量)来控制切削温度(被控量)。使之处于恒温度(设定值)状态。图中,模糊化和模糊控制算法是其最重要的部件。模糊化的功能是将精确量 e (测量值与设定值间的偏差)和 c (测量值与设定值间的偏差变化率)转化成模糊量 E 和 C ,这里的模糊量是指如“大”、“中”、“小”等模糊术语;模糊控制算法则由模糊算法器和模糊判决两部分构成,这里模糊算法器包括知识库和推理机,知识库的表达方式实质上是一个三元数组 (E, C, U) ,推理机则有用匹配规则,形如 if E and C then U 即匹配 E, C 以获得控制量 U ,而模糊判决是将模糊控制量 U 转化成精确控制量 u 。

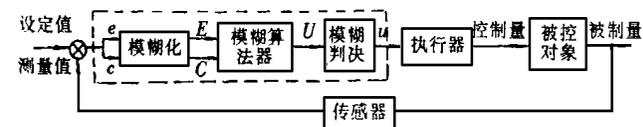


图1 低温加工过程模糊控制系统结构图

1 模糊控制算法的实现

1.1 模糊信息

相对于切削温度的控制区域内,将描述切削温度偏差的语言变量 E 、偏差变化率的语言变量 C ,以及低温液体流量补偿的语言变量 U 划分成七个最优模糊区:正大(PB) —在控制区域内

靠近上边界附近;负大(NB) —在控制区域内靠近下边界附近;零(ZE) —在控制区域中心左右;正中(PM)、正小(PS) —依次介于PB和ZE之间,负中(NM)、负小(NS) —依次介于NB和ZE之间。设各语言变量的论域分别为:

$$E = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$C = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$U = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}$$

1.2 模糊控制规则

模糊控制规则是建立在具体过程行为规律的基础上,凭借人的知识和经验加以总结和提炼,制订出的推理语言式控制策略。其特点是将注意力只集中在被控效果上,依据人对过程规律经验上的把握,达到对目标的精确控制效果。根据低温加工过程的控制特点及操作者的操作经验得到下述事实。

(1)若偏差 e 越小,则切削温度越低,因此控制量(低温液体量)应越小。

(2)若偏差变化率 c 越小,则切削温度越来越低,因此控制量(低温液体流量)应越来越小。

低温切削模糊控制规则如表1所示。用该表就可以根据偏差 E 及其变化率 C 来决定低温液体流量的补偿量 U 。

1.3 模糊控制规则的自寻优

在控制算法中, $U = - < \alpha E + (1 - \alpha) > C$, $\alpha \in (0, 1)$, 式中 α 为加权因子。通过调整 α 值的大小,可以改变对偏差和偏差变化率的不同加权程度。对于低温加工这样的复杂系统,很难总结出一套完整的操作经验,造成模糊控制规则比较粗糙,控制性能受到影响。模糊控制系统在不同的状态下,对控制规则中偏差 E 与其变化率 C 的加权程度有不同的要求,所以,只靠一个固定的调整因子难以满足。如果让 α 在控制过程的不同

* 来稿日期: 2000- 01- 21

阶段有不同的取值, 则可使控制规则更加灵活, 使可调范围增大, 满足系统在不同状态下对调整因子的不同要求。为此本系统采用多个调整因子的控制规则[4]。

表 1 模糊控制规则表

C	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PM	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PS	NB	NM	ZE	PS	PM	PB	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PB	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PB	PB
NM	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE	ZE
NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	ZE

$$U = \begin{cases} - < \alpha_0 E + (1 - \alpha_0) C >, E = 0 \\ - < \alpha_1 E + (1 - \alpha_1) C >, E = \pm 1 \\ \vdots \\ - < \alpha_6 E + (1 - \alpha_6) C >, E = \pm 6 \end{cases}$$

式中加权系数 $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_6 \in (0, 1)$ 。为了能对上述多个加权因子进行寻优, 采用 ITAE 积分性能指标即[5]。

$$J(\text{ITAE}) = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt = \min \quad (2)$$

式中, $J(\cdot)$ 表示误差函数加权时间之后的积分面积的大小。括号中的英文字母意义分别是: I —积分; T —时间; A —绝对值; E —误差。

式(2)表示的 ITAE 积分性能指标能够综合评价控制系统的动态和静态性能, 如响应快, 调节时间短, 超调量很小及稳态误差也很小等, 这对于低温切削加工系统的控制具有重要的意义。为了便于数字计算机实现, 须将式(2)变为离散形式, 即

$$\Delta J = J(t + \Delta T) - J(t) = \int_t^{t+\Delta T} |E| dt \quad (3)$$

式中 ΔT 为采样间隔, 由于 ΔT 一般很小, 故上式中被积函数 $|E|$ 可视为常量, 并取 $\tau = t$ 时的值。这样处理后, 式(2)变为

$$\Delta J(\text{ITAE}) = \tau |E| \Delta T \quad (4)$$

根据式(4)表示的性能指标, 作为目标函数, 寻优过程则根据目标函数逐步减小的原则, 不断地校正加权因子的取值, 从而可以获得一组优选的加权因子。可凭经验选定初始的控制规则的各个加权因子: $\alpha_0 = 0.1, \alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.3, \alpha_3 = 0.4, \alpha_4 = 0.5, \alpha_5 = 0.6, \alpha_6 = 0.7$ 。本系统经自寻优后获得一组优化加权因子: $\alpha_0 = 0.15, \alpha_1 = 0.28, \alpha_2 = 0.39, \alpha_3 = 0.45, \alpha_4 = 0.58, \alpha_5 = 0.69, \alpha_6 = 0.84$ 。相应的优化控制规则如表 2 所示。通过初始给定的加权因子尽管不太精确, 但经自寻优后, 可以得到一个比较理想的控制规则, 从而获得令人满意的控制效果。

表 2 构成整个模糊控制器的核心, 是本系统模糊控制算法的结果, 在实际控制时只要查表即可。将控制表存到计算机内存里, 并绘制一个查询该控制表的子程序。在实时控制中, 只要在每一个控制周期中, 将采样得来的实测尺寸偏差 e 以及计算得到的偏差变化率 c , 都经过量化转移(分别乘以量化因子 $K_e = 0.18$ 和 $K_c = 0.36$), 变成查表所需的 E 和 C 值, 在与表 2 中的行、列相比较, 就可以立即得出所需的控制量 U , 再将 U 乘以比例因子 $K_u (K_u = 8)$, 方可得到真实的控制量 u (低温液体流量)以控制切削温度。

表 2 优化控制规则表

C	E												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
+6	-1	-1	-1	+1	+2	+2	+4	+5	+5	+6	+6	+7	+7
+5	-2	-2	-1	+1	+2	+2	+4	+5	+5	+6	+6	+7	+7
+4	-3	-2	-2	0	+1	+2	+3	+4	+4	+5	+6	+7	+7
+3	-4	-3	-2	-1	+1	+1	+1	+2	+3	+5	+5	+6	+6
+2	-5	-3	-2	-1	0	+1	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+6
+1	-5	-3	-3	-2	-1	0	+1	+1	+2	+4	+5	+6	+6
0	-5	-4	-3	-2	-1	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+5
-1	-6	-4	-4	-3	-2	-1	-1	0	+1	+3	+4	+4	+5
-2	-6	-5	-4	-3	-2	-2	-1	-1	0	+2	+3	+3	+4
-3	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-2	-1	-1	+1	+2	+3	+4
-4	-7	-6	-5	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	+2	+2	+3
-5	-7	-6	-5	-5	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	-1	+2
-6	-7	-6	-6	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	+1

2 试验仿真结果

切削条件: BK8 硬质合金刀具; 车削 12X18H9T 钢料; 切削深度 $t = 0.5\text{mm}$; 进给量 $s = 0.11\text{mm/r}$; 切削速度 $v = 70\text{m/min}$; 低温液体的用量在 $1 \sim 7\text{l/min}$ 的范围内改变。

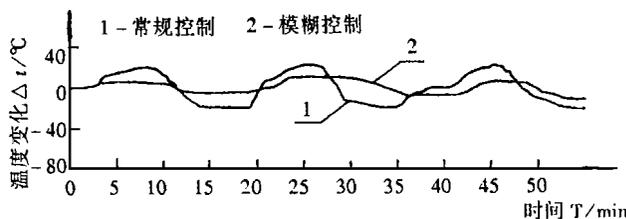


图 2 低温加工切削温度变化仿真曲线

图 2 曲线 1 是常规控制仿真得到的温度变化曲线, 曲线 2 是模糊控制仿真得到的温度变化曲线。由图 2 可以看出, 模糊控制切削温度的变化大大低于常规控制切削温度的变化。

3 结论

这里提出的模糊控制方法, 提高了控制系统的稳定性。计算机仿真的结果表明, 模糊控制方法用于低温加工切削温度控制系统, 控制效果明显, 实时性高, 完成一次控制动作(包括信号采集)的时间小于 10ms , 而且其切削温度波动过渡过程曲线的品质优于常规控制。

参考文献

- 1 Leem C W, Chen J J G. Fuzzy- set- based machine- cell formation in cellular manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing. 1996, 7(5): 355.
- 2 Emelyanov V V, Iassinovski S I. An AL- Based object- oriented tool for discrete manufacturing systems simulation. Journal of Intelligent Manufacturing. 1997, 8(1): 49- 58.
- 3 陈庄, 刘飞. 机械加工过程模糊控制系统的模糊化新方法及其控制算法研究. 机械工程学报, 1999, 35(4): 51- 54.
- 4 李士勇, 夏承光. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990: 115- 119.
- 5 项国波. ITAE 最佳控制. 北京: 机械工业出版社, 1986.