

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2017.03.008

粒子群优化神经网络电镀金刚石套钻使用寿命预测

李 薇

(重庆科创职业学院 重庆 永川 402160)

摘要: 电镀金刚石套钻广泛应用各种加工领域,而套钻使用寿命受到多种因素影响,具有一定的非线性变化特点,为了准确预测电镀金刚石套钻的使用寿命,提出了基于粒子群优化神经网络的电镀金刚石套钻使用寿命预测模型。对电镀金刚石套钻使用寿命预测现状进行分析,针对 BP 神经网络参数优化问题,采用粒子群优化算法确定最优参数,建立电镀金刚石套钻使用寿命的预测模型,通过仿真实验对其有效性和优越性进行分析。实验结果表明,模型可以准确刻画影响参数与电镀金刚石使用寿命之间的变化关系,获得比对比模型更高的预测精度,实际应用价值更高。

关 键 词: 电镀技术; 金刚石套钻; 使用寿命预测模型; 神经网络; 粒子群优化算法

中图分类号: TP393.07

文献标识码: A

Service Life Prediction of Electroplated Diamond Drill Used in Particle Swarm Optimized Neural Network

LI Wei

(Chongqing Creation Vocational College, Yongchuan Chongqing 402160, China)

Abstract: Electroplated diamond drill is widely used in various kinds of machining fields, its service life is affected by various factors and has a certain nonlinear variation characteristic. In order to accurately predict the service life of the diamond drill, a novel prediction model of the diamond drill service life was presented based on particle swarm optimized neural network, and the prediction status quo of the service life of electroplated diamond drill was analyzed. For the issue of BP neural network parameters optimization, the optimal parameters were defined by using particle swarm optimization algorithm, the prediction model of electroplated diamond drill service life had been established and its effectiveness and superiorities were analyzed through simulation experiments. Results showed that the proposed model could accurately describe the changing relationship between the parameters and the service life of electroplating diamond drill, obtain higher prediction accuracy than that of contrast model, and possess higher practical application value.

Keyword: electroplating technology; diamond drill; service life prediction model; neural network; particle swarm optimization algorithm

收稿日期: 2016-09-08

修回日期: 2016-10-11

引言

金刚石具有高硬度、物理机械性能好等优点,在脆硬材料加工中得到了应用,尤其是电镀金刚石应用最为广泛^[1]。金刚石套钻利用面上锋利金刚石磨粒进行加工操作,使用寿命受到多种工艺参数的影响,因此如何准确描述影响因素和金刚石套钻使用寿命的变化关系,具有十分重要的实际应用价值^[2]。

针对金刚石套钻使用寿命预测问题,相关专家进行了深入的分析和研究,文献[3]将反向传播(Back-Propagation,简称BP)神经网络引入到金刚石套钻使用寿命预测研究中,获得了较好的实际应用效果。在BP神经网络的应用过程中,其性能与相关参数密切相关,当前BP神经网络参数主要由梯度下降算法或遗传算法确定^[4-5]。梯度下降算法的计算复杂度高,耗时长;遗传算法的自身参数设置十分复杂,易发生早熟现象,因此确定的参数不一定合理、科学和最优,对金刚石套钻使用寿命的预测结果产生不利影响^[6]。粒子群优化算法具有调整参数少、简单及易实现等特点,是BP神经网络参数优化的新工具。为了提高金刚石套钻使用寿命的预测精度,本文提出了基于粒子群优化神经网络的金刚石套钻使用寿命的预测模型,并通过仿真对比实验,测试其可行性和优越性。

1 电镀金刚石套钻的结构及使用寿命

1.1 电镀金刚石套钻的结构

电镀金刚石套钻是一种采用电镀方法将金刚石磨粒沉积在基体端面的加工工具,相关研究结果表明,底刃壁厚、开槽个数、金刚石磨粒粒度和钻削力与电镀金刚石套钻使用寿命密切相关,在建立电镀金刚石套钻使用寿命预测结果时,需要采集它们的数据,套钻的基本结构如图1所示^[7]。

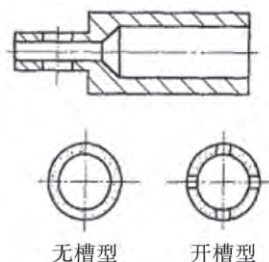


图1 电镀金刚石套钻的基本结构

1.2 电镀金刚石套钻使用寿命

电镀金刚石套钻的使用寿命受到如下因素的影响^[8]:

- 1) 壁厚。随着壁厚的增加,钻削深度显著增加,使电镀金刚石套钻的石墨化严重,电镀金刚石套钻的使用寿命上升。
- 2) 槽数。当槽数在4~6个槽时,电镀金刚石套钻的使用寿命呈上升趋势,而在6~8个槽时,电镀金刚石套钻的使用寿命呈下降趋势。
- 3) 金刚石粒度。随着金刚石粒度的减小,电镀金刚石套钻的使用寿命提高。
- 4) 钻削力。随着钻削力增加,电镀金刚石套钻的使用寿命提高。

2 电镀金刚石套钻使用寿命预测模型

2.1 BP神经网络

在众多神经网络中,BP神经网络的拟合性能最优,具有信号前向传递和误差反向传播功能,拓扑结构图如图2所示。

在图2中 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 和 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ 分别表示输入和输出, ω_{ij} 和 ω_{jk} 表示权值。

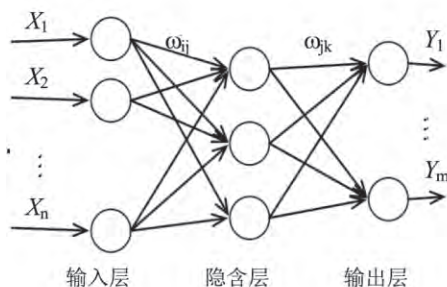


图2 神经网络基本结构

BP神经网络实质上可看作为一个非线性函数,输入和预测分别表示自变量和因变量,BP神经网络描述了自变量和因变量之间的变化关系,BP神经网络的建模与预测流程如图3所示。

在BP神经网络的建模和预测过程中,一结参数需要根据具体问题进行确定,主要包括各层间连接权值 ω_{ij} 和 ω_{jk} ,本文采用粒子群优化算法确定,根据输出误差调整权值,直到满足终止条件为止。

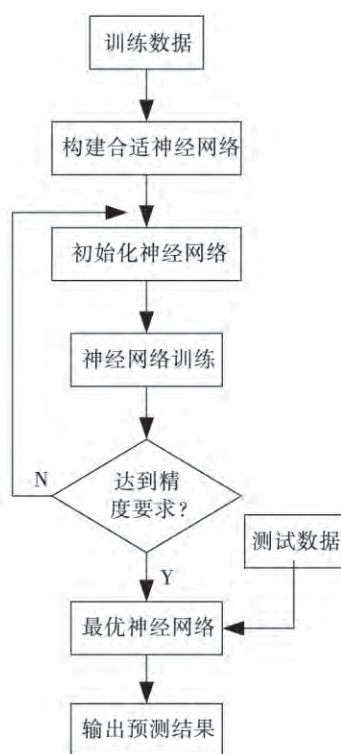


图 3 BP 神经网络的工作流程

2.2 粒子群优化算法

设粒子 i 的速度和位置向量分别为: $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ 和 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$, 其中 D 表示空间的维数, 则有

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 (p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (p_{gd}(t) - x_{id}(t)) \quad (1)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (2)$$

式中 c_1, c_2 为加速系数; $p_{id}(t)$ 和 $p_{gd}(t)$ 分别为粒子 i 和粒子群在 t 时刻最优位置; r_1 和 r_2 均为 $0 \sim 1$ 之间的随机数; ω 为惯性因子。

为了比较遗传算法和粒子群优化算法的性能, 选择标准测试函数 Sphere 和 Griewank 进行分析, 其结果如图 4 所示。对图 4 的结果进行对比可以发现, 无论是求解的精度或收敛速度, 粒子群优化算法均具有明显的优势。

2.3 电镀金刚石套钻使用寿命预测模型的设计

采用粒子群优化神经网络对电镀金刚石套钻使用寿命预测模型进行设计。

1) 粒子的位置向量编码。本文采用实数编码, 每一个粒子包括: 输入层与隐含层的权值、隐含层

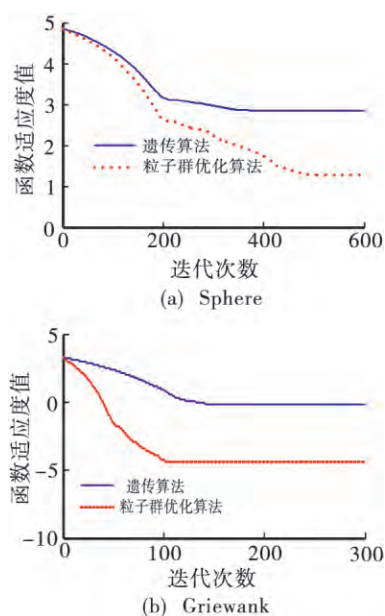


图 4 遗传算法和粒子群优化算法的性能测试与输出层的权值。

2) 参数初始化。粒子中的个体数为 20, 最大迭代次数为 500, $c_1 = c_2 = 1.5$ 。

3) 将预测输出和期望输出之间的误差作为适应度函数, 计算公式为:

$$f = \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

其中 n 为样本数, y_i 和 \hat{y}_i 分别表示第 i 期望输出和预测输出。

2.4 电镀金刚石套钻使用寿命预测模型的工作步骤

粒子群优化神经网络的电镀金刚石套钻使用寿命预测模型的工作步骤。

1) 收集电镀金刚石套钻使用寿命的影响因素数据及相应的使用寿命值, 并对影响因素进行归一化处理, 具体为:

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - \max(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (4)$$

式中 x_i 为影响因素的原始值, \hat{x}_i 为影响因素的归一化值; $\max(x_i)$ 和 $\min(x_i)$ 表示取最大值和最小值。

2) 根据影响因素的个数确定 BP 神经网络的输入向量维数, 并确定网络结构, 以及粒子群优化算法的相关参数。

3) 根据粒子编码方式随机产生 N 个个体。

4) 计算每一个粒子的适应度值,并确定 p_i 和 p_g 为个体和粒子群的当前最优位置。

5) 对粒子的位置和速度进行更新。

6) 判断是否达到终止要求,若不满足跳转步骤 (4) 继续执行。

7) 根据最优粒子的位置向量得到最优权值, BP 神经网络根据权值进行训练,建立电镀金刚石套钻使用寿命预测模型

电镀金刚石套钻使用寿命预测模型的工作流程如图 5 所示。

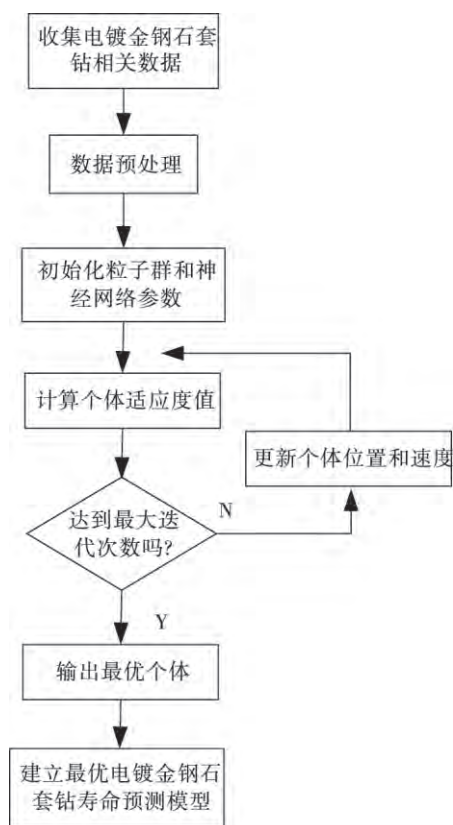


图 5 电镀金刚石套钻使用寿命预测模型的工作流程

3 仿真实验

3.1 数据来源

为了测试粒子群优化神经网络的电镀金刚石套钻使用寿命预测模型的有效性,选择底刃壁厚、开槽数、粒度和钻削力作为工艺参数,即神经网络的输入向量,套钻的使用寿命(以钻削玻璃的总厚度计)作为神经网络的输出,通过正交试验得到电镀金刚石套钻使用寿命预测的样本如表 1 所示^[3]。

表 1 实验样本

样本编号	δ/mm	开槽数/个	粒度/ μm	$F_{\text{钻削}}/\text{N}$	套钻使用寿命/mm
1	0.4	6	61	98.1	140
2	0.5	8	89	98.1	195
3	0.6	4	150	88.2	260
4	0.4	4	150	78.4	310
5	0.6	8	61	78.4	320
6	0.4	4	89	88.2	380
7	0.5	6	61	78.4	550
8	0.5	8	150	88.2	740
9	0.6	6	89	98.1	986

神经网络的输入节点为 $n=4$, 1 个输出节点,利用误差小和收敛快的原则,确定隐含层节点个数为 9 个,网络性能较好,那么 BP 神经网络的结构为 4-9-1,根据预测正确率和工作效率,确定粒子数为 20,最大迭代次数为 500, $c_1=c_2=1.5$ 。

3.2 结果与分析

将样本输入到 BP 神经网络中进行学习,并通过粒子群优化算法对参数进行搜索,建立最优的电镀金刚石套钻使用寿命预测模型,并与文献 [3] 的模型进行对照实验,选择预测精度作为评价标准。为了使实验结果具有公平性,进行 5 次实验,预测结果如图 6 所示。

从图 6 可以发现,本文模型的预测精度优于文献 [3] 模型,能够更加准确描述影响因素和电镀金刚石套钻使用寿命之间的变化关系,可以帮助工作人员设计更优的试验参数。

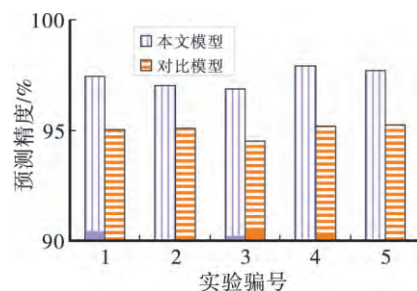


图 6 预测精度比较

(下转第 36 页)

增加,但此时出现两种情况,7~10 s 时膜质量增长与第一阶段速度相似属于正常晶核生长,而10~15 s 时由曲线的斜率可知,此时膜质量增长异常迅速,这是由于时间过长导致膜层开始吸附杂质导致膜质量增长减速,此时膜层变得疏松耐腐蚀性下降。

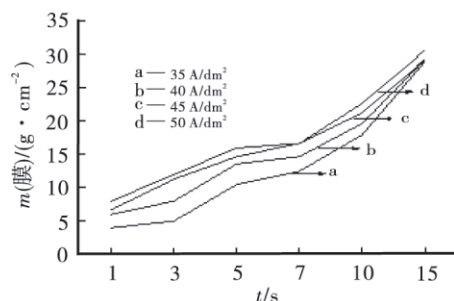


图5 磷化膜磷化时间与膜质量曲线

2.5 电解磷化膜的组成分析

图6是制备的锌系电解磷化膜的X-射线衍射谱图(XRD)。

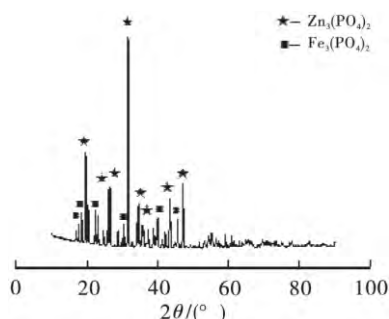
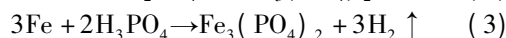
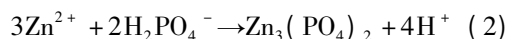
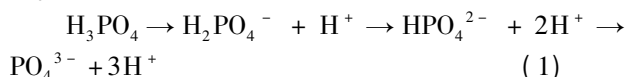


图6 电解磷化膜的XRD分析

由X-射线衍射图谱可看出,在该工艺下制备的

电解磷化膜,膜层成分主要为 $Zn_3(PO_4)_2$ 和 $Fe_3(PO_4)_2$ 。其反应机理如下:



3 结论

1) 电解磷化液中最佳工艺参数: 磷化 θ 为 $60^\circ C$, t 为 10 s, J_K 为 $45 A/dm^2$, 在此工艺条件下可以获得耐腐蚀性优良的磷化膜。

2) 经盐雾和电化学测试,该条件下制备的磷化膜耐盐雾 t 可达 35 h, 腐蚀电位可降低至 $-1.0151 V$ 。

3) 由 XRD 测试可知,该电解磷化膜中主要成分为 $Zn_3(PO_4)_2$ 和 $Fe_3(PO_4)_2$ 。

参考文献

- [1] 曾祥德. 锌铁合金镀层的涂装前磷化处理工艺[J]. 涂装与电镀, 2010, 4(2): 20-22.
- [2] 何德良, 王名浩, 崔正丹, 等. 高耐蚀性锌锰系磷化液的研究及磷化膜电化学分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2009, 36(4): 65-69.
- [3] 唐春华. 现代磷化工艺技术[J]. 现代涂装, 2013, 16(1): 32-38.
- [4] 林修洲, 龚敏, 张远生, 等. 钢铁常温磷化液配方优选[J]. 腐蚀与防护, 2006, 27(1): 35-37.
- [5] 崔作兴. 纳米铁粉改性电解磷化膜的研究[J]. 电镀与环保, 2014, 34(6): 25-27.
- [6] 白智豪. 中温钢筋拉拔磷化液的研制[J]. 天津化工, 2012, 26(6): 36-38.

(上接第32页)

4 结束语

电镀金刚石套钻使用寿命与多种因素密切相关,为了准确预测电镀金刚石套钻的使用寿命,针对BP神经网络参数优化问题,提出了基于粒子群优化神经网络的电镀金刚石套钻使用寿命预测模型,并通过具体的数据对其性能进行了测试与分析。结果表明,本文模型可以对电镀金刚石套钻使用寿命进行有效预测,可以找到参数与使用寿命之间的变化关系,具有一定的实际应用价值。

参考文献

- [1] 曼多瑞 R. 硬质材料工具技术进展[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980: 110-115.

- [2] 张国林, 孟卓, 张玉军. 电镀金刚石套钻的最佳参数[J]. 哈尔滨理工大学学报, 1996, 3(1): 5-7.
- [3] 孙春华, 尚广庆. 基于BP神经网络的电镀金刚石套钻使用寿命的研究[J]. 机械工程师, 2004, 4(8): 36-27.
- [4] 孙春华, 尚广庆. 基于BP神经网络的电镀金刚石套钻钻削效率研究[J]. 现代制造工程, 2004, 4(10): 45-46.
- [5] 郭健, 张雪梅. 基于GA-BP神经网络的建筑工程事故预测研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2015, 31(1): 76-80.
- [6] 仇国庆, 唐贤伦, 庄陵, 等. 基于混沌粒子群优化的神经网络在旋转机械故障诊断中的应用[J]. 中国机械工程, 2008, 21(19): 2642-2645.
- [7] 高伟, 刘迎. 环形电镀金刚石线锯锯切工艺参数的优化[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2005, 4(6): 54-56.
- [8] 高伟, 刘迎, 刘镇昌. 环形电镀金刚石线锯锯切工艺参数的试验研究[J]. 工具技术, 2004, 38(10): 37-39.