

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.06.004

基于神经网络的法兰轴冷挤压成型工艺优化

郑 赣, 刘淑梅, 汪东升

(上海工程技术大学 材料工程学院, 上海 201620)

摘 要:为研究冷挤压成型工艺参数对法兰轴成型质量的影响,解决法兰轴成型时法兰盘填充不满和阶梯轴肩的折叠缺陷问题,课题组设计3因素3水平正交实验进行研究。采用3层拓扑结构,以凸模挤压速度、模具与坯料之间的摩擦因数、阶梯轴处圆角半径为输入层神经元,以折叠角和成型载荷为输出层神经元构建法兰轴冷挤压成型工艺优化神经网络模型。研究表明该模型的预测性能较好,精度较高。通过生产验证出优化后的工艺方案可有效解决法兰轴填充不满和折叠缺陷,为解决多变量多响应复杂的多元非线性工程问题提供了参考。

关 键 词:冷挤压成型;法兰轴;神经网络;填充不满;折叠缺陷

中图分类号: TG376.3; TP183; TH139

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2019)06-0016-05

Process Optimization of Cold Extrusion Process of Flange Shaft Based on Neural Network

ZHENG Gan, LIU Shumei, WANG Dongsheng

(School of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to study the influence of cold extrusion process parameters on the forming quality of flange shaft and solve the problems of unsatisfactory filling of flange and folding defects of stepped shaft during the forming of flange shaft, a three-factors and three-levels orthogonal experiment was designed and a three-layers topology was used to construct. It was a bible network model for the optimization of cold extrusion process of flange shaft by taking the extrusion speed of punch, friction coefficient between mold and blank and the radius of rounded corner at the step axis as input layer neurons and folding angle and the forming load as output layer neurons. The model was trained by "normalization method", and the model was tested by prediction. The results show that the model has better prediction performance and higher accuracy. The production verification proves that the optimized process can effectively solve the problems of unsatisfactory filling of flange and folding defects, and provides a reference for solving the multivariate and multi-response complex nonlinear engineering problems.

Keywords: cold extrusion forming; flange shaft; neural network; unsuccessful filling; folding defects

冷挤压成型过程中材料的流动主要受模具的结构、模具的速度和润滑的方法等物理因素的影响及控制,它们对挤压件的充填效果、成型载荷和成型缺陷等有着重要的非线性关系。准确地把握成型的工艺参数和模具结构对成型质量的影响规律,并建立它们之间的映射模型,可以为冷挤压件的实际生产提供科学依据和合理的理论指导。

法兰轴在实际生产过程中通常要经过热处理、锻

造和磨削等一系列的处理,这些处理容易引起产品缺陷^[1-2]。因而若对零件的成型质量和物性有更高的要求,需要更准确地把握各影响因素之间的关系。而采用传统的数学回归分析方法难以准确地反映成型工艺参数以及模具结构尺寸与成型质量之间的关系^[3]。人工神经网络属于一种智能处理系统,适合处理多变量多响应的复杂多元非线性问题。采用人工神经网络来解决复杂过程的建模成为把握各影响因素与成型质

收稿日期:2019-05-19;修回日期:2019-09-17

基金项目:上海工程技术大学研究生科研创新项目(18KY0509)。

第一作者简介:郑赣(1992),男,河南光山人,硕士研究生,主要研究方向为模具 CAD/CAE/CAM。E-mail:kannyzheng@126.com

量关系的新思路和途径^[4-5]。

莫洪武等^[6]通过建立3层拓扑结构优化机械油泵轴锻造工艺,提升机械油泵轴的综合性能,SKH-51高速钢机械油泵轴的磨损体积减小了51.9%。潘玲等^[7]采用4层拓扑结构构建汽车轮圈锻造工艺优化的神经网络模型,优化后的汽车轮圈抗拉强度增大53%。蔺永诚等^[8]以7075铝合金模锻过程为例,提出了一种基于神经网络的模锻压机载荷在线建模方法,所提出的在线建模方法可以准确预测复杂模锻工况下载荷的变化,其预测值比传统离线神经网络建模方法更加准确,更能满足实际工程要求。

课题组基于正交试验和神经网络模型对影响冷挤压成型质量的因素进行优化分析,为企业实际生产提供参考。

1 零件结构及成型工艺设计

课题组研究对象为某车型法兰轴,材料为45钢,其有较高强度及良好的塑形,经过热处理可获得良好韧性,满足法兰轴对强度和韧性的要求^[9]。图1所示为法兰轴零件实物图,一端直径为 $\varnothing 44$ mm,厚度为6 mm且带有内腔的凸缘部分,与之相连的是阶梯轴,直径分别为 $\varnothing 18$ mm、 $\varnothing 16$ mm和 $\varnothing 13$ mm。



图1 法兰轴实物

Figure 1 Flange shaft

法兰轴属于对称零件,法兰盘直径最大,变形量也最大,属于金属塑性加工中的难变形区域,容易在其外表面出现开裂或充填不满等缺陷;台阶部位与金属流动方向垂直,在成型时阻碍金属的流动,容易形成“死角区”,模腔难以充满完整,台阶圆角过渡处极易出现裂纹及折叠等成型缺陷。根据法兰轴结构,拟定工艺方案为:下料—正挤轴部—挤镦头部—反挤法兰及内腔。法兰轴冷挤压工艺成型过程中需经过镦粗、减径等一系列预成型的工序,在计算毛坯时需预留加工余量^[10],经过计算得出冷挤压毛坯尺寸为 $\varnothing 20$ mm $\times$ 74 mm,冷挤压试验在aYA32-315F液压机上进行。

2 有限元模型的建立与神经网络模型的建立

2.1 有限元模型的建立

课题组首先构造法兰轴成型模具的三维实体模型

并转换为STL文件,导入DEFORM软件中进行数值模拟分析。对坯料采用四面体网格进行划分,冷挤压的模具材料选用H13钢,接触面设置为剪切摩擦,初始温度为20℃。在塑性加工过程中,法兰轴弹性变形量远小于塑性变形量,所以在选择材料模型时,可不考虑弹性变形对结果的影响,这里采用刚塑性材料模型,保证准确性的前提下,简化零件成型的模拟过程^[11]。同时,在模拟过程中为提高计算效率,设置了较大但合理的步长增量。

课题组采用3因素3水平的正交试验方案,工艺方案和结果如表1所示。

表1 正交试验方案及结果

Table 1 Orthogonal test scheme and results

方案	因素				
	模具挤压速度 $v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	摩擦因数 μ	阶梯轴圆角 半径 R/mm	折叠角 $\alpha/(^{\circ})$	成型载荷 W/kN
1	4	0.05	3	208	25.1
2	4	0.05	3	210	21.1
3	4	0.05	4	360	15.4
4	5	0.08	4	335	26.3
5	5	0.08	5	300	19.6
6	5	0.08	5	251	16.8
7	6	0.12	3	208	26.8
8	6	0.12	4	210	20.0
9	6	0.12	5	211	16.1

2.2 人工神经网络模型的构建

人工神经网络是由大量单元相互联接组成的非线性、自适应的智能信息处理系统,通过模拟大脑神经网络处理和记忆信息的方式进行信息处理^[12-13]。它具有极强的非线性映射能力,输入信号通过隐含层作用于输出神经元,经过非线性变换,产生输出信号。若实际输出不满足要求,则输出误差通过隐含层向前反馈,从而调整各单元的权值以减小误差信号。而法兰轴成型工艺参数之间的影响是非线性的,利用BP神经网络模型这种非线性的前反馈机制可以较为真实地反应挤压工艺参数对法兰轴性能的影响规律。

在挤压成型过程中,优化后的挤出工艺参数有利于解决产品缺陷和模具磨损的问题^[14]。模具的下压速度对模具的寿命和产品的质量有着重要的影响,而摩擦因数是冷挤压工艺极其重要的参数之一。法兰部分变形量最大,极易产生填充不满等缺陷,如图2(a)所示;由于法兰部位和台阶圆角过渡处在成型过程中充填困难,容易出现裂纹、折叠等缺陷,如图2(b)所示。



图2 法兰轴零件成型缺陷

Figure 2 Flange shaft parts forming defects

为解决法兰轴的成型缺陷问题,通过优化法兰轴成型工艺来探究成型工艺参数与成型质量的关系,课题组构建了3层拓扑结构神经网络优化模型。网络模型优化结构如图3所示,采用3层结构,即输入层、隐含层和输出层。输入层包含3个神经元,分别是:模具挤压速度、摩擦因数和阶梯轴圆角半径。隐含层主要用于神经网络模型的内部运算,神经元的个数在训练过程中调整到最佳值,输出层有2个神经元,为损伤性能和成型载荷。表2所示为构建的神经网络模型的工艺方案取值。为了使本文构建的神经网络模型不会发生过饱和,在运行过程中保持稳定,在模型构建过程中对输入参数进行了适当的处理,采用的处理方法是归一法^[15]。

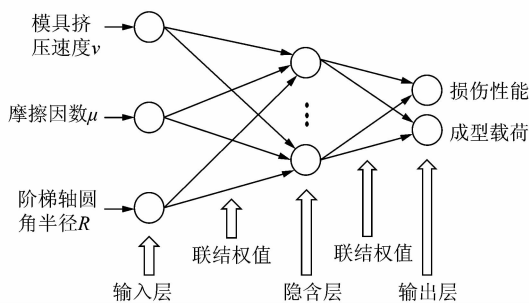


图3 神经网络优化模型结构

Figure 3 Neural network optimization model structure

表2 神经网络模型成形工艺参数及其水平值

Table 2 Neural network model forming process parameters and horizontal value

水平	模具挤压速度 $v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	摩擦 因数 μ	阶梯轴圆角 半径 R/mm
1	4	0.05	3
2	6	0.12	5

3 神经网络优化模型的训练、预测和验证

3.1 神经网络训练

对于法兰轴冷挤压工艺神经网络模型而言,需要调整拓展系数进行多次训练,由Kolmogorov定理计算隐含层的神经元个数为7,训练的速率为0.035,噪声强度设置为0.01,防止过度拟合,目标误差为 1×10^{-5} ,使用trannmx函数进行归一化。模型训练的性能曲线如图4所示,从图中可以得知该模型的训练性能整体上较为平滑,在第4896次迭代后,训练的误差收敛于目标误差,所以该模型性能具有良好的稳定性,能够映射输入层神经元和输出层神经元之间的关系。

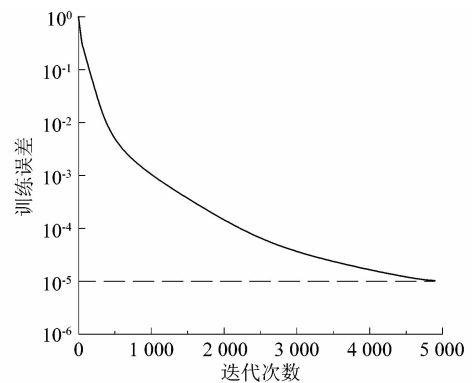


图4 神经网络模型性能曲线

Figure 4 Performance curve of neural network model

经过训练后,构建模型的训练值和真实值构成的折线如图5所示。由图5(a)可知,折叠角的网络输出值与实际折叠角接近,说明构建模型的相对训练误差较小,可以反映冷挤压工艺参数对折叠角的影响规律。由图5(b)可知,网络输出的成型载荷与实际成型载荷误差很小,所以该模型适用于反映冷挤压工艺参数与成型载荷之间的关系。

3.2 模型的预测与验证

为确保挤压工艺网络优化模型的准确性,还需要对该模型的预测能力和精度加以验证。为此,采用未经过模型训练的3组工艺方案作为验证样本,如表3所示。将3组样本数据输入到网络模型中对折叠角和成型载荷进行验证。

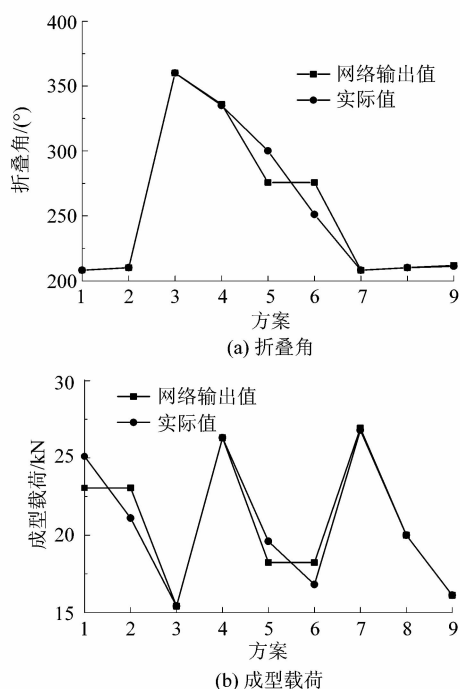


图5 训练值和真实值对比折线图

Figure 5 Contrast line chart of training value and true value

表3 神经网络模型验证样本

Table 3 Neural network model validation sample table

编号	$v/(mm \cdot s^{-1})$	μ	R/mm	$\alpha/(^{\circ})$	W/kN
1	4.5	0.06	3.5	310	26.8
2	5.0	0.07	4.0	345	27.0
3	5.5	0.10	4.5	231	19.1

从图6中的验证样本误差可知,折叠角的预测误差值在2.8%~3.6%之间,最终挤压成型载荷的预测相对误差在3.3%~3.9%之间,说明该网络模型对折叠角和最终挤压成型载荷的预测结果较好,预测性能满足使用要求,可用于法兰轴成型工艺参数对法兰轴冷挤压成型的研究。

4 神经网络优化模型的生产应用验证

研究各成型参数对法兰轴成型的影响,可以有针对性地采取措施来优化工艺,从而提高开发效率和产品性能。将该模型应用于实际的法兰轴冷挤压工艺中。

通过实际的生产验证发现,运用该模型的冷挤压工艺参数后,法兰轴最终挤压成型载荷明显降低,大约为15 kN,零件的成型质量也明显提高。从图7(a)可以发现法兰盘此前填充不满的缺陷得到有效的解决;由图7(b)可知,折叠现象得到有效改善,在法兰部分和阶梯轴连接处的折叠缺陷也明显得到改善。

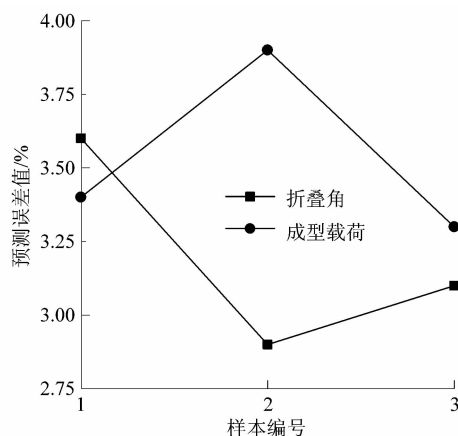


图6 验证样本散点

Figure 6 Scatter plot of verify sample



(a) 优化后零件的法兰盘部位



(b) 优化后零件的阶梯轴部位

图7 优化后的法兰轴零件

Figure 7 Optimized flange shaft parts

5 结语

1) 课题组可以通过建立一种智能处理系统,来处理法兰轴成型工艺参数对法兰轴冷挤压工艺具有交互性影响的这种多变量多响应复杂的多元非线性问题。课题组设计的BP人工神经网络模型,用“舍一法”训练神经网络模型,具有较好的预测性能,能够准确地反映冷挤压工艺参数对法兰轴成型质量的影响。

2) 课题组建立的3层拓扑的神经网络优化模型

输出折叠角的预测相对误差在 2.8% ~ 3.6% 之间;优化模型输出的成型载荷预测平均相对误差在 3.3% ~ 3.9% 之间,说明模型预测性能良好。

3) 通过训练的模型优化后,法兰轴最终挤压成型载荷降低为 15 kN;同时,还有效解决了法兰轴成型充填不满,折叠等实际成型缺陷。课题组的研究为今后解决类似的成型工艺问题提供有益的思路。

参考文献:

- [1] 马勇,彭程,桂伟,等. 法兰轴热挤压工艺设计及分析[J]. 精密成型工程,2014,6(2):12.
- [2] 许超,商鸿池. 汽车轴类零件非均匀材质力学特性的有限元分析[J]. 传动技术,2008,22(1):36.
- [3] 霍文军,刘淑梅,何文涛,等. 基于神经网络的阻力墙参数对转向节锻件充填影响研究[J]. 轻工机械,2017,35(1):37.
- [4] ECHT-NIELSEN R. Neurocomputing [M]. Massachussetes: Addison Wesley Publishing Company,1991:59.
- [5] SCARSELLI S, CHUNG T A. Universal approximation using feedforward neural networks: a survey of some existing methods, and some new results[J]. Neural Networks,1998,11(1):15-37.
- [6] 莫洪武,塔金星. 基于神经网络的机械油泵轴锻造工艺优化[J]. 锻压技术,2018,43(9):21-25.
- [7] 潘玲,李明. 基于神经网络的钕钛改性镁合金汽车轮圈锻造工艺优化[J]. 热加工工艺,2018,47(3):167-169.
- [8] 蔺永诚,梁英杰,谌东东. 基于神经网络的模锻压机载荷在线预测模型[J]. 锻压技术,2016,41(10):98-102.
- [9] 龙昆. 法兰轴零件的冷挤锻成型工艺及模具设计[J]. 制造技术与机床,2018(9):148.
- [10] 冯宪章,程俊伟,刘长红,等. 大变形法兰轴锻成型技术研究[J]. 热加工工艺,2011,40(15):21-23.
- [11] SINGH S K, DIXIT A, KUMAR D R. Optimization of the design parameters of modified die in hydro-mechanical deep drawing using LS-DYNA[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2008,38(1/2):32-37.
- [12] 陈智军,李洋莹. 神经网络 BP 算法改进及其性能分析[J]. 软件导刊,2017,16(10):39.
- [13] 陆朱卫,黄其新. 基于模糊神经网络 PID 的开关磁阻电机控制系统研究[J]. 机电工程,2017,34(1):58-61.
- [14] ONG P, CHIN D D V S, HO C S, et al. Modeling and optimization of cold extrusion process by using response surface methodology and metaheuristic approaches[J]. Neural Computing and Applications, 2018,29(11):1077-1087.
- [15] 史小云,张晓园,毛友川,等. 锻造温度对 TC21 钛合金锻板组织和力学性能的影响[J]. 锻压技术,2015,40(1):14.

(上接第 15 页)

- [3] HELMY M A, ABDALLAH S E, MITRROI A, et al. Modification and evaluation of a reciprocating machine for shelling peanut[J]. Farm Machinery and Power,2007,24(2):283-298.
- [4] SHARMA R, SOGI D S, SAXENA D C. Dehulling performance and textural characteristics of unshelled and shelled sunflower seeds[J]. Journal of Food Engineering,2009,92(1):1-7.
- [5] GUZEL E, AKCALI I D, MUTLU H, et al. Research on the fatigue behavior for peanut shelling[J]. Journal of Food Engineering,2005,67(3):373-378.
- [6] 张效鹏,张嘉玉. 花生脱壳机的不同部件对脱壳性能的影响[J]. 莱阳农学院学报,1990,7(1):70-73.
- [7] 宋作锋,常有山,杨磊. 对我国花生剥壳机脱壳机构的研究[J]. 农业机械,2010(23):72-74.
- [8] 刘平,肖诗明,巩发永,等. 新型碾搓式葵瓜子脱壳机[J]. 食品与机械,2010,26(3):100-101.
- [9] 佟庆坦,王延耀,王东伟,等. 花生剥壳机的设计[J]. 农机化研究,2017,39(2):112-116.
- [10] 赵祖祥,周旭峰. 挤压式花生剥壳机[J]. 农业机械,2007(12):23.
- [11] 汪迎,鲁放,冯家慧,等. 花生种子剥壳机的设计与实验[J]. 农机化研究,2018,40(4):68-71.
- [12] 刘泽奎. 一种碰撞式瓜子剥皮机器人:201711177724.3[P]. 2017-11-23.
- [13] 袁起. 一种瓜子去壳装置:201710508478.9[P]. 2017-06-28.
- [14] 郭小波. 一种不会碎瓜子的剥壳设备:201810823543.1[P]. 2018-12-28.
- [15] 高志. 机械原理[M]. 上海:华东理工大学出版社,2015:182-206.
- [16] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2017:13-51.