

钢丝湿式拉拔配模工艺对能耗的影响研究

陈学春^{1,2}, 周洁^{1,2}, 汤建忠^{1,2}, 王威^{1,2}

(1. 江苏兴达钢帘线股份有限公司, 江苏 泰州 225721; 2. 江苏省结构与功能金属复合材料重点实验室, 江苏 泰州 225721)

摘要:在节能降耗途径中, 工艺节能比进行设备更新改造所需投入更少, 见效更快且成效更高。利用有限元模拟分析研究湿式拉拔配模工艺对能耗的影响具备一定的可行性, 试验结果与理论模拟分析结果比较吻合, 可以为湿式拉拔工艺或相近的金属拉拔工艺节能降耗提供参考。

关键词: 钢丝; 湿式拉拔; 配模工艺; 压缩率; 能耗

中图分类号: TQ330.38⁺9

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2021)01-0001-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2021.01.0001



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

钢丝冷拔是在外力作用下, 迫使钢丝通过模孔获得相应形状、尺寸制品的塑性加工方法。湿式拉拔是钢丝在润滑液中通过多个模具减径到所需要的单丝制品, 这一过程会产生电能的消耗。有文献^[1]指出塑性变形所消耗的总功率通常可以分解为3个部分, 即均匀变形功率、摩擦损失功率和多余变形功率。而这些功率的大小均与钢丝塑性变形时的道次压缩率^[2]、模具结构、润滑条件等工艺条件有关。通过采用Deform-3D有限元仿真分析, 我们发现对钢丝湿式拉拔进行配模工艺设计时, 在模具结构和润滑条件不变的情况下, 改变道次压缩率会使整体拉拔力产生变化, 进而对能耗产生较大影响。

本工作在通过Deform-3D有限元仿真分析的同时, 开展实际配模试验, 研究湿式拉拔配模工艺对拉拔力和能耗的影响规律, 既可为湿式拉拔工艺拓宽节能降耗的工艺设计思路, 还可有效获取有限元仿真分析试验难以掌握的信息^[3-6]。

1 试验材料

在生产现场选取 $\Phi 1.80$ mm镀铜钢丝, 现有工艺经过21道次拉拔, 总压缩率为97.22%, 材料的主

要化学成分如表1所示。

表1 材料的主要化学成分

组 分	质量分数 $\times 10^2$	组 分	质量分数 $\times 10^2$
C	0.817	S	0.007
Mn	0.520	Cu	0.004
Si	0.220	Cr	0.010
P	0.009	Ni	0.018

2 有限元仿真分析

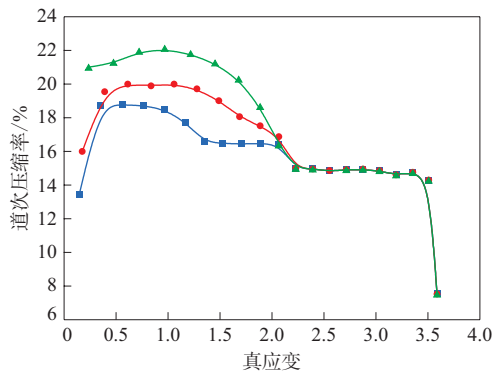
常规设计模链时的分配原则^[7]一般是第1道次的压缩率较小, 第2道次的压缩率较大, 以后各道次的压缩率逐次递减, 成品道次的压缩率最小。现场选取的模链就是如此配模, 为原模链A-21P。

有资料^[8-10]显示钢丝整个拉拔过程共经过3个阶段的变形: 第1阶段为变形初期, 真应变较小, 拉拔过程中珠光体团的变形以协调为主, 片层间距减小比较缓慢; 第2阶段为变形中期, 珠光体组织的方向性开始明显, 部分珠光体片层发生了扭折、弯曲情况, 与此同时渗碳体片层进一步细化; 第3阶段为变形后期, 珠光体片层以较快速度减小, 界面强化作用增强, 同时位错密度急剧增大, 有利于钢丝强度的提高。因此, 当真应变较小时, 增大道次压缩率是可行的方案。为了与原模链A-21P进行对比, 设计了4套模链。保证总压缩率不变, 在原模链基础上, 固定后10道次的压缩率不变, 设计了20道次和19道次对应的模链, 分别为设计模链

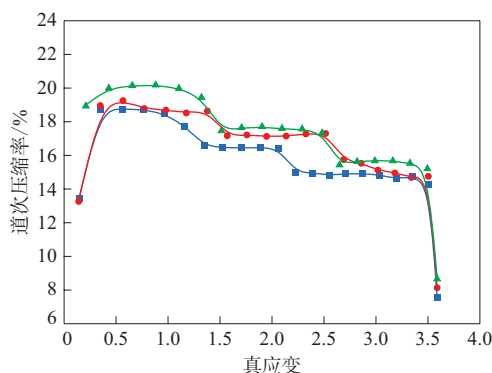
作者简介: 陈学春(1979—), 男, 江苏兴化人, 江苏兴达钢帘线股份有限公司工程师, 学士, 主要从事钢丝帘线、特种钢丝等制造过程、工艺、设备的节能研究。

E-mail: sky1983914@163.com

B-20P和设计模链C-19P,如图1(a)所示。按照全模链缩减,也设计了20道次和19道次对应的模链,分别为设计模链D-20P和设计模链E-19P,如图1(b)所示。为研究不同配模工艺对钢丝拉拔力的影响规律,借助有限元软件进行分析。



(a)



(b)

■—原模链A-21P; ●—设计模链B-20P; ▲—设计模链C-19P。

图1 不同模链的道次压缩率-真应变关系曲线

2.1 模型参数

钢丝多道次拉拔的工艺参数如表2所示,常规模链为21道次,设计模链为20道次和19道次。

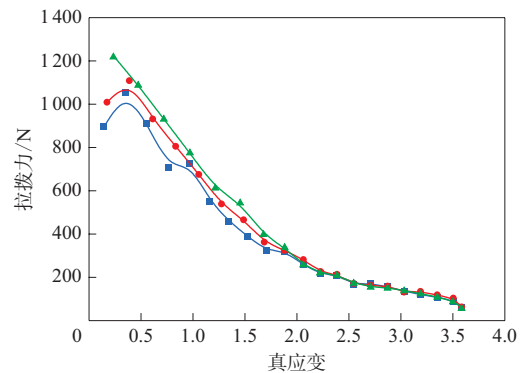
表2 钢丝多道次拉拔的工艺参数

项 目	参 数	项 目	参 数
钢丝材料质量分数	0.008 2	弹性模量/GPa	206
进线直径/mm	1.80	泊松比	0.30
最终直径/mm	0.30	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	7 850
道次(n)	21, 20, 19	摩擦系数	0.08
定径带长度/mm	$0.4D_i$	拉拔速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	10
模具锥角	9°		

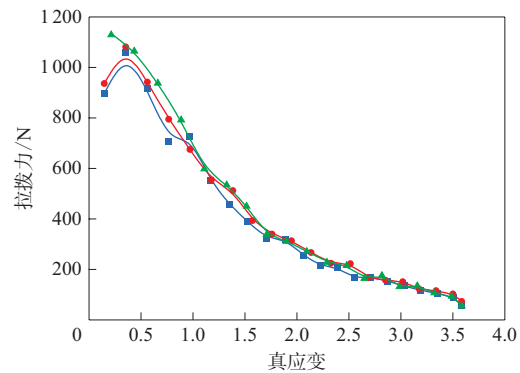
注: D_i 为第 i 道次的出线直径, i 取 $1 \sim n$ 。

2.2 模拟结果及分析

不同模链的各道次钢丝的拉拔力-真应变关系曲线如图2所示。



(a)



(b)

注同图1。

图2 不同模链的道次钢丝的拉拔力-真应变关系曲线

从图2可以看出,随着道次的增加,钢丝的拉拔力整体呈降低趋势,说明钢丝直径越小,所需的拉拔力就越小。从图2(a)可以看出:固定后10道次的道次压缩率不变,模拟得到的3种模链对应的拉拔力几乎不变,说明钢丝直径和道次压缩率固定时,所需的拉拔力也是固定的;整体来看设计模链B-20P和设计模链C-19P的拉拔力-真应变曲线均高于原模链A-21P,说明在总压缩率不变的情况下,减少道次数量,使得道次压缩率增大,所需的拉拔力也增大。从图2(b)可以看出:整体来看还是道次压缩率越大,对应的拉拔力-真应变曲线越高(设计模链E-19P);3种模链的拉拔力-真应变曲线值相差较小,说明在总压缩率不变的情况下,减少道次数量,按照全模链缩减后的配模设计方案

可以使得拉拔力增大的幅度减小。

3 试验验证

3.1 试验目的

根据有限元仿真分析结果,在其他生产条件不变的情况下,实际配模工艺设计试验需要研究两个问题:一是通过增减配模数量,在各道次压缩率均匀分布的情况下,不同配模数量的工艺设计对能耗的变化趋势;二是固定配模数量,以每5个模具为一组进行递增,压缩率推移情况下能耗的变化趋势(在21模的基础上进行更改)。

3.2 试验设计

(1) 硬件条件。生产设备:TB4型湿拉机床;能耗测量设备:FLUCK435B型电能质量分析仪;原材料: $\Phi 1.80$ mm表面镀铜钢丝;产品: $\Phi 0.30$ mm表面镀铜钢丝。

(2) 全模链分配压缩率的配模设计方案。模具数分别为:17,18,19,20,21(常规),22和23只。

(3) 同一模链下每5个模具一组递增压缩率推移的配模设计方案如表3所示。

表3 递增压缩率试验配模设计方案

模具数/只	方案1	方案2	方案3	方案4
19	前10道模具 缩减	前15道模具 缩减	全模链 缩减	
20	前5道模具 缩减	前10道模具 缩减	前15道模具 缩减	全模链 缩减

3.3 试验结果及分析

3.3.1 全模链分配压缩率条件下能源消耗的分布规律

根据前述设计方案进行试验,实际测试了拉拔1 t钢丝所消耗的电能,如图3所示。

从图3可以看出,随着模具数的增加(从17模增加到23模),能耗逐渐减小。当模具数相同时,拉拔速度越大,所消耗的电能越小;但当模具数超过一定值后,拉拔速度对能耗的影响越来越小。因此,合理匹配模具数和拉拔速度对降低能耗具有重要意义。

3.3.2 模具数不变时递增压缩率推移条件下能源消耗的分布规律

根据表3的设计方案进行试验,测试了19模和20模对应的能耗数据,如图4所示。

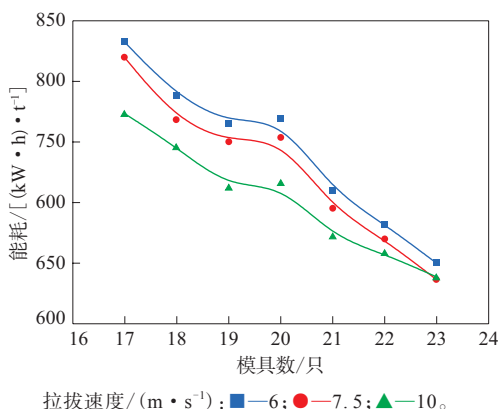


图3 全模链分配压缩率条件下的能耗变化趋势

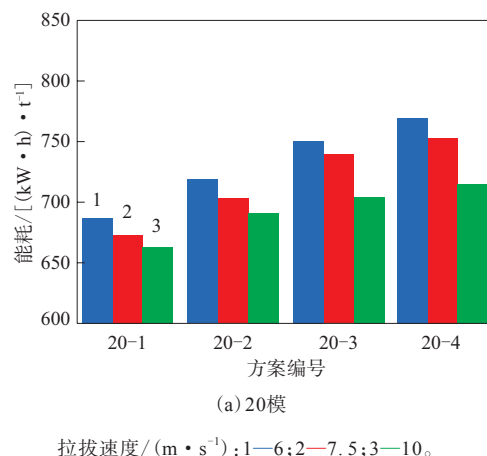
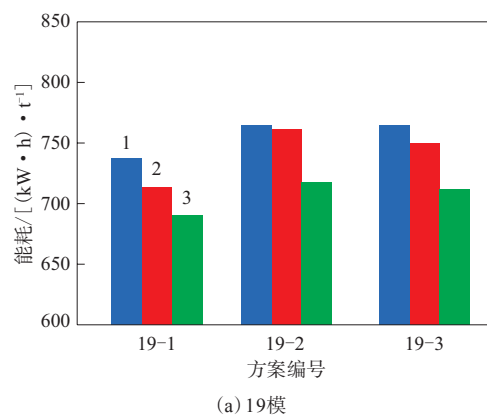


图4 递增压缩率推移条件下的能耗变化趋势

从图4可以看出:在相同模链下,拉拔速度越大,能耗越小;在相同拉拔速度下,方案19-1和20-1对应的能耗最小,说明在总压缩率和模具数不变的情况下,配模设计中前几道次的压缩率增大,会使能耗降低。

综上所述,在湿式拉拔钢丝进线直径和出线

直径保持不变的情况下,对模链进行调整会使生产能耗发生明显的变化。模具数由少增多时,单位能耗会由大变小;模具数不变的情况下,压缩率从前向后推移时,单位能耗会由小变大。

3 结论

在节能降耗途径中,工艺节能比进行设备更新改造所需投入更少,见效更快且成效更高。利用有限元模拟分析研究湿式拉拔配模工艺对能耗的影响具备一定的可行性,试验结果与理论模拟分析结果比较吻合,可以为湿式拉拔工艺或相近的金属拉拔工艺节能降耗提供参考。

(1) 模拟分析结果显示,在钢丝多道次拉拔过程中,随着道次的增加,拉拔力整体呈下降的趋势。而试验结果表明,当模具道次增加时,单位产品能耗随之下降,能源利用效率提高。

(2) 受限于设备本身构造,不可能无限增加拉拔道次和增大拉拔速度,从试验结果来看,在现有设备基础上要减小拉拔能耗,最有效的办法是将道次压缩率尽量前移,在满足产品品质的同时尽

可能降低单位产品能耗。

参考文献:

- [1] 朱为昌. 拉拔过程的能耗分析[J]. 金属制品, 1985(2): 28-32.
- [2] 廖强华, 谢永宏. 水箱拉丝机配模工艺研究[J]. 机械制造, 2018, 56(10): 87-89, 98.
- [3] 陆璐, 王辅忠, 王照旭. 有限元方法在金属塑性成形中的应用[J]. 材料导报, 2008(6): 87-91.
- [4] 李晓辉, 李红卫, 张晓鹏, 等. 轮胎脱圈阻力试验有限元仿真分析[J]. 轮胎工业, 2019, 39(1): 58-61.
- [5] 李长宇, 杜云峰, 宁卫明, 等. 新型安全轮胎的设计及其有限元仿真分析[J]. 橡胶工业, 2019, 66(7): 529-533.
- [6] 杨军, 周利平, 吴能章. 基于Deform 3D的钻削力仿真研究[J]. 工具技术, 2007, 41(4): 50-53.
- [7] 杨立东, 顾全忠. 直进式拉丝机功率的计算[J]. 金属制品, 2008, 34(3): 32-33.
- [8] 严木香. 加工工艺对高强高碳钢丝组织与性能的影响[D]. 南京: 东南大学, 2014.
- [9] 陶建春. 拉拔工艺对高碳82B钢丝组织和力学性能影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [10] 姚利丽, 底华芳, 王威, 等. 珠光体钢丝冷变形加工硬化行为研究[J]. 热加工工艺, 2017(1): 69-73.

收稿日期: 2021-08-16

Influence of Die Matching Process on Energy Consumption in Wet Drawing of Steel Wire

CHEN Xuechun^{1,2}, ZHOU Jie^{1,2}, TANG Jianzhong^{1,2}, WANG Wei^{1,2}

(1. Jiangsu Xingda Steel Cord Co., Ltd, Taizhou 225721, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Structural and Functional Metal Composites, Taizhou 225721, China)

Abstract: In the way of energy saving and consumption reduction, process energy saving requires less investment than equipment renewal and transformation, and the effect was faster and higher. It was feasible to study the influence of wet drawing die matching process on energy consumption by finite element simulation analysis. The test results were consistent with the theoretical simulation analysis results, which could provide a reference for energy saving and consumption reduction of wet drawing process or similar metal drawing process.

Key words: steel wire; wet drawing; mold process; compression ratio; energy consumption

启事 《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》不向作者收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告, 勿信诈骗信息。有任何疑问请及时与编辑部联系。《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》投稿渠道为官方网站<http://www.rubbertire.com.cn>与<http://www.rubbertire.cn>, 任何其他网上投稿渠道均为假冒。