

引用格式:赵晓燕,太旭维,溪贵飞,等.自动剥锌机剥离效果影响因素的正交试验设计[J].有色设备,2025,39(5):24-32.

ZHAO Xiaoyan, TAI Xuwei, XI Guifei, et al. Orthogonal experimental design of factors influencing peeling effect of automatic zinc stripper[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(5): 24-32.

自动剥锌机剥离效果影响因素的正交试验设计

赵晓燕¹, 太旭维², 溪贵飞³, 王 勇², 杨支海², 王 凯¹

(1. 北矿机电科技有限责任公司, 北京 100160; 2. 云南驰宏锌锗股份有限公司 会泽冶炼分公司, 云南 会泽 654211; 3. 云南金鼎锌业有限公司, 云南 兰坪 671401)

[摘 要] 近年来随着数字化、智能化技术的发展,实现有色金属冶炼行业的无人化作业已成为未来趋势,自动剥锌机则是实现湿法锌冶炼无人化作业的关键装备。针对自动剥锌机剥离效果差直接导致剥锌作业效率低及产量少的难题,本文基于 3.2 大极板自动剥锌机剥离设备,对剥离过程中的多种剥离效果影响因素深入分析,提出应用二次正交回归试验分析方法,选取剥离刀具行程为设计参数和剥离刀具的角度、剥离刀具的宽度、剥离锌皮的厚度以及锌皮粘结层的粘结强度为主要影响因素,分析研究了各因素对剥离效果的影响规律,得到了 4 种因素与剥离载荷及剥离刀具行程 2 个参数间的函数映射关系,为提高剥锌机剥离成功率提供了理论基础,具有广阔的工程应用前景和实际应用价值。

[关键词] 智能化; 湿法锌冶炼; 自动剥锌机; 剥离效果; 影响因素; 二次正交; 回归分析

[中图分类号] TF813 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2025)05-0024-09

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.05.003

0 前言

我国为世界产锌大国,锌年产量居世界之首。我国锌冶炼行业经过 10 多年的发展,工艺与装备技术实现了突破,还取得了长足的进步。目前,行业内锌的冶炼主要有 2 种方法:火法炼锌和湿法炼锌^[1-2],受原料、产能、生产环境、生产成本、能耗等诸多因素影响,近年来生产单位锌冶炼的主流方法大多采用湿法炼锌。湿法炼锌过程,是通过电化学反应将电解液的锌离子沉积到阴极铝板上,经过一定周期的沉积,形成一定厚度的锌皮,然后将沉淀在阴极板两侧的锌皮用人工剥锌或者机械剥锌的方式剥离下来,对锌皮进行码垛,送至熔铸车间熔锌炉将锌片熔化成锌液,通过自动浇铸、扒皮、冷却等工序形成合格的锌锭,锌锭进行打捆、称重、打标、入库,流入下游环节。截至目前,国内整个锌电解和熔铸系统的工艺和装备技术水平基本上可实现锌生产

的规模化、连续化、规范化、自动化。

相比铜、铁、铝等其他金属生产过程,锌冶炼生产环境恶劣、工作人员劳动强度大、生产效率低、整体装备自动化、智能化技术水平相对落后。锌电解生产过程关键生产环节是锌皮的剥离作业,电解锌沉积在阴极板两侧形成锌皮后,需采取一定的方式将锌皮从阴极板上剥离下来,通常有人工剥锌和机械剥锌 2 种方式。用人工剥锌方式,需要耗费较大的劳动力,且锌电解车间环境恶劣,酸雾重、噪声大,严重影响操作人员的人身健康和安全生产,为推进行业发展,提升企业效益,国内外各大炼锌厂都致力于研究开发自动剥锌装备,将此作为锌冶炼行业发展的重要研究方向之一^[3]。

自动化剥锌生产装备主要包含以下几大系统:阴极板上下料系统、锌片剥离系统、横向传输系统、刷洗系统、图像识别剔补板系统、接锌码垛称重系统和锌垛铲装转运系统等。自动剥锌生产装备的核心

[收稿日期] 2025-06-25

[基金项目] “十四五”国家重点研发计划重点专项“铜钴等多金属资源高通量规模化开发利用关键技术与装备”项目(2022YFC2904602)。

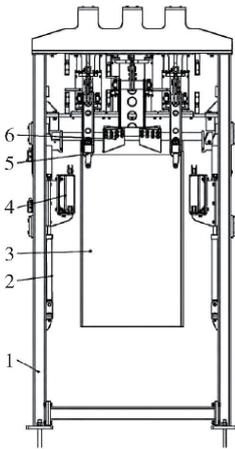
[第一作者] 赵晓燕(1992—),女,山西太原人,工程师,硕士,主要研究方向为智能冶炼装备的研发。

是锌片剥离系统,本文通过对锌片剥离过程进行分析,研究和探索影响剥离效果的各种影响因素,从中选取了4种主要影响因素,设计了二次正交回归试验,通过试验研究4种因素对剥离效果的影响规律,从而提升自动剥锌机的剥锌成功率为锌片剥离的优化和改进提供技术支持和理论参考。

1 自动剥锌机剥离设备结构及影响因素

1.1 剥离设备结构及组成

锌片开口剥离设备结构主要由机架、举升装置、阴极板、链传送系统、小凿刀组件、斜刃刀组件等组成。该剥离设备在带锌阴极板板面两侧上部边缘均安装有预剥离刀具,两侧为2组小凿刀组件,通过液压油缸实现小凿刀组件的开合与进退刀;中间为1组斜刃刀组件,同样通过液压油缸控制斜刃刀组件的开合与进退刀;3组刀具相互配合,通过液压系统控制实现多刀组合的异步驱动,先后完成锌片的开口和扩口,从而以静态铲切的方式对吸附在阴极板上的锌片完成预剥离作业。预剥离机结构如图1所示^[4-5]。



1 - 机架; 2 - 举升装置; 3 - 阴极板; 4 - 链传送系统; 5 - 小凿刀组件; 6 - 斜刃刀组件

图1 预剥离机结构

Fig.1 Pre-stripping machine structure

1.2 剥离过程分析

目前,国内外的自动剥锌机剥离设备的剥离方式主要是刀口铲切和振打式的预开口方式配合主剥锌机部分的铲切式剥离。铲切式剥离的剥离过程大致分为3个阶段:剥离起始阶段、预剥刀的预剥离阶段和主剥刀剥离的剥离阶段。

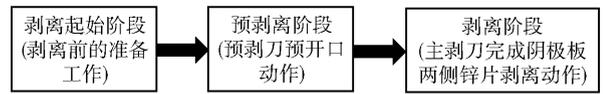


图2 剥离过程分析

Fig.2 Analysis of the stripping process

剥离过程如下:(1)链条传输系统装载带锌皮的阴极板步进至举升装置工位;(2)举升装置检测到带锌皮的阴极板到达标定位置,触发举升信号,通过液压举升装置将带锌片阴极板举升至锌皮剥离作业位置;(3)检测到举升到位信号,触发两侧2组小凿刀组件液压系统驱动油缸信号,通过控制液压开合油缸收缩,实现两侧2组小凿刀组件刀具的同步闭合;(4)检测到两侧小凿刀闭合到位信号,触发中间斜刃刀组件液压系统驱动油缸信号,通过控制液压油缸收缩,实现中间斜刃刀组件刀具的同步闭合;(5)当检测到两侧2组小凿刀组件和中间斜刃刀组件刀具均闭合到位后,触发两侧小凿刀组件液压系统升降油缸信号,通过控制液压举升油缸伸长,实现两侧2组小凿刀组件的同步进刀;(6)当检测到两侧小凿刀组件刀具均同步进刀到位,触发两侧小凿刀组件液压系统驱动油缸信号,通过控制液压开合油缸伸长,实现两侧2组小凿刀组件刀具的同步开合,从而实现两侧锌皮的预剥离;(7)当检测到两侧2组小凿刀组件刀具开合到位,触发中间斜刃刀组件液压系统升降油缸信号,通过控制液压油缸伸长,实现中间斜刃刀组件刀具的同步进刀;(8)当检测到中间斜刃刀组件刀具同步进刀到位后,触发中间斜刃刀组件液压系统驱动油缸信号,通过控制液压开合油缸伸长,实现中间斜刃刀组件刀具的同步开合,从而实现两侧锌皮的二次开口及扩口作业;(9)当检测到两侧2组小凿刀组件和中间斜刃刀组件刀具均到达开合位置,触发小凿刀组件和中间斜刃刀组件的液压系统升降油缸信号,通过控制液压升降油缸收缩,将两侧小凿刀组件和中间斜刃刀组件退刀至初始位置;(10)当检测到两侧小凿刀组件和中间斜刃刀组件退刀到位后,触发液压举升装置下降信号,通过液压举升装置液压油缸收缩,将完成预剥离的带锌皮的阴极板下降至链条传输系统;(11)当链条传输系统检测到完成预剥离的阴极板下降到位置后,触发链条传输系统驱动电机信号,驱动链条传输系统继续步进,从而完成一块带锌片阴极板的剥离过程。

1.3 剥离影响因素分析

假定在生产工艺正常的情况下,对影响剥锌机的剥离效果进行分析。在对剥锌设备进行优化设计的过程中,剥离载荷和剥离刀具行程是 2 个重要的设计参数。如图 3 所示,剥离效果受到多种因素的共同影响^[6],影响因素多,作用效果复杂。①设备方面包括:剥离斜刀;剥离小刀的分布、形状和数量;②材料方面包括:阴极板面积;粘合;工艺参数(氟含量);③过程参数包括:剥刀运动;剥离小刀角度、速度和加速度等。从装备工艺优化设计的角度出发,本文从电沉积在铝阴极板上的锌片厚度、刀具角度、刀具宽度和粘结层粘结强度四个主要影响剥离的因素出发设计试验,研究以上因素对剥锌载荷和剥离刀具行程产生的影响。

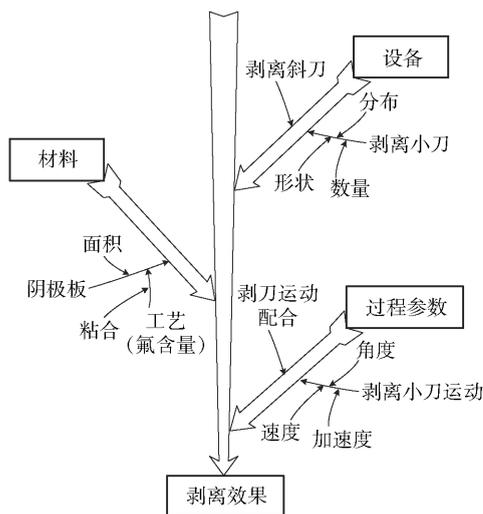


图 3 锌片剥离影响因素分析

Fig. 3 Analysis on influencing factors of zinc flaking

2 正交试验设计

正交试验设计是从多种试验条件中筛选出其中最具有代表性的条件来进行试验,主要依据是 Galois 理论^[7]推导出来的正交表。使用这种方法筛选出的试验所得数据均匀分散,即所取样本点在本试验范围内呈现均衡分布状态,这些样本点均具有很好的代表性。同时,此种方法选出的试验点具有整齐可比特性^[8-10],可方便地估计出各个因素变化对目标参数的影响,有利于找到影响事物变化的主因,更好地解决问题。

2.1 试验目的和数学模型

为进一步了解上节所提出的 4 项因素对锌片剥

离载荷和剥离刀具行程的单独影响,总结已有的试验经验,应用数学工具建立剥离载荷和剥离刀具行程与各个因素之间的数量关系。

设定有 N 个影响剥离效果因素,通过二次多项式来拟合分析,建立基于二次回归正交试验的数学模型,得到计算分析式见式(1)。

$$\eta = \beta_0 x_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \quad (1)$$

式中: $x_0 = 1$; β_0 为零次项的系数; β_i 第 i 次项的系数; β_{ij} 与 β_{ii} 分别为交互项的系数; ε 为误差项。

经过相关试验,利用多元回归试验的方法进行估算,可得到影响剥离效果因素的回归方程见式(2)。

$$y = b_0 x_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

式中: y 代表影响效果因素响应; x_1, x_2, \dots, x_n 代表影响效果因素的自变量; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} 代表相关的回归系数; $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$ 和 β_{ii} 代表相关理论系数的估算。

2.2 正交试验的方案设计

选定剥离过程中影响剥离效果的 4 项主要影响因素:锌皮剥离刀具的设计角度、剥离刀具的设计宽度、锌皮吸附的相对厚度以及锌皮的粘结强度,设计出基于四因素五水平的二次正交回归试验。

2.3 试验步骤

1) 确定影响因素的变化范围。

正交试验中涉及 4 项影响因素,设定第 J 项影响因素的上界为 (-1) ,下界为 $(+1)$ 。依据正交试验的设计条件,得到相关影响因素的基准水平见式(3),其变化区间见式(4)。

$$Z_{0j} = (Z_{1j} + Z_{2j}) / 2 \quad (3)$$

$$\Delta_j = (Z_{2j} - Z_{0j}) / \gamma \quad (4)$$

式中: Z_{0j} 为基准水平; γ 为星号臂长度; $\gamma = \sqrt{\frac{\sqrt{(m_c + 2m + m_0)m_c} - m_c}{2}}$, 由因素数 m 、零水平试验次数 m_0 和二水平试验数 m_c 确定,本文中 $m_0 = 1$, $m_c = 2$ 。

2) 编制四因素五水平的编码表。

因素取值的线性变换,如式(5)所示。

$$X_j = (Z_j - Z_{0j}) / \Delta_j \quad (5)$$

得到四因素五水平的编制表如表 1 所示。

表 1 四因素五水平编制表

Table 1 Compilation of four factors and five levels

因素	刀具角 度/(°)	刀具宽 度/mm	锌片厚 度/mm	粘结强 度/MPa
记号	x1	x2	x3	x4
基准水平(0)	30	100	4	1.083
变化间距(Δ)	10.6	56.6	0.7	0.214
上水平(+1)	40.6	156.6	4.7	1.297
下水平(-1)	19.4	43.4	3.3	0.869
上星号臂(+1.414)	45	180	5	1.385
下星号臂(-1.414)	15	20	3	0.78

3) 二次正交回归试验结构矩阵的设计。

在二水平全实施条件下采用正交组合试验只需要 25 次试验,可很大程度上减少试验次数,提高了试验效率。表 2 为四因素的二次正交回归试验结构矩阵。

表 2 四因素正交回归设计结构矩阵

Table 2 Four-factor regression design structure matrix

试验号	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
1	1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	1
3	1	-1	-1	1	-1
4	1	-1	-1	1	1
5	1	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1
7	1	-1	1	1	-1
8	1	-1	1	1	1
9	1	1	-1	-1	-1
10	1	1	-1	-1	1
11	1	1	-1	1	-1
12	1	1	-1	1	1
13	1	1	1	-1	-1
14	1	1	1	-1	1
15	1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1
17	1	-1.414	0	0	0
18	1	1.414	0	0	0
19	1	0	-1.414	0	0
20	1	0	1.414	0	0
21	1	0	0	-1.414	0
22	1	0	0	1.414	0
23	1	0	0	0	-1.414
24	1	0	0	0	1.414
25	1	0	0	0	0

依照表 1 中各因素的具体数值,对表 2 中的编码进行线性反换算,可得四因素五水平的正交试验表,见表 3。

表 3 四因素五水平正交试验表

Table 3 Four-factor five-level orthogonal test table

试验号	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
1	1	19.4	43.4	3.3	0.869
2	1	19.4	43.4	3.3	1.297
3	1	19.4	43.4	4.7	0.869
4	1	19.4	43.4	4.7	1.297
5	1	19.4	156.6	3.3	0.869
6	1	19.4	156.6	3.3	1.297
7	1	19.4	156.6	4.7	0.869
8	1	19.4	156.6	4.7	1.297
9	1	40.6	43.4	3.3	0.869
10	1	40.6	43.4	3.3	1.297
11	1	40.6	43.4	4.7	0.869
12	1	40.6	43.4	4.7	1.297
13	1	40.6	156.6	3.3	0.869
14	1	40.6	156.6	3.3	1.297
15	1	40.6	156.6	4.7	0.869
16	1	40.6	156.6	4.7	1.297
17	1	15	100	4	1.083
18	1	45	100	4	1.083
19	1	30	20	4	1.083
20	1	30	180	4	1.083
21	1	30	100	3	1.083
22	1	30	100	5	1.083
23	1	30	100	4	0.78
24	1	30	100	4	1.385
25	1	30	100	4	1.083

4) 回归系数计算及显著性检验判定分析。

由于结构矩阵具有正交特性,那么通过试验的结果可以得到相应矩阵如下。

$$A = X'X =$$

表 4 二次回归方差分析表
Table 4 ANOVA table of quadratic regression

来源	平方和	自由度	均方度	F 比
一次项	$Q_1 = \frac{B_1^2}{S_1}$	1	Q_1	$\frac{Q_1}{V_e}$
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	$Q_p = \frac{B_p^2}{S_p}$	1	Q_p	$\frac{Q_p}{V_e}$
交互项	$Q_{12} = \frac{B_{12}^2}{S_{12}}$	1	Q_{12}	$\frac{Q_{12}}{V_e}$
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	$Q_{p-1,p} = \frac{B_{p-1,p}^2}{S_{p-1,p}}$	1	$Q_{p-1,p}$	$\frac{Q_{p-1,p}}{V_e}$
二次项	$Q_{11} = \frac{B_{11}^2}{S_{11}}$	1	Q_{11}	$\frac{Q_{11}}{V_e}$
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	$Q_{pp} = \frac{B_{pp}^2}{S_{pp}}$	1	Q_{pp}	$\frac{Q_{pp}}{V_e}$
回归	$S_{\text{回}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{pp}$	$f_{\text{回}} = C_{p+2}^2 - 1$	$\frac{S_{\text{回}}}{f_{\text{回}}}$	$\left(\frac{S_{\text{回}}}{f_{\text{回}}} \right) / \frac{V_e}{V_e}$
剩余	$S_{\text{剩}} = S_{\text{总}} - S_{\text{回}}$	$f_{\text{剩}} = N - C_{p+2}^2$	$V_e = \frac{S_{\text{剩}}}{f_{\text{剩}}}$	
总计	$S_{\text{总}} = \sum_a y_a^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_a y_a \right)^2$	$f_{\text{总}} = N - 1$		

上述试验结果表明,在使用上述二次正交回归试验的情况下,剥离过程最大的锌皮剥离载荷同影响剥离四项因素的关系见式(13),计算得到剥离刀具行程与四因素关系的公式见式(14)。

$$y_1 = 81.184x_1^2 - 3.093.1x_1 - 0.103.9x_2^2 + 44.029x_2 + 0.735x_1x_2 + 115.75x_3^2 + 1.482x_1x_4 - 699.25x_3 - 921.3x_3x_1 - 6.451.1x_1^4 + 19.219x_4 - 5.25x_2x_4 - 47.24x_2x_3 - 225.187x_3x_4 + 2.457.83 \quad (13)$$

式中: y_1 代表最大剥锌载荷。

由方差分析结果可知, F 检验值为 $8.215 > F(5, 19) = 2.74$,表明回归方程在 $\alpha = 0.005$ 的置信水平回归显著。

$$y_2 = 0.147.3x_1^2 - 14.514x_1 + 0.008.6x_2^2 - 3.225.8x_2 - 0.004.3x_1x_2 + 26.022x_3^2 - 339.82x_3 - 10.55x_1x_3 + 209.06x_4^2 - 275.36x_4 + 0.077x_1x_4 +$$

$$0.001.6x_2x_3 + 152.09x_2x_4 - 2.8x_3x_4 + 1.574.6 \quad (14)$$

式中: y_2 代表剥离刀具行程。

由方差分析结果可知, F 检验值为 $6.84 > F(5, 19) = 2.74$,表明回归方程在 $\alpha = 0.005$ 的置信水平回归显著。

3.2 剥离效果影响因素分析

由上述二次回归试验数据计算得到的回归方程表明:锌皮剥离过程中剥离刀具的运动轨迹与锌皮的相对厚度、剥离刀具的设计宽度、锌皮的粘结强度以及剥离刀具的设计角度等 4 项影响因素存在良好的回归显著性。为得到上述 4 项影响因素对锌皮剥离过程中剥离效果的作用规律,本文以剥离刀具的运动轨迹为研究分析目标,利用正交试验推理出的二次回归方程公式,分别分析单个因素对剥离过程剥离效果的影响。

表 5 回归方程数据分析表
Table 5 Regression equation data analysis table

试验号	试验设计矩阵					试验数据	
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	剥离载荷/N	刀具行程/mm
1	1	19.4	43.4	3.3	0.869	3 169	1 187.2
2	1	19.4	43.4	3.3	1.297	3 501	1 203.7
3	1	19.4	43.4	4.7	0.869	3 393	1 158.6
4	1	19.4	43.4	4.7	1.297	3 673	1 175.2
5	1	19.4	156.6	3.3	0.869	4 168	1 161.1
6	1	19.4	156.6	3.3	1.297	4 735	1 172.3
7	1	19.4	156.6	4.7	0.869	4 627	1 143.6
8	1	19.4	156.6	4.7	1.297	4 952	1 151.1
9	1	40.6	43.4	3.3	0.869	15 381	1 149.3
10	1	40.6	43.4	3.3	1.297	17 942	1 168.7
11	1	40.6	43.4	4.7	0.869	18 485	1 137.6
12	1	40.6	43.4	4.7	1.297	21 348	1 145.1
13	1	40.6	156.6	3.3	0.869	29 264	1 127.2
14	1	40.6	156.6	3.3	1.297	35 351	1 131.4
15	1	40.6	156.6	4.7	0.869	31 687	1 136.4
16	1	40.6	156.6	4.7	1.297	43 652	1 123.1
17	1	15	100	4	1.083	3 172	1 278.5
18	1	45	100	4	1.083	53 802	1 116.6
19	1	30	20	4	1.083	3 089.2	1 389.1
20	1	30	180	4	1.083	6 885	1 153.5
21	1	30	100	3	1.083	6 859	1 327.8
22	1	30	100	5	1.083	7 308	1 057.9
23	1	30	100	4	0.78	5 166	1 121.2
24	1	30	100	4	1.385	7 971.2	1 237.7
25	1	30	100	4	1.083	6 964.3	1 166.1

为了比较直观地找到刀具的角度、刀具的宽度、锌片的厚度、粘结强度分别对剥离刀具行程的影响,假设式(14)中的其他 3 项因素处于基准水平,从而研究单因素对剥离刀具行程的影响,如图 4~7 所示。

以上各图可得:如果在其他几种因素均为基准水平的条件下,锌皮剥离过程中剥离刀具的运动轨迹会因剥离刀具的角度变大而相应减小,随

着刀具宽度的变大而相应减小,随着锌片厚度的变大而相应减小,随着粘结强度的变大而相应变大。各因素变化趋势与式(14)中所反应的变化规律基本一致。

4 结论

本文介绍了自动剥锌机剥离设备的结构和原理,分析了影响剥离效果的关键因素。选取剥离刀

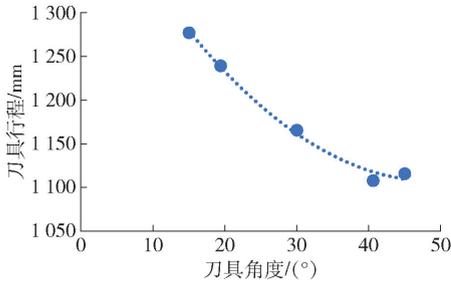


图4 刀具行程随刀具角度变化规律

Fig. 4 Change rule of tool stroke with tool angle

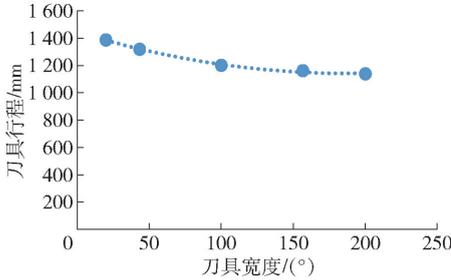


图5 刀具行程随刀具宽度变化规律

Fig. 5 Change rule of tool stroke with tool width

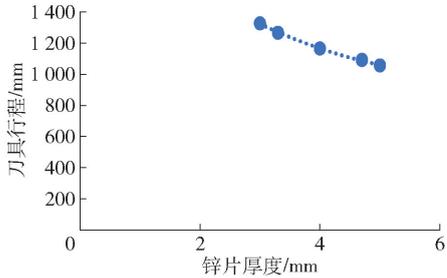


图6 刀具行程随锌片厚度变化规律

Fig. 6 Change rule of tool stroke with zinc sheet thickness

具的角度、剥离刀具的宽度、剥离锌皮的厚度以及锌皮粘结层的粘结强度等4项主要影响因素,完成对二次正交回归试验的分析设计,得到了上述4种因素与剥离载荷及剥离刀具行程2个参数间的函数映射关系。最后,利用二次正交回归方程,分析了单个因素对剥离刀具行程的影响。

分析发现:剥离刀具的剥离行程随着粘结层粘结强度的增大而增大,而随着锌片厚度、刀具角度、刀具宽度的增大而减小,与设备实际应用效果吻合。

因此,在实际生产中可以基于上述规律确定

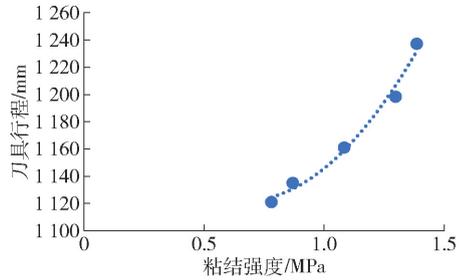


图7 刀具行程随粘结强度变化规律

Fig. 7 Change rule of tool stroke with bond strength

合适的刀具角度、宽度,应用于不同厚度的锌片,以达到最优的剥离效果。本研究为后续自动剥锌机剥离效果优化和剥离成功率提升提供了理论基础和技术支持,具有广阔的工程应用前景和实际应用价值。

[参考文献]

- [1] 王成彦,陈永强. 中国铅锌冶金技术状况及发展趋势: 锌冶金[J]. 有色金属科学与工程,2017,8(1):1-7.
- [2] 郭娟,崔荣国,周起忠,等. 2023年中国矿产资源形势回顾与展望[J]. 中国矿业,2024,33(1):12-19.
- [3] MICHAUD F, CROSSET L, 罗涛. 如何高效自动剥锌[J]. 世界有色金属,2015(11):25-28.
- [4] 伍文丙. 锌电积大极板和自动化剥锌的应用实践[J]. 中国有色冶金,2013,42(6):32-34.
- [5] 邹强. 云南驰宏锌锗大极板铅电解精炼技术引进及思考[J]. 中国有色冶金,2009(6):23-26.
- [6] 郝二丽,姜智. 基于多因素耦合作用下智能剥锌机剥离载荷变化规律研究[J]. 有色设备,2023,37(3):15-20.
- [7] Hart-Smith L. J. Adhesive-bonded single-lap joints. 1973.
- [8] 刘明宝,杨超普,阎赞,等. 基于二次回归正交设计及均匀设计的柞水菱铁矿最佳回收工艺参数[J]. 矿冶工程,2017,37(3):97-100.
- [9] 郭小艳,李亚辉,杨刚,等. 基于正交回归的支架优化设计研究[J]. 机械工程师,2016(1):180-182.
- [10] 孙远韬,秦仙蓉,孙文斌,等. 基于正交回归试验法的煤矿剪式抓斗优化设计[J]. 同济大学学报(自然科学版),2017,45(12):1853-1858.
- [11] 刘宝松,刘月浩,唐永峰,等. 全自动剥锌机阴极板防摇摆装置的设计与应用[J]. 云南冶金,2020,49(1):85-87.
- [12] 刘强,赵刚,李浩. 红透山铜锌矿成套机械化开采方案研究[J]. 有色矿冶,2023,39(6):10-13,43.

Orthogonal experimental design of factors influencing peeling effect of automatic zinc stripper

ZHAO Xiaoyan¹, TAI Xuwei², XI Guifei³, WANG Yong², YANG Zhihai², WANG Kai¹

(1. BGRIMM Machinery & Automation Technology Co., Ltd., Beijing 100160, China;

2. Yunnan Chihong Zinc and Germanium Co., Ltd., Huize 654200, China;

3. Yunnan Jinding Zinc Co., Ltd., Lanping 671401, China)

Abstract: In recent years, with the development of digital and intelligent technologies, realizing unmanned operations in the non-ferrous metal smelting industry has become a future trend, and automatic zinc stripping machines are the key equipment for realizing unmanned operations in wet zinc smelting. In view of the problem that the poor peeling effect of the automatic zinc peeler directly leads to low zinc peeling operation efficiency and low output, based on the 3.2 large plate automatic zinc peeler peeling equipment, this paper conducts in-depth analysis of various factors influencing the peeling effect during the peeling process, proposes the secondary orthogonal regression test analysis method, and selects the stripping tool stroke as the design parameter, the angle of the peeling tool, the width of the peeling tool, the thickness of the peeling zinc skin, and the bonding strength of the zinc skin bonding layer as the main influencing factors. The influence of each factor on the peeling effect was analyzed and studied, and the functional mapping relationship between the four factors and the stripping load and the stripping tool stroke was obtained, providing a theoretical basis for improving the peeling success rate of the zinc peeling machine, and has broad engineering application prospects and practical application value.

Keywords: intelligent; wet zinc smelting; automatic zinc stripping machine; peeling effect; influencing factors; quadratic orthogonal; regression analysis ▲