



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102621941 A

(43) 申请公布日 2012.08.01

(21) 申请号 201210018536.7

(22) 申请日 2012.01.19

(71) 申请人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路3
号巷11号

(72) 发明人 唐立新 杨阳

(74) 专利代理机构 沈阳东大专利代理有限公司
21109

代理人 梁焱

(51) Int. Cl.

G05B 19/418 (2006.01)

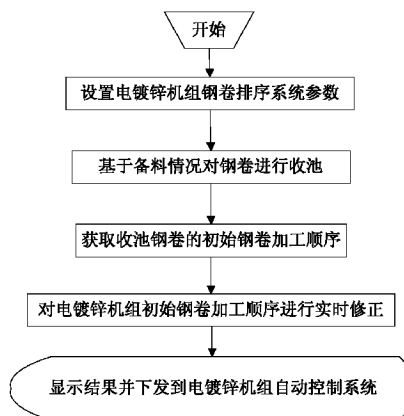
权利要求书 6 页 说明书 12 页 附图 6 页

(54) 发明名称

一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法及系统

(57) 摘要

一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法及系统，属于金属材料加工信息技术领域，本发明方法除了考虑相邻钢卷的后处理方式、宽度、厚度等物理参数的跳跃最小化以外，还考虑了钢卷选择对整个生产计划中的后处理方式、宽度、厚度变化对生产系统稳定性所产生的影响，从而使得生产设备的调整也将变少，从而使得钢卷的生产能够平稳顺利的进行，使生产过程更加合理；将本发明方法利用冷轧电镀锌机组钢卷排序系统控制钢卷的生产顺序，与人工确定的生产顺序结果相比，平均降低切换次数 31.51%，有效减少了生产设备的频繁调整，从而提高了产品的质量，提高企业效益。



1. 一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤 1:描述工艺工程,确定工艺过程的约束条件;

步骤 2:根据电镀锌机组当前状态对钢卷进行选取,方法为:根据当前机组状态以及库存和前道机组生产情况,选取电镀锌机组待加工钢卷:首先,判断机组当前采用哪种后处理液 k ,并计算该后处理液累计加工钢卷量 W_k^P ,根据系统设置的后处理液额定加工能力范围 $[L_k^P, U_k^P]$,确定该后处理液当前可加工钢卷量 Q 等于 $U_k^P - W_k^P$;

如果 $U_k^P - W_k^P \leq U$,则钢卷选取步骤如下:

步骤 2.1:判断机组当前加工情况,确定当前制定生产顺序的前一生产顺序中最后一个钢卷的宽度,即当前加工辊可用宽度上限 W^A ;

步骤 2.2:根据电镀锌机组在库钢卷量及前道供料产线的加工情况,确定当前生产期内,可利用钢卷量,并就其要求的后处理方式对钢卷进行分类,计算要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的可利用钢卷的累计吨数 W_k ,并进行如下判定:

如果 $W_k \leq Q$,则将所有要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的钢卷进行收池,记录所有相关钢卷号;

如果 $W_k > Q$,则从要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的钢卷进行挑选,挑选方法为:

步骤 2.2.1:若该钢卷集合中不存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷,则从最窄钢卷开始收池,直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 $U_k^P - W_k^P$;

步骤 2.2.2:若该钢卷集合中存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷,计算宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷累计吨数 W' ;如果 $W' \geq U_k^P - W_k^P$,从宽度不小于 $W^A + L^W$ 的最宽钢卷开始进行收池,直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 $U_k^P - W_k^P$;否则,将宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷全部收池,并从宽度小于 $W^A + L^W$ 的最窄钢卷进行收池,直到当前计划累计收池钢卷量超过 $U_k^P - W_k^P$;

步骤 2.2.3:若已选钢卷总重不满足钢卷加工计划最小排产量,选择其他后处理方式的钢卷,按照后处理代码递增的顺序,从后处理方式 $g = k+1$ 的钢卷进行收池,收池量上限 $U' = U - (U_k^P - W_k^P)$;

(1) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g \geq U'$,从后处理方式 g 的钢卷集合中最窄的钢卷进行收池,直到累计收池钢卷量超过 U 停止;

(2) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g < U'$,则将后处理方式 g 的所有钢卷进行收池,更新 $k = k+1$, $U' = U' - W_g$,跳到步骤 2.2.3;

其中,步骤 2.2.3(2) 所述的当前收池后处理方式 k 若为最大后处理代码,则更新 k 为最小后处理代码;当前收池后处理方式 g 为当前机组收池钢卷的后处理代码;

如果 $U_k^P - W_k^P > U$,则钢卷选取步骤如下:

步骤 2-1:判断机组当前加工情况,确定当前制定计划的前计划最后一个钢卷的宽度,即当前加工辊可用宽度上限 W^A ;

步骤 2-2:根据电镀锌机组在库钢卷量及前道供料产线的加工情况,确定当前计划期内,可利用钢卷量,并就其要求的后处理方式对钢卷进行分类,计算要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的可利用钢卷的累计吨数 W_k ,并进行如下判定:

如果 $W_k \leq U$, 则将所有要求采用后处理方式 k 进行加工, 宽度不大于 W^A 的钢卷进行收池, 记录所有相关钢卷号;

如果 $W_k > U$, 则从要求采用后处理方式 k 进行加工, 宽度不大于 W^A 的钢卷进行挑选:

步骤 2-2-1: 若该钢卷集合中不存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷, 则从最窄钢卷开始收池, 直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 U ;

步骤 2-2-2: 若该钢卷集合中存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷, 计算宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷累计吨数 W' ; 如果 $W' \geq U$, 从宽度不小于 $W^A + L^W$ 的最宽钢卷开始进行收池, 直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 U ; 否则, 将宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷全部收池, 并从宽度小于 $W^A + L^W$ 的最窄钢卷进行收池, 直到当前计划累计收池钢卷量超过 U , 停止;

步骤 2-2-3: 若已选钢卷总重不满足钢卷加工计划最小排产量, 选择其他后处理方式的钢卷, 按照后处理代码递增的顺序, 从后处理方式 $g = k+1$ 的钢卷进行收池, 收池量上限 $U' = U - W_k$;

(1) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g \geq U'$, 从后处理方式 g 的钢卷集合中最窄的钢卷进行收池, 直到累计收池钢卷量超过 U 停止;

(2) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g < U'$, 则将后处理方式 g 的所有钢卷进行收池, 更新 $k = k+1$, $U' = U' - W_g$, 跳到步骤 2-2-3;

步骤 3: 设置电镀机组初始钢卷加工顺序: 对收池钢卷进行分类, 同后处理方式的钢卷构成一个簇, 对于任一钢卷簇, 钢卷从厚到薄或从薄到厚) 进行排序所获得的簇内钢卷排序的总切换费用最小; 对于两个连续的簇, 如果前一个簇内的钢卷从薄到厚或从厚到薄进行排序, 那么后一个簇内的钢卷从厚到薄或从薄到厚进行排序, 如此一来, 后一个簇中最厚或薄的钢卷将在前一个簇中最厚或薄的钢卷紧后进行加工, 方法如下:

步骤 3.1: 初始化当前后处理方式 k 为收池钢卷中最小的后处理代码;

步骤 3.2: 若所有后处理方式钢卷均已排序, 则已获得初始钢卷加工顺序, 并输出结果; 否则, 跳到步骤 3.3;

步骤 3.3: 将后处理方式 k 钢卷从宽到窄进行排序, 并将后处理方式钢卷按照宽度进行分类, 形成 g 个钢卷集合 $\Omega_{k1}, \Omega_{k2}, \dots, \Omega_{kg}$;

步骤 3.4: 对钢卷集合 $\Omega_{k1}, \Omega_{k2}, \dots, \Omega_{kg}$ 中钢卷分别进行排序, 形成两个钢卷排序序列, 其中, 第一序列获得方法: 对于标号为奇数的钢卷从厚到薄进行排序, 对于标号为偶数的钢卷从薄到厚进行排序; 第二序列获得方法: 对于标号为奇数的钢卷从薄到厚进行排序, 对于标号为偶数的钢卷从厚到薄进行排序, 对上述两种序列进行比较, 将总体稳定性缺损最小的钢卷加工顺序设定为电镀机组初始钢卷加工顺序 S^I ;

步骤 4: 对电镀机组钢卷加工顺序进行实时修正, 方法为;

步骤 4.1: 初始化系统稳定性修正方法的参数, 将当前的电镀机组钢卷加工顺序 S^B 设定为 S^I ; 获取当前选取钢卷集合 CS 以及当前可利用钢卷集合 CA , 其中, CS 是所有已列入当前电镀机组钢卷加工顺序的钢卷集合, CA 是所有在库或者基于前道机组加工情况已确定可及时送达、但没有列入当前电镀机组钢卷加工顺序的钢卷集合, $|CS|$ 为当前选取钢卷集合 CS 中钢卷的数目, $|CA|$ 为当前可利用钢卷集合 CA 中钢卷的数目; 获取当前电镀机组钢卷加工顺序 S^B 对应的钢卷加工顺序 $m_1, m_2, \dots, m_{|CS|}$, 其中, m_i 为当前电镀机组钢卷加工顺序中第 i 个进行加工的钢卷, 设定稳定性评价指标值 $f(S)$, 公式为:

$$f(S) = \lambda_1 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij}^P + c_{ij}^W + c_{ij}^T) x_{ij} + \lambda_2 \times \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad (15)$$

式中,稳定性评价指标值 $f(S)$ 为钢卷加工顺序 S 的系统稳定性惩罚值,惩罚值越小钢卷排序方案越稳定可行;

步骤 4.2:计算当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 的稳定性评价指标值 $f(S^B)$;

步骤 4.3:确定当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 的候选修正集合 P ,获取钢卷加工顺序的修正方法为:

(1) 插入钢卷:在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下,通过当前钢卷加工顺序中插入新的钢卷 h ,获得候选修正钢卷加工顺序,新加入钢卷 h 在钢卷加工顺序中所处位置应满足系统设定工艺约束 (2)-(11);

(2) 删除钢卷:在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下,通过当前钢卷加工顺序中删除钢卷 m_i , ($i = 1, 2, \dots, |CS|$),要求保证删除钢卷 m_i 后,钢卷 m_{i-1} 和钢卷 m_{i+1} 的宽度、厚度切换幅度不违反约束 (10)、(11),稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

(3) 调整钢卷选择方案:在不违反机组的生产能力限制约束、后处理集批量约束及系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下,通过交换当前钢卷加工顺序中钢卷 CS 中钢卷与当前可利用钢卷集 CA 中钢卷,获得稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

(4) 调整钢卷加工顺序:在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下,通过当前钢卷加工顺序的交换邻域、2-opt 邻域,调整当前钢卷加工顺序中钢卷的位置,获得稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

其中,所述的当前钢卷加工顺序的交换邻域是指:保证不违反系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下,交换电镀锌机组钢卷加工顺序中的任意两个钢卷的位置所获得的所有可行钢卷排序方案的集合;

2-opt 邻域是指:保证不违反系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下,通过变换电镀锌机组钢卷加工顺序中的任意两个钢卷切换方式所获得的所有可行钢卷排序方案的集合;

步骤 4.4:建立钢卷加工顺序修正方案参考集,把当前候选修正集合 P 中稳定性评价指标值较好的前 b_1 个候选修正方案加入参考集,即 $RefSet = \{x^1, \dots, x^{b_1}\}$,并将这 b_1 个候选修正方案从候选修正集合 P 中移除,对当前候选修正集合 P 中的每一个候选修正方案,计算它与参考集中当前钢卷排序方案的最小距离;把与参考集最小距离最大的钢卷加工顺序候选修正方案加入到参考集 $RefSet$,并把它从候选修正集合 P 中移除,重复这一过程 b_2 次,这样,当前的参考集 $RefSet = \{x^1, \dots, x^b\}$, $b = b_1 + b_2$;

步骤 4.5:利用钢卷排序方案的组合法,基于参考集 $RefSet$ 中任意一对钢卷加工顺序,生成 $b(b-1)$ 个新钢卷修正方案,对于新生成的修正方案进行改进,利用步骤 4.3(1)-(4) 获得稳定性更好的候选钢卷排序修正方案;

所述的钢卷排序方案的组合法,过程为:首先,对比两个钢卷加工顺序的钢卷选择情况,获取共有选择钢卷集合;其次,确定共有选择钢卷的加工位置,若其具有相邻关系的钢卷为共有选择钢卷,采用系统稳定性较好的钢卷加工顺序中的邻接关系,若其具有相邻关系的钢卷为非共有选择钢卷,则从非公有钢卷中试探插入原位置,获得总体评价较好的钢卷加工顺序;

步骤 4.6:更新候选修正集合 P,用新生成的稳定性较好的候选钢卷排序修正方案替换候选修正集合 P 中稳定性较差的解;

步骤 4.7:若候选修正集合 P 中的最好的候选修正方案连续不更新次数达到无改进迭代次数上限,则停止,将候选修正集合 P 中评价值最好的候选修正方案选为当前修正方案;否则,跳到步骤 4.4。

2. 根据权利要求 1 所述的冷轧电镀锌机组钢卷排序方法,其特征在于:步骤 1 所述描述工艺工程,通过建立电镀锌机组钢卷生产模型实现,方法为:

步骤 1-1:所述的电镀锌机组钢卷生产模型,模型的目标函数为:

$$\text{Minimize} \quad \lambda_1 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij}^P + c_{ij}^W + c_{ij}^T) x_{ij} + \lambda_2 \times \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad (1)$$

式中, λ_1 表示生产切换(即后处理、宽度、厚度)对生产系统稳定性影响情况的权重, λ_2 表示钢卷选取对生产系统稳定性影响情况的权重; c_{ij}^P 表示在钢卷 i 之后加工钢卷 j 因后处理方式切换所引起的系统稳定性缺损惩罚; c_{ij}^W 表示在钢卷 i 之后加工钢卷 j 因宽度切换所引起的系统稳定性缺损惩罚; c_{ij}^T 表示在钢卷 i 之后加工钢卷 j 因厚度切换所引起的系统稳定性缺损惩罚; p_i 表示当前钢卷顺序选择钢卷 i 进行加工对生产系统稳定性的影响惩罚; 决策变量 x_{ij} 表示连续电镀锌加工顺序中,钢卷 i 和钢卷 j 之间的相邻关系,当钢卷 i 在钢卷 j 紧前进行加工, x_{ij} 取值为 1,否则 x_{ij} 取值为 0; 决策变量 y_i 表示连续电镀锌加工顺序是否选择钢卷 i 进行加工,当钢卷 i 被选择进行加工, y_i 取值为 1,否则 y_i 取值为 0; 待加工的可用钢卷数为 n;

步骤 1-2:根据电镀锌前库库存钢卷量、电镀锌前道机组计划内预计到达钢卷情况以及当前的电镀锌机组加工状态,给定钢卷加工计划内电镀锌机组的加工能力上下限,同后处理方式后处理液加工能力的上下限、宽度跳跃、厚度跳跃幅度范围,初始化电镀锌机组钢卷生产系统参数,公式如下:

设置钢卷 i 之后加工钢卷 j 因后处理方式切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 c_{ij}^P ,公式为:

当

$$c_{ij}^P = \begin{cases} \lambda_{p_j^{-1}}^P, & \text{当钢卷 } i \text{ 和钢卷 } j \text{ 后处理方式不同} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (12)$$

式中, $\lambda_{p_j^{-1}}^P$ 为加工后处理方式 p_j^{-1} 的后处理液初始化对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚;

设置钢卷 i 之后加工钢卷 j 因宽度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 c_{ij}^W ,公式为:

$$c_{ij}^W = \begin{cases} \alpha_1^w \cdot (w_i - w_j), & \text{如果 } 0 \leq w_i - w_j \leq 100 \text{ 并且 } t_i < 0.5 \\ \alpha_2^w \cdot (w_i - w_j), & \text{如果 } 0 \leq w_i - w_j \leq 150 \text{ 并且 } t_i \geq 0.5 \\ \infty, & \text{如果 } w_i - w_j < 0 \\ \alpha_3^w \cdot (w_i - w_j), & \text{否则} \end{cases} \quad (13)$$

式中, δ^w 为允许最大的宽度跳跃, λ^w 为相邻钢卷宽度切换对生产系统稳定性的影响

所产生的惩罚; α_1^w 为前一加工钢卷厚度小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_1^L 的情况的单位宽度跳跃惩罚; α_2^w 为前一加工钢卷厚度不小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_2^L 的情况的单位宽度跳跃惩罚; α_3^w 为宽度由宽到窄进行加工时,不满足前一加工钢卷厚度小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_1^L 的情况或前一加工钢卷厚度不小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_2^L 的情况的单位宽度跳跃惩罚; t^L 为计算宽度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚过程中的厚度边界条件值; w_1^L 和 w_2^L 为计算宽度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚过程中的宽度边界条件值;设置钢卷 i 之后加工钢卷 j 因厚度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 c_{ij}^T ,公式为:

$$c_{ij}^T = \alpha^T \cdot \frac{\max\{t_i, t_j\}}{\min\{t_i, t_j\}} - \alpha^T \quad (14)$$

式中, α^T 为厚度切换导致对生产系统稳定性的影响所产生的单位惩罚;

设置选择钢卷 i 排入当前钢卷顺序进行加工对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 p_i 。

3. 根据权利要求2所述的冷轧电镀机组钢卷排序方法,其特征在于:所述的电镀机组钢卷生产模型,其约束条件包括:可行性约束条件和自身的工艺及运行约束条件:

1) 可行性约束条件,公式为:

$$\sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{ij} = y_i \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{j\}} x_{ij} = y_j \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq \{1, 2, K, n-1, n\}, 2 \leq |S| \leq n \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, 2, K, n-1, n, j = 1, 2, K, n-1, n \quad (5)$$

式中, N 表示电镀前库中可用钢卷集合,约束(2)和(3)给出决策变量 x_{ij} 和 y_i 的逻辑关系;约束(4)用于防止钢卷加工过程被中断;约束(5)为决策变量 x_{ij} 和 y_i 的取值范围;

除了如上系统可行性约束(2)-(5)之外,电镀机组在加工钢卷时还有自身的工艺及运行约束条件:

2) 用于保证所制定钢卷加工顺序满足钢卷累计加工量的上、下限的机组生产能力限制约束,公式为:

$$L \leq \sum_{i \in N} wt_i y_i \leq U \quad \forall i \in N \quad (6)$$

式中, L 表示电镀钢卷加工顺序制定过程中单个生产计划的最小排产量, U 表示电镀钢卷加工顺序制定过程中单个生产计划的最大排产量; wt_i 为电镀钢卷 i 的重量;

3) 后处理集批量约束,包括用于确定钢卷加工顺序中,完成任一钢卷的加工后同一后处理方式的累计钢卷加工重量,公式为:

$$W_j = (1 - z_j) \times (W_i + \sum_{j \in N} wt_j x_{ij}) \quad \forall j \in N \quad (7)$$

以及保证钢卷累计加工重量满足同后处理方式连续加工钢卷重量上、下限,公式为:

$$L_{p_j^{-1}}^P z_j \leq W_j \leq U_{p_j^{-1}}^P z_j \quad \forall i \in N \quad (8)$$

式中, $L_{p_j^{-1}}^P$ 表示后处理代码为 p_j^{-1} 的钢卷累计连续加工重量下限; p_j^{-1} 表示钢卷 j 的后处

理方式代码 ; w_j 表示在钢卷加工顺序中,加工钢卷 j 后同后处理方式的钢卷累计加工重量 ; $U_{p_j^{-1}}^P$ 表示后处理代码 p_j^{-1} 的钢卷累计连续加工重量上限 ; z_j 为决策变量,当钢卷 j 与在钢卷 j 之前加工的钢卷后处理方式相同,则为 0,否则为 1 ;

4) 保证同后处理方式的钢卷从宽到窄进行加工的宽度切换趋势约束,公式为 :

$$(w_i - w_j) \times x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in N, j \in N, p_i^{-1} = p_j^{-1} \quad (9)$$

式中, w_j 表示钢卷 j 的宽度 ;

5) 保证电镀锌加工计划中相邻两个钢卷之间的出口宽度的跳跃变化不会超过机组生产工艺所允许的范围的宽度切换幅度约束,公式为 :

$$L^W \leq (w_i - w_j) \times x_{ij} \leq U^W \quad \forall i \in N, j \in N \quad (10)$$

式中, L^W 为电镀锌钢卷加工顺序中宽度跳跃幅度下限 ; U^W 为电镀锌钢卷加工顺序中宽度跳跃幅度上限 ;

6) 保证电镀锌加工计划中相邻两个钢卷之间的出口厚度的跳跃变化不会超过机组生产工艺所允许的范围的厚度切换幅度约束,公式为 :

$$L^T \leq (t_i - t_j) \times x_{ij} \leq U^T \quad \forall i \in N, j \in N \quad (11)$$

其中, L^T 为电镀锌钢卷加工顺序中厚度跳跃幅度下限 ; U^T 为电镀锌钢卷加工顺序中厚度跳跃幅度上限 ; t_i 为钢卷 i 的厚度, t_j 为钢卷 j 的厚度。

4. 采用权利要求 1 所述的冷轧电镀锌机组钢卷排序方法的系统,其特征在于 :包括 :至少一台 PC 机,至少一个电缆接口或光缆接口或电话专线接口和至少一台路由器 ;所述的 PC 机内设置有冷轧电镀锌钢卷排序系统的软件,所述软件包括生产环境设定模块、钢卷选取模块、钢卷排序模块、钢卷排序实时修正模块 ;其中,生产环境设定模块用于设置电镀锌机组钢卷生产环境的加工参数,描述工艺工程,确定工艺过程的调整目标及约束条件 ;钢卷选取模块根据电镀锌机组当前加工状态对钢卷进行选取,确定钢卷选取方案 ;钢卷排序模块基于当前钢卷选取情况,对已选钢卷进行排序,获取多种钢卷加工顺序,并从中挑选较好钢卷排序作为当前加工方案 ;钢卷排序实时修正模块对当前钢卷加工方案进行在线实时修正,改进并获取更好的钢卷加工方案 ;所述的 PC 机通过网络、企业内部服务器连接到企业电镀锌机组自动控制系统的前端。

一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于金属材料加工信息技术领域,涉及到自动化技术,特别涉及一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法及系统。

背景技术

[0002] 金属材料的电镀锌机组钢卷排序问题是冶金企业生产管理的主要内容,钢卷排序的质量直接关系到电镀锌机组的设备稳定性和运行效率、产品的质量和生产成本。

[0003] 以钢厂为例:电镀锌带钢所用的原料主要是退火后钢卷,酸轧钢卷经过退火后,为了达到防锈、美观等钢卷表面特征,常需要在钢卷上均匀的涂上一层金属锌,电镀锌机组以此为加工目的通过涂镀、后处理等工序处理钢卷的工艺。电镀锌的主要加工过程(如图1所示)为将钢卷打开,焊接成一个连续的带钢,对带钢进行表面清洗处理后,进入镀锌槽,利用电解,在钢带表面形成均匀、致密、结合良好的金属锌沉积层,之后,为了增强镀层或技术的抗腐蚀性,钢带需通过后处理工序,常见的后处理方式包括钝化、磷化、耐指纹等;最后,经过清洗、涂油、切边等处理后,被分切卷曲成钢卷。

[0004] 由于电镀锌生产工艺上的要求,电镀锌机组生产作业中对于钢卷的生产顺序有一定的限制,它直接关系到设备的稳定运行、机组产能提升以及产品的质量。电镀锌机组钢卷的生产顺序就是要在满足规格、锌层厚度、后处理方式等工艺约束条件下,使得钢卷过渡尽可能平滑,以提高机组响应速度,保障产品质量、充分发挥机组产能。在电镀锌加工过程中,钢卷被焊接成一条连续的板带,两相邻钢卷的厚度跳跃、宽度跳跃越大,造成板带崩裂的可能性就越大,同时也会造成支撑辊的磨损更大,这将造成生产稳定性、机组运行效率下降;两相邻钢卷的后处理方式不同,机组需更换后处理液,那么如果为了使后一个钢卷按照相应后处理方式加工,在加工完前一个钢卷后,需调整设备板带的拉动速度甚至进行停机,此时,后一钢卷将停顿在机组中,设备调整过程将降低该钢卷的质量。

[0005] 目前,电镀锌生产实际中,电镀锌机组钢卷的生产顺序是由人工完成的。由于电镀锌生产工艺约束复杂,人工生产排序具有较大的难度,而且实际生产中涉及到的钢卷数目巨大,人工生产排序在合理时间内,难以实时合理的选择在库钢卷,制定钢卷加工顺序,保障相邻钢卷的宽度、厚度的平滑过渡,编制出保证产品质量,提高产能,保证机组稳定运行,总体水平较优的钢卷加工顺序。

发明内容

[0006] 针对现有方法存在的不足,本发明提出一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法及系统,以达到保障相邻钢卷的宽度、厚度的平滑过渡,保证产品质量、提高产能、保证机组稳定运行的目的。

[0007] 本发明的技术方案是这样实现的:一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1:描述工艺工程,确定工艺过程的约束条件,按以下模型来描述:

[0009] 步骤 1-1 :所述的电镀机组钢卷生产模型,模型的目标函数为:

$$[0010] \quad \text{Minimize} \quad \lambda_1 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij}^P + c_{ij}^W + c_{ij}^T) x_{ij} + \lambda_2 \times \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad (1)$$

[0011] 式中, λ_1 表示生产切换(即后处理、宽度、厚度)对生产系统稳定性影响情况的权重, λ_2 表示钢卷选取对生产系统稳定性影响情况的权重; c_{ij}^P 表示在钢卷 i 之后加工钢卷 j 因后处理方式切换所引起的系统稳定性缺损惩罚; c_{ij}^W 表示在钢卷 i 之后加工钢卷 j 因宽度切换所引起的系统稳定性缺损惩罚; c_{ij}^T 表示在钢卷 i 之后加工钢卷 j 因厚度切换所引起的系统稳定性缺损惩罚; p_i 表示当前钢卷顺序选择钢卷 i 进行加工对生产系统稳定性的影响惩罚; 决策变量 x_{ij} 表示连续电镀加工顺序中, 钢卷 i 和钢卷 j 之间的相邻关系, 当钢卷 i 在钢卷 j 紧前进行加工, x_{ij} 取值为 1, 否则 x_{ij} 取值为 0; 决策变量 y_i 表示连续电镀加工顺序是否选择钢卷 i 进行加工, 当钢卷 i 被选择进行加工, y_i 取值为 1, 否则 y_i 取值为 0; 待加工的可用钢卷数为 n;

[0012] 电镀机组钢卷生产模型的约束条件, 包括可行性约束条件和自身的工艺及运行约束条件:

[0013] 1) 可行性约束条件, 公式为:

$$[0014] \quad \sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{ij} = y_i \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$[0015] \quad \sum_{i \in N \setminus \{j\}} x_{ij} = y_j \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$[0016] \quad \sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq \{1, 2, K, n-1, n\}, 2 \leq |S| \leq n \quad (4)$$

$$[0017] \quad x_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, 2, K, n-1, n, j = 1, 2, K, n-1, n \quad (5)$$

[0018] 式中, N 表示电镀前库中可用钢卷集合, 约束 (2) 和 (3) 给出决策变量 x_{ij} 和 y_i 的逻辑关系; 约束 (4) 用于防止钢卷加工过程被中断; 约束 (5) 为决策变量 x_{ij} 和 y_i 的取值范围;

[0019] 除了如上系统可行性约束 (2)-(5) 之外, 电镀机组在加工钢卷时还有自身的工艺及运行约束条件:

[0020] 2) 用于保证所制定钢卷加工顺序满足钢卷累计加工量的上、下限的机组生产能力限制约束, 公式为:

$$[0021] \quad L \leq \sum_{i \in N} wt_i y_i \leq U \quad \forall i \in N \quad (6)$$

[0022] 式中, L 表示电镀钢卷加工顺序制定过程中单个生产计划的最小排产量, U 表示电镀钢卷加工顺序制定过程中单个生产计划的最大排产量; wt_i 为电镀钢卷 i 的重量;

[0023] 3) 后处理集批量约束, 包括用于确定钢卷加工顺序中, 完成任一钢卷的加工后同一后处理方式的累计钢卷加工重量, 公式为:

$$[0024] \quad W_j = (1 - z_j) \times (W_i + \sum_{j \in N} wt_j x_{ij}) \quad \forall j \in N \quad (7)$$

[0025] 以及保证钢卷累计加工重量满足同后处理方式连续加工钢卷重量上、下限, 公式为:

$$[0026] \quad L_{p_j}^p z_j \leq W_j \leq U_{p_j}^p z_j \quad \forall i \in N \quad (8)$$

[0027] 式中, $L_{p_j^{-1}}^P$ 表示后处理代码为 p_j^{-1} 的钢卷累计连续加工重量下限; p_j^{-1} 表示钢卷 j 的后处理方式代码; w_j 表示在钢卷加工顺序中, 加工钢卷 j 后同后处理方式的钢卷累计加工重量; $U_{p_j^{-1}}^P$ 表示后处理代码 p_j^{-1} 的钢卷累计连续加工重量上限; z_j 为决策变量, 当钢卷 j 与在钢卷 j 之前加工的钢卷后处理方式相同, 则为 0, 否则为 1;

[0028] 4) 保证同后处理方式的钢卷从宽到窄进行加工的宽度切换趋势约束, 公式为:

$$[0029] \quad (w_i - w_j) \times x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in N, j \in N, p_i^{-1} = p_j^{-1} \quad (9)$$

[0030] 式中, w_j 表示钢卷 j 的宽度;

[0031] 5) 保证电镀锌加工计划中相邻两个钢卷之间的出口宽度的跳跃变化不会超过机组生产工艺所允许的范围的宽度切换幅度约束, 公式为:

$$[0032] \quad L^W \leq (w_i - w_j) \times x_{ij} \leq U^W \quad \forall i \in N, j \in N \quad (10)$$

[0033] 式中, L^W 为电镀锌钢卷加工顺序中宽度跳跃幅度下限; U^W 为电镀锌钢卷加工顺序中宽度跳跃幅度上限;

[0034] 6) 保证电镀锌加工计划中相邻两个钢卷之间的出口厚度的跳跃变化不会超过机组生产工艺所允许的范围的厚度切换幅度约束, 公式为:

$$[0035] \quad L^T \leq (t_i - t_j) \times x_{ij} \leq U^T \quad \forall i \in N, j \in N \quad (11)$$

[0036] 其中, L^T 为电镀锌钢卷加工顺序中厚度跳跃幅度下限; U^T 为电镀锌钢卷加工顺序中厚度跳跃幅度上限; t_i 为钢卷 i 的厚度, t_j 为钢卷 j 的厚度;

[0037] 步骤 1-2: 根据电镀锌前库库存钢卷量、电镀锌前道机组计划内预计到达钢卷情况以及当前的电镀锌机组加工状态, 给定钢卷加工计划内电镀锌机组的加工能力上下限, 同后处理方式后处理液加工能力的上下限、宽度跳跃、厚度跳跃幅度范围, 初始化电镀锌机组钢卷生产系统参数, 公式如下:

[0038] 设置钢卷 i 之后加工钢卷 j 因后处理方式切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 c_{ij}^P , 公式为:

[0039] 当

[0040]

$$c_{ij}^P = \begin{cases} \lambda_{p_j^{-1}}^P, & \text{当钢卷 } i \text{ 和钢卷 } j \text{ 后处理方式不同} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (12)$$

[0041] 式中, $\lambda_{p_j^{-1}}^P$ 为加工后处理方式 p_j^{-1} 的后处理液初始化对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚;

[0042] 设置钢卷 i 之后加工钢卷 j 因宽度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 c_{ij}^W , 公式为:

[0043]

$$c_{ij}^W = \begin{cases} \alpha_1^W \cdot (w_i - w_j), & \text{如果 } 0 \leq w_i - w_j \leq w_1^L \text{ 并且 } t_i < t^L \\ \alpha_2^W \cdot (w_i - w_j), & \text{如果 } 0 \leq w_i - w_j \leq w_2^L \text{ 并且 } t_i \geq t^L \\ \infty, & \text{如果 } w_i - w_j < 0 \\ \alpha_3^W \cdot (w_i - w_j), & \text{否则} \end{cases} \quad (13)$$

[0044] 式中, δ^W 为允许最大的宽度跳跃, λ^W 为相邻钢卷宽度切换对生产系统稳定性的

影响所产生的惩罚; α_1^w 为前一加工钢卷厚度小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_1^L 的情况的单位宽度跳跃惩罚; α_2^w 为前一加工钢卷厚度不小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_2^L 的情况的单位宽度跳跃惩罚; α_3^w 为宽度由宽到窄进行加工时,不满足前一加工钢卷厚度小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_1^L 的情况或前一加工钢卷厚度不小于 t^L ,宽度跳跃不超过 w_2^L 的情况的单位宽度跳跃惩罚; t^L 为计算宽度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚过程中的厚度边界条件值; w_1^L 和 w_2^L 为计算宽度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚过程中的宽度边界条件值;

[0045] 设置钢卷 i 之后加工钢卷 j 因厚度切换对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 c_{ij}^T ,公式为:

$$[0046] \quad c_{ij}^T = \alpha^t \cdot \frac{\max\{t_i, t_j\}}{\min\{t_i, t_j\}} - \alpha^t \quad (14)$$

[0047] 式中, α^t 为厚度切换导致对生产系统稳定性的影响所产生的单位惩罚;设置选择钢卷 i 排入当前钢卷顺序进行加工对生产系统稳定性的影响所产生的惩罚 p_i ;步骤2:根据电镀锌机组当前状态对钢卷进行选取,方法为:根据当前机组状态以及库存和前道机组生产情况,选取电镀锌机组待加工钢卷:首先,判断机组当前采用哪种后处理液 k,并计算该后处理液累计加工钢卷量 W_k^P ,根据系统设置的后处理液额定加工能力范围 $[L_k^P, U_k^P]$,确定该后处理液当前可加工钢卷量 Q 等于 $U_k^P - W_k^P$;

[0048] 如果 $U_k^P - W_k^P \leq U$,则钢卷选取步骤如下:

[0049] 步骤 2.1:判断机组当前加工情况,确定当前制定生产顺序的前一生产顺序中最后一个钢卷的宽度,即当前加工辊可用宽度上限 W^A ;

[0050] 步骤 2.2:根据电镀锌机组在库钢卷量及前道供料产线的加工情况,确定当前生产期内,可利用钢卷量,并就其要求的后处理方式对钢卷进行分类,计算要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的可利用钢卷的累计吨数 W_k ,并进行如下判定:

[0051] 如果 $W_k \leq Q$,则将所有要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的钢卷进行收池,记录所有相关钢卷号;

[0052] 如果 $W_k > Q$,则从要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的钢卷进行挑选,挑选方法为:

[0053] 步骤 2.2.1:若该钢卷集合中不存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷,则从最窄钢卷开始收池,直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 $U_k^P - W_k^P$;

[0054] 步骤 2.2.2:若该钢卷集合中存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷,计算宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷累计吨数 W' ;如果 $W' \geq U_k^P - W_k^P$,从宽度不小于 $W^A + L^W$ 的最宽钢卷开始进行收池,直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 $U_k^P - W_k^P$;否则,将宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷全部收池,并从宽度小于 $W^A + L^W$ 的最窄钢卷进行收池,直到当前计划累计收池钢卷量超过 $U_k^P - W_k^P$;

[0055] 步骤 2.2.3:若已选钢卷总重不满足钢卷加工计划最小排产量,选择其他后处理方式的钢卷,按照后处理代码递增的顺序,从后处理方式 $g = k+1$ 的钢卷进行收池,收池量上限 $U' = U - (U_k^P - W_k^P)$;

[0056] (1) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g \geq U'$,从后处理方式 g 的钢卷集合中最窄的钢卷进行收池,直到累计收池钢卷量超过 U 停止;

[0057] (2) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g < U'$, 则将后处理方式 g 的所有钢卷进行收池, 更新 $k = k+1$, $U' = U' - W_g$, 跳到步骤 2.2.3;

[0058] 其中, 步骤 2.2.3(2) 所述的当前收池后处理方式 k 若为最大后处理代码, 则更新 k 为最小后处理代码; 当前收池后处理方式 g 为当前机组收池钢卷的后处理代码;

[0059] 如果 $U_k^P - W_k^P > U$, 则钢卷选取步骤如下:

[0060] 步骤 2-1: 判断机组当前加工情况, 确定当前制定计划的前计划最后一个钢卷的宽度, 即当前加工辊可用宽度上限 W^A ;

[0061] 步骤 2-2: 根据电镀锌机组在库钢卷量及前道供料产线的加工情况, 确定当前计划期内, 可利用钢卷量, 并就其要求的后处理方式对钢卷进行分类, 计算要求采用后处理方式 k 进行加工, 宽度不大于 W^A 的可利用钢卷的累计吨数 W_k , 并进行如下判定:

[0062] 如果 $W_k \leq U$, 则将所有要求采用后处理方式 k 进行加工, 宽度不大于 W^A 的钢卷进行收池, 记录所有相关钢卷号;

[0063] 如果 $W_k > U$, 则从要求采用后处理方式 k 进行加工, 宽度不大于 W^A 的钢卷进行挑选:

[0064] 步骤 2-2-1: 若该钢卷集合中不存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷, 则从最窄钢卷开始收池, 直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 U ;

[0065] 步骤 2-2-2: 若该钢卷集合中存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷, 计算宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷累计吨数 W' ; 如果 $W' \geq U$, 从宽度不小于 $W^A + L^W$ 的最宽钢卷开始进行收池, 直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 U ; 否则, 将宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷全部收池, 并从宽度小于 $W^A + L^W$ 的最窄钢卷进行收池, 直到当前计划累计收池钢卷量超过 U , 停止;

[0066] 步骤 2-2-3: 若已选钢卷总重不满足钢卷加工计划最小排产量, 选择其他后处理方式的钢卷, 按照后处理代码递增的顺序, 从后处理方式 $g = k+1$ 的钢卷进行收池, 收池量上限 $U' = U - W_k$;

[0067] (1) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g \geq U'$, 从后处理方式 g 的钢卷集合中最窄的钢卷进行收池, 直到累计收池钢卷量超过 U 停止;

[0068] (2) 若后处理方式 g 的可利用钢卷总量 $W_g < U'$, 则将后处理方式 g 的所有钢卷进行收池, 更新 $k = k+1$, $U' = U' - W_g$, 跳到步骤 2-2-3;

[0069] 步骤 3: 设置电镀锌机组初始钢卷加工顺序: 对收池钢卷进行分类, 同后处理方式的钢卷构成一个簇, 对于任一钢卷簇, 钢卷从厚 (或薄) 到薄 (或厚) 进行排序所获得的簇内钢卷排序的总切换费用最小; 对于两个连续的簇, 如果前一个簇内的钢卷从薄 (或厚) 到厚 (或薄) 进行排序, 那么后一个簇内的钢卷从厚 (或薄) 到薄 (或厚) 进行排序, 如此一来, 后一个簇中最厚 (薄) 的钢卷将在前一个簇中最厚 (薄) 的钢卷紧后进行加工, 方法如下:

[0070] 步骤 3.1: 初始化当前后处理方式 k 为收池钢卷中最小的后处理代码;

[0071] 步骤 3.2: 若所有后处理方式钢卷均已排序, 则已获得初始钢卷加工顺序, 并输出结果; 否则, 跳到步骤 3.3;

[0072] 步骤 3.3: 将后处理方式 k 钢卷从宽到窄进行排序, 并将后处理方式钢卷按照宽度进行分类, 形成 g 个钢卷集合 $\Omega_{k1}, \Omega_{k2}, \dots, \Omega_{kg}$;

[0073] 步骤 3.4 :对钢卷集合 $\Omega_{k1}, \Omega_{k2}, \dots, \Omega_{kg}$ 中钢卷分别进行排序,形成两个钢卷排序序列,其中,第一序列获得方法:对于标号为奇数的钢卷从厚到薄进行排序,对于标号为偶数的钢卷从薄到厚进行排序;第二序列获得方法:对于标号为奇数的钢卷从薄到厚进行排序,对于标号为偶数的钢卷从厚到薄进行排序,对上述两种序列进行比较,将总体稳定性缺损最小的钢卷加工顺序设定为电镀锌机组初始钢卷加工顺序 S^I ;

[0074] 步骤 4 :对电镀锌机组钢卷加工顺序进行实时修正,方法为;

[0075] 步骤 4.1 :初始化系统稳定性修正方法的参数,将当前的电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 设定为 S^I ;获取当前选取钢卷集合 CS 以及当前可利用钢卷集合 CA,其中,CS 是所有已列入当前电镀锌机组钢卷加工顺序的钢卷集合,CA 是所有在库或者基于前道机组加工情况已确定可及时送达、但没有列入当前电镀锌机组钢卷加工顺序的钢卷集合, $|CS|$ 为当前选取钢卷集合 CS 中钢卷的数目, $|CA|$ 为当前可利用钢卷集合 CA 中钢卷的数目;获取当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 对应的钢卷加工顺序 $m_1, m_2, \dots, m_{|CS|}$,其中, m_i 为当前电镀锌机组钢卷加工顺序中第 i 个进行加工的钢卷,设定稳定性评价指标值 $f(S)$,公式为:

$$[0076] \quad f(S) = \lambda_1 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij}^P + c_{ij}^W + c_{ij}^T) x_{ij} + \lambda_2 \times \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad (15)$$

[0077] 式中,稳定性评价指标值 $f(S)$ 为钢卷加工顺序 S 的系统稳定性惩罚值,惩罚值越小钢卷排序方案越稳定可行;

[0078] 步骤 4.2 :计算当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 的稳定性评价指标值 $f(S^B)$;

[0079] 步骤 4.3 :确定当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 的候选修正集合 P,获取钢卷加工顺序的修正方法为:

[0080] (1) 插入钢卷:在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下,通过当前钢卷加工顺序中插入新的钢卷 h ,获得候选修正钢卷加工顺序,新加入钢卷 h 在钢卷加工顺序中所处位置应满足系统设定工艺约束 (2)-(11);

[0081] (2) 删除钢卷:在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下,通过当前钢卷加工顺序中删除钢卷 m_i , ($i = 1, 2, \dots, |CS|$),要求保证删除钢卷 m_i 后,钢卷 m_{i-1} 和钢卷 m_{i+1} 的宽度、厚度切换幅度不违反约束 (10)、(11),稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

[0082] (3) 调整钢卷选择方案:在不违反机组的生产能力限制约束、后处理集批量约束及系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下,通过交换当前钢卷加工顺序中钢卷 CS 中钢卷与当前可利用钢卷集 CA 中钢卷,获得稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

[0083] (4) 调整钢卷加工顺序:在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下,通过当前钢卷加工顺序的交换邻域、2-opt 邻域,调整当前钢卷加工顺序中钢卷的位置,获得稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

[0084] 其中,所述的当前钢卷加工顺序的交换邻域是指:保证不违反系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下,交换电镀锌机组钢卷加工顺序中的任意两个钢卷的位置所获得的所有可行钢卷排序方案的集合;

[0085] 2-opt 邻域是指:保证不违反系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下,通过变换电镀锌机组钢卷加工顺序中的任意两个钢卷切换方式所获得的所有可行钢卷排序方案的集合;

[0086] 步骤 4.4:建立钢卷加工顺序修正方案参考集,把当前候选修正集合 P 中稳定性评价指标值较好的前 b_1 个候选修正方案加入参考集,即 $\text{RefSet} = \{x^1, \dots, x^{b_1}\}$,并将这 b_1 个候选修正方案从候选修正集合 P 中移除,对当前候选修正集合 P 中的每一个候选修正方案,计算它与参考集中当前钢卷排序方案的最小距离;把与参考集最小距离最大的钢卷加工顺序候选修正方案加入到参考集 RefSet,并把它从候选修正集合 P 中移除,重复这一过程 b_2 次,这样,当前的参考集 $\text{RefSet} = \{x^1, \dots, x^b\}$, $b = b_2 + b_1$;

[0087] 步骤 4.5:利用钢卷排序方案的组合方法,基于参考集 RefSet 中任意一对钢卷加工顺序,生成 $b(b-1)$ 个新钢卷修正方案,对于新生成的修正方案进行改进,利用步骤 4.3(1)-(4) 获得稳定性更好的候选钢卷排序修正方案;

[0088] 所述的钢卷排序方案的组合方法,过程为:首先,对比两个钢卷加工顺序的钢卷选择情况,获取共有选择钢卷集合;其次,确定共有选择钢卷的加工位置,若其具有相邻关系的钢卷为共有选择钢卷,采用系统稳定性较好的钢卷加工顺序中的邻接关系,若其具有相邻关系的钢卷为非共有选择钢卷,则从非共有钢卷中试探插入原位置,获得总体评价较好的钢卷加工顺序;

[0089] 步骤 4.6:更新候选修正集合 P,用新生成的稳定性较好的候选钢卷排序修正方案替换候选修正集合 P 中稳定性较差的解;

[0090] 步骤 4.7:若候选修正集合 P 中的最好的候选修正方案连续不更新次数达到无改进迭代次数上限,则停止,将候选修正集合 P 中评价价值最好的候选修正方案选为当前修正方案;否则,跳到步骤 4.4;

[0091] 本发明一种冷轧电镀锌机组钢卷排序系统,包括:至少一台 PC 机,至少一个电缆接口或光缆接口或电话专线接口和至少一台路由器;所述的 PC 机内设置有冷轧电镀锌钢卷排序系统的软件,软件包括生产环境设定模块、钢卷选取模块、钢卷排序模块、钢卷排序实时修正模块;其中,生产环境设定模块用于设置电镀锌机组钢卷生产环境的加工参数,描述工艺工程,确定工艺过程的调整目标及约束条件;所述的钢卷选取模块根据电镀锌机组当前加工状态对钢卷进行选取,确定钢卷选取方案;所述的钢卷排序模块基于当前钢卷选取情况,对已选钢卷进行排序,获取多种钢卷加工顺序,并从中挑选较好钢卷排序作为当前加工方案;钢卷排序实时修正模块对当前钢卷加工方案进行在线实时修正,改进并获取更好的钢卷加工方案;所述的 PC 机通过网络、企业内部服务器连接到企业电镀锌机组自动控制系统的前端。

[0092] 本发明优点:本发明方法具有下列优点:

[0093] (1) 本发明方法除了考虑相邻钢卷的后处理方式、宽度、厚度等物理参数的跳跃最小化以外,还考虑了钢卷选择对整个生产计划中的后处理方式、宽度、厚度变化对生产系统稳定性的影响所产生的影响,从而使得生产设备的调整也将变少,从而使得钢卷的生产能够平稳顺利的进行,使生产过程更加合理。

[0094] (2) 将本发明方法利用冷轧电镀锌机组钢卷排序系统控制钢卷的生产顺序,与人工确定的生产顺序结果相比,平均降低切换次数 31.51%,有效减少了生产设备的频繁调整,从而提高了产品的质量,提高企业效益。

[0095] (3) 考虑到其他金属材料的电镀锌工艺与钢铁企业电镀锌过程的工艺具有相似性,本发明所提优化方法以及系统除可应用钢铁企业电镀锌过程外,还可广泛应用其他金

属材料的电镀锌工艺。

[0096] (4) 本发明将自动优化钢卷生产顺序的方法与人工调整接口相结合,有机地利用了计算机的快捷性和工作人员的经验 and 灵活性,从而最大程度的完善工作。

[0097] (5) 本发明的冷轧电镀锌机组钢卷生产系统采用模块设计思想与图形接口相结合,模块化设计使系统便于修改与移植,而图形接口便于用户观察操作。

附图说明

[0098] 图 1 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统工艺流程图;

[0099] 图 2 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统结构框图;

[0100] 图 3 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序方法流程图;

[0101] 图 4 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序方法中的第一种交换移动示意图;

[0102] 图 5 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序方法中的第二种交换移动示意图;

[0103] 图 6 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统生产环境设定模块运行流程图;

[0104] 图 7 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统钢卷选取模块运行流程图;

[0105] 图 8 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统钢卷排序模块运行流程图;

[0106] 图 9 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统钢卷排序实时修正模块运行流程图;

[0107] 图 10 为本发明冷轧电镀锌机组钢卷排序系统中各功能模块之间的结构关系图。

具体实施方式

[0108] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步详细说明。

[0109] 本实施例中的冷轧电镀锌机组钢卷排序系统,其工艺流程如图 1 所示,其结构如图 2 所示,配置如下:一台 PC 机,一个电缆接和一台路由器;其中,PC 机用于实现和运行本发明的优化系统,路由器、电缆接口等通讯设备用于实现企业内部信息管理平台、钢卷排序系统和生产现场自动控制系统之间的通讯连接,达到优化生产过程,提高产品质量的目的;所述的 PC 机中嵌入的软件支持包括 Windows 操作系统作为支撑平台,安装 Microsoft SQL Server2000 数据库系统支持数据管理,配置信息传送端口。

[0110] 从企业 ERP 数据服务器上下载钢卷数据信息(涉及字段包括钢卷号、合同号、入口厚度、入口宽度、出口宽度、出口厚度、卷重、材料组别、补充号、镀层厚度、后处理方式、切边标记、交货期、钢种),设定系统参数(包括计划总重上下限、后处理方式集批量上下限、宽度、厚度切换幅度上限、选择惩罚系数、宽度、厚度切换幅度惩罚系数),以获得排序方法和系统的操作对象,同时可根据钢卷库存消耗情况以及前道机组供料情况,逐条增加删除钢卷信息,以及对钢卷信息进行修改,并确定其为当前生产计划所考虑的钢卷信息;然后,进入自动钢卷优化排序阶段,本实施例中,自动钢卷优化排序方法将用于解决涉及 12 个在库钢卷的排序问题,具体钢卷关键信息如下表 1:

[0111] 表 1 为钢卷信息

[0112]

序号	后处理方式	宽度 (mm)	厚度 (mm)	重量 (t)
1	6	800	0.18	14.23

2	6	800	0.18	14.3
3	6	800	0.18	16.31
4	6	800	0.18	12.68
5	6	800	0.18	14.26
6	6	800	0.18	17.08
7	6	800	0.18	13.68
8	6	896	0.18	16.56
9	6	896	0.18	16.1
10	6	896	0.18	17.16
11	6	896	0.18	16.74
12	6	896	0.18	15.97

[0113] 本实施例采用一种冷轧电镀锌机组钢卷排序方法,其流程如图3所示,包括以下步骤:

[0114] 步骤1:利用电镀锌机组钢卷生产模型,设置电镀锌机组钢卷加工参数:根据电镀锌前库库存钢卷量、电镀锌前道机组计划内预计到达钢卷情况以及当前的电镀锌机组加工状态,给定钢卷加工计划内电镀锌机组的加工能力上下限 $[100, 120]$,同后处理方式后处理液加工能力的上下限 $[110, 200]$ 、宽度跳跃、厚度跳跃幅度范围分别为 $[0, 150]$ 和 $[0, 2]$ 。初始化电镀锌机组的钢卷优化排序系统参数。分别计算钢卷 i 之后加工钢卷 j 因后处理方式切换所引起的系统稳定性缺损惩罚 c_{ij}^P ,钢卷 i 之后加工钢卷 j 因宽度切换所引起的系统稳定性缺损惩罚 c_{ij}^W ,钢卷 i 之后加工钢卷 j 因厚度切换所引起的系统稳定性缺损惩罚 c_{ij}^T 和前钢卷顺序选择钢卷 i 进行加工对生产系统稳定性的影响惩罚 p_i ;

[0115] 步骤2:根据电镀锌机组当前状态对钢卷进行选取;

[0116] 根据当前机组状态以及库存和前道机组生产情况,选取电镀锌机组待加工钢卷:

[0117] 本实施例中,由于 $U_k^P - W_k^P > U$,执行如下具体操作步骤获得钢卷收池方案:

[0118] 步骤2.1:判断机组当前加工情况,确定当前制定计划的前计划最后一个钢卷的宽度,即当前加工辊可用宽度上限 W^A ;

[0119] 步骤2.2:根据电镀锌机组在库钢卷量及前道供料产线的加工情况,确定当前计划期内,可利用钢卷量,并就其要求的后处理方式对钢卷进行分类,计算要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的可利用钢卷的累计吨数 W_k ,并进行如下判定:

[0120] 如果 $W_k \leq U$,则将所有要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的钢卷进行收池,记录所有相关钢卷号;

[0121] 如果 $W_k > U$,则从要求采用后处理方式 k 进行加工,宽度不大于 W^A 的钢卷进行挑

选：

[0122] 步骤 2.2.1：若该钢卷集合中不存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷，则从最窄钢卷开始收池，直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 U ；

[0123] 步骤 2.2.2：若该钢卷集合中存在宽度大于等于 $W^A + L^W$ 的钢卷，计算宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷累计吨数 W' ；如果 $W' \geq U$ ，从宽度不小于 $W^A + L^W$ 的最宽钢卷开始进行收池，直到新加入钢卷将导致当前计划累计收池钢卷量超过 U ；否则，将宽度不小于 $W^A + L^W$ 的钢卷全部收池，并从宽度小于 $W^A + L^W$ 的最窄钢卷进行收池，直到当前计划累计收池钢卷量超过 U ，停止；

[0124] 最终选择钢卷 1-8 进入当前计划；

[0125] 步骤 3：设置电镀锌机组钢卷初始加工顺序，基于上一步骤的收池钢卷，制定钢卷加工顺序，其基本思路如下：对收池钢卷进行分类，同后处理方式的钢卷构成一个簇，对于任一钢卷簇，钢卷从厚（或薄）到薄（或厚）进行排序所获得的簇内钢卷排序的总切换费用一定是最小的。对于两个连续的簇，如果前一个簇内的钢卷从薄（或厚）到厚（或薄）进行排序，那么后一个簇内的钢卷从厚（或薄）到薄（或厚）进行排序。如此一来，后一个簇中最厚（薄）的钢卷将在前一个簇中最厚（薄）的钢卷紧后进行加工。该排序方法的具体步骤如下：

[0126] 步骤 3.1：初始化当前后处理方式 k 为收池钢卷中最小的后处理代码；

[0127] 步骤 3.2：若所有后处理方式钢卷均已排序，则已获得初始钢卷加工顺序，并输出结果；否则跳到 Step 3；

[0128] 步骤 3.3：将后处理方式 k 钢卷从宽到窄进行排序，并将后处理方式钢卷按照宽度进行分类，形成 g 个钢卷集合 $\Omega_{k1}, \Omega_{k2}, \dots, \Omega_{kg}$ ；

[0129] 步骤 3.4：对钢卷集合 $\Omega_{k1}, \Omega_{k2}, \dots, \Omega_{kg}$ 中钢卷分别进行排序，形成两个钢卷排序序列，分别为：

[0130] 第一序列获得方法：对于标号为奇数的钢卷从厚到薄进行排序，对于标号为偶数的钢卷从薄到厚进行排序；

[0131] 第二序列获得方法：对于标号为奇数的钢卷从薄到厚进行排序，对于标号为偶数的钢卷从厚到薄进行排序；

[0132] 对如上钢卷排序序列进行比较，将总体稳定性缺损最小的钢卷加工顺序设定为电镀锌机组初始钢卷加工顺序 S^I ；

[0133] 步骤 4：对电镀锌机组钢卷加工顺序进行实时修正，方法为：

[0134] 步骤 4.1：初始化系统稳定性修正方法的参数，将当前的电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 设定为 S^I ；获取当前选取钢卷集合 CS 以及当前可利用钢卷集合 CA ，其中， CS 是所有已列入当前电镀锌机组钢卷加工顺序的钢卷集合， CA 是所有在库或者基于前道机组加工情况已确定可及时送达、但没有列入当前电镀锌机组钢卷加工顺序的钢卷集合， $|CS|$ 为当前选取钢卷集合 CS 中钢卷的数目， $|CA|$ 为当前可利用钢卷集合 CA 中钢卷的数目；获取当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^B 对应的钢卷加工顺序 $m_1, m_2, \dots, m_{|CS|}$ ，其中， m_i 为当前电镀锌机组钢卷加工顺序中第 i 个进行加工的钢卷。设定稳定性评价指标值为

$$[0135] \quad f(S) = \lambda_1 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij}^P + c_{ij}^W + c_{ij}^T) x_{ij} + \lambda_2 \times \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad (15)$$

[0136] 该评价值为钢卷加工顺序 S 的系统稳定性惩罚值, 惩罚值越小钢卷排序方案越稳定可行;

[0137] 步骤 4.2: 计算当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^b 的稳定性评价指标值 $f(S^b)$;

[0138] 步骤 4.3: 确定当前电镀锌机组钢卷加工顺序 S^b 的候选修正集合 P , 获取钢卷加工顺序的修正手段包括:

[0139] (1) 插入钢卷: 在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下, 通过在当前钢卷加工顺序中插入新的钢卷 h , 获得候选修正钢卷加工顺序, 新加入钢卷 h 在钢卷加工顺序中所处位置应满足系统设定工艺约束 (2)-(11);

[0140] (2) 删除钢卷: 在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下, 通过在当前钢卷加工顺序中删除钢卷 m_i , ($i = 1, 2, \dots, |CS|$), 要求保证删除钢卷 m_i 后, 钢卷 m_{i-1} 和钢卷 m_{i+1} 的宽度、厚度切换幅度不违反约束 (10)、(11), 稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

[0141] (3) 调整钢卷选择方案: 在不违反机组的生产能力限制约束、后处理集批量约束及系统设定工艺约束 (2)-(11) 的前提下, 通过交换当前钢卷加工顺序中钢卷 CS 中钢卷与当前可利用钢卷集 CA 中钢卷, 获得稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

[0142] (4) 调整钢卷加工顺序: 在不违反机组的生产能力限制约束及后处理集批量约束的前提下, 通过当前钢卷加工顺序的交换邻域 (如图 4 所示)、2-opt 邻域 (如图 5 所示), 调整当前钢卷加工顺序中钢卷的位置, 获得稳定性评价指标值较低候选修正钢卷加工顺序;

[0143] 步骤 4.4: 建立钢卷加工顺序修正方案参考集, 把当前候选修正集合 P 中稳定性评价指标值较好的前 b_1 个候选修正方案加入参考集, 即 $RefSet = \{x^1, \dots, x^{b_1}\}$, 并将这 b_1 个候选修正方案从候选修正集合 P 中移除。对当前候选修正集合 P 中的每一个候选修正方案, 计算它与参考集中当前钢卷排序方案的最小距离。把与参考集最小距离最大的钢卷加工顺序候选修正方案加入到参考集 $RefSet$, 并把它从候选修正集合 P 中移除。重复这一过程 b_2 次, 这样, 当前的参考集 $RefSet = \{x^1, \dots, x^b\}$, $b = b_1 + b_2$ 。

[0144] 步骤 4.5: 利用钢卷排序方案的组合方法, 基于参考集 $RefSet$ 中任意一对钢卷加工顺序, 生成 $b(b-1)$ 个新钢卷修正方案, 对于新生成的修正方案进行改进, 获得稳定性更好的候选钢卷排序修正方案。

[0145] 步骤 4.6: 更新候选修正集合 P , 用新生成的稳定性较好的候选钢卷排序修正方案替换候选修正集合 P 中稳定性较差的解。

[0146] 步骤 4.7: 若候选修正集合 P 中的最好的候选修正方案连续不更新次数达到无改进迭代次数上限, 停止算法, 将候选修正集合 P 中评价值最好的候选修正方案选为当前修正方案; 否则, 跳到步骤 4.4;

[0147] 获得电镀锌优化生产计划 8, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7;

[0148] 步骤 5: 在显示模块界面下, 查看自动排序的结果。

[0149] 步骤 6: 通过网络, 将钢卷排序下发到生产机组自动控制系统, 实时指导生产。

[0150] 本实施例的冷轧电镀锌机组钢卷排序系统, 包括: 至少一台 PC 机, 至少一个电缆接口或光缆接口或电话专线接口和至少一台路由器;

[0151] 所述的 PC 机内设置有冷轧电镀锌钢卷排序系统的软件, 软件包括生产环境设定模块、钢卷选取模块、钢卷排序模块、钢卷排序实时修正模块; 其中, 生产环境设定模块用于

设置电镀机组钢卷生产环境的加工参数,描述工艺工程,确定工艺过程的调整目标及约束条件,主要流程如图 6 所示;

[0152] 钢卷选取模块根据电镀机组当前加工状态对钢卷进行选取,确定钢卷选取方案,主要流程如图 7 所示;

[0153] 钢卷排序模块基于当前钢卷选取情况,对已选钢卷进行排序,获取多种钢卷加工顺序,并从中挑选较好钢卷排序作为当前加工方案,主要流程如图 8 所示;

[0154] 钢卷排序实时修正模块对当前钢卷加工方案进行在线实时修正,改进并获取更好的钢卷加工方案,主要流程如图 9 所示;

[0155] 在执行钢卷排序任务时,系统的各功能模块通过相互之间的协同工作来完成实际任务,其运作关系结构如图 10 所示。所述的 PC 机通过网络、企业内部服务器连接到企业电镀机组自动控制系统的前端。

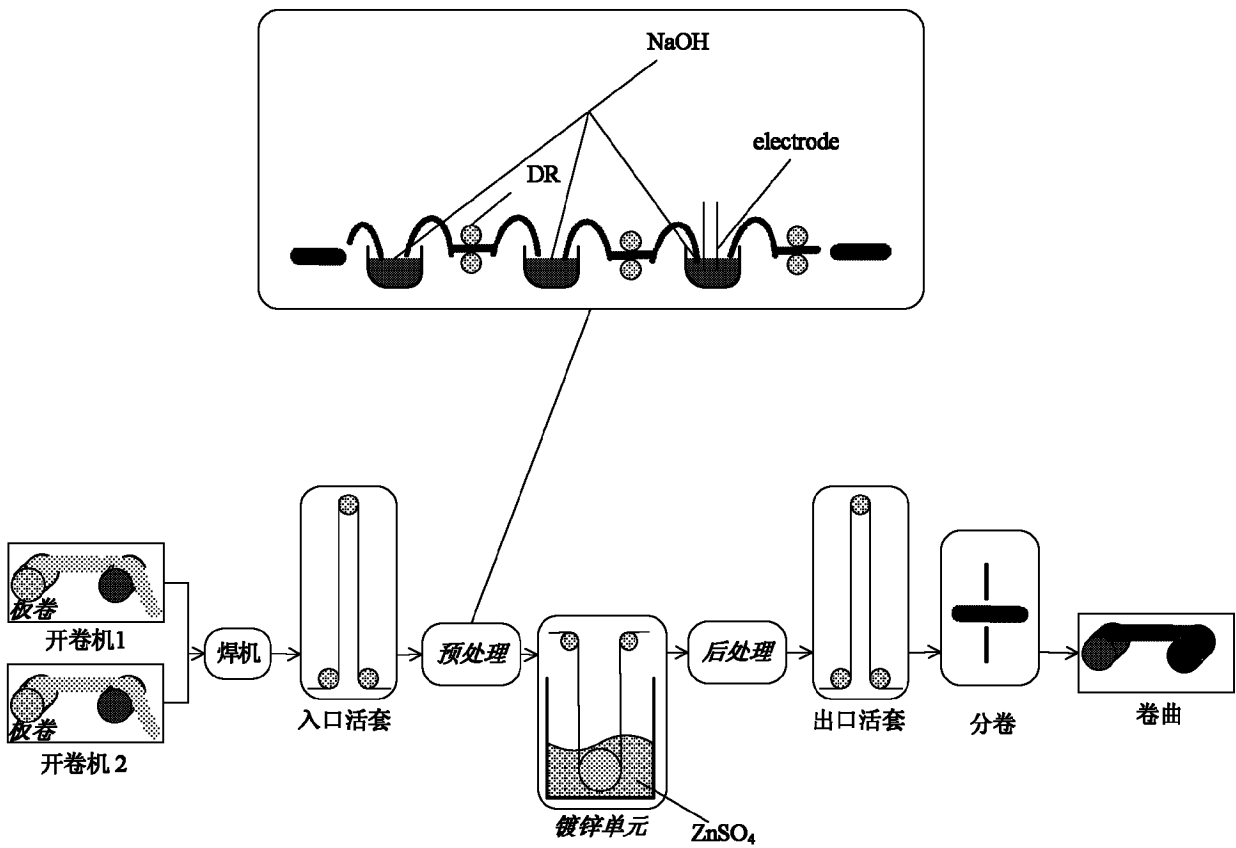


图 1

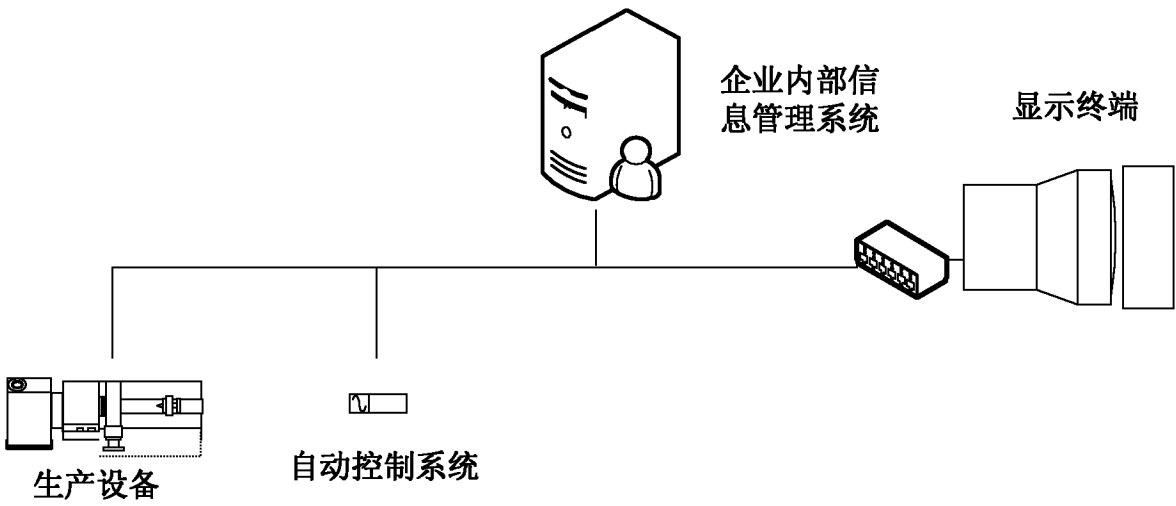


图 2

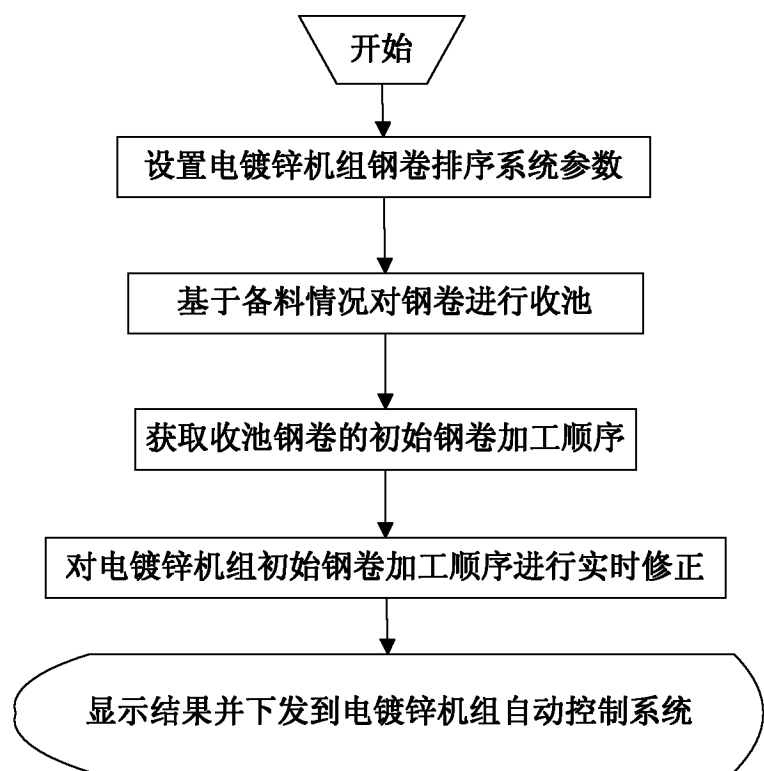


图 3

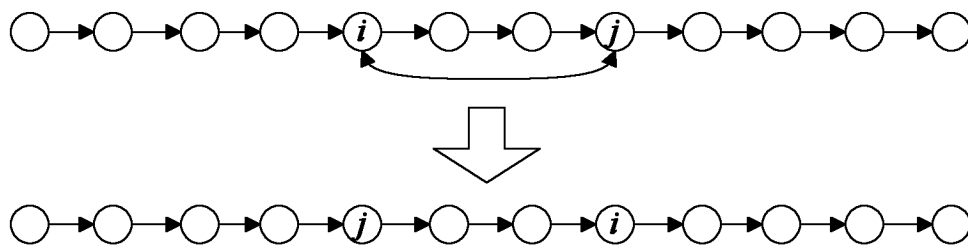


图 4

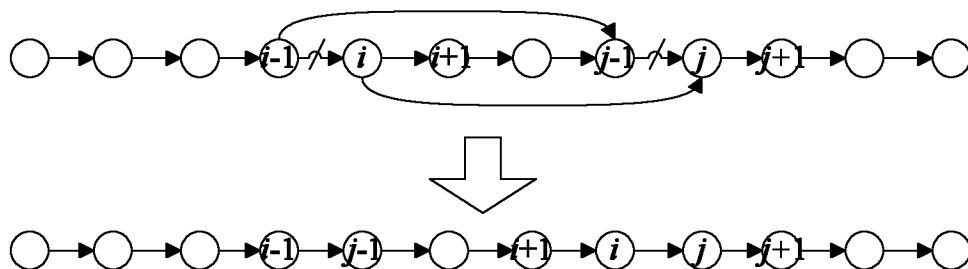


图 5

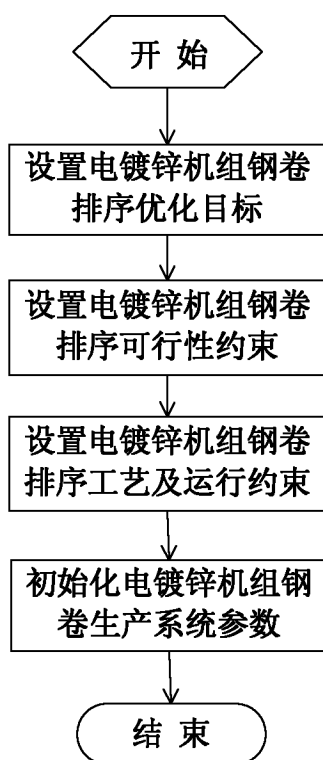


图 6

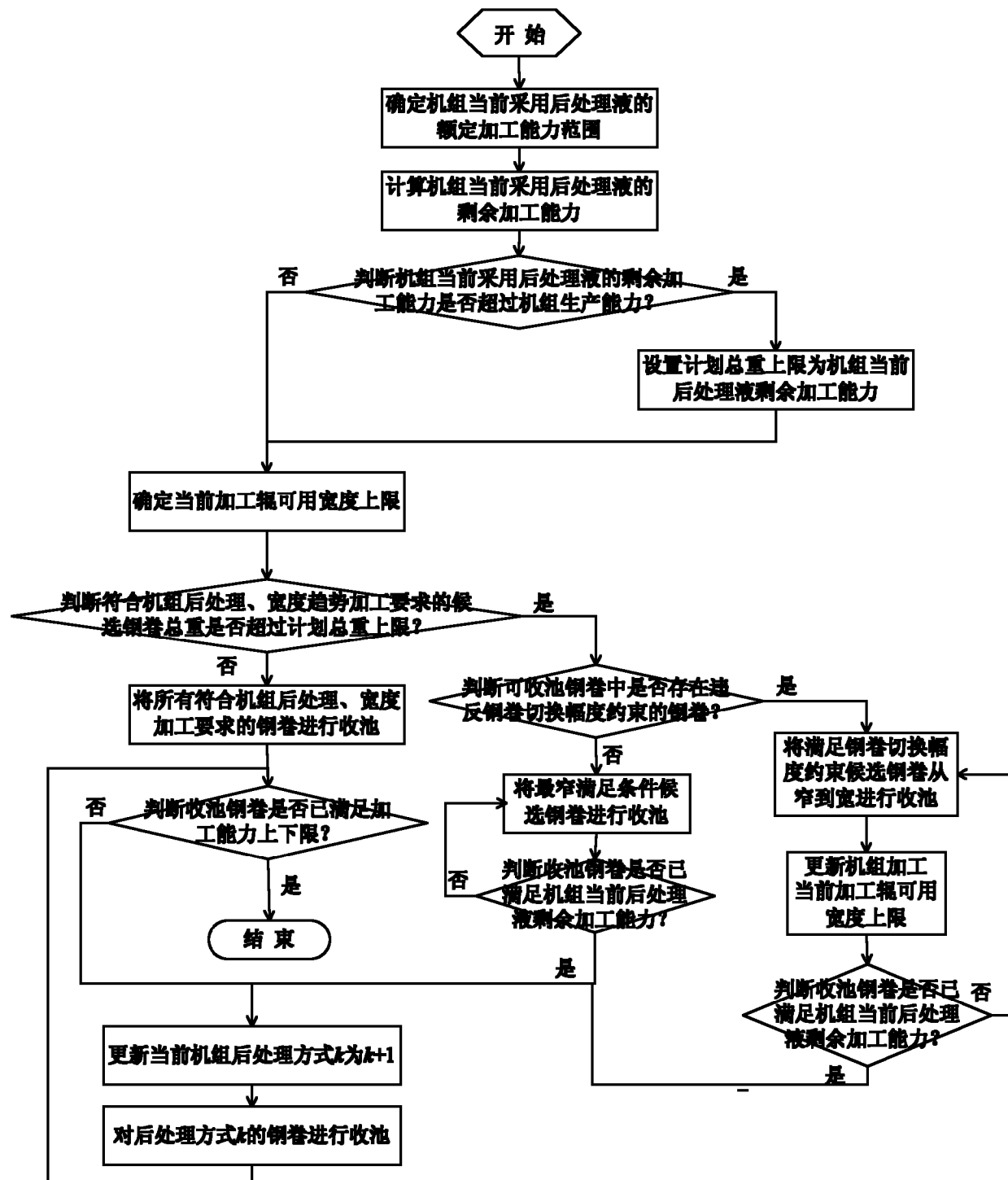


图 7

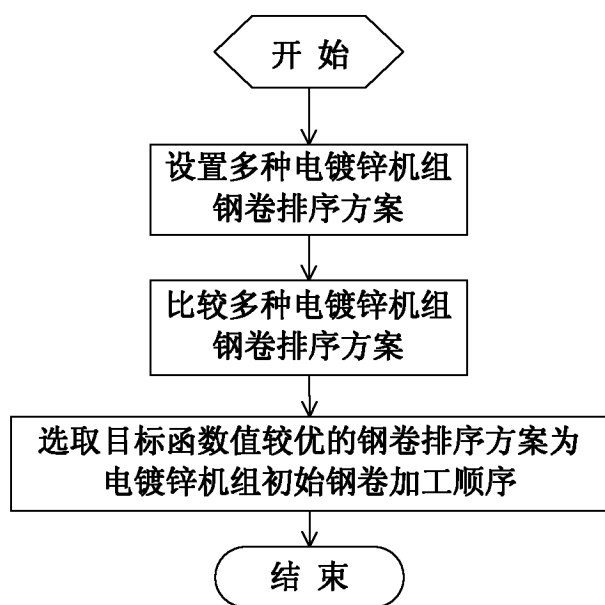


图 8

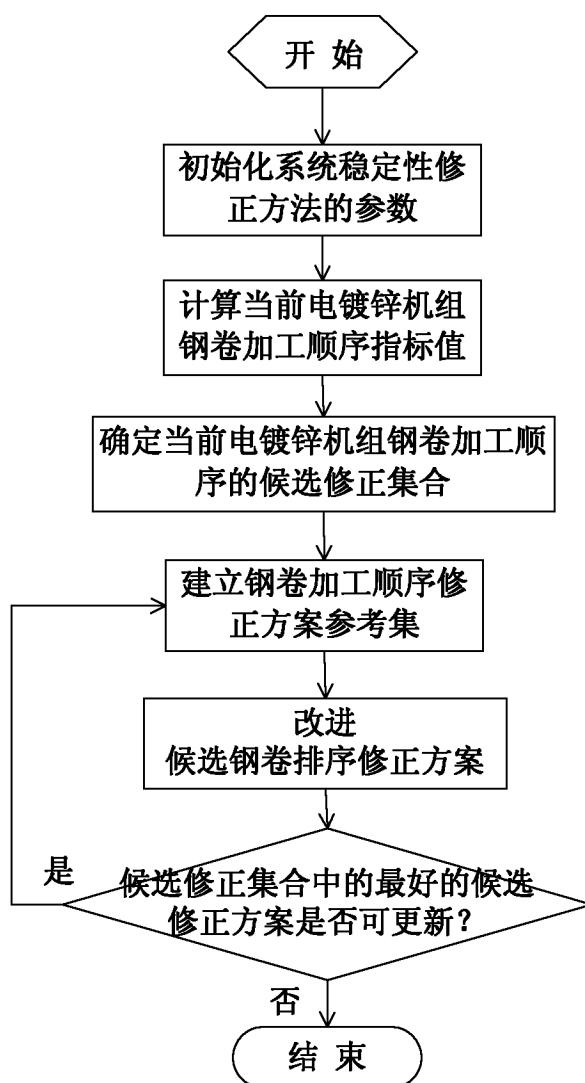


图 9

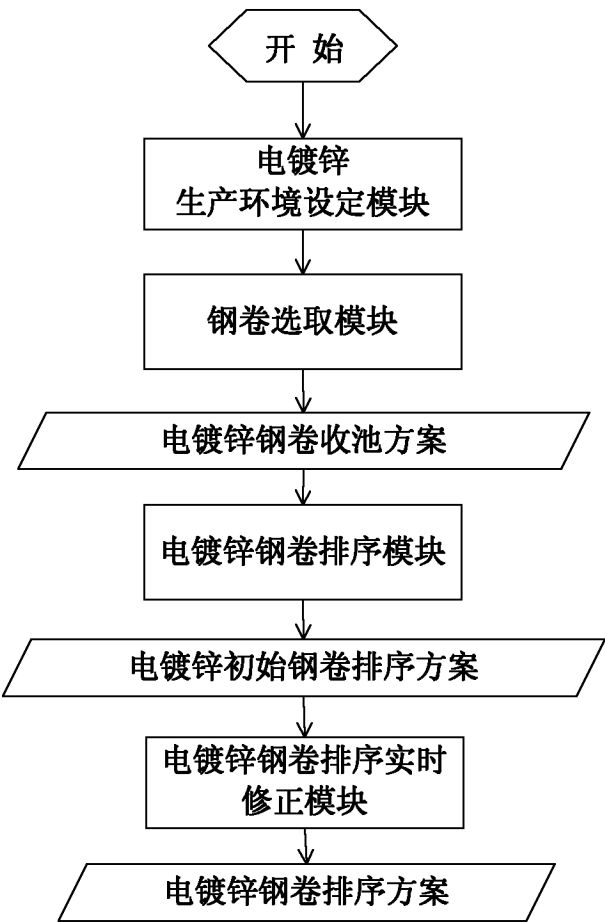


图 10