



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104741387 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 01

(21) 申请号 201510091232. 7

(22) 申请日 2015. 02. 28

(71) 申请人 太原科技大学

地址 030024 山西省太原市万柏林区瓦流路  
66 号

(72) 发明人 张小平 张进之 王强 智常建  
刘光明

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限  
公司 14101

代理人 王思俊

(51) Int. Cl.

*B21B 37/20*(2006. 01)

*B21B 37/28*(2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页

(54) 发明名称

一种基于动态规划法和粒子群算法的轧制规  
程优化方法

(57) 摘要

一种基于动态规划法和粒子群算法的轧制规  
程优化方法,属于板带热连轧技术领域,其特征在  
于操作步骤如下:(1)采集现有轧制规程以及相  
关的轧机参数、轧制力数据并分类保存;(2)计  
算现有规程对应的板凸度与平直度;(3)将各道  
次的压下量在的范围内随机离散;(4)粒子群空  
间寻优;(5)当程序满足终止条件时输出最优解;  
(6)判断是否满足约束条件,如满足则继续下一  
步,如不满足则返回到第(3)步,直至满足约束条  
件;(7)运用动态规划法求各机架压下量、决策变  
量,由状态转移方程求状态变量;(8)求目标函数  
值并进行比较,找出最小目标函数并计算对应的  
最优压下规程及优化后的板凸度与平直度;(9)  
输出并存储最优轧制规程。

1. 一种基于动态规划法和粒子群算法的轧制规程优化方法,其特征在于操作步骤如下:

(1) 采集现有轧制规程以及相关的轧机参数、轧制力数据并分类整理保存在 Excel 数据文档中;

(2) 调取现有轧制规程数据,计算该规程对应的板凸度与平直度;

(3) 离散压下量:在保持第一机架入口厚度及最末机架出口厚度不变的前提下,将各道次的压下量在的范围内随机离散;

(4) 粒子群空间寻优:在粒子的每一次运动中计算出对应的满足二次型目标函数要求的板凸度、平直度与轧制力参数,并不断更新自己的位置寻优;

(5) 当程序满足终止条件时输出最优解,终止条件有二:一是寻找到满足目标条件的最优解,二是达到程序设定的最大迭代次数;

(6) 判断是否满足约束条件,如满足则继续下一步,如不满足则返回到第(3)步,直至满足约束条件,约束条件包括咬入条件、压下率约束条件、力能参数约束条件、等比例凸度条件;

(7) 运用动态规划方法求各机架压下量、决策变量,由状态转移方程求状态变量;

(8) 求目标函数值并进行比较,找出最小目标函数并计算对应的最优压下规程及优化后的板凸度与平直度;

(9) 输出并存储最优轧制规程。

## 一种基于动态规划法和粒子群算法的轧制规程优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于板带材热连轧技术领域,具体涉及一种基于动态规划法和粒子群算法的轧制规程优化方法。

### 背景技术

[0002] 轧制规程是轧制生产过程的基础。一个合理的轧制规程是实现高效、优质生产的基础。轧制规程的优化也一直是业内研究的热点问题。

[0003] 传统的连轧生产轧制规程的优化主要是指对各个机架压下量与轧制力(功率)的合理分配。优化的目的是在轧制设备的力能、速度等参数满足一定约束条件的情况下,使轧制过程与产品质量处于最佳状态。然而,在板带材热连轧实际生产中轧制规程的优化技术也存在一些问题。其中最主要的就是由于控制参数众多,在多个优化目标与约束条件下,计算量大、耗时多、在线适时应用困难。而且由于板形理论的不完善和控制手段的耦合与干扰,使得板形板厚协调控制的精度不高,产品质量有待进一步提高。

[0004] 我国大型板带热连轧机轧制规程的数学模型大多数是从国外引进的,总计在 100 套以上。例如武钢 1700 热连轧机是从日本引进的,轧制规程的设定采用的是能耗分配系数法;鞍钢 1700 热连轧机和宝钢 2050 热连轧机使用的是西门子的压下率分配系数法;本钢 1700 热连轧机则采用 AEG 提供的单调递减函数法;攀钢 1450 热连轧机最初是使用意大利 ANSALDO 公司的能耗法,厚度分布计算采用迭代计算法。攀钢在后期技术改造中,对精轧过程数学模型进行了全面升级改造,负荷分配采用了标准压下率负荷分配法。上述从国外引进的数学模型在生产中基本能够正常使用,但由于需要进行复杂的控制计算,无法满足板形板厚在线协调控制的要求。

[0005] 国内外在轧制规程优化方面做了大量研究工作,主要有最小平方和目标函数的非线性规化和动态规化方法。但这些方法计算量大,而且只能对分配系数做一些改进,很难实现板形板厚在线适时控制的目的。

### 发明内容

[0006] 本发明提出一种基于动态规划法和粒子群算法相结合的轧制规程优化方法,能够有效提高优化运算速度,实现对板带热连轧机轧制规程按照板形板厚协调控制的要求进行在线优化的方法。

[0007] 本发明的特征在于其操作步骤如下:

[0008] (1) 采集现有轧制规程以及相关的轧机参数、轧制力数据并分类整理保存在 Excel 数据文档中;

[0009] (2) 调取现有轧制规程数据,计算该规程对应的板凸度与平直度;

[0010] (3) 离散压下量:在保持第一机架入口厚度及最末机架出口厚度不变的前提下,将各道次的压下量在  $\pm 10\%$  的范围内随机离散;

[0011] (4) 粒子群空间寻优:在粒子的每一次运动中计算出对应的满足二次型目标函数

要求的板凸度、平直度与轧制力参数,并不断更新自己的位置寻优;

[0012] (5) 当程序满足终止条件时输出最优解,终止条件有二:一是寻找到满足目标条件的最优解,二是达到程序设定的最大迭代次数;

[0013] (6) 判断是否满足约束条件,如满足则继续下一步,如不满足则返回到第(3)步,直至满足约束条件,约束条件包括咬入条件、压下率约束条件、力能参数约束条件、等比例凸度条件;

[0014] (7) 运用动态规划法求各机架压下量、决策变量,由状态转移方程求状态变量;

[0015] (8) 求目标函数值并进行比较,找出最小目标函数并计算对应的最优压下规程及优化后的板凸度与平直度;

[0016] (9) 输出并存储最优轧制规程。

### 具体实施方式

[0017] 为了阐述本发明的具体实施方式,以国内某钢铁公司7机架板带热连轧生产机组为例,介绍应用本方法完成轧制规程优化的具体实施步骤。

[0018] (1) 采集现有轧制规程以及相关的轧机参数、轧制力等数据并分类整理保存在Excel数据文档中。表1为某两个钢卷对应的现有轧制规程及有关数据;

[0019] 表1

[0020]

机架号	钢卷号	目标厚度 /mm	出口厚度 /mm	压下量 /mm	轧制力 /MN	工作辊径 /mm	初始辊型 / $\mu\text{m}$
	R3063504100	1.83	33.00				
1		1.83	16.66	16.34	28.6380	395.74	-131
2		1.83	9.69	6.97	23.4619	411.29	-125
3		1.83	5.88	3.81	24.6976	396.68	-134
4		1.83	3.80	2.08	22.2152	372.74	-146
5		1.83	2.73	1.07	17.6575	318.43	-74
6		1.83	2.12	0.61	12.9533	303.11	-49
7		1.83	1.83	0.29	8.8443	327.16	-40
	R3049705600	2.00	33.00				
1		2.00	17.37	15.63	27.3556	401.37	-125
2		2.00	9.66	7.71	23.4611	405.22	-141
3		2.00	5.85	3.81	25.0107	390.86	-143
4		2.00	3.95	1.90	19.0503	372.73	-140
5		2.00	2.88	1.07	14.7230	322.83	-72
6		2.00	2.29	0.59	13.5615	316.03	-60
7		2.00	2.00	0.29	9.1335	337.67	-44

[0021] (2) 调取现有轧制规程数据,计算该规程对应的板凸度与平直度,表2为初始板凸度与平直度;

[0022] 表2

[0023]

钢卷号	机架号	板凸度/ $\mu\text{m}$	平直度/ $\text{I}$
R3063504100	1	611.73	37.85
	2	482.14	22.41
	3	284.92	-14.96
	4	183.97	-54.80
	5	120.37	-41.77
	6	75.93	-11.47
	7	63.73	31.72
R3049705600	1	592.28	47.91
	2	489.42	29.18
	3	291.49	-24.11
	4	165.09	-71.27
	5	91.34	-53.84
	6	66.93	-17.29
	7	57.57	27.82

[0024] (3) 离散压下量:在保持第一机架入口厚度及最末机架出口厚度不变的前提下,将各道次的压下量在  $\pm 10\%$  的范围内随机离散,表 3 为压下量离散后各道次压下量和出口厚度取值范围;

[0025] 表 3

[0026]

钢卷号	机架号	压下量取值范围 /mm	出口厚度取值范围 /mm
R3063504100			33.00
	1	14.71~17.97	15.03~18.29
	2	6.27~6.97	8.99~10.39
	3	3.43~3.81	5.50~6.26
	4	1.87~2.08	3.59~4.01
	5	0.96~1.07	2.62~2.18
	6	0.55~0.67	2.06~2.18
	7	0.23~0.35	1.83
R3049705600			33.00
	1	14.07~17.19	15.81~18.93
	2	6.94~8.48	8.89~10.43
	3	3.43~4.19	5.47~6.23
	4	1.71~2.09	3.76~4.14
	5	0.96~1.18	2.77~2.99
	6	0.53~0.65	2.23~2.35
	7	0.35~0.40	2.00

[0027] (4) 粒子群空间寻优：在粒子的每一次运动中计算出对应的满足二次型目标函数要求的板凸度、平直度与轧制力等参数，并不断更新自己的位置寻优；

[0028] (5) 当程序满足终止条件时输出最优解，终止条件有二：一是寻找到满足目标条件的最优解，二是达到程序设定的最大迭代次数；

[0029] (6) 判断是否满足约束条件，如满足则继续下一步，如不满足则返回到第(2)步，直至满足约束条件；

[0030] (7) 运用动态规划方法求出各机架压下量、决策变量，由状态转移方程求状态变量；

[0031] (8) 求目标函数值并进行比较，找出在最小目标函数并计算对应的最优压下规程以及优化后的板凸度与平直度；

[0032] (9) 输出并存储最优轧制规程，表 4 为优化后的轧制规程。

[0033] 表 4

[0034]

机架号	钢卷号	目标厚度 /mm	出口厚度 /mm	压下量 /mm	轧制力 /MN	板凸度 / $\mu\text{m}$	平直度 /I
		1.83	33.00				
1	R3063504100	1.83	15.54	17.46	29.2689	656.52	24.75
2		1.83	8.94	6.60	24.8782	422.06	15.56
3		1.83	5.36	3.58	23.0902	258.17	-4.27
4		1.83	3.55	1.81	20.5641	143.08	-10.12
5		1.83	2.61	0.94	16.8216	87.17	-10.94
6		1.83	2.04	0.57	11.8007	56.73	-30.96
7		1.83	1.83	0.21	9.1007	42.82	10.81
		2.00	33.00				
1	R3049705600	2.00	16.21	16.79	28.8068	677.43	32.17
2		2.00	8.92	7.29	23.906	404.07	20.23
3		2.00	5.34	3.58	22.1238	234.93	-5.55
4		2.00	3.69	1.65	19.0884	130.28	-13.16
5		2.00	2.76	0.93	15.6524	79.37	-17.22
6		2.00	2.20	0.56	10.7838	51.43	-38.24
7		2.00	2.00	0.20	8.9518	38.92	14.06

[0035] 对比表 1、表 2 与表 4 的相关数据可以看出，轧制规程优化后，轧制力的最大变化量为 6.82%，不会对设备带来安全隐患。在满足出口厚度精度的前提下，实例中两卷钢卷成品机架的出口板凸度分别由 63.73  $\mu\text{m}$ 、57.57  $\mu\text{m}$  降至 42.82  $\mu\text{m}$ 、38.92  $\mu\text{m}$ ，出口平直度分别由 31.72I、27.82I 降至 10.81I、14.06I，优化效果明显，表 5 为优化效果。

[0036] 表 5

[0037]

钢卷号	R3063504100	R3049705600
-----	-------------	-------------

目标厚度 /mm	1.83	2.00
出口厚度 /mm	1.83	2.00
优化前板凸度 / $\mu\text{m}$	63.73	57.57
优化后板凸度 / $\mu\text{m}$	42.82	38.92
优化前平直度 /I	31.72	27.82
优化后平直度 /I	10.81	14.06
板凸度优化率 /%	32.8	32.4
平直度优化率 /%	65.9	49.5

[0038] 。